

Heikki Ailisto (toim.), Anssi Neuvonen, Henrik Nyman,  
Marco Halén, Timo Seppälä

## **Tekoälyn kokonaiskuva ja kansallinen osaamiskartoitus – loppuraportti**

**Tammikuu 2019**  
Selvitys- ja  
tutkimustoiminnan  
julkaisusarja 4/2019

# KUVAILULEHTI

<b>Julkaisija ja julkaisuaika</b>	Valtioneuvoston kanslia, 15.1.2019		
<b>Tekijät</b>	Heikki Ailisto (toim.), Anssi Neuvonen, Henrik Nyman, Marco Halén, Timo Seppälä		
<b>Julkaisun nimi</b>	Tekoälyn kokonaiskuva ja kansallinen osaamiskartoitus – loppuraportti		
<b>Julkaisusarjan nimi ja numero</b>	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 4/2019		
<b>Asiasanat</b>	Tekoäly, teknologia, tutkimus, osaaminen, koulutus, yritykset		
<b>Julkaisun osat/ muut tuotetut versiot</b>	Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 46/2018		
<b>Julkaisuaika</b>	2019	<b>Sivuja</b> 84	<b>Kieli</b> Suomi

## Tiivistelmä

Tekoälyteknologiat ja niiden hyödyntäminen nähdään lähitulevaisuudessa tärkeinä kansalliselle menestykselle. Tämä raportti on tulos VN TEAS:n vuoden 2018 alussa käynnistämästä selvityshankkeesta **Tekoälyn kokonaiskuva ja kansallinen osaamiskartoitus** (5.2 A). Raportissa tekoäly jäsennetään kymmeneksi osaamisalueeksi ja tekoälyosaaminen kuvataan tutkimus-, yritys- ja koulutussektoreilla. Tutkimusosaamista mitataan julkaisujen määrällä ja laadulla. Osaamista yrityksissä on kartoitettu laajan kyselyn tuloksilla, data-analytiikka- ja tekoälyosaajien suhteellisella osuudella seitsemässä eri alojen suuryrityksessä sekä henkilöhaastatteluilla. Korkeakoulujen opetustarjontaa arvioitiin niille suunnatulla kyselyllä ja haastatteluilla. Kaikilla kolmella sektorilla Suomen osaamista verrattiin muiden maiden tasoon. Raportissa tunnistetaan Suomen vahvuudet ja osaamisvajeet kymmenellä tekoälyn osaamisalueella. Raportti esittää joukon toimenpidesuosituksia tekoälyosaimisen vahvistamiseksi.

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2018 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokayttoon.fi).

Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

# PRESENTATIONSBLAD

<b>Utgivare &amp; utgivningsdatum</b>	Statsrådets kansli, 15.1.2019		
<b>Författare</b>	Heikki Ailisto (redaktör), Anssi Neuvonen, Henrik Nyman, Marco Halén, Timo Seppälä		
<b>Publikationens namn</b>	En helhetsbild av artificiell intelligens samt en nationell kartläggning av kunnande – slutrapport		
<b>Publikationsseriens namn och nummer</b>	Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 4/2019		
<b>Nyckelord</b>	Artificiell intelligens, teknologi, forskning, kunskaper, företag, utbildning		
<b>Publikationens delar /andra producerade versioner</b>	Överblick av artificiell intelligens utveckling och kunskaper, Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 46/2018		
<b>Utgivningsdatum</b>	2019	<b>Sidantal</b> 84	<b>Språk</b> Finska

## Sammandrag

Teknologier för artificiell intelligens samt deras utnyttjande ses i den nära framtiden som viktiga för landets framgång. Den här rapporten är ett resultat av utredningen **En helhetsbild av artificiell intelligens samt en nationell kartläggning av kunnande** (5.2 A), som Statsrådets TEAS enhet startade i början av 2018. I rapporten indelas artificiell intelligens i 10 kunskapsområden. Rapporten beskriver kunnandet inom artificiell intelligens inom 3 sektorer – forskningen, företagen och utbildningen. Forskningskunnandet mäts med antalet publikationer och deras kvalitet. Kunnandet inom företag har kartlagts utifrån resultaten från en omfattande förfrågning, utifrån andelen experter inom data-analytik och artificiell intelligens i 7 storföretag inom olika branscher, samt utifrån personintervjuer. Högskolornas undervisningsutbud bedömdes med förfrågningar och intervjuer. Inom alla tre sektorer jämfördes Finlands kunnande med nivån i andra länder. Rapporten identifierar Finlands styrkor och kunskapsbrister inom 10 kunskapsområden inom artificiell intelligens. Rapporten presenterar en mängd rekommendationer till åtgärder för att förstärka kunnandet inom artificiell intelligens.

Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan för 2018 ([tietokayttoon.fi/sv](http://tietokayttoon.fi/sv)).

De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt.

## DESCRIPTION

<b>Publisher and release date</b>	Prime Minister's Office, 15.1.2019		
<b>Authors</b>	Heikki Ailisto (toim.), Anssi Neuvonen, Henrik Nyman, Marco Halén, Timo Seppälä		
<b>Title of publication</b>	The overall view of artificial intelligence and Finnish competence in the area		
<b>Name of series and number of publication</b>	Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 4/2019		
<b>Keywords</b>	Artificial intelligence, technology, research, industry, education, competences		
<b>Other parts of publication/ other produced versions</b>	Artificial intelligence and its capability assessment, Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 46/2018		
<b>Release date</b>	2019	<b>Pages</b> 84	<b>Language</b> Finnish

### Abstract

Artificial intelligence (AI) technologies are seen important for success of nations. Prime Minister's office initiated this research on overall view of artificial intelligence and Finnish competence in the area. The report divides AI into ten competence areas. The Finnish AI competences in the fields of research, companies and higher education are analysed and described. Research competence is measured in terms of number and quality of scientific publications. Competences in companies are analyzed with questionnaire of large company base, by comparing the relative share of data-analysis and AI specialists in seven large companies representing different industries and with semi-structured interviews of key-persons in nine companies. The picture of course and curriculum offering of universities and applied universities is based on a query and number of interviews. The Finnish competences on all three sectors are compared to foreign counterparts. The report identifies Finnish strengths and competence gaps. Policy and action recommendations in order to improve Finnish AI technology ompetences are presented.

This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research for 2018 ([tietokayttoon.fi/en](http://tietokayttoon.fi/en)).

The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

# SISÄLLYS

<b>Tiivistelmä</b>	<b>1</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>4</b>
1.1 Tausta	4
1.2 Raportin tarkoitus ja sisältö	4
1.3 Tekoälyn kokonaiskuva – 10 osaamisaluetta	5
<b>2 Suomalainen tutkimusosaaminen yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa</b>	<b>8</b>
2.1 Johdanto	8
2.2 Tekoälyn tutkimusosaaminen Suomessa	8
Suomalaiset tekoälyjulkaisut 2000–2017: katsaus	8
Tutkimusorganisaatiot	9
Tutkimusaiheet	9
Tutkimusyhteistyö	11
2.3 Suomen tekoälytutkimuksen tieteellinen vaikuttavuus	13
Menetelmä	13
Yleiskatsaus	14
Maavertailu	17
Tekoälyn tutkimussuunnat	19
2.4 Tutkimusosaamisen edellytykset ja haasteet tulevaisuudessa	29
Tekoälytutkimus Suomessa on hyvällä kansainvälisellä tasolla	29
Tekoälytutkimuksen kohdentaminen kapeammille vahvuusalueille	30
Tutkimusryhmät avainasemassa	31
Datan merkitys korostuu	32
Osaamisen siirtyminen	32
Tutkijan urakehitys	33
Tekoälyn hyödyntäminen edellyttää monialaista osaamista	34
Osaamisen tehokas hyödyntäminen on haaste	35
Aivovuodon uhka	36
Tekoälytutkimuksen eettiset kysymykset	36
2.5 Tutkimusosaamiskartoituksen yhteenveto	38
<b>3 Tekoälyosaaminen yrityksissä</b>	<b>39</b>
3.1 Johdanto	39
3.2 Digiosaaminen yrityksissä	40
Tekoälyä, analytiikkaa ja massadataa hyödyntävät yritykset kasvussa	41
3.3 Yritysten analytiikka ja tekoälyosaamisen henkilöstö	42
Vertailu keskeisiin kansainvälisiin kilpailijoihin	42

3.4	Syventävät haastattelut – hyödyt ja haasteet	53
	Haastateltavien valinta ja kysymykset	44
	Tekoilyn kymmenen osaamisen osa-aluetta – Mitä yritykset vastaavat?	44
	Hyödyt	47
	Haasteet	47
3.5	Yhteenveto ja suositukset	49
<b>4.</b>	<b>Koulutusjärjestelmä ja tekoäly</b>	<b>50</b>
4.1	Suomalainen koulutusjärjestelmä	50
	Tekoilyn 10 osaamisalueen koulutustarjonta suomalaisissa korkeakouluissa	51
	Tekoilyopintoja tutkintotasoisesti opiskelevien opiskelijoiden määrä	52
	Tekoilyopintoja tehneiden opiskelijoiden kokonaismäärä	53
	Tekoilyyn tai sen soveltamiseen liittyvä kurssitarjonta korkeakouluissa	54
	Mitä vastaavia kursseja on suunnitteilla	56
	Mahdollisuus sisällyttää tekoilykursseja perusopintoihin	57
	Valmiudet tehdä tekoilyyn ja sen soveltamiseen liittyvää opetusta myös muiden hyödynnettäväksi	57
	Yleinen koulutustarjonta ja yhteistyö yritysten kanssa	58
	Tekoilyyn keskittyvien opinto-ohjelmien löydettävyyttä	59
4.2	Poimintoja kansainvälisestä koulutusjärjestelmästä	60
	Yliopistojen koulutustarjonta: Yhdistyneet kuningaskunnat	61
	Yliopistojen koulutustarjonta: Kiina	64
	Kansainväliset verkkokurssit	66
<b>5.</b>	<b>Osaamisen synty ja siirtyminen</b>	<b>68</b>
5.1	Osaamisen synty	68
5.2	Osaamisen siirtyminen ja osaamistase	69
5.3	Osaamisen vahvuudet ja osaamisvajeet osaamisalueilla	71
5.4	Hype-keskustelu ja tekoäly päätöksentekijänä	72
	Hype-keskustelu	72
	Tekoäly päätöksenteon tukena vai myös päätöksen tekijänä	73
<b>6.</b>	<b>Toimenpidesuositukset</b>	<b>74</b>
	Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimijoille	74
	Koulutuksen tarjoajille	76
	Yrityskentälle ja julkisille palveluille	77
	Mikä on toimimattomuuden riski	78
	Lopuksi – tekoälyteknologiat ovat mahdollisuudet Suomelle	78
	<b>Lähteitä ja tausta-aineistoja</b>	<b>79</b>
	<b>Liite 1: Tiedonhaut</b>	<b>81</b>
	<b>Liite 2: Haastattelut</b>	<b>84</b>
	<b>Liite 3: Osaamiskartan päivittäminen tulevaisuudessa</b>	<b>84</b>

## Ohjausryhmä

**Pekka Appelqvist**, puolustusministeriö, hankkeen ohjausryhmän puheenjohtaja

**Jani Heikkinen**, valtiovarainministeriö

**Laura Hoijer**, ympäristöministeriö

**Tero Huttunen**, opetus- ja kulttuuriministeriö

**Petteri Kauppinen**, opetus- ja kulttuuriministeriö

**Aleksi Kopponen**, valtiovarainministeriö

**Jukka Lahesmaa**, sosiaali- ja terveysministeriö

**Kari Laine**, valtioneuvostonkanslia

**Mikko Levämäki**, sisäministeriö

**Ari Mannonen**, maa- ja metsätalousministeriö

**Jussi Nissila**, työ- ja elinkeinoministeriö

**Ossi Piironen**, ulkoministeriö

**Markku Virtanen**, työ- ja elinkeinoministeriö

**Päivi Virtanen**, maa- ja metsätalousministeriö

**Teemupekka Virtanen**, sosiaali- ja terveysministeriö

**Kati Vuorenvirta**, puolustusministeriö

## Projektiryhmä

**Heikki Ailisto**, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, hankkeen projektipäällikkö

**Henrik Nyman**, Silo.AI

**Marco Halén**, Aalto-yliopisto

**Eetu Heikkilä**, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

**Heli Helaakoski**, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

**Juri Mattila**, Elinkeinoelämän tutkimuslaitos

**Anssi Neuvonen**, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

**Timo Seppälä**, Elinkeinoelämän tutkimuslaitos / Aalto-yliopisto





# TIIVISTELMÄ

Tämä raportti on tulos VN TEAS:n vuoden 2018 alussa käynnistämästä selvityshankkeesta Tekoälyn kokonaiskuva ja kansallinen osaamiskartoitus. Selvitys painottuu osaamiseen ja on sovellusalueiden suhteen neutraali. Hanke on osa tekoälykokonaisuutta. Tekoälykokonaisuuden rinnakkaisissa hankkeissa tarkastellaan muita näkökulmia seuraavasti: ohjelmistorobotiikan ja tekoälyn hyödyntäminen viranomaistoiminnassa juridisesta ja käytännöllisestä näkökulmasta, lohkoteknologian ja ohjelmitavan rahan hyödyntämismahdollisuudet palkkatulojen verotuksessa, sekä robotiikan ja tekoälyn sääntelyn ja hyväksikäytön etiikka ja hyväksyttävyyden.

Aiemmin, kesäkuussa 2018, julkaistussa väliraportissa ([linkki](#)) kuvattiin tekoälyn moniulotteista kokonaisuutta ja tarjottiin välineitä sen jäsentämiseen. Pyrkimyksenä oli tarjota käsitteitä julkisen keskustelun helpottamiseksi.

Käytämme tekoälyn jäsentämiseen jakoa kymmeneen osaamisalueeseen seuraavasti:

1. Data-analyysi
2. Havainnointi ja tilannetietoisuus
3. Luonnollinen kieli ja kognitio
4. Vuorovaikutus ihmisen kanssa
5. Digitaidot työelämässä, ongelmanratkaisu ja laskennallinen luovuus
6. Koneoppiminen
7. Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset
8. Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit
9. Robotiikka ja koneautomaatio – tekoälyn fyysinen ulottuvuus
10. Etiikka, moraalit, regulaatio ja lainsäädäntö

Tässä raportissa on analysoitu suomalaista tekoälyosaamista tutkimuksessa, yrityksissä ja korkea-asteen koulutuksessa. Osaamista on verrattu vastaavaan osaamiseen ulkomailta. Tutkimusosaamista mitattiin tieteellisten julkaisujen laadulla ja määrällä. Suomalainen tutkimusosaaminen on verrattain hyvätasoisista, käytetyillä laatumittareilla olemme 17. sijalla Etelä-Korean ja Itävallan välissä. Täytyy kuitenkin muistaa, että Suomen osuus maailman tekoälyjulkaisujen määrästä on vain noin 0,5 prosenttia.

Yrityksissä oleva tekoälyosaaminen on selvityksessä käytetyn arvioinnin mukaan myös hyvällä tasolla. Toisaalta voidaan todeta, että tekoälyteknologioiden hyödyntäminen yritysten toiminnassa ei vielä ole Suomessa(kaan) kovin laajaa.

Korkeakoulutasoista opetusta tekoälyn osaamisalueilla annetaan useissa yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa, ja tekoälyteknologioista voi halutessaan rakentaa pääaineopinnot muutamassa yliopistossa. Koulutustarjontaa ollaan lisäämässä. Suomessa tekoälyä termillä ei kuitenkaan vielä käytetä opiskeluohjelmien markkinoinnissa, toisin kuin esimerkiksi Englannissa.

Suomen vahvuudet kymmenellä tekoälyn osaamisalueella on tiivistetty alla olevassa taulukossa. Tarkempi taustoitus taulukolle on raportin luvussa 5.

**Taulukko 1.1 Suomen vahvuudet tekoälyn kymmenellä osaamisalueella tutkimuksessa, koulutuksessa, sekä yrityksissä ja julkisessa hallinnossa**

Osaamisalue	Tieteellinen (ns. huippujulkaisujen osuus, 1 = keskivertainen, isommat arvot parempia)	Koulutus korkeakouluissa	Yritykset tai julkinen hallinto
Data-analyysi	1,32	Lähes kaikissa	Laajasti käytössä, useita palvelu- ja teknologiayrityksiä, myös julkinen hallinto käyttää
Havainnointi ja tilannetietoisuus	1,24	Useissa	Käytössä, muutamia teknologiayrityksiä
Luonnollinen kieli ja kognitio	1,36	Muutamassa  Suomen kielistä puheteknologiaa tutkitaan ainakin Helsingin ja Turun yliopistoissa	Vielä vähäistä, harvoja yrityksiä.  Suomen kielen puheteknologiaa kehitetään muutamissa yrityksissä ja Tekoälykiihdyttämö on perustanut ensimmäisen yritys yhteistyöryhmänsä tähän aiheeseen.
Vuorovaikutus ihmisen kanssa	1,2	Useissa	Harvoja yrityksiä, osa kuitenkin merkittäviä
Digitaidot työelämässä, ongelmanratkaisu ja laskennallinen luovuus	1,34	Useissa	Hyvin harvoja yrityksiä
Koneoppiminen	1,29	Useissa	Käyttö kasvaa, useita yrityksiä
Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset	1,2	Harvoissa	Julkishallinnossa huomioidaan
Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit	1,18	Useissa	Melko laajasti käytössä, myös kotimaista tarjontaa. Kv-teknologiayritysten kehitystä Suomessa
Robottiikka ja koneautomaatio – tekoälyn fyysinen ulottuvuus	1,19	Useissa	Laajasti käytössä yrityksissä ml. teknologiayrityksissä
Etiikka, moraalit, regulaatio ja lainsäädäntö	1,87	Muutamassa	Julkinen hallinto havahtunut laajasti haasteisiin

Koulutus korkeakouluissa: valkoinen väri harvoissa, vaalean vihreä muutamassa, vihreä useissa, tumma vihreä lähes kaikissa (katso tarkempi arviointi yliopistojen kurssitarjonnan kattavuudesta kappale 4.1, kuvio 4.1, s. 51).

Tieteellinen, yritykset tai julkinen hallinto: Tumma vihreä merkitsee erittäin hyvää tai hyvää tasoa, vihreä melko hyvää ja valkoinen väri kohtuullista tai vaatimatonta tasoa (tieteellisten huippujulkaisujen mittarista katso kappale 2.3 s. 13).

Seuraavassa on lueteltu tiiviissä muodossa selvityksen toimenpide-ehdotukset. Tarkemmin ne on esitetty luvussa 6.

1. Luodaan selkeä kansallinen TKI-strategia ja parannetaan tutkimuksen hyötysuhdetta vähentämällä rahoituksen hakemiseen kuluva työtä
2. Tutkimusaiheissa valtavirran tungoksesta kapeisiin erikoisalueisiin
3. Data-aineistot tehokkaasti käyttöön
4. Suunnitelmalliseen kansainväliseen yhteistyöhön – Tekoälyn kansainvälinen tohtori-koulutusohjelma
5. Yliopistoille ja tutkimuslaitoksille suoraa rahoitusta soveltavaan tutkimukseen
6. Mahdollistetaan jatkuva oppiminen tekemällä kurssit avoimiksi kaikille
7. Tekoälymenetelmät tekemään päätöksiä rohkeasti jo nyt
8. Joustavuutta henkilöiden liikkumiseen yritysten ja tutkimuksen välillä
9. Tekoäly osaksi yritysten ja julkisen hallinnon digitalisaatiosuunnitelmaa
10. Ulkomaisia osaajia yrityksiin

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Tekoälyteknologiat ja niiden hyödyntäminen nähdään lähitulevaisuudessa tärkeinä yritysten ja julkisen hallinnon tehostajina, uusien liiketoimintamallien mahdollistajina sekä toisaalta merkittävänä tekijöinä poliittisessa vaikuttamisessa – mukaan lukien ns. hybridi vaikuttaminen – sekä sotatekniikassa. Ei siis olekaan ihme, että useat maat ovat nostaneet tekoälyteknologioiden kehittämisen ja soveltamisen tärkeäksi tavoitteeksi. Myös Suomessa on käynnistetty useita kansallisia hankkeita.

Tämä raportti on tulos VN TEAS:n vuoden 2018 alussa käynnistämästä selvityshankkeesta **Tekoälyn kokonaiskuva ja kansallinen osaamiskartoitus** (5.2 A). Tekoälykokonaisuuden rinnakkaisissa hankkeissa (5.2 B, C ja D) tarkastellaan muita näkökulmia seuraavasti.

- Tekoäly viranomaistoiminnassa ja tietoinfrastruktuurin muutosvaateet -hanke (5.2 B) tarkastelee ohjelmistorobotiikan ja tekoälyn hyödyntämistä viranomaistoiminnassa kahdesta näkökulmasta. Ne ovat juridiikan ja säännösten asettamien reunaehtojen ja edellisiin mahdollisesti kohdistuvien muutostarpeiden näkökulma sekä käytännön, mahdollisuuksien ja toteutettavuuden näkökulma.
- Lohkoketjuteknologian ja ohjelmoitavan rahan hyödyntämismahdollisuudet palkkatulojen verotuksessa (5.2 C).
- Robotiikan ja tekoälyn sääntelyn ja hyväksikäytön etiikka sekä yhteiskunnallinen hyväksyttävyyys (5.2 D).

Aiemmin, kesäkuussa 2018, julkaistussa väliraportissa ([linkki](#)) kuvattiin tekoälyn moniulotteista kokonaisuutta ja tarjottiin välineitä sen jäsentämiseen. Pyrkimyksenä oli tarjota käsitteitä julkisen keskustelun helpottamiseksi. Näkökulmana ovat toimeksiannossa määritellyt osaamisalueet 1–10, joihin tämä raportti nojaa. Osaamisalueet on esitelty luvussa 1.3.

## 1.2 Raportin tarkoitus ja sisältö

Tämä raportti keskittyy tehtävänannon toiseen osaan, kansalliseen osaamiskartoitukseen, ja esittää perustellun arvion Suomen vahvuuksista ja osaamisvajeista ja edellisiin perustuen joukon toimenpidesuosituksia. Selvityshanke keskittyy **osaamiseen sovellusalueiippumattomasti**, ja siinä mielessä painottaa enemmän teknologista osaamista kuin hyödyntämistä eri toimialoilla.

Raportin rakenne on seuraava:

- Luku 1 kuvaa tehtävänannon ja taustan
- Luku 2 esittää suomalaisen tutkimusosaamisen yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa
- Luku 3 keskittyy yritysten osaamiseen ja kyvykkyyksiin
- Luku 4 käsittelee tekoälyosaamista tuottavaa korkeakoulutusta
- Luvussa 5 muodostetaan edellisten pohjalta käsitys tekoälyosaamisen synnystä ja siirtymisestä toimijoiden verkostossa sekä esitetään Suomen osaamistase
- Luku 6 sisältää toimenpidesuosituksen

Raportissa käytetty tieto on koottu mm. analysoimalla tutkimusjulkaisuja bibliometrisin menetelmin, yritystietokannoista, yrityksille suunnattujen kyselyjen data-aineistosta sekä useita eri tahoja haastatteleamalla. Kussakin luvussa on kuvattu siinä käytetyt tutkimus- ja tiedonhankinnan menetelmät. Haastateltavien nimet on kerrottu liitteessä, mutta haastateltavien suoria lainauksia ei käytetä eikä raportissa olevia näkemyksiä ole tarkoitus yhdistää tiettyyn haastateltavaan.

### 1.3 Tekoälyn kokonaiskuva – 10 osaamisaluetta

Tekoälyn kenttä ja sen alueet käsitellään tässä raportissa kymmeneksi osaamisalueeksi, jotka on tarkemmin kuvattu jo mainitussa väliraportissa [Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus](#). Tässä osaamisalueet esitellään lyhyesti.

1. **Data-analyysissä** (data analytics, data analysis) tarkoituksena on jalostaa dataa korkeamman tason tiedoksi hyödyllisten johtopäätösten tekemiseksi. Data-analyysiin kuuluvat datan keruun suunnittelu, menetelmät datan analysoimiseksi, keinot näin saatujen tuloksien tulkitsemiseksi sekä näiden toteutukseen tarvittavat matematiikan ja tilastotieteen työkalut.<sup>1</sup>
2. **Havainnointi ja tilannetietoisuus** (perception and situation awareness) ovat edellytyksiä järjestelmän autonomisuudelle. Tilannetietoisuudella tarkoitetaan tietyssä ympäristössä olevien toimijoiden havainnointia, niiden tarkoitusten ymmärtämistä ja tähän perustuvaa ennakkointia niiden tilasta lähitulevaisuudessa<sup>2</sup>. Tilannetietoisuutta tarvitaan autonomisten järjestelmien toiminnassa, esimerkiksi itse ajavissa autoissa. Havainnointia voidaan pitää toisaalta tilannetietoisuutta palvelevana toimintona, toisaalta itsenäisinä tutkimus- ja teknologia-alueina. Havainnointiin liittyy mittaus-tiedon esikäsittely, tiivistäminen ja eri lähteistä tulevan tiedon yhdistely eli fuusio. Havainnoinnin teknologioista **konenäkö** on merkittävin. Sitä hyödynnetäänkin useilla teollisuuden ja arkielämän alueilla.
3. **Luonnollisen kielen käsittely** (Natural Language Processing, NLP) tarkoittaa tietokoneohjelmien käyttämistä luonnollisen tekstin ja puheen analysointiin ja tuottamiseen<sup>3</sup>. **Kognitio** on luonnollisen tai keinoitekoisen systeemin kyky ennakoida tarve toimille (action) ja arvioida näiden tulos tai vaikutus ennakoita<sup>4</sup>. Tutkimuksessa tärkeitä suuntia ovat tiedon ja tietämyksen esittämisen menetelmät, joihin liittyvät ontologioiden ja semantiikan käsitteet.
4. **Vuorovaikutus ihmisen kanssa** on tärkeässä roolissa myös tekoälyteknologioita käyttävien järjestelmien hyödyntämisessä. Kasvavaa kiinnostusta kohdistuu ihmisen ja tekoälyn suhteeseen sekä niiden rooleihin yhteistyössä. Osa järjestelmistä, esimerkiksi suosittelujärjestelmät, palvelurobotit, chat-botit ja ns. henkilökohtaiset assistentit on nimenomaan rakennettu palvelemaan ihmistä ja toimimaan vuorovaikutuksessa hänen kanssaan. Ihmisen tunteiden analysoinnissa (tunnetekoäly ja affective computing) hyödynnetään mm. mikroilmeiden tunnistusta ja sosiaalisen median

<sup>1</sup> Tukey (1962).

<sup>2</sup> Endsley (1995).

<sup>3</sup> Manning ja Schütze (1999).

<sup>4</sup> Vernon (2014).

käyttöä ihmisten tunnetilan ja asenteiden tunnistamiseen, joita voidaan hyödyntää mainosten tai poliittisen vaikuttamisen kohdentamisessa.

5. **Digitaidot työelämässä** perustuvat henkilöiden koulutukseen, kokemukseen ja asenteisiin ja niillä on luonnollisesti suuri vaikutus kykyyn hyödyntää uutta teknologiaa. **Laskennallinen luovuus** (creative computing) ja **ongelmanratkaisu** vievät tekoälyä uusille alueille, esimerkkeinä tietokoneohjelmien tuottamat runot, tarinat, sävellykset ja kuvat tai kollaasit sekä niiden syntetisoimat kemialliset yhdisteet lääkkeiden kehityksessä. Laskennallinen luovuus ja ongelmanratkaisu ovat myös hyödyllinen lähestymistapa kehitettäessä ratkaisuja peleihin, esimerkkinä AlphaGo, joka voitti mestarit Go-pelissä 2015–2017.
6. **Koneoppiminen** (machine learning) käyttää tilastotieteen menetelmiä, jotka antavat tietokoneille kyvyn oppia datasta ilman varsinaista ohjelmointia. Koneoppimisen menetelmiä käytetään ennustamaan ja luokittelemaan ilmiöiden tai toimien lopputulemia<sup>5</sup>. Syvien **neuroverkkojen** (deep neural networks)<sup>6</sup> avulla on saavutettu viime vuosina erittäin merkittäviä ja näyttäviä tuloksia mm. kuvantunnistuksen, puheentunnistuksen ja kielen kääntämisen alueilla, ja tekoälyn saama huomio perustuukin pitkälti näihin koneoppimisen saavutuksiin.
7. **Järjestelmätasolla ja systeemivaikutusten** kannalta tekoälyä tarkastellaan ikään kuin ylhäältä päin. Tällöin voidaan myös tavoitella yleistä tekoälyä (general artificial intelligence) nykyisen kapean tekoälyn sijaan yhdistämällä nyt suosittuja datapohjaisia menetelmiä, kuten syväoppivia neuroverkkoja, ja klassista symbolista tekoälyä.
8. **Tekoälyn laskentaympäristöjä** voi yksinkertaistaen tarkastella pinona, jossa alimpana on laskentayksikkö eli prosessori, sen yläpuolella käyttöjärjestelmä ja ohjelmointikieli, ylimpänä itse varsinainen tekoälysovellusohjelma. Yleensä laskentaympäristö on ns. pilvessä, ja laskenta suoritetaan palveluntarjoajan **alustalla** ja se ostetaan **palveluna**. Eri toimijat muodostavat **ekosysteemin**, joka yhdessä toteuttaa halutun tekoälylaskennan tai sovelluksen. Esimerkkejä ekosysteemeistä ovat Microsoftin, Amazonin ja Alibaban ympärille keskittyneet verkostot.
9. **Robotiikka ja koneautomaatio** muodostavat tekoälyn fyysisen<sup>7</sup> ulottuvuuden. Tekoälyn näkökulmasta kiinnostavia ovat autonomiset robotit ja koneet, jotka kykenevät reagoimaan ja tekemään päätöksiä muuttuvassa ympäristössä suorittaessaan annettuja tehtäviä<sup>8</sup>. Myös ihmisten ja toisten robottien kanssa yhteistyötä tekevät robotit ovat tärkeä kehityssuunta. Tunnettu esimerkki autonomisesta robotista on itseajava auto ja yhteistyöroboteista drouni-parvet.
10. Tekoälyteknologioiden kehitys ja käyttöönotto muuttavat maailmaa. Sen vuoksi niihin liittyy aina **eettisiä ja moraalisia** kysymyksiä. **Lainsäädäntö** ja muu sääntely (**regulaatio**) ovat vuorovaikutuksessa teknologian kanssa yhtäältä ohjaten sen kehitystä ja toisaalta reagoiden kehitykseen. Etiikan ja moraalien pohdinnan osalta tekoäly poikkeaa olennaisesti perinteisestä teknologian etiikasta, jossa eettisen ja moraalisen pää-

<sup>5</sup> Bishop (2006).

<sup>6</sup> Lecun ym. (2015).

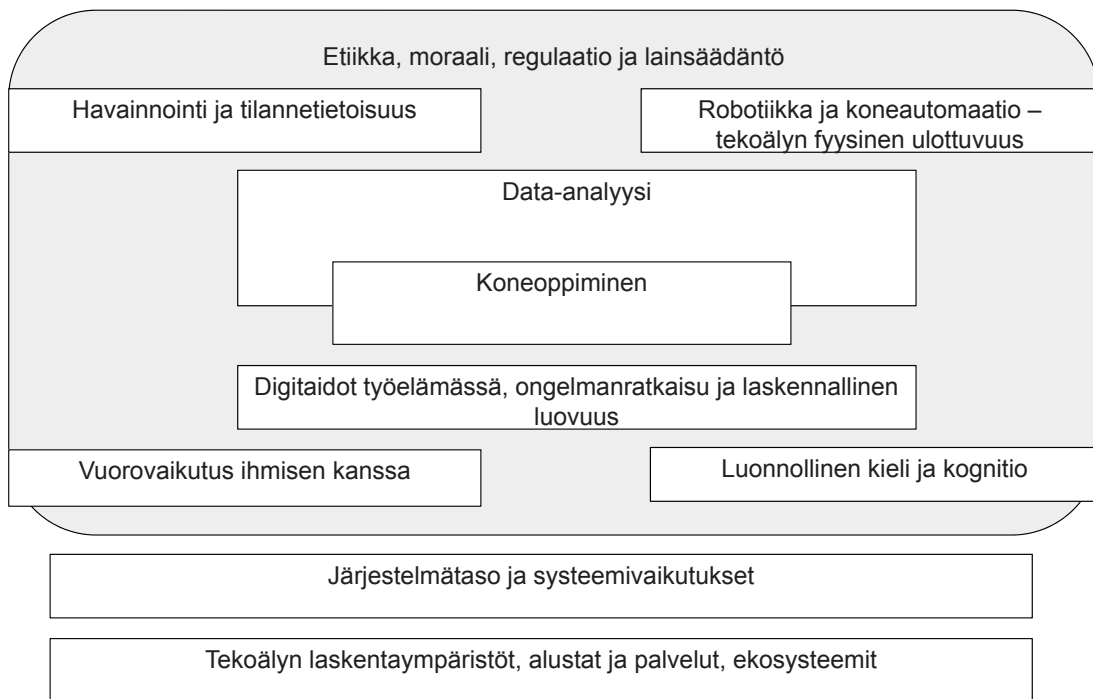
<sup>7</sup> Tässä roboteilla tarkoitetaan ohjelmoitavia fyysisiä laitteita, ei ns. ohjelmistorobotteja tai botteja.

<sup>8</sup> Correll (2016).

töksenteon toimijana nähdään teknologiaa suunnitteleva ihminen<sup>9</sup>, kun taas tekoälyn ohjaama järjestelmä on usein autonominen toimija. Kiinnostava kysymys on, miten etiikka huomioidaan autonomista järjestelmää ohjaavan tai suosituksia ihmiselle antavan tekoälyn suunnittelussa.

Tekoälyn 10 osaamisaluetta ja niiden suhde on hahmotettu kuviossa 1.1.

**Kuvio 1.1** Tekoälyn kymmenen osaamisaluetta



<sup>9</sup> Polonski (2017).

## 2 SUOMALAINEN TUTKIMUSOSAAMINEN YLIOPISTOISSA JA TUTKIMUSLAITOKSISSA

### 2.1 Johdanto

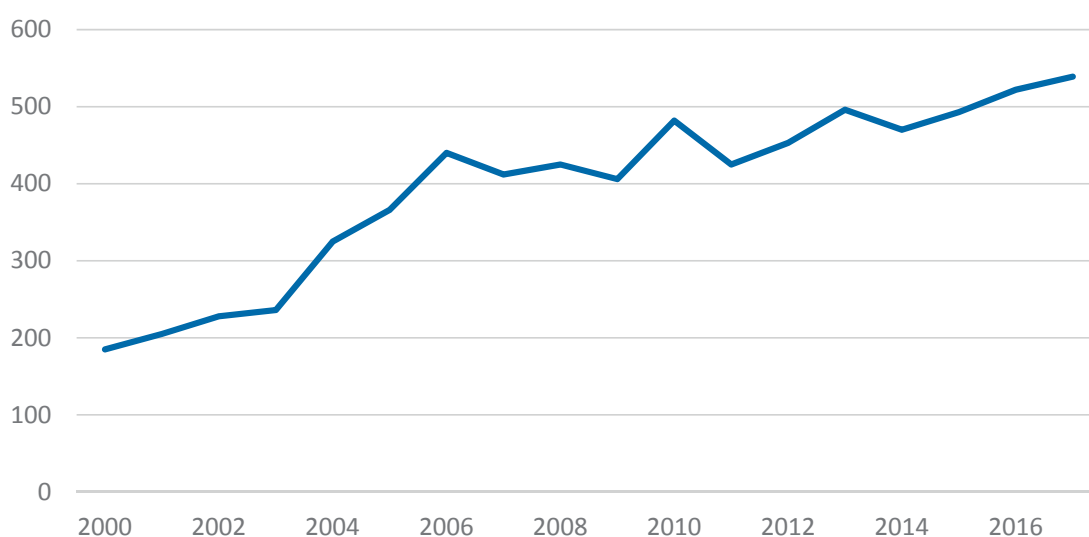
Raportissa on selvitetty suomalaista tekoälytutkimusta 2000-luvulla. Tutkimuksen tasoa on arvioitu vertaamalla suomalaisia tutkimusjulkaisuja kansainvälisen tutkimuksen kärkeen ja selvitetty tekoälytutkimuksen nykytilannetta ja tulevaisuuden haasteita Suomessa. Selvityksen lähteinä ovat julkaisuanalyysien lisäksi olleet tekoälytutkimuksen ja tutkimusrahoituksen avainhenkilöiden haastattelut. Maavertailun pohjana oleva analyysi perustuu huipputason julkaisukanavissa ilmestyneiden tutkimusartikkeleiden osuuteen kaikista tutkimusalan julkaisuista eri maissa. Näkökulmana maavertailussa ovat kymmenen eri tekoälyn tutkimussuuntaa.

### 2.2 Tekoälyn tutkimusosaaminen Suomessa

#### Suomalaiset tekoälyjulkaisut 2000–2017: katsaus

Tekoälytutkimus on julkaisumäärillä tarkastellen kasvanut Suomessa koko 2000-luvun.<sup>10</sup> Toisin kuin eräissä muissa maissa, ei Suomessa ole julkaisumäärissä kuitenkaan tapahtunut suuria hyppäyksiä.<sup>11</sup> Tarkasteltavaan ajanjaksoon liittyy myös vaiheita, jolloin julkaisumäärät ovat pysyneet vuositasolla ennallaan tai jopa laskeneet. Keskimääräinen julkaisujen vuosikasvu oli ajanjaksolla Suomessa 6,5 prosenttia. Suomalaisen julkaisujen osuus on 0,5 prosenttia koko maailman julkaisuista.

#### Kuvio 2.1 Tekoälyjulkaisujen määrä Suomessa 2000–2017, kpl



Lähde: Scopus.

<sup>10</sup> Tekoälyjulkaisut rajattu termeillä: artificial intelligence, decision support systems, deep learning, feature extraction, image recognition, learning algorithms, learning systems, machine learning, natural language processing, neural networks, pattern recognition, reinforcement learning, speech recognition, supervised learning, transfer learning, unsupervised learning. Hakutermit rajattiin julkaisun otsikkoon ja avainsanoihin. Lähde: Scopus.

<sup>11</sup> Viimeisin nopean kasvun vaihe alkoi v. 2014. Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus, väliraportti 19.6.2018: <http://um.fi/URN:ISBN:978-952-287-549-5>

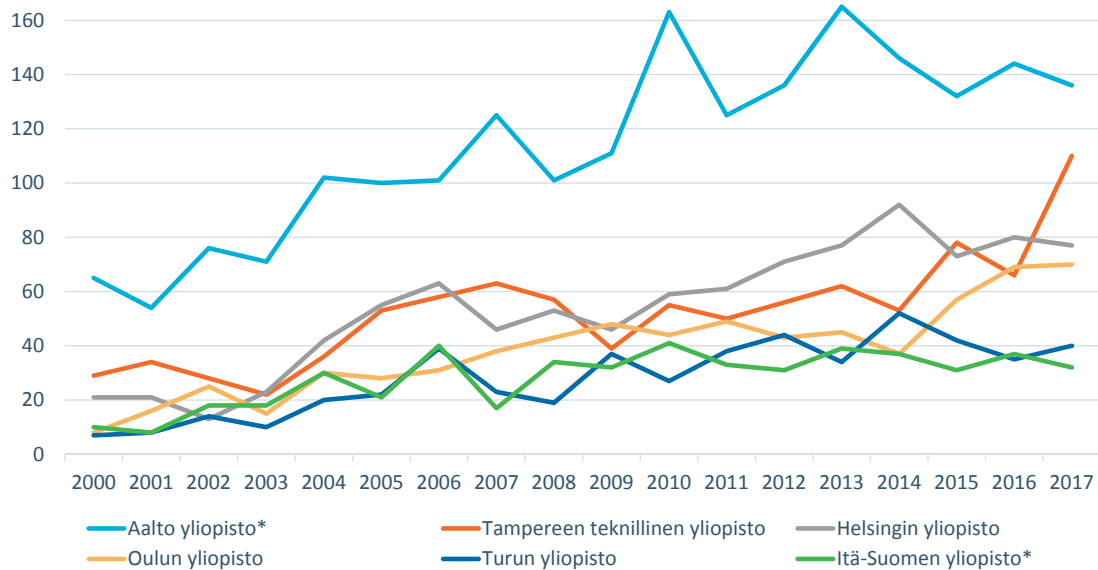


Maailmalla keskeinen selittävä tekijä julkaisujen erityisen nopealle kasvulle viime vuosina ovat olleet panostukset tilastolliseen oppimiseen perustuvien järjestelmien, ml. koneoppimisen, tutkimukseen. Suomessa vastaavaa tutkimuspanostusta ei kuitenkaan julkaisujen valossa näytä tapahtuneen, vaikka koneoppimisen julkaisumäärät ovat myös Suomessa olleet suhteellisen voimakkaassa kasvussa viime vuosina (kuvio 2.1).

## Tutkimusorganisaatiot

Tarkasteltaessa yksittäisten yliopistojen ja tutkimuslaitosten julkaisuja, voidaan havaita tutkimusorganisaatioiden julkaisutoiminnan erilaiset lähtökohdat ja julkaisumäärien muutokset. Aalto-yliopisto on Suomessa johtava tekoälyjulkaisujen tuottaja. Aalto-yliopisto ja sen edeltäjä Teknillinen korkeakoulu on ollut mukana n. 28 prosentissa kaikista Suomessa tuotetuista tekoälyä tai sen osa-alueita käsittelevistä julkaisuista. Yliopisto tuotti v. 2000–2017 yhteensä 2 053 tekoälyjulkaisua. Seuraavaksi eniten julkaisuja ilmestyi Helsingin yliopistossa (973 julkaisua) ja Tampereen teknillisessä yliopistossa (949 julkaisua). Nopeinta kasvu on viime vuosina ollut TTY:ssä ja Oulun yliopistossa.

**Kuvio 2.2 Tekoälyjulkaisujen määrän kehitys yliopistoissa, joilla yli 500 julkaisua v. 2000–2017**



\* Mukana edeltävät organisaatiot.

Lähde: Scopus, aineiston käsittely: VantagePoint.

## Tutkimusaiheet

Yliopistoja ja tutkimuslaitoksia voidaan tarkastella myös julkaisujen sisällöllisten painotusten näkökulmasta. Kuviossa 2.3 on eritelty tutkimusorganisaation julkaisujen jakautumista eräiden yleisimpien aihepiirien osalta. Kaikille tutkimusorganisaatioille yhteisiä laajoja teemoja olivat algoritmien ja tietokoneiden lisäksi datan analyysi ja prosessointi, neuroverkkoteknologiat sekä ohjattu oppiminen. Myös laskentaan liittyvillä teemoilla oli lähes kaikissa organisaatioissa suhteellisen vahva asema.

Yliopistot ja tutkimuslaitokset erikoistuvat omille tutkimusalueilleen ja niillä on yleensä myös jokin oma valittu tutkimussuuntauksensa. Tämä tulee esiin myös tekoälyjulkaisuissa. Tapa, jolla julkaisut jakaantuivat eri tekoälyn tutkimusaloille, kuitenkin vaihteli organisaatioittain. Tasaisimmin julkaisut jakaantuivat eri tutkimusaiheille Helsingin yliopistossa ja Itä-Suomen yliopistossa, joiden julkaisutoiminta kattoi siten selvimmin koko tekoälytutkimuksen kentän.<sup>12</sup> Suurimmat vaihtelut tarkasteltujen tutkimusaiheiden suhteellisissa julkaisumäärissä olivat puolestaan organisaatioissa, joissa julkaisuja tuotettiin suhteessa vähemmän: yliopistosairaaloissa, Vaasan yliopistossa ja Tietotekniikan tutkimuslaitos HIITissä. Tekoälytutkimuksen tutkimusorganisaatiokohtaiset painotukset ja tehdyt linjaukset näkyivät niissä kaikkein selvimmin myös julkaisujen sisällössä.

**Taulukko 2.1 Yliopistojen, tutkimusorganisaatioiden ja yliopistosairaaloiden painopisteet tutkimusaiheissa v. 2000–2017**

Organisaatiolla julkaisuja yhteensä	2053	178	973	362	509	342	290	696	949	327	512	56	362	295	241
	Aalto yliopisto	AMK:t	Helsingin yliopisto	HIIT	Itä-Suomen yliopisto	Jyväskylän yliopisto	Lappeenranta tek. yliopisto	Oulun yliopisto	Tampereen tek. yliopisto	Tampereen yliopisto	Turun yliopisto	Vaasan yliopisto	VTT	Yliopistosairaalat	Åbo Akademi
<b>Tutkimusaihe</b>															
Algorithms	0,26	0,19	0,23	0,34	0,25	0,30	0,21	0,20	0,25	0,19	0,20	0,34	0,18	0,21	0,25
Computation and computing	0,13	0,15	0,12	0,18	0,09	0,16	0,12	0,12	0,13	0,09	0,13	0,07	0,09	0,08	0,17
Computers	0,20	0,16	0,19	0,21	0,19	0,22	0,21	0,27	0,23	0,34	0,28	0,14	0,27	0,23	0,16
Data analysis and processing	0,19	0,22	0,20	0,29	0,21	0,20	0,10	0,15	0,14	0,15	0,18	0,05	0,16	0,16	0,23
Decision support systems	0,09	0,15	0,12	0,06	0,11	0,13	0,21	0,07	0,09	0,14	0,12	0,38	0,24	0,22	0,17
Feature extraction	0,08	0,09	0,06	0,05	0,10	0,12	0,13	0,16	0,15	0,06	0,05	0,02	0,05	0,06	0,01
Human (biomedical literature)	0,08	0,04	0,20	0,07	0,11	0,11	0,03	0,10	0,07	0,33	0,24	0,00	0,10	0,77	0,06
Image analysis and processing	0,11	0,13	0,11	0,09	0,13	0,08	0,16	0,25	0,21	0,10	0,08	0,11	0,07	0,21	0,02
Knowledge systems	0,11	0,23	0,08	0,11	0,08	0,09	0,15	0,09	0,10	0,12	0,06	0,23	0,15	0,01	0,17
Machine learning	0,09	0,15	0,09	0,14	0,06	0,07	0,03	0,05	0,05	0,12	0,10	0,02	0,07	0,12	0,04
Natural languages	0,07	0,06	0,08	0,03	0,06	0,03	0,02	0,03	0,03	0,10	0,13	0,04	0,01	0,02	0,09
Neural networks	0,27	0,17	0,14	0,07	0,15	0,15	0,18	0,18	0,28	0,17	0,14	0,09	0,15	0,24	0,28
Pattern recognition	0,10	0,04	0,19	0,06	0,19	0,12	0,14	0,27	0,17	0,19	0,21	0,09	0,11	0,36	0,08
Prediction	0,07	0,07	0,08	0,10	0,06	0,02	0,01	0,05	0,04	0,06	0,08	0,04	0,06	0,14	0,10
Semantics and ontology	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,03	0,07	0,05	0,08	0,02	0,10
Signal processing	0,11	0,03	0,06	0,04	0,11	0,09	0,06	0,13	0,23	0,08	0,06	0,05	0,07	0,16	0,02
Speech recognition and processing	0,13	0,02	0,08	0,03	0,25	0,04	0,00	0,08	0,10	0,12	0,05	0,02	0,02	0,04	0,03
Supervised learning, regression, classification	0,15	0,20	0,14	0,12	0,14	0,15	0,13	0,19	0,23	0,15	0,12	0,07	0,12	0,20	0,10
Unsupervised learning and clustering	0,07	0,06	0,06	0,07	0,11	0,10	0,04	0,04	0,05	0,02	0,05	0,04	0,06	0,03	0,09

Tutkimusaiheen osuus kaikista organisaation tuottamista tekoälyjulkaisuista. Termien prosentuaalinen osuus on ≠ 100 % johtuen eri aiheiden esiintymisestä samoissa julkaisuissa, prosenttiosuudet desimaalilukuina. Julkaisuja yhteensä 7 109.

Lähde: Scopus, käsittely: VantagePoint.

Kun julkaisuja tarkastellaan tutkimusaiheiden näkökulmasta, nousevat esiin isoina kokonaisuuksina edellä mainitut algoritmit, tietokoneet ja hermoverkot. Jos tarkastelun kohteena on sen sijaan julkaisumäärien kasvuvauhti, niin esille tulee eri aiheita. Nopeimmin kasvaneet teemat ovat koneoppinen ja koneoppimiseen liittyvät teknologiat, ml. CNN-hermoverkot, johon liittyvä tutkimus on lisääntynyt erityisesti aivan viime vuosina (kasvu v. 2014–2017 261 %). Samat koneoppimisen teknologiat ovat myös maailmalla olleet nopeimmin kasvaneiden tutkimusteemojen joukossa viime vuosina.<sup>13</sup> Data-analyysi on puolestaan perinteisesti ollut

<sup>12</sup> Mittarina tarkasteltujen tutkimusaiheiden prosenttiosuuksien keskihajonta.

<sup>13</sup> Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus, väliraportti 19.6.2018: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-549-5> s. 26 ja 36.

## Taulukko 2.2 Eräiden tutkimusaiheiden julkaisumäärät ja julkaisujen keskimääräinen kasvunopeus Suomessa v. 2000–2017

Tutkimusaihe	Julkaisujen määrä 2000-2017	Vuosikasvu (CAGR)
Algorithms	1653	2,69 %
Bayesian	257	9,93 %
Cognitive systems	242	7,65 %
Computation and computing	880	6,58 %
Computer vision	163	21,12 %
Computers	1579	2,45 %
Convolutional neural network	97	25,42 %
Data analysis and processing	1223	6,95 %
Decision support systems	874	6,98 %
Face recognition	220	12,13 %
Feature extraction	642	0,22 %
Forecasting	197	14,28 %
Human (biomedical literature)	788	6,68 %
Image analysis and processing	894	3,50 %
Knowledge systems	763	9,93 %
Learning systems and algorithms	1807	10,50 %
Machine learning	492	25,42 %
Natural languages	447	10,14 %
Neural networks	1466	2,73 %
Pattern recognition	1048	8,86 %
Prediction	399	19,78 %
Problem solving	238	2,12 %
Reinforcement learning	106	13,80 %
Robotics	149	13,80 %
Semantics and ontology	378	12,73 %
Signal processing	762	3,96 %
Speech recognition and processing	698	5,19 %
Supervised learning, regression, classification	1087	11,28 %
Unsupervised learning and clustering	413	6,02 %

Teemat ovat osin päällekkäisiä, koska useat aiheet esiintyvät julkaisuissa yhdessä. Lisäksi mukana on aiheita, jotka ovat osa laajempaa listalla mainittua aihepiiriä.

Lähde: Scopus, aineiston käsittely: VantagePoint.

isossa roolissa tutkimuslaitoksissa ja yliopistoissa. Se on myös kansainvälisessä vertailussa hyvin menestynyt tutkimussuunta Suomessa.<sup>14</sup>

### Tutkimusyhteistyö

Yhteisjulkaisuja tuotetaan kotimaisten tutkimuskumppaneiden kanssa tutkimusalasta riippumatta yleensä vähemmän kuin kansainvälisten yhteistyötahojen kanssa.<sup>15</sup> ICT- ja sähkötekniikassa kotimaisten yhteisjulkaisujen osuus on erityisen pieni ja jää n. 10 prosenttiin kaikista alan julkaisuista. Tekoälyn kotimaisessa tutkimusyhteistyössä tilanne on samankaltainen. Kaikki merkittävämpi yhteistyö organisaatioiden kesken on vahvasti paikallista.

<sup>14</sup> Ks. liite 1, tekoälyn tutkimussuunnat: data-analyysi.

<sup>15</sup> Suomen tieteen tila (2016, s. 33). <https://www.aka.fi/fi/tiedepoliittinen-toiminta/tieteen-tila/ajankohtaista/tieteen-tila-2016/>

Eniten julkaisu yhteistyötä oli ymmärrettävästi Tietotekniikan tutkimuslaitos HIITin ja Helsingin yliopiston (yhteisjulkaisujen osuus HIITin julkaisuista 62 %) ja HIITin ja Aalto-yliopiston (osuus HIITin julkaisuista 48 %) kesken. Åbo Akademin tekoälyjulkaisuista 23 prosenttia tuotettiin yhteistyössä Turun yliopiston kanssa ja Tampereen yliopiston julkaisuista 20 prosenttia yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston kanssa. Muissa verkostoissa yhteisjulkaisujen osuus jäi tutkimuskumppania kohti yleensä muutamaan prosenttiin kunkin tutkimusorganisaation kaikista tekoälyjulkaisuista.

**Taulukko 2.3 Tekoälyä käsittelevien kotimaisten yhteisjulkaisujen lukumäärät 2000–2017 organisaatioittain tarkasteltuna**

Julkaisija	Aalto yliopisto	AMK:t	Helsingin yliopisto	HIIT	Itä-Suomen yliopisto	Jyväskylän yliopisto	Lappeenrannan tek. yliopisto	Oulun yliopisto	Tampereen tek. yliopisto	Tampereen yliopisto	Turun yliopisto	Vaasan yliopisto	VTT	Yliopistosairaalat	Åbo Akademi
2053 Aalto yliopisto		30	220	173	31	22	13	25	38	22	49	2	28	34	7
178 AMK:t	30		9		8	2	10	13	10	6	12	1	1	9	15
973 Helsingin yliopisto	220	9		230	37	16	8	25	16	27	37	2	17	73	16
362 HIIT	173		230		1	2		1		9	5		3	1	3
509 Itä-Suomen yliopisto	31	8	37	1		5	15	11	9	10	13		12	43	
342 Jyväskylän yliopisto	22	2	16	2	5		1	5	13	11	9		1	6	1
290 Lappeenrannan tek. yliopisto	13	10	8		15	1		3	10	2		10	7	2	4
696 Oulun yliopisto	25	13	25	1	11	5	3		12	8	12	2	14	28	1
949 Tampereen tek. yliopisto	38	10	16		9	13	10	12		65	8	1	13	38	4
327 Tampereen yliopisto	22	6	27	9	10	11	2	8	65		11		2	64	4
512 Turun yliopisto	49	12	37	5	13	9		12	8	11			9	36	56
56 Vaasan yliopisto	2	1	2				10	2	1						
362 VTT	28	1	17	3	12	1	7	14	13	2	9			10	1
295 Yliopistosairaalat	34	9	73	1	43	6	2	28	38	64	36		10		2
241 Åbo Akademi	7	15	16	3		1	4	1	4	4	56		1	2	

Ammattikorkeakoulujen ja yliopistosairaaloiden julkaisut yhdistetty.

Lähde: Scopus, aineiston käsittely: VantagePoint.

Mikäli HIITiä ja yliopistosairaalaita ei huomioida, niin korkein keskiarvo yhteisjulkaisujen osuudessa kotimaista kumppania kohden oli Helsingin (yhteisjulkaisujen osuus keskimäärin 5,4 % tutkimuskumppania kohden) ja Tampereen (5,3 %) yliopistoilla. Korkeakoulut ja tutkimuslaitokset tuottivat v. 2000–2017 keskimäärin 3,8 prosenttia julkaisuistaan jokaista kotimaista tutkimuskumppaniaan kohden. Yliopistosairaalat tekivät yhteistyötä keskimäärin 8,4 prosentissa julkaisuista yhtä tutkimuskumppania kohden. Helsingin ja Tampereen yliopistot tekivät yhteistyötä eniten yliopistosairaaloiden kanssa; 47 prosenttia Helsingin yliopistosairaalan julkaisuista tuotettiin yhteistyössä Helsingin yliopiston kanssa.

Kansainvälinen julkaisu yhteistyö on kotimaista huomattavasti laajempaa. ICT- ja sähkötekniikan alalla lähes kolmannes julkaisuista tuotettiin kansainvälisessä yhteistyössä v. 2011–2014.<sup>16</sup> Tekoälytutkimuksessa yhteisjulkaisuja oli v. 2000–2017 eniten Kiinan kansallisen tiedeakatemian CAS:n, Lontoon Imperial Collegen ja Leuvenin kuninkaallisen yliopiston kanssa Belgiassa. Imperial College, Iowan yliopisto, Karoliininen Instituutti Ruotsissa ja Kiinan CAS olivat yleisimmät tutkimuskumppanit vuosina 2015–2017.

<sup>16</sup> Suomen tieteen tila (2016, s. 33).

## 2.3 Suomen tekoälytutkimuksen tieteellinen vaikuttavuus

### Menetelmä

Soveltuvimmaksi menetelmäksi julkaisujen tieteellisen vaikuttavuuden arvioinnissa osoitettiin tieteellisesti korkeatasoisten julkaisujen<sup>17</sup> suhteellinen osuus maittain. Tarkemmaksi mittariksi valikoitui maan poikkeama 50 eniten julkaisseen maan keskiarvosta kolmessa eri huippujulkaisujen osuutta kuvaavassa mittarissa.<sup>18</sup> Koska kyseiset mittarit antavat jonkin verran toisistaan poikkeavia tuloksia, oli tarkoituksenmukaista yhdistää mittarit ja käyttää yksittäisen mittarin sijasta keskiarvoa kunkin mittarin poikkeamasta kulloisenkin tutkimusalan viidenkymmenen suurimman maan keskiarvosta. Tällä pyrittiin välttämään yksittäisen mittarin mahdollinen tuloksia vääristävä vaikutus.

Tärkeimmissä julkaisukanavissa ilmestyneiden artikkelien osuus on luonnollisesti vain yksi tutkimuksen tieteellisen vaikuttavuuden mittari, joten johtopäätöksiä analyysistä on syytä tehdä varoen. Toisaalta esimerkiksi Suomessa käytössä oleva Julkaisufoorumi-luokitus on saman tyyppinen – julkaisukanavan tason määrittelyyn tai mittaamiseen perustuva – menetelmä arvioida tutkimusta ja julkaisujen tieteellistä tasoa.<sup>19</sup> Alustava yleiskuva maan julkaisujen tieteellisestä laadusta verrattuna kansainväliseen huipputasoon eri tutkimusaloilla on tämän perusteella siten mahdollista muodostaa. Keskeisenä tavoitteena selvityksessä oli muodostaa mahdollisimman ajantasainen kuva tutkimusosaamisen tasosta Suomessa suhteessa maailman kärkeen. Valitun mittarin piti tällöin mahdollistaa myös kaikkein tuoreimman julkaisuaineiston mukaanotto. Lähtötilanne oli täten erilainen kuin esimerkiksi Suomen Akatemian Tieteen tila -selvityksessä, jossa keskeisenä mittarina ovat yksittäisten julkaisujen keräämät viittaukset.<sup>20</sup>

Huippulehtien osuutta täydentämässä on raportissa kuitenkin mukana suppea katsaus myös julkaisujen keräämistä viittauseräistä maittain. Suomea verrataan muihin Pohjoismaihin ja suurimpiin EU-maihin viittauseräisessä per julkaisu sekä h- ja i10-indeksien arvolla. Pääpaino selvityksessä on silti arvioida tutkimuksen vaikuttavuutta ja tasoa nimenomaan huippujulkaisuissa ilmestyneiden artikkelien perusteella. Eri bibliometrisia mittareita kannattaa kuitenkin hyödyntää mahdollisuuksien mukaan yhdessä, ja julkaisuviittaukset täydentävätkin kuvaa Suomen asemasta tekoälytutkimuksen kansainvälisessä kentässä, mistä syystä niitä on otettu mukaan myös tähän selvitykseen.<sup>21</sup>

<sup>17</sup> Jatkokssa lyhyesti "huippujulkaisujen".

<sup>18</sup> Publications in top 10 % of journals. Top 10 % -julkaisukanavissa ilmestyneiden julkaisujen osuus CiteScore-, SNIP- ja SJR-mittarissa. Lisää eri mittareista: <https://www.elsevier.com/authors/journal-authors/measuring-a-journals-impact>

<sup>19</sup> Koska top 10 -huippujulkaisuissa ilmestyneiden artikkelien osuus on julkaisukanavan tasoon perustuva mittari, on kyseessä ennustava mittari: mittarissa ei lasketa yksittäisten artikkelien reaalisesti keräämien viittausten määriä tietynä ajanjaksona ja verrata niitä viittausten keskimääräiseen määrään koko tutkimusosalalla, vaan ennustetaan julkaisun keräämää huomiota tutkimusyhteisössä käytetyn julkaisukanavan merkittävyyden perusteella.

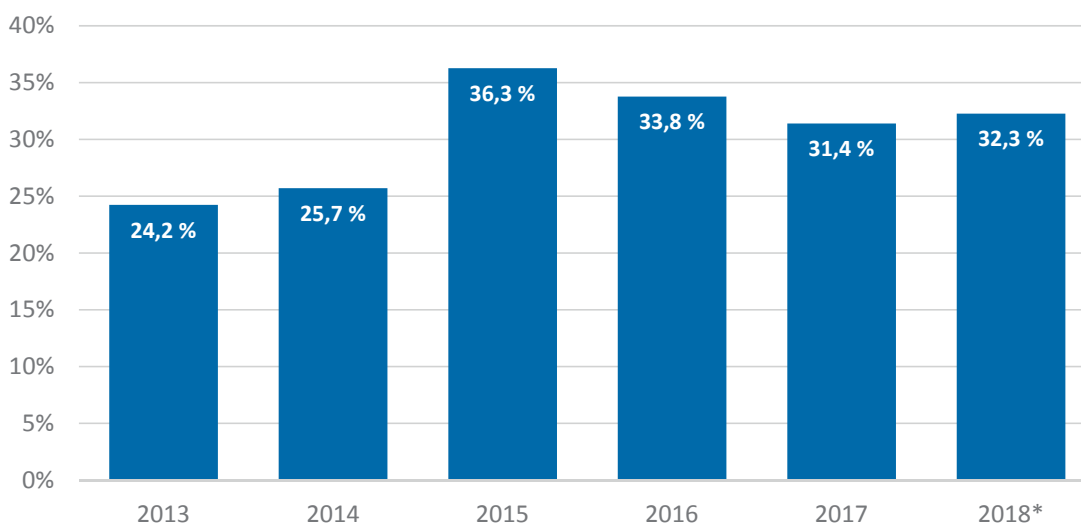
<sup>20</sup> Suomen Tieteen tila 2018 -katsauksessa julkaisuaineisto kattaa vuodet 2012–2015. Tekoälytutkimuksen nopean kehittymisen ja muutosten laajuuden takia tähän selvitykseen on otettu mukaan tutkimuslaitosten julkaisut vuoteen 2017 (osin vuoteen 2018) asti. Mittarissa ei siten ole sitä viivettä, joka syntyy artikkelien kerätessä viittauksia julkaisua seuraavien, minimissään, 2–3 vuoden aikana.

<sup>21</sup> Lisää Suomen asemasta kansainvälisen tekoälytutkimuksen kentässä: Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus, väliraportti. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-549-5>. Eräs mittari, jossa Suomi sijoittuu kansainvälisessä vertailussa suhteellisen korkealle, on yritysten ja tutkimuslaitosten / yliopistojen välinen yhteistyö. Suomi ei yllä aivan huippumaiden tasolla (mm. Israel, Irlanti, Sveitsi, Yhdysvallat, Ruotsi), mutta on selvästi yli kansainvälisen keskiarvon.

## Yleiskatsaus

Huippulehdissä ilmestyneiden julkaisujen osuudella mitaten on tekoälyjulkaisujen tieteellinen vaikuttavuus ollut viime vuosina nousussa Suomessa.<sup>22</sup> Kyseisten huippujulkaisuissa ilmestyneiden artikkelien osuus suomalaisista julkaisuista on vuoden 2015 jälkeen vakiintunut aiempaa korkeammalle tasolle, noin kolmannekseen kaikista tekoälyä käsittelevistä julkaisuista.

**Kuvio 2.3 Top 10 % -huippujulkaisujen osuus Suomessa v. 2013–2018**



Yhteensä 1 382 julkaisua. Vuoden 2018 tilanne: 5.7.2018.

Lähde SciVal.

Suomi sijoittuu keskivaiheille vertailtaessa maita huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuudella.<sup>23</sup> Viidenkymmenen v. 2013–2017 eniten julkaisseeseen maan joukossa Suomi oli 17 EU-maa viidentenä edellään Slovakia, Espanja, Belgia ja Iso-Britannia. Suomalaisen tutkijoiden artikkelit ilmestyivät keskimäärin 10 prosenttia useammin huippulehdissä kuin vertailuryhmän maiden tutkijoiden. Suomen tulos vastasi 53 prosenttia kärjessä olleen Hongkongin tuloksesta. Hongkong ja Singapore erottuivat selkeästi muista maista tässä tarkastelussa. Suurista tuottajamaista listan ulkopuolella ovat mm. Ranska (huippulehdissä ilmestyneiden julkaisujen osuus 103 %), Italia (95 %), Puola (84 %), Iran (84 %), Saksa (83 %), Intia (76 %), Venäjä (73 %) ja Japani (50 %).

Kun mittarina ovat huippulehdissä ilmestyneiden artikkelien sijaan julkaisujen keräämät viittaukset, niin kuva Suomen tekoälytutkimuksen tasosta saa lisävahvistusta. Suomalaisen tekoälytutkimuksen tuloksena syntyneet julkaisut ovat hyvää kansainvälistä tasoa julkaisujen keskimäärin keräämillä viittausmäärillä mitaten. Kuviossa 2.4 Suomea on verrattu muihin Pohjoismaihin, tutkimusvolyymltaan kymmeneen suurimpaan Euroopan unionin maahan ja Sveitsiin. Suomi on viittausten keskiarvolla mitaten tilastossa viidentenä Sveitsin, Ison-Britannian, Belgian ja Alankomaiden jälkeen. H-indeksiä on vaikeampi käyttää vertailussa, koska jul-

<sup>22</sup> Julkaisujoukko rajattu käyttämällä Elsevier SciValin tutkimusalueuokitusta: "artificial intelligence". Top 10 % -huippujulkaisujen osuus laskettu CiteScore-, SNIP- ja SJR-mittareiden keskiarvosta. Lähde: SciVal.

<sup>23</sup> Tarkempi kymmeneen tekoälyn tutkimussuuntaan kohdistuva maavertailu seuraavassa kappaleessa.

**Taulukko 2.4 Maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>24</sup>**

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Hongkong	2,09	2 372
Singapore	1,80	3 151
Australia	1,53	6 134
Israel	1,49	1 508
Saudi-Arabia	1,44	1 603
Slovakia	1,41	948
Espanja	1,39	7 352
Kanada	1,36	5 938
Belgia	1,27	1 660
Brasilia	1,26	4 526
Yhdysvallat	1,26	30 846
Iso-Britannia	1,24	11 970
Kiina	1,21	49 127
Taiwan	1,18	5 066
Kolumbia	1,18	749
Etelä-Korea	1,10	6 387
<b>Suomi</b>	<b>1,10</b>	<b>1 298</b>
Itävalta	1,09	1 530
Norja	1,09	790
Sveitsi	1,08	2 008
Turkki	1,07	2 845
Uusi-Seelanti	1,05	854

Lähde: Scopus ja SciVal.

kaisumäärät vaikuttavat jo sinällään indeksin arvoon.<sup>25</sup> Suomen h-indeksi on tässä aineistossa Pohjoismaiden korkein. Aineistona ovat v. 2008–2015 ilmestyneet tekoälyä käsittelevät julkaisut.<sup>26</sup>

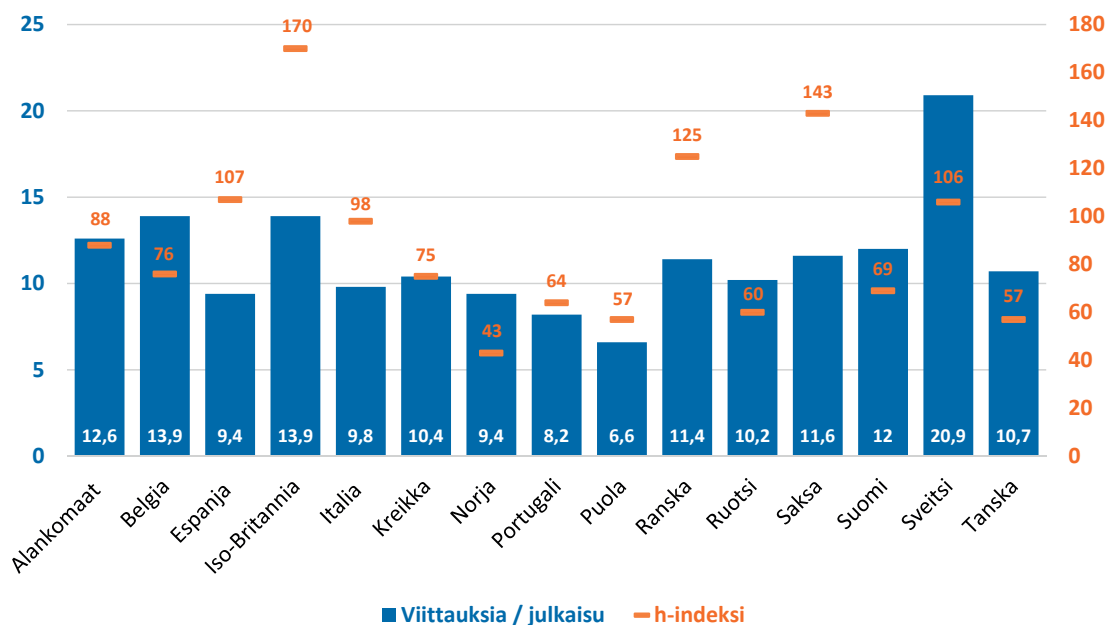
H-indeksin sijasta mittarina on usein perustellumpaa käyttää suoraviivaisempaa i10-indeksiä, jossa lasketaan niiden julkaisujen lukumäärä, joihin on viitattu vähintään kymmenen kertaa. Mikäli kyseisen i10-indeksin tulos lisäksi suhteutetaan maan julkaisujen kokonaismäärään, niin vertailu maiden välillä tulee ymmärrettävämmäksi. Suomi sijoittuu kyseisessä vertailussa viidenneksi Sveitsin ollessa selvästi muita edellä. Vertailun perusteella vaikuttaa

<sup>24</sup> Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista: keskiarvo maan poikkeamasta 50 maan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Keskiarvo on 1 ja esim. tulos 1,4 tarkoittaa, että huippujulkaisujen määrä oli 40 prosenttia korkeampi kuin 50 suurimman julkaisujen tuottajamaan viiteryhmän keskiarvo. Julkaisujoukko on rajattu käyttämällä Elsevier SciValin tutkimusalueluokitusta: "artificial intelligence". Julkaisuja oli mukana analyysissä yhteensä 209 886. Taulukossa on listattu 50:stä eniten julkaisuja tuottaneista maista ne, joiden julkaisuista vähintään 105 prosenttia ilmestyi tutkimusalan top 10 -huippulehdissä.

<sup>25</sup> H-indeksi: h-indeksi on kokonaisluku, joka saa arvon h, mikäli kaikista henkilön/ryhmän/maan N julkaisusta yhteensä h julkaisuun on viitattu muissa julkaisuissa h kertaa tai useammin ja loppuihin (N-h) julkaisuun h kertaa tai vähemmän. H-indeksi kertoo samalla sekä toimijan tai maan julkaisuvolyymistä että julkaisujen keräämien viittausten määrästä.

<sup>26</sup> Julkaisut rajattu termeillä: Artificial intelligence, Cognitive systems, Decision support systems, Deep learning, Feature extraction, Image recognition, Knowledge based systems, Knowledge representation, Learning algorithms, Learning systems, Machine learning, Natural language processing (NLP), Neural networks, Pattern recognition, Reinforcement learning, Speech recognition, Supervised learning, Transfer learning, Unsupervised learning. Lisäksi julkaisut rajattiin computer science -tutkimusalueeseen.

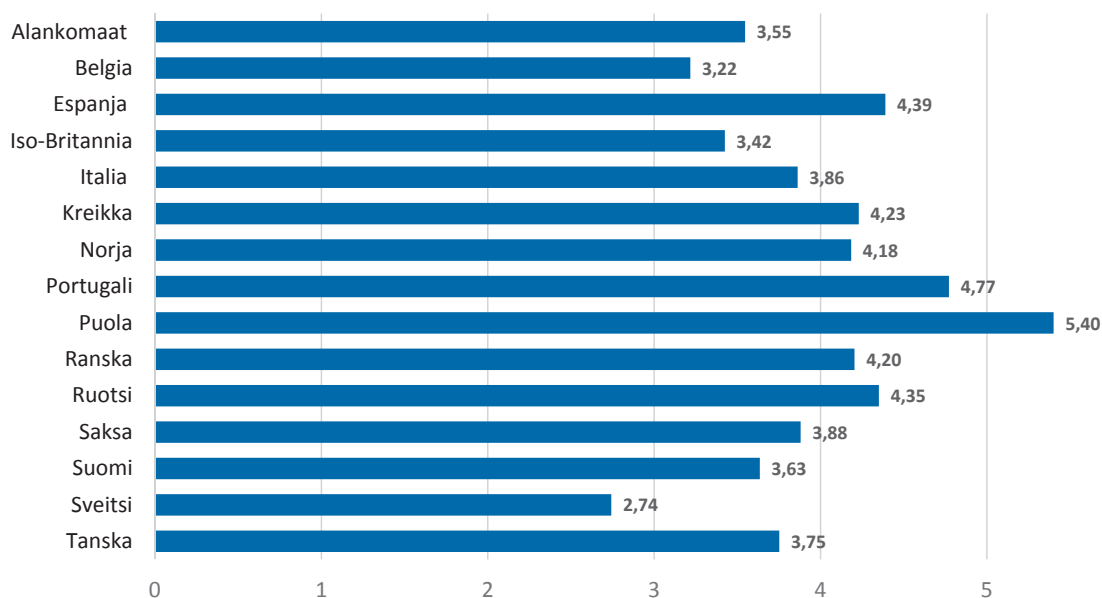
**Kuvio 2.4 Maiden tekoälyä käsittelevien julkaisujen keskimäärin keräämien viittausten lukumäärä per julkaisu ja h-indeksi**



Julkaisut vuosilta 2008–2015, viittaukset vuosilta 2008–2018. Tilanne: 15.7.–10.9.2018.

Lähde: Scopus.

**Kuvio 2.5 Julkaisujen määrä yhtä vähintään 10 viittausta kerännyttä julkaisua kohti (maan julkaisujen kokonaismäärä jaettuna maan i10-indeksillä)**



Mitä pienempi arvo on, sitä pienempi julkaisujen määrä tarvittiin tuottamaan yksi vähintään kymmenen viittausta kerännyt julkaisu. Julkaisut vuosilta 2008–2015, viittaukset vuosilta 2008–2018.

Tilanne: 15.7.–10.9.2018.

Lähde: Scopus.



siltä, että tutkimusjulkaisujen kokonaismäärään (ja siten epäsuorasti myös tutkimuspanostuksiin) nähden Suomessa tuotettiin v. 2008–2015 tieteellisesti vaikuttavia tekoälyä käsitteleviä julkaisuja huomattavan tehokkaasti.<sup>27</sup> Tekoälyjulkaisut on vertailussa rajattu yllämainitulla tavalla.

## Maavertailu

Eurooppalaisessa vertailussa Suomi menestyy hyvin: Suomessa tuotetaan viittaussmäärillä mitaten keskimäärin korkeatasoisia julkaisuja. Suomessa myös tuotetaan tieteellisesti vaikuttavia tekoälyä käsitteleviä julkaisuja keskimääräistä tehokkaammin (ks. kuvio 2.5). Selvityksessä on käytetty huippujulkaisujen osuutta verrattaessa Suomea johtavien tekoälyjulkaisuja tuottavien maiden keskiarvoon ja maailman kärkeen kymmenessä eri tekoälyn tutkimussuunnassa.

Vaikka Suomen tekoälytutkimus on kansainvälisesti katsoen hyvällä tasolla, niin tilanne vaihtelee tutkimusaloittain paljon sekä suhteessa tutkimusalan keskiarvoon että kulloiseenkin huippumaahan. Julkaisuanalyysien tuloksiin vaikuttaa aina merkittävästi käytetty tutkimussuunnan määrittelytapa. Sillä, millaiseksi tutkimussuunnan sisältö tulkitaan, on keskeinen vaikutus paitsi julkaisujoukon koostumukseen myös suoraan analysoitavien julkaisujen määrään. Julkaisujen määrällä puolestaan on merkitystä tulkittaessa valitun mittarin antamia tuloksia. Eräiden tutkimusalojen julkaisumäärät – joita tässä selvityksessä olivat erityisesti etiikka, moraalit ja regulaatio sekä järjestelmätaso ja systeemivaikutukset – ovat kansainvälisesti niin pieniä, että selvityksen tuloksiin on niiden osalta syytä suhtautua varovasti.

Yllä oleva koskee luonnollisesti jossain määrin myös kaikkia katsauksen tuloksia. Tässä selvityksessä käytössä oli tutkimusalan tärkeimmässä julkaisukanavissa ilmestyneiden artikkeleiden osuus kaikista alan julkaisuista (publications in top 10 % of journals). Valitun mittarin keskeinen etu on sen suhteellinen viiveettömyys verrattuna mittareihin, jotka perustuvat yksittäisten julkaisujen viittaussmäärien laskemiseen ja mahdolliseen normalisointiin. Näin on mahdollista saada ajantasaisempi tilannekuva Suomen tekoälytutkimuksen tämän hetkisestä tasosta. Haittapuolena on, että huippujulkaisujen määrittely sisältää aina tulinnanvaraisuuksia. Selvityksessä ongelmaa pyrittiin minimoimaan yhdistämällä kolme eri huippujulkaisujen osuutta laskevaa mittaria.<sup>28</sup>

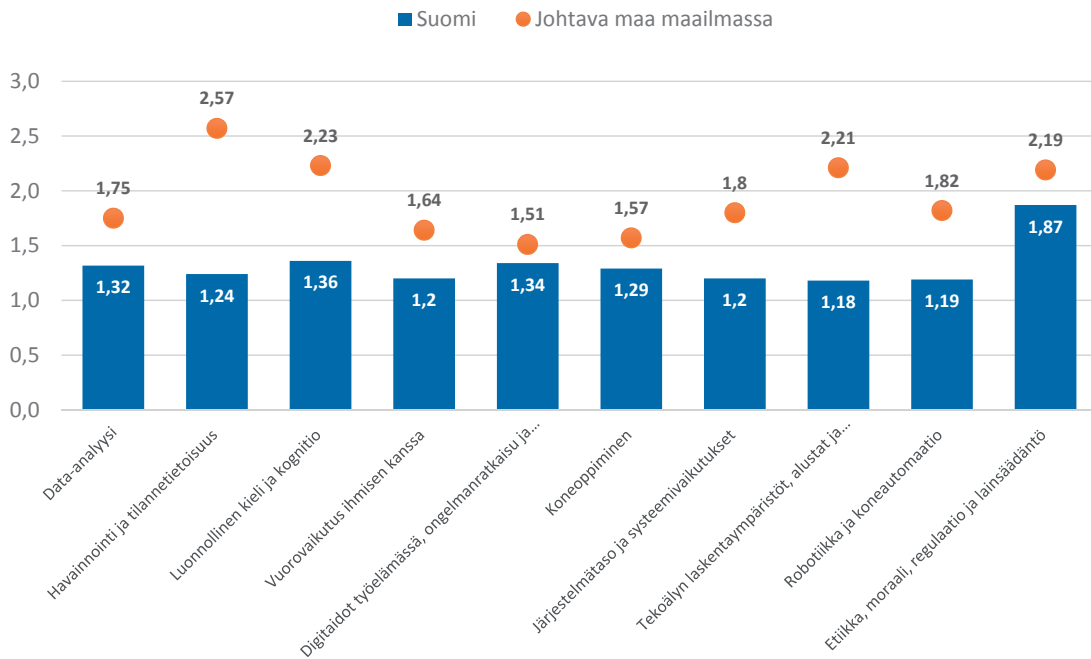
Kuviossa 2.6 on koottuna Suomen ja maailman kärkimaan poikkeamat eniten julkaisevien maiden keskiarvosta kussakin tutkimussuunnassa. Tulosten perusteella Suomen tekoälytutkimus on hyvällä kansainvälisellä tasolla.

Tarkasteltaessa huippujulkaisujen osuutta ja verrattaessa sitä maiden keskiarvoon pärjäsi Suomi parhaiten Etiikka, moraalit ja regulaatio -tutkimussuunnassa. Yllä mainittu kyseisen tutkimussuunnan julkaisumäärien pienuus tekee tuloksen tulinnan kuitenkin haasteelliseksi. Isoimmista tutkimussuunnista Suomi pärjäsi parhaiten Luonnollinen kieli ja kognitio- sekä Digitaalidot työelämässä -tutkimussuunnassa. Jälkimmäisessä myös ero maailmaan kärkeen oli kaikkein pienin. Myös data-analyysi ja koneoppiminen voidaan nostaa esiin tutkimusaloina, joissa Suomi v. 2013–2017 tuotti jatkuvasti tieteellisesti merkittävää tutkimusta. ”Havainnointi ja tilannetietoisuus” -tutkimussuunnassa Suomen ero maailman kärkeen on kaikkein suurin, johtavan maan suhteellisen tuloksen ollessa toisaalta kyseisessä tutkimussuunnassa myös kaikkein korkein.

<sup>27</sup> Yhtä vähintään kymmenen viittausta kerännyttä julkaisua kohti tarvittiin Suomessa 3,6 julkaisua.

<sup>28</sup> Ks. kappaleen 2.3 kohta Menetelmä sivuilla 22–23.

**Kuvio 2.6 Huippujulkaisuissa ilmestyneiden artikkeleiden osuus kaikista julkaisuista**



Suomi ja maailman kärki verrattuna 50 suurimman julkaisuja tuottavan maan keskiarvoon kymmenessä tekoälyn tutkimussuunnassa v. 2013–2017 (poikkeama top 10 -mittarien keskiarvosta). 50 maan keskiarvo = 1.

Lähde: Scopus ja SciVal.

## Tekoälyn tutkimussuunnat

### 1. Data-analyysi

Data-analyysi on mm. osa datatieteeksi kutsuttua tieteellisen tutkimuksen kehitysvaihetta ja nopeasti kasvava tutkimusaihe maailmalla. Suomi sijoittuu korkealle vertailtaessa maista huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuudella. Viidenkymmenen v. 2013–2017 eniten julkaisseen maan joukossa Suomi oli sijalla seitsemän. EU-maista Suomi oli neljännenä edellään Tanska, Belgia ja Alankomaat, joiden tulos oli kuitenkin hyvin lähellä Suomea. Suomalaisien tutkijoiden artikkelit ilmestyivät keskimäärin 32 prosenttia useammin huippulehdissä kuin vertailuryhmän maiden tutkijoiden. Suomen tulos oli 75 prosenttia johtavan Hongkongin tuloksesta. Hongkong erottui vertailussa selkeästi muista maista.

**Taulukko 2.5 Data-analyysi: maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>29</sup>**

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Hongkong	1,75	914
Singapore	1,51	857
Sveitsi	1,39	1 339
Tanska	1,38	697
Belgia	1,37	1 032
Alankomaat	1,33	1 760
Suomi	1,32	681
Australia	1,32	3 150
Yhdysvallat	1,30	18 216
Iso-Britannia	1,29	5 777
Israel	1,27	529
Espanja	1,25	3 021
Ruotsi	1,24	1 026
Ranska	1,24	3 084
kanada	1,23	3 129
Chile	1,20	445
Italia	1,17	3 065
Irlanti	1,16	446
Saksa	1,13	4 420
Uusi-Seelanti	1,11	419

<sup>29</sup> Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista: keskiarvo maan poikkeamasta 50 maan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Julkaisutyypeistä mukana vain alkuperäisartikkelit tieteellisissä lehdissä. Julkaisuja yhteensä 77 465. Lähde: Scopus ja SciVal.

## 2. Havainnointi ja tilannetietoisuus

Havainnointiin ja ympäristön seurantaan liittyvät tekoälysovellukset ovat jatkuvasti lisääntyvän tutkimuksen kohde maailmalla. Suomessa kone- ja tietokonenäköä on tutkittu jo 1980-luvulta lähtien.<sup>30</sup> Tarkasteltavien tutkimusjulkaisujen ulkopuolelle rajattiin tässä yhteydessä kuvien tunnistamiseen ja käsittelyyn suoraan liittyvät julkaisut<sup>31</sup>. Maavertailussa Suomi oli kuudestoista. Huippulehdissä ilmestyneiden artikkelien osuus oli 24 prosenttia eniten julkaisseiden maiden keskiarvoa suurempi. EU-maista Suomi oli vuosien 2013–2017 julkaisuja tarkasteltaessa yhdeksäntenä edellään muista Pohjoismaista Ruotsi ja Tanska. Suomen huippujulkaisujen osuus oli 48 prosenttia maavertailun kärjessä selvästi olevan Hongkongin tuloksesta. Myös Israelissa, Singaporessa ja Sveitsissä huippujulkaisujen osuus kaikista alan julkaisuista oli yli kaksinkertainen 50 maan keskiarvoon verrattuna.

**Taulukko 2.6 Havainnointi ja tilannetietoisuus: maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>32</sup>**

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Hongkong	2,57	1 005
Israel	2,09	382
Singapore	2,05	1 365
Sveitsi	1,94	940
Yhdysvallat	1,85	12 926
Australia	1,81	2 464
Kanada	1,48	2 436
Iso-Britannia	1,47	4 132
Belgia	1,45	581
Alankomaat	1,45	791
Itävalta	1,39	573
Ruotsi	1,37	514
Ranska	1,33	2 815
Tanska	1,32	336
Saksa	1,29	3 609
<b>Suomi</b>	<b>1,24</b>	<b>572</b>
Irlanti	1,21	228
Espanja	1,14	2 578
Chile	1,10	225
Italia	1,08	2 437
Etelä-Korea	1,07	2 800
Saudi-Arabia	1,06	617
Norja	1,02	324

30 Konenäön kehittämiseen liittyvää perus- ja soveltavaa tutkimusta on tehty 1980-luvulta alkaen varsinkin Oulun yliopistossa mm. Matti Pietikäisen johdolla sekä Teknillisessä korkeakoulussa Espoossa.

31 Mm. seuraavat tutkimusalat eivät ole selvityksessä mukana: image analysis, image classification, image interpretation, image segmentation, medical imaging. Sen sijaan esim. pattern recognition ja face recognition ovat mukana. Ks. tarkemmin Liite 2.

32 Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista: keskiarvo maan poikkeamasta 50 suurimman tuottajamaan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Julkaisuja yhteensä 118 064. Lähde: Scopus ja SciVal.

### 3. Luonnollinen kieli ja kognitio

Luonnollisen kielen käsittely ja viime vuosina erityisesti puheen tulkinta ovat tekoälyn keskeisiä tutkimusalueita maailmalla. Suomi sijoittuu keskivaiheille vertailtaessa maita huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuudella.<sup>33</sup> Viidenkymmenen v. 2013–2017 eniten julkaisseen maan joukossa Suomi oli 15. EU-maista Suomi oli neljäntenä edellään Belgia, Alankomaat ja Iso-Britannia. Suomalaisten tutkijoiden artikkelit ilmestyivät keskimäärin 36 prosenttia useammin huippulehdissä kuin vertailuryhmän maiden tutkijoiden. Suomen tulos oli 61 prosenttia johtavan Hongkongin tuloksesta. Hongkong erottui poikkeuksellisen selvästi muista johtavista maista tässä tutkimussuunnassa ja kyseisessä vertailussa.

**Taulukko 2.7 Luonnollinen kieli ja kognitio: maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>34</sup>**

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Hongkong	2,23	568
Singapore	1,82	937
Qatar	1,82	210
Yhdysvallat	1,69	12 080
Israel	1,66	385
Belgia	1,63	566
Iso-Britannia	1,53	3 885
Australia	1,52	1 662
Sveitsi	1,50	660
Alankomaat	1,46	1 064
Taiwan	1,45	1 064
Uusi-Seelanti	1,45	221
Saudi-Arabia	1,42	476
Kanada	1,39	1 905
<b>Suomi</b>	<b>1,36</b>	<b>599</b>
Espanja	1,31	2 226
Tanska	1,23	332
Turkki	1,21	684
Pakistan	1,17	291
Kreikka	1,14	718
Iran	1,09	859
Norja	1,07	310
Ruotsi	1,06	621
Etelä-Korea	1,06	1 209
Italia	1,01	2 706

<sup>33</sup> Suomessa pitkäjänteistä luonnollisen kielen tutkimusta on tehty mm. kansallisen semanttisen webin ja ontologian infrastruktuureja kehittäneissä prof. Eero Hyvösen johtamissa tutkimusryhmissä Aalto yliopistossa ja Helsingin yliopistossa.

<sup>34</sup> Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista: keskiarvo maan poikkeamasta 50 suurimman tuottajaan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Julkaisuja yhteensä 60 212. Lähde: Scopus ja SciVal.

#### 4. Vuorovaikutus ihmisen kanssa

Laaja-alaisen ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutusta koskevan tutkimuksen lisäksi esimerkiksi erilaisiin suosittelujärjestelmiin ja nk. chatboteihin liittyvä tutkimus on ollut vahvassa kasvussa maailmalla viime vuosina. Suomen tulos oli lähellä keskiarvoa vertailtaessa maita huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuudella. Viidenkymmenen vuosina 2013–2017 eniten julkaisseen maan joukossa Suomi oli 15. EU-maista Suomi oli seitsemäntenä edellään mm. Belgia, Alankomaat ja Iso-Britannia. Suomalaisten tutkijoiden artikkelit ilmestyivät keskimäärin 20 prosenttia useammin huippulehdissä kuin vertailuryhmän maiden tutkijoiden. Suomen tulos oli 73 prosenttia johtavan Hongkongin tuloksesta. Huomattavaa on, että kärki tässä tutkimussuunnassa oli tasaisempi kuin erällä muilla tutkimusaluilla. Ero eniten huippulehdissä julkaisseen Hongkongin ja muiden kärkipään maiden välillä oli suhteellisen pieni.

**Taulukko 2.8 Vuorovaikutus ihmisen kanssa: maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>35</sup>**

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Hongkong	1,64	298
Belgia	1,52	427
Singapore	1,51	480
Alankomaat	1,46	1 157
Israel	1,46	258
Sveitsi	1,45	735
Yhdysvallat	1,39	8 456
Iso-Britannia	1,39	2 420
Australia	1,29	1 085
Ranska	1,26	1 301
Uusi-Seelanti	1,26	129
Kanada	1,26	1 365
Norja	1,24	210
Itävalta	1,21	367
<b>Suomi</b>	<b>1,20</b>	<b>264</b>
Tanska	1,19	306
Yhdistyneet arabiemiirikunnat	1,18	52
Saksa	1,18	2 752
Chile	1,17	72
Taiwan	1,13	731
Espanja	1,09	1 183
Ruotsi	1,09	487
Etelä-Afrikka	1,08	61
Saudi-Arabia	1,04	211
Italia	1,02	1 475

<sup>35</sup> Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista; keskiarvo maan poikkeamasta 50 suurimman tuottajamaan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Julkaisuja yhteensä 30 554. Lähde: Scopus ja SciVal.

## 5. Digitaidot työelämässä, ongelmanratkaisu ja laskennallinen luovuus

Erlaiset päättelymallit, ennakointi, heuristiset algoritmit ja päättelyn tuki yleisemminkin ovat pitkään olleet keskeinen osa tekoälyn tutkimusta. Tekoälyn hyödyntäminen taiteen, musiikin ja esim. runouden tuottamisessa on ollut viime vuosina erityisen kiinnostuksen kohteena. Suomi sijoittuu korkealle vertailtaessa maita huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuudella. Viidenkymmenen v. 2013–2017 eniten julkaisseen maan joukossa Suomi oli jaetulla 4. sijalla. EU-maista Suomi oli toisena yhdessä Belgian kanssa, käytännössä samalla tasolla Alankomaiden kanssa. Suomalaisten tutkijoiden artikkelit ilmestyivät keskimäärin 34 prosenttia useammin huippulehdissä kuin vertailuryhmän maiden tutkijoiden. Suomi oli myös lähellä kansainvälistä kärkeä tuloksen ollessa 89 prosenttia johtavan Hongkongin tuloksesta. Myös tässä tutkimussuunnassa ero eniten huippulehdissä julkaisseen Hongkongin ja muiden maiden välillä oli suhteellisen pieni.

**Taulukko 2.9** Digitaidot työelämässä, ongelmanratkaisu ja laskennallinen luovuus: maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>36</sup>

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Hongkong	1,51	696
Singapore	1,45	678
Alankomaat	1,36	1 411
Belgia	1,34	728
Chile	1,34	228
Suomi	1,34	383
Sveitsi	1,30	691
Tanska	1,30	439
Israel	1,27	352
Iso-Britannia	1,26	3 868
Australia	1,26	2 149
Yhdysvallat	1,25	11 410
Kanada	1,20	2 548
Espanja	1,20	2 327
Ruotsi	1,19	660
Norja	1,18	381
Ranska	1,18	1 933
Itävalta	1,17	511
Saksa	1,14	2 233
Italia	1,13	2 023

<sup>36</sup> Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista: keskiarvo maan poikkeamasta 50 suurimman tuottajaan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Julkaisuja yhteensä 51 243. Lähde: Scopus ja SciVal.

## 6. Koneoppiminen

Oppiviin järjestelmiin ja tilastolliseen oppimiseen liittyvä suuria data-aineistoja hyödyntävä tutkimus sekä erityisesti syviin neuroverkkoihin panostavien menetelmien kehittäminen se-  
littävät pitkälti tekoälyjulkaisujen määrän nopean kasvun viime vuosina. Suomi sijoittuu suhteellisen korkealle vertailtaessa maita huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuudella. Viidenkymmenen v. 2013–2017 eniten julkaisseen maan joukossa Suomi oli 11. ja EU-maista viidentenä edellään Alankomaat, Belgia, Tanska ja Iso-Britannia. Suomalaisten tutkijoiden artikkelit ilmestyivät huippulehdissä keskimäärin 29 prosenttia vertailuryhmän maiden keskiarvoa useammin. Suomen tulos vastasi 82 prosenttia johtavan Hongkongin tuloksesta. Myös koneoppimisessa maailman kärki oli tasainen. Erot maiden välillä olivat hyvin pieniä, kun mittarina käytettiin huippulehtien osuutta kaikista tutkimussuunnan julkaisukanavista.

**Taulukko 2.10 Koneoppiminen: maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>37</sup>**

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Hongkong	1,57	822
Israel	1,55	328
Alankomaat	1,47	794
Sveitsi	1,44	666
Belgia	1,44	565
Singapore	1,44	1 025
Australia	1,39	2 234
Tanska	1,35	316
Yhdysvallat	1,33	11 302
Iso-Britannia	1,31	3 831
Suomi	1,29	392
Saksa	1,27	2 243
Irlanti	1,23	258
Norja	1,23	246
Ruotsi	1,22	462
Ranska	1,21	1 872
Kanada	1,21	2 301
Espanja	1,17	2 421
Uusi-Seelanti	1,14	236
Italia	1,13	2 058
Chile	1,11	217
Itävalta	1,11	340
Yhdistyneet arabiemiirikunnat	1,08	220
Portugali	1,05	632
Kreikka	1,00	626

<sup>37</sup> Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista: keskiarvo maan poikkeamasta 50 suurimman tuottajamaan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Ainoastaan lehdissä ilmestyneet alkuperäisartikkelit mukana. Julkaisuja yhteensä 73 979. Lähde: Scopus ja SciVal.



## 7. Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset

Kyseessä on suhteellisen pieni tekoälyn tutkimussuunta. Suomi sijoittuu selkeästi keskiarvoa ylemmäksi vertailtaessa maita huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuudella. Viidenkymmenen v. 2013–2017 eniten julkaisseiden maan joukossa Suomi oli 13. EU-maista Suomi oli neljäntenä edellään Alankomaat, Belgia ja Tanska. Suomalaisten tutkijoiden artikkelit ilmestyivät keskimäärin 20 % useammin huippulehdissä kuin vertailuryhmän maiden tutkijoiden. Suomen tulos oli 67 % johtavan Macaon tuloksesta. Macaon ja eräiden muiden kärkimaiden julkaisumäärät olivat tutkimussuunnassa kuitenkin hyvin pieniä, joten tarkempia johtopäätöksiä maiden tutkimusjulkaisujen tasosta ei tämän tarkastelun pohjalta voida vielä tehdä.

**Taulukko 2.11 Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset: maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>38</sup>**

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Macao	1,80	32
Hongkong	1,56	146
Alankomaat	1,44	95
Australia	1,43	332
Uusi-Seelanti	1,37	36
Belgia	1,35	62
Singapore	1,32	188
Norja	1,30	31
Israel	1,30	30
Sveitsi	1,27	56
Yhdysvallat	1,27	1 068
Tanska	1,25	32
Suomi	1,20	65
Kanada	1,19	299
Kreikka	1,19	81
Iso-Britannia	1,16	453
Ruotsi	1,14	42
Saksa	1,10	225
Qatar	1,08	81
Irlanti	1,07	33
Romania	1,06	37
Italia	1,03	266
Ranska	1,01	236

<sup>38</sup> Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista: keskiarvo maan poikkeamasta 50 suurimman tuottajamaan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Vain lehtiartikkelit mukana. Julkaisuja yhteensä 8 005. Lähde: Scopus ja SciVal.

## 8. Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit

Isojen datamäärien optimaalisella hallinnalla, hallintaan liittyvillä palveluilla ja laskennan infrastruktuurilla on merkittävä rooli erityisesti koneoppimisen ja data-analytiikan kehityksessä. Suomi sijoittuu keskivaiheille vertailtaessa maita huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuudella. Vuosina 2013–2017 eniten julkaistujen maan joukossa Suomi oli sijalla 20 yhdessä Ruotsin ja Tunisian kanssa. EU-maista Suomi oli seitsemäntenä edellään mm. Belgia, Tanska ja Alankomaat. Suomalaisten tutkijoiden artikkelit ilmestyivät keskimäärin 18 prosenttia useammin huippulehdissä kuin vertailuryhmän maiden tutkijoiden. Suomen tulos vastasi 53 prosenttia johtavan Hongkongin tuloksesta. Myös tässä tutkimussuunnassa julkaisumäärät olivat v. 2013–2017 suhteellisen pieniä, joten analyysin pohjalta tehtäviä yleistyksiä on syytä välttää.

**Taulukko 2.12** Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit: maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>39</sup>

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Hongkong	2,21	128
Singapore	2,00	154
Australia	1,84	430
Yhdysvallat	1,83	2 724
Etelä-Korea	1,70	277
Taiwan	1,64	248
Belgia	1,62	101
Kanada	1,44	409
Tanska	1,43	51
Alankomaat	1,39	148
Iso-Britannia	1,38	752
Thaimaa	1,33	71
Turkki	1,31	331
Sveitsi	1,30	176
Iran	1,30	131
Espanja	1,29	502
Irlanti	1,28	115
Kiina	1,19	2 831
Israel	1,19	72
Suomi	1,18	113
Ruotsi	1,18	118
Tunisia	1,18	99
Italia	1,11	499

<sup>39</sup> Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista: keskiarvo maan poikkeamasta 50 suurimman tuottajaan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Julkaisuja yhteensä 14 540. Mukana kaikki julkaisutyypit. Lähde: Scopus ja SciVal.

## 9. Robotiikka ja koneautomaatio – tekoälyn fyysinen ulottuvuus

Robotiikka ja koneautomaatio ovat perinteisesti olleet erittäin isoja tutkimusaiheita maailmalla. Suomi sijoittuu lähelle keskitasoa vertailtaessa maita huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuudella. Viidenkymmenen v. 2013–2017 eniten julkaisseeseen maan joukossa Suomi oli 19. Italian ja Etelä-Korean jälkeen. EU-maista Suomi oli kuudentena edellään mm. Pohjoismaista Ruotsi ja Norja. Suomalaisten tutkijoiden artikkelit ilmestyivät keskimäärin 19 prosenttia useammin huippulehdissä kuin vertailuryhmän maiden tutkijoiden. Suomen tulos oli 65 prosenttia johtavan Belgian tuloksesta. Robotiikka ja koneautomaatio olivat tässä selvityksessä ainoa tutkimussuunta, jossa – paitsi ilmestyi suhteellisen paljon julkaisuja v. 2013–2017 – oli huippujulkaisujen osuutta tarkasteltaessa kärjessä jokin muu maa kuin Hongkong (tai Macao, jos myös pienet julkaisumäärät huomioidaan).

**Taulukko 2.13 Robotiikka ja koneautomaatio – tekoälyn fyysinen ulottuvuus: maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>40</sup>**

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Belgia	1,82	729
Hongkong	1,73	709
Israel	1,73	484
Alankomaat	1,70	1 346
Ruotsi	1,61	882
Sveitsi	1,55	1 463
Australia	1,46	1 984
Norja	1,43	332
Singapore	1,41	1 209
Yhdysvallat	1,40	18 805
Kanada	1,39	2 734
Iso-Britannia	1,31	4 679
Uusi-Seelanti	1,30	383
Chile	1,25	187
Saudi-Arabia	1,25	235
Yhdistyneet arabiemiirikunnat	1,22	190
Italia	1,20	4 520
Etelä-Korea	1,20	3 411
<b>Suomi</b>	<b>1,19</b>	<b>380</b>
Kreikka	1,15	686
Ranska	1,12	3 222
Espanja	1,11	2 515
Iran	1,04	1 046
Irlanti	1,04	244
Saksa	1,01	6 033

<sup>40</sup> Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista: keskiarvo maan poikkeamasta 50 suurimman tuottajamaan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Julkaisuja yhteensä 77 030. Mukana kaikki julkaisutyypit. Lähde: Scopus ja SciVal.

## 10. Etiikka, moraalit, regulaatio ja lainsäädäntö

Eettiset, moraaliset ja lainsäädännölliset kysymykset ovat toistaiseksi hyvin pieni mutta samalla kuitenkin kasvava tekoälyn tutkimussuunta. Suomi sijoittuu korkealle vertailtaessa maita huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuudella. Viidenkymmenen v. 2013–2017 eniten julkaisseen maan joukossa Suomi oli sijalla viisi, EU-maista Suomi oli kolmantena. Suomalaisten tutkijoiden artikkelit ilmestyivät keskimäärin 87 prosenttia useammin huippulehdissä kuin vertailuryhmän maiden tutkijoiden. Suomen tulos oli 84 prosenttia johtavan Hongkongin tuloksesta. Koska julkaisumäärät tutkimussuunnassa olivat v. 2013–2017 maailmalla hyvin pieniä, niin tarkempia johtopäätöksiä eri maiden tutkimusjulkaisujen tasosta ei pelkästään tämän tarkastelun pohjalta voida kuitenkaan tehdä. Ylivoimaisesti eniten julkaisuja tuotettiin Yhdysvalloissa. Huomattavaa on myös, että Kiinassa tutkimusalan julkaisuja tuotettiin vasta kolmanneksi eniten Yhdysvaltojen ja Ison-Britannian jälkeen.<sup>41</sup>

**Taulukko 2.14 Etiikka, moraalit, regulaatio ja lainsäädäntö: maat, joilta ilmestyi suhteellisesti eniten artikkeleita huippujulkaisuissa v. 2013–2017<sup>42</sup>**

Maa	Huippujulkaisujen osuus (n x keskiarvo)	Julkaisuja 2013–2017
Hongkong	2,19	20
Kolumbia	2,05	7
Belgia	1,98	41
Tseki	1,89	15
Suomi	1,87	25
Singapore	1,84	30
Yhdysvallat	1,73	859
Uusi-Seelanti	1,73	25
Kanada	1,70	121
Iran	1,67	34
Taiwan	1,65	30
Brasilia	1,56	36
Israel	1,44	25
Australia	1,41	117
Sveitsi	1,37	74
Iso-Britannia	1,34	318
Norja	1,33	19
Tanska	1,25	28
Irlanti	1,17	21
Meksiko	1,14	14
Italia	1,08	241
Argentiina	1,06	10
Alankomaat	1,04	128
Etelä-Korea	1,03	70

<sup>41</sup> Yhteensä 290 julkaisua. Ei mukana taulukossa.

<sup>42</sup> Top 10 % -huippulehdissä ilmestyneiden artikkeleiden osuus maan kaikista kyseisen tutkimusalan lehtiartikkeleista: keskiarvo maan poikkeamasta 50 suurimman tuottajaan keskiarvosta kussakin kolmessa mittarissa (CiteScore, SNIP, SJR). Julkaisuja yhteensä 3 237. Mukana kaikki julkaisutyytit. Lähde: Scopus ja SciVal.

## 2.4 Tutkimusosaamisen edellytykset ja haasteet tulevaisuudessa

Tekoälytutkimuksen haasteet Suomessa voidaan jakaa huippututkimuksen edellytyksiin liittyviin kysymyksiin ja toisaalta tutkimusosaamisen soveltamisen, hyödyntämisen ja kaupallistamisen haasteisiin yritys kentässä ja julkisella sektorilla. Raportin painopiste on jälkimmäisissä kysymyksissä, mutta tässä kappaleessa tarkastellaan myös korkeatasoiseen tekoälytutkimukseen Suomessa suoraan liittyviä haasteita. Lähteenä katsauksessa on käytetty suomalaisen tutkimusrahoituksen avainhenkilöiden ja tekoälytutkijoiden haastatteluja.<sup>43</sup>

### Tekoälytutkimus Suomessa on hyvällä kansainvälisellä tasolla

Suomalainen tekoälytutkimus on sekä julkaisuanalyysien että asiantuntija-arvioiden perusteella hyvää kansainvälistä tasoa. Suomesta on löydettävissä paitsi pitkän ja vahvan tradition omaavia tutkimussuuntia myös tekoälyn tämän hetkistä huippututkimusta.

Selkeää huippuosaamista katsotaan Suomessa olevan mm. konenäön tutkimuksessa ja laskennallisessa data-analysissä. Koneenäön tutkimuksella on pitkä taustansa Suomessa: tutkimustyö aloitettiin Oulun yliopistossa jo 1980-luvun alussa. Myös isojen data-aineistojen käsittelyssä ja analytiikassa on Suomessa pitkä tutkimusperinne.

Syviin neuroverkkoihin perustuva ohjattu ja ohjaamaton oppiminen ovat olleet tekoälytutkimuksen useiden viimeaikaisten näyttävien läpimurtojen taustalla maailmalla. Neuroverkkojen tutkimus alkoi Suomessa Teuvo Kohosen johdolla Teknisessä korkeakoulussa 1980-luvulla. Neuroverkkoihin liittyvän koneoppimisen ydinosaamisen katsotaan Suomessa olevan nykyisin korkealla kansainvälisellä tasolla ja eräs Suomen tekoälytutkimuksen vahvuuksista. Uusia, jo melko vahvoiksi arvioituja tutkimussuuntia, ovat mm. probabilistinen mallintaminen ja affektiivinen laskenta.

Suomelle on tyypillistä, että vahva osaaminen ei rajoitu pelkästään tiettyihin tekoälyn ydinteknologioihin. Suomessa on hyvää geneeristä osaamista digitaalisten palvelujen tuottamisessa sekä järjestelmätason ratkaisujen kehittämisessä. Suomessa on myös paljon osaamista tekoälyä läheisesti sivuavilla tutkimusaloilla kuten signaalinkäsittelyssä, elektroniikassa ja radiotekniikassa, algoritmien teoreettisessa tutkimuksessa sekä uusina esimerkkeinä reunalaskennassa ja 6G-teknologiassa. Näitä on Suomessa myös yhdistetty onnistuneesti tekoälyyn. Hyvä esimerkki tekoälyn ja elektroniikan yhdistämisestä on Tampereen teknillisen yliopiston sensorifuusioon liittyvä tutkimus, jossa kognitiivisuutta on tuotu mukaan antureihin. Osaamisen ja teknologioiden yhdistäminen on tärkeää myös yritysten kannalta, sillä pelkkä tekoälyosaaminen tuo harvoin yksistään kilpailuetua yritykselle.

Tekoälyssä tutkimussuuntausten syklit ovat nykyisin nopeita, usein vain muutamien vuosien mittaisia. Nopealiikkeisyyden mahdollistaa osaltaan tutkimuksen riippumattomuus isoista tutkimusinfraan liittyvistä panostuksista ja resursseista. Riittävätkö tässä nopeassa muutostilanteessa Suomen nykyiset tutkimusvahvuudet? Onko tekoälyn tutkimus Suomessa optimaalisesti suunnattua ja ollaanko Suomessa riittävästi tutkimuksen hermolla vai edetäänpö meillä liiaksi vakiintuneiden tutkimusalojen varassa?

<sup>43</sup> Ks. haastattelut: Liite 2.

## Tekoälytutkimuksen kohdentaminen kapeammille vahvuusalueille

Ei ole itsestään selvää, että Suomen kannattaa panostaa suhteellisen pieniä tutkimusresurssejaan aloille, joihin suurimmat tutkimusmaat – kuten Yhdysvallat, Kiina ja esimerkiksi Intia – jo ovat sijoittaneet isoja resursseja. Esimerkiksi koneoppimista ja sen alateknologioita käsittelevien julkaisujen määrä maailmalla lähes kaksi ja puolikertaistui v. 2013–2017 yhteensä lähes 30 000 julkaisuun vuodessa.<sup>44</sup> Suomelle on tärkeää löytää ne tutkimuksen kapeikot ja katvealueet, joka jäävät isoilta toimijoilta ja suurilta mailta vähemmälle huomiolle. Suomen tulee löytää aukot tutkimuskentässä ja osaamisessa, eikä yrittää kilpailla esimerkiksi Googlen tapaisten kansainvälisten suuryritysten resurssien kanssa. Esimerkiksi laskennallinen data-analyysi kerää yrityksissä nykyisin jo huomattavia tutkimuspanostuksia, ja voidaanakin perustellusti esittää, että data-analyysin huippuosaaminen on jo siirtynyt yliopistoista kansainvälisiin suuryrityksiin.

Huippututkimuksen niche-alueita voisivat Suomelle olla esimerkiksi koneoppivien algoritmien läpinäkyvyyden tutkimus, valikoitujen koneoppimisen menetelmien soveltaminen Suomessa perinteisesti vahvaan data-analytiikkaan tai todennäköisyyslaskentaan tukeutuva ohjelmointi (probabilistic programming), jota Suomessa tutkitaan erityisesti Helsingin yliopistossa ja Aalto-yliopistossa. Eräs mahdollisuus Suomelle on tekoälyä hyödyntävien ratkaisujen luotettavuuden ja turvallisuuden varmistaminen aloilla, joilla regulaatioon nojauva luotettavuus on erityisen kriittistä, esimerkiksi terveyden- ja sairaanhoidossa.<sup>45</sup> Tutkimusmaailmassa ketteryyden on ylipäätään tärkeää, eikä Suomen kokoisessa maassa ketterälle tutkimukselle pitäisi olla olemassa mitään merkittäviä esteitä.

Tekoälytutkimukselle – ja erityisesti syviin neuroverkkoihin perustuvalla koneoppimiselle – on tyypillistä suhteellisen nopeiden muutosten ohella kokeilukulttuuri. Jo muutamassa viikossa pystytään tuottamaan alustavia tuloksia mallien ja menetelmien soveltamisessa uuteen tutkimusongelmaan ja aineistoon.

Tuloksia syntyy nopeissa kokeiluissa usein yrityksen ja erehdyksen kautta, jolloin erääksi haasteeksi muodostuu tutkimuksen tieteellisen tason arviointi. Kokeiluun kannustavalle lähestymistavalle on tyypillistä, että vain onnistumiset tunnetaan; epäonnistumisia ei dokumentoida samalla tavalla, vaikka myös epäonnistumisten analysointi ja arviointi kuuluvat hyvään tieteenteon käytäntöön. Kokeilevan toimintavan lisäksi tekoälytutkimuksessa on yliopistoissa myös perinteisempää pitkän elinkaaren tutkimusta. Yksi tutkimuksen haaste Suomessa on näiden kahden toimintamallin – lyhytkestoisien pikakokeilun ja pitkäkestoisien tutkimuksen – väliin jäävä alue, missä tekoälyn tutkimus etenee vähitellen, portaittain, kuitenkin ilman varsinaista tutkimuksen ”viisivuotissuunnitelmaa”. Löytyykö tätä tutkimuksen välimuotoa Suomesta riittävästi ja niin, että myös yritykset voivat päästä siitä osalliseksi?

Julkisen tutkimusrahoituksen määrällinen riittävyys ja osuva suuntaaminen ovat keskeisiä tekijöitä kaikessa huippututkimuksessa. Tutkimuskentän potentiaalinen laajuus asettaa suuntaamiselle erityisiä haasteita tekoälytutkimuksessa. Rahoituksen haasteena ei siten ole ainoastaan resurssien rajallisuus, vaan mahdollisten rahoituskohteiden suuri hajonta. Kuinka löytää parhaat kohteet tekoälytutkimuksen julkiselle rahoitukselle eri tilanteissa? Yritysten, tutkimuslaitosten ja yliopistojen tutkimusyhteistyötä tukevan ja tutkimuksen kau-

<sup>44</sup> Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus, Väiliraportti. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-549-5>

<sup>45</sup> Tähän yhteyteen liittyy myös keskustelu tekoälyn kokonaisturvallisuudesta. ”Suomi on kansainvälisesti arvostettu edelläkävijä kokonaisturvallisuuden ja tekoälyn alueilla. Suomella on erittäin hyvät lähtökohdat rakentaa ja kehittää tulevaisuuden tekoälyratkaisuiden tukemaa kokonaisturvallisuuden mallia.” Tekoäly ja kokonaisturvallisuus, Sasu Tarkoma. Maanpuolustus-lehti, nro 122, 2017.

pallistamiseen tähtäävän rahoituksen osalta tilanne on selkeä: rahoituksen tulee aina olla liiketoimintasuuntautunutta ja myös liiketoimintapotentiaalia kasvattavaa. Yliopistoille ja korkeakouluille tarkoitetun tutkimusrahoituksen optimaalinen suuntaaminen on sen sijaan huomattavasti haasteellisempaa tekoälytutkimuksen laaja-alaisuuden takia. Riskinä on rahoituksen pirstaloituminen, jolloin tutkimusorganisaatiot kilpailevat yhä tiiviimmin yhä pienemmistä julkisista panostuksista. Rahoituksen tason lisäksi vahvojen tutkimusekosysteemien tunnusmerkkejä ovatkin julkisen rahoituksen suunnitelmallisuus ja riittävä pitkäjänteisyys.

Tekoäly tuottaa jatkuvasti runsaasti uusia teknologioiden sovelluskohteita. Tutkimusrahoitusta haettaessa ratkaisevassa asemassa on useimmiten tutkijan tai tutkimusryhmän track record: jo saavutetut tutkimusmeriitit painavat vaakakupissa. Perinteisimmillä ja enemmän vertaisarvioitujen artikkeleiden julkaisemiseen panostavilla tutkimusaloilla track recordin käyttöön liittyvä rahoituksen suuntaamisriski on selkeästi pienempi kuin nopeasti kehittyvillä tekoälyn ja koneoppimisen alueilla.

Rahoituksen suuntaamiseen liittyvä riski voidaan toisaalta nähdä myös niin, että rahoittajilta vaaditaan nykyisin taitoa riskinottoon. Vastaavasti rahoittajille tulisi myös tarjota nykyistä enemmän riskipitoisia tutkimushankkeita. Tätä ei kuitenkaan tapahdu niin kauan kuin yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa nähdään, että tietty meritoitumisen malli ja vakiintuneet tutkimuskohteet ovat rahoituspäätöksissä etusijalla. Tässä tilanteessa jommankumman – rahoitusta hakevan tutkimusorganisaation tai tutkimusrahoittajan - olisi oltava aloitteentekijä ja muutoksen käynnistäjä.

## Tutkimusryhmät avainasemassa

Lähes kaikkien tutkimustoimintaan liittyvä olennainen piirre on nykyisin tutkimusryhmien keskeinen merkitys tutkimuksen edistämisessä. Myös tekoälyn tutkimus on vahvasti joukkue- ei yksilölaji, ja tutkimusryhmät ovat tärkeä osa huippuosaamisen ekosysteemiä. Tekoälyn, niin kuin monen muunkin tieteen alan, syvemmän tutkimusyhteistyön liikkeellepanevana tekijänä on lähes aina omien alojensa professorien yhteistyö, mikä vetää mukaansa tohtori- ja postdoc-opiskelijoita, jolloin puolestaan syntyy edellytyksiä huippututkimusyksiköiden rakentamiselle. Ryhmien kokoaminen tulisikin aina tapahtua osaaialähtöisesti, ei organisaatiot edellä. Tästä yhtenä esimerkkinä on huippututkimusyksiköiden lisäksi valtioneuvoston vuoden 2016 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanon (tietokayttoon.fi) osana hahmoteltu ja mm. VTT:n hyödyntämä innovaatioekosysteemimalli<sup>46</sup>.

Tutkimusryhmien tulee jatkossakin pysyä Suomessa vahvoina, jotta myös ulkomaisia huippuosaajia saadaan rekrytoitua. Tällä voidaan osaltaan varmistaa, että tekoälyn tutkimus pysyy Suomessa jatkossa korkealla kansainvälisellä tasolla. Suomi onkin pystynyt houkuttelemaan alan huippuosaajia. Esimerkiksi Suomen Akatemian rahoittamaan AIPSE-tekoälyohjelmaan v. 2017 valittujen projektien vetäjistä suuri osa on ulkomaalaistaustaisia. Tämä tukee teknologiaosaamisen siirtoa Suomeen.

Kansainvälinen verkostoituminen ei kuitenkaan ole vielä riittävällä tasolla. On runsaasti yksittäisiä – enemmän tai vähemmän satunnaisilla henkilösuhteilla toimivia – yhteyksiä – esimerkiksi tutkimusartikkelien tuottamiseen liittyen – joissa Suomi edustaa hyvää kansainvälistä keskitasoa.<sup>47</sup> Näyttöä syvemmästä kansainvälisestä tutkimusyhteistyöstä on kuitenkin

<sup>46</sup> Ks. lisää <https://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=17801>

<sup>47</sup> Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus, Väiliraportti. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-549-5>, s. 30.

kin eräitä merkittäviä poikkeuksia lukuun ottamatta vielä suhteellisen vähän. Paras keino houkutellessa huippuosaajia ulkomailta Suomeen on tarjota heille mahdollisuus työskennellä riittävän pitkäjänteisesti ja riittävän haastavien globaalien tai tutkimuksellisten ongelmien kanssa. Isot – globaalisti näkyvillä olevat – cutting edge -haasteet vetävät huippututkijoita kaikkialla puoleensa.

## Datan merkitys korostuu

Tekoälytutkimukselle – erityisesti tilastolliseen oppimiseen liittyvälle tutkimukselle – on ominaista vahva sidos käytettävissä olevaan dataan. Koneoppimisen kehittämiseksi keskeinen data-aineisto on nykyään kuitenkin tyypillisesti suurten kansainvälisten yritysten hallussa.<sup>48</sup> Vaikka laadukkaan ja relevantin datan määrä ei tutkimusnäkökulmasta tarkastellen aina ole tärkein huippututkimuksen reunaehto, niin silti tekoälytutkimuksen merkittävin pullonkaula nykyisin on käytettävissä olevan reaalisin data-aineiston kapeus tai suoranainen puuttuminen.

Miten voidaan varmistaa, että riittävät ja relevantit data-aineistot ovat tutkimuksen käytössä tulevaisuudessa<sup>49</sup>? Laajojen data-aineistojen tutkimuksen käyttöön saamiselle on keskeistä yritysten ja yliopistojen kiinteä vuorovaikutus ja tutkimusyhteistyö: suuret kansainväliset tekoäly- ja datamassoja hyödyntävät yritykset ovatkin viime aikoina olleet aiempaa valmiimpia avaamaan – ainakin osittain – dataansa tutkimuksen käyttöön yhteistyössä yliopistojen kanssa. Tekoälyyn vahvasti panostavat yritykset tekevät nykyisin jo huomattavan paljon julkaisuyhteistyötä yliopistojen kanssa.<sup>50</sup> Olennaisena datan tutkimuskäytön edellytyksenä on riittävän regulaation olemassaolo ja tutkimuksen eettisten rajausten tunnistaminen.

Tekoälytutkimuksen painopisteen ollessa nykyisin dataintensiivisessä tilastollisessa oppimisessä, tulee myös kysymys laskentakapasiteetti-investointien riittävydestä ajankohtaiseksi Suomessa. Riittävän kapasiteetin lisäksi laskentainvestointien suuntaus tekoälytutkimusta tukeväksi on olennaista. Kyse on tällöin mm. erikoistuneista koneoppimiseen soveltuvista piirisarjoista. Myös kvantti- ja neuromorfinen laskenta vaativat erikoistunutta panostusta tutkimusinfrastruktuuriin. Näiden lisäksi myös tietoverkkojen kapasiteetin riittävyys nousee jatkossa vahvemmin mukaan tarkasteluun.

## Osaamisen siirtyminen

Tekoälyn tutkimus edistyy ja uusia tutkimuksen sovelluskohteita löytyy nykyisin kiihtyvällä vauhdilla. Yritysten kannalta keskeisenä haasteena jatkossa on, miten varmistetaan tutkimuksen ja tutkimuksessa syntyvän osaamisen yhteys yritysten usein hyvin välittömiin kehitystarpeisiin. Tutkimuskentän ja yritysten tarpeiden välillä on Suomessa selkeitä eroavaisuuksia, minkä seurauksena yritykset eivät nykyisin pysty täysimittaisesti hyödyntämään olemassa olevaa tutkimusosaamista.

Tarvitaan huipputason tutkimusta, mutta sille pitää löytyä Suomessa myös teollista kysyntää. Pystyvätkö yritykset vastaanottamaan tekoälyn huippuosaajia Suomessa, vai onko tekoälyn

<sup>48</sup> Mainosten sijasta juuri data on Googlen, Facebookin, Baidun ja Tencentin päätulonlähde. "Emme ole [yritysten] asiakkaita, vaan niiden tuote". Harari (2018, s. 70).

<sup>49</sup> EU edellyttää tulevaisuudessa sen rahoittamissa tutkimushankkeissa pääsääntöisesti datan olevan myös muiden tutkijoiden käytössä. Voisiko Business Finland soveltaa samaa ajatusta?

<sup>50</sup> Esimerkiksi Microsoft ja Google ovat suurimpia julkaisijoita ja paljon viitattujen artikkelien tuottajia sekä tekoälyn että koneoppimisen tutkimusaloilla. Myös Apple on lisännyt viime aikoina julkista yhteistutkimusta yliopistojen kanssa. Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus, väliraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 46/2018, s. 38.



teollinen pohja Suomessa vielä liian kapea ja teollista kysyntää tekoälyn hyödyntämislle liian vähän? Jos osaaminen teollisuudessa ei ole riittävän vahvalla tasolla, niin yritykset eivät kykene ottamaan vastaan huippuosaajien tuottaman tietopääoman lisäarvoa. Tilanne ei innovaatioekosysteemin toiminnan kannalta ole tällöin Suomelle eduksi. Eräänä ongelmana nähdään tekoälyyn liittyvän selkeän strategian puuttuminen yrityksissä. Yrityksissä ollaan periaatteellisella tasolla valmiita ottamaan vastaan tekoälyn hyödyt, mutta pitkäjänteiseen ja suunnitelmalliseen yhdessä kehittämiseen ei useinkaan ole vielä valmiuksia.

Tekoälyn hyödyntämisen näkökulmasta yritykset eivät kuitenkaan muodosta yhtenäistä kokonaisuutta. Oman ryhmänsä muodostavat ne yritykset, joissa tekoälyosaaminen on jo tarpeeksi kypsällä tasolla, jolloin yhteistyön aloittaminen yliopiston tai tutkimuslaitoksen kanssa on luontevaa. Toisessa ryhmässä ovat yritykset, joissa ollaan halukkaita hyödyntämään tutkimuksen tuottamia työkaluja – esimerkiksi viemään yliopistossa kehitetty algoritmi tuotteistukseen ja liiketoimintaan – mutta varsinaiselle tutkimusyhteistyölle ei käytännössä ole juuri edellytyksiä. Kolmannen ryhmän muodostavat suuret yritykset, joissa tekoälyn hyödyntämiseen liittyy omia tuotannollisia haasteita. Suurilla yrityksillä tutkimusyhteistyö voi kuitenkin rakentua esimerkiksi alan tulevaisuuden ennakoinnin ja visioinnin ympärille. Yrityksillä on siten hyvin erilaiset lähtökohdat, odotukset ja mahdollisuudet tekoälyosaamisen siirrolle yliopistoista ja tutkimuslaitoksista.

Yritysten näkökulmasta tiedonsiirtoa yliopistoista yrityksiin tapahtuisi enemmän, mikäli tutkimus keskittyisi ongelmiin, joiden ratkaisulla on suoraan hyödynnettävää liiketoimintapotentiaalia. Tutkimuksen pitää pystyä liittämään tekoälyosaaminen yrityksen arvomuodotukseen. Miten yhdistää tekoäly tuotantoon, jossa tuotetaan muutakin kuin bittejä? Yritykset kokevat tässä tilanteessa myös vuorovaikutuksen yliopistojen kanssa olevan usein riittämätöntä.

Hyvänä esimerkkinä tiiviimmästä vuorovaikutuksesta on ammattikorkeakoulujen ja yritysten tutkimusyhteistyö. Ammattikorkeakouluilla on jo lähtökohtaisesti paljon yhteistä rajapintaa yritysten kanssa koulutuksen suuntaamiseen liittyvissä valinnoissa. Ammattikorkeakouluilla saattaa siten yhteistyön luonteen vuoksi olla kattavampi tilannekuva yritysten tieto- ja osaamistarpeista kuin yliopistoilla, joissa tutkimusyhteistyö on selkeämmin pistemäistä, yksittäisiin tutkimusprojekteihin liittyvää. Esimerkiksi Oulun ammattikorkeakoulussa on hyviä kokemuksia yritysten kanssa tehtävistä hankkeista, joissa muutaman opiskelijan muodostamat selkeästi roolitettut tiimit toimivat tiiviissä yhteistyössä valitun yrityksen kanssa. Tämä laajentaa yhteistyön kosketuspintaa ja lisää siten tiedon jakamisen mahdollisuuksia yrityksen ja tutkimuskentän välillä. Yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen yhdistyminen voi olla mahdollistava tekijä myös kokonaan uudelle, aiempaa tiiviimmälle, yritysten ja yliopistojen väliselle vuorovaikutukselle.

## Tutkijan urakehitys

Osaamisen siirto yrityksiin edellyttää useimmiten tutkijoiden siirtymistä yritykseen. Tutkijauralla olevien kannalta yritykset eivät usein kuitenkaan tarjoa riittävän vetovoimaisia tehtäviä: ”kaupallisuus” on edelleen suhteellisen vahva leima tutkimuskentässä. Yrityksillä ei nähdä olevan tarpeeksi vetovoimaa tutkijoiden suuntaan niin kauan kuin työskentelyä yrityksissä ei katsota meritoitumiseksi myös tutkimustyössä. Siirtyminen tutkimuskentältä yritykseen – vaikka vain väliaikaisesti – voi edelleen olla riski tutkijan uraa rakentavalle. Tässä on kuitenkin tapahtumassa muutoksia, ja mm. tekoälytutkijat yliopistoissa ovat tässä suhteessa edelläkävijöitä. Yliopistoissa viime vuosina yleistynyt professor of practice -malli

tarjoaa yhden väylän siirtyä yrityksestä (takaisin) yliopistoon niille, joita paluu tutkimusmaailmaan kiinnostaa.

Siirtyminen yritykseen voi olla myös taloudellinen riski tutkijalle. Näin on erityisesti startup-yrityksissä: työntekijän sitouttaminen tapahtuu startupeissa usein muilla tavoin kuin maksettavan rahallisen korvauksen muodossa. Tämä voi olla ongelma aloittelevalle tutkijalle. Sen sijaan jo meritoituneen tutkijan kohdalla tilanne voi olla toinen: Suomessakin on esimerkkejä startup-yrityksistä, joiden hallituksessa tai osaomistajina on pitkälle ansioituneita professoreita. Tällä voi olla suuri arvo yrityksen toiminnan kehittämisessä, mutta kaupalliseen menestymiseen tähtäävän tutkimusosaamisen siirron kannalta startup-yritysten pitäisi pystyä houkuttelemaan jatkossa enemmän myös nuorempia tutkijoita.

Suomessa on eräisiin muihin maihin verrattuna suhteellisesti vähän samaan aikaan sekä yliopistossa että yrityksessä työskenteleviä tutkijoita. Tekoälytutkimuksen soveltamisessa yritysten käyttöön myös näitä kaksoisroolissa toimivia tutkijoita tarvittaisiin Suomessa kuitenkin enemmän. Eräänä mallina voidaan pitää Yhdysvaltoja, joissa huippuyliopiston professori voi olla samanaikaisesti töissä tutkimustuloksia hyödyntävässä teknologiayrityksessä. Tässä ei nähdä mitään ristiriitaa, vaan päinvastoin, sitä tuodaan näkyvästi esille. Suomessa ammattikorkeakoulut muodostavat tästä osittain poikkeuksen: kaksoisroolissa toimiminen ja vahva läsnäolo (erityisesti) pk-yrityksissä on ammattikorkeakouluissa ollut pitkään luontevampaa kuin yliopistoissa. Kokonaiskuvan luominen tilanteesta vaatisi kuitenkin lisäselvityksiä, joita ei tämän hankkeen puitteissa ollut mahdollista toteuttaa.

Yritykseen siirtyvällä tutkimusosaajalla pitäisi olla muitakin kuin tutkimusosaamiseen liittyviä taitoja. Kyse on usein myös laajemmin moniosaamisesta yrityksissä. Huippuluokan tekoälyosaajakaan ei yksin saa aikaan kasvua yrityksen liiketoiminnassa. Yrityksen IT-osaamisen ja -resurssien on kokonaisuudessaan kyettävä tukemaan uusien tekoälyä tai koneoppimista hyödyntävien ratkaisujen kehittämistä. Tekoälyn soveltaminen on mitä suurimmassa määrin joukkuepeliä myös yrityksissä. Arviolta jopa 80 prosenttia koneoppimisen ja syviä verkkoja hyödyntävien hankkeiden resursseista liittyy nykyisin massadatan järjestämiseen, muokkaamiseen ja muuhun käsittelyyn ja vain noin viidennes algoritmien kehittämiseen, viritämiseen ja uudelleen säätämiseen. Tämä asettaa isoja dataan liittyviä resurssivaatimuksia koko tekoälyn parissa toimivalla ryhmälle yrityksessä.

## **Tekoälyn hyödyntäminen edellyttää monialaista osaamista**

Tähdittäessä huippututkimukseen ja tavoiteltaessa kaupallista hyödyntämistä eri tekoäly- ja data-analyysiteknologioiden osaaminen ei yksin riitä. Tarvitaan vahvaa osaamis pohjaa paitsi matematiikassa myös fysikaalisissa tieteissä ja eri tutkimusaloilla, jotta tekoälylle tyypillisiä malleja pystytään rakentamaan ja luomaan ymmärrys myös siitä, mitä tekijöitä ja reuna-ehdoja tietyn tieteenalan data-aineiston keräämiseen on liittynyt. Mikä on datan konteksti? Silmät ovat datatieteilijän tärkein työkalu. Viime aikoina on Yhdysvalloissa esitetty arvioita, että parhaat tekoälyn geneeriset osaajat ovat koulutukseltaan fyysikoita. Heillä on taustansa perusteella sopivaa kykyä ongelmien realistiseen mallintamiseen ja hyvät edellytykset hahmottaa tutkimuskokonaisuutta.

Monista osaajista koostuvan ryhmän luomiselle yrityksiin ei ole oikotietä. Osaamisyhdistelmän siirtäminen sellaisenaan yliopistoista yrityksiin ei sekään ole ongelmatonta ja vailla haasteita. Avaus uudelle yritykselle ja yliopistojen yhteistyölle Suomessa on vuonna 2017 toimintansa aloittanut Helsingin yliopiston, Aalto-yliopiston ja Teknologian tutkimuskeskus VTT:n perus-

tama FCAI-verkosto. Taustalla on keskeisenä ajatus tutkimukselle Suomessa löydettävästä yhteisestä suunnasta ja siitä, että tieto ei virtaa vain yhdestä lähteestä – yliopistoista yrityksiin – vaan virtauksen suunta vaihtelee, usein hyvin nopeastikin. FCAI:ssa tavoitteena on ison vaikuttavuuspotentiaalin omaava tutkimus, jonka tuloksena syntyy reaali maailmassa toimivia tekoälyratkaisuja. Tutkimusta tehdään ja uusia tutkimusavauksia fasilitoidaan aidossa yhteistyössä osaavien yritys-, tutkimusorganisaatio- ja julkisen sektorin kumppaneiden kesken. FCAI:n eräinä malleina voidaan pitää tekoälytutkimuksen ja autoteollisuuden kiinteää yhteistyötä Saksassa ja esimerkiksi Kanadan Vector Institutea Torontossa. FCAI pyrkii tarjoamaan tutkimukselle ”siemenveden” ja pyrkii näin kiihdyttämään tekoälyn hyödyntämistä Suomessa.<sup>51</sup>

Eräs haaste tutkimusosaamisen siirrolle yrityksiin on tutkimustyön eritahtisuus yritystoimintaan verrattuna: yrityksellä ja yliopistolla on ikään kuin eri kellotaajuudet. Huippututkimuksen tekeminen on usein viime kädessä liian hidasta yrityksille ja erityisesti aloitteleville startup-yrityksille. Vaikka tekoälytutkimus onkin joissain suhteissa nopeammin reagoivaa kuin tutkimus erällä muilla aloilla, niin tiiviimpi vuorovaikutus yliopistojen ja tekoälytutkimusta soveltavien yritysten kanssa tarjoaisi tässäkin mahdollisuuden sovittaa lähestymistapojen eroavaisuuksia.

### **Osaamisen tehokas hyödyntäminen on haaste**

Osaajien siirtymistä yliopistoista yrityksiin tapahtuu kaikesta huolimatta paljon myös Suomessa. Erääksi haasteeksi voi kuitenkin muodostua tutkijan siirtyminen muuhun kuin omaa erikoisosaamistaan vastaavaan tehtävään yrityksissä. Käytännönläheinen esimerkki on koneoppimiseen perehtyneiden huippuosaajien työllistyminen ”tavallisiksi” ohjelmoijiksi yrityksiin. Tilanne ei kummankaan osapuolen kannalta ole välttämättä huono, mutta saattaa silti tarkoittaa, että osaamisen siirrossa on systeemisiä ongelmia Suomessa.

Suuret kansainväliset yritykset pystyvät nykyään yliopistoja paremmin tarjoamaan yritykseen siirtyvälle tutkijalle stabiilin ympäristön toimia kiinnostavien ja haasteellisten tutkimusongelmien parissa. Aloitteleville tutkijoille olisi tutkimusalasta riippumatta luotava näkymä, jossa heidän työllään on tulevaisuutta yliopistossa ja ura tutkimuksen piirissä on paitsi mahdollinen myös kiinnostava. Houkutus siirtyä kansainvälisten tekoälyä kehittävien yritysten palvelukseen on suuri, mikäli tutkimusjärjestelmä ei tarjoa tutkijalle riittävän haasteellisia tutkimusongelmia sisältävää uravaihtoehtoa.

Osaamisen siirtoa tapahtuu myös toiseen suuntaan. Yritysten osaajia toimii datatieteen kouluttajina mm. Helsingin yliopistossa osana tietojenkäsittelyn maisteriohjelmia. Kuten FCAI-hankkeessa, niin tutkimusosaamisen siirtoa ei yliopistoissakaan enää nähdä vesiputousmaisena, jossa tieto ja osaaminen virtaisivat vain yhteen suuntaan.

Vaikka teknologian huippuosaajaksi kehittyminen viekin alasta riippumatta huomattavan pitkän aikaa, niin myös uudelleen koulutuksen mahdollisuuksia tulee katsoa ennakkoluulottomasti. Edellytyksenä uudelleen koulutuksen onnistumiselle on riittävän vahva matematiikan perusosaaminen, mikä parantaa koulutuksen mahdollisuuksia, jolloin opiskelijalle voi avautua ura tekoälyn piirissä yrityksissä. Eräs ratkaisu on avata yliopistojen kandidaattivaiheen ensimmäisen vuoden perusopetusta vapaasti myös muille kuin yliopistossa opiskeleville. Näin ollaan tekemässä jatkossa esimerkiksi Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitoksella. Opintojen avaaminen tarjoaa uudenlaisen väylän tutkimusosaamisen siirrolle yliopiston, yritysten ja laajemmin yhteiskunnan välillä.

<sup>51</sup> Ns. ”pump priming” -malli, ka. <https://www.investopedia.com/terms/p/pump-priming.asp>

## Aivovuodon uhka

Tutkijan siirtyminen yliopistosta yritykseen tai ulkomaille on usein pelkästään myönteinen asia. Siirtymisiä ja palautumisia tarvitaan rikastuttamaan tutkimustyötä yliopistoissa, laajemmin palvelemaan koko yhteiskuntaa. Mutta hallitsemattomana ja pelkästään yksisuuntaisena se voi tuottaa riskejä tutkimustoiminnan jatkuvuudelle yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa. Yritysten vetovoima näkyy nykyisin myös alan opiskelijoiden tilanteessa. Tällä hetkellä jopa 70 prosenttia Oulun yliopiston maisterivaiheen tekoälyä tai data-analytiikkaa opiskelevista tekee täysipäiväisesti alan töitä. Järjestelmän kannalta optimaalinen ratkaisu ei ole opiskelijoiden valmistumisen viivästyminen tai opintojen keskeytyminen, vaan yrityksistä saatujen arvokkaiden oppien liittäminen suoritettavaan tutkintoon ja niiden edelleen tuominen yliopistoon hyödyttämään tekoälyn tutkimusta.

Järjestelmätasolla aivovuoto voi nousta ongelmaksi. Oman haasteensa muodostaa ulkomaalaistaustaisen osaajien suhteellinen suuri määrä tekoälytutkimuksen piirissä Suomessa. Ulkomaalaisten tutkijoiden on usein helpompaa siirtyä Suomesta (takaisin) ulkomaille kuin suomalaisten lähteä ensimmäistä kertaa ulkomaille jatkamaan tutkimustyötä. Ongelmana on myös ulkomaalaistaustaisten maisterien ja tohtorien heikko työllistyminen suomalaisissa yrityksissä. Tämä lisää osaltaan heidän herkkyyttään lähteä Suomesta tutkinnon suorittamisen jälkeen. Näitä tekijöitä ei kuitenkaan ole syytä pitää rajoitteena ulkomaisten tutkijoiden rekrytoinnille, sen sijaan ne lisäävät paineita panostaa aiempaa enemmän ulkomaalaistaustaisten jatko-opiskelijoiden integraatioon. Tähän onkin jo reagoitu eräissä yliopistoissa. Tutkijan palaaminen kotimaahan tai siirtyminen muualle ulkomaille on esimerkiksi useimmissa kehittyvissä talouksissa toteutettu huomattavasti systemaattisemmin kuin Suomessa.

## Tekoälytutkimuksen eettiset kysymykset

Tutkijan eettisen vastuun todentaminen ja sen rajaaminen ovat vakiintunut osa julkisesti rahoitettua tutkimusta niin Suomessa kuin koko EU:n alueella. Tiukentunut henkilötietojen ja -datan käsittelyn lainsäädäntö ja muu regulaatio Euroopan unionissa korostaa entisestään tutkimustyön eettisyydelle asetettuja reunaehtoja. Koska henkilöistä kerätyn datan käyttöä säännellään monissa Euroopan ulkopuolissa maissa huomattavasti vähemmän ja henkilödatan kattavaa hyödyntämistä pikemminkin tuetaan julkisen vallan toimesta, voi tekoälytutkimuksen haasteeksi myös Suomessa nousta tulevaisuudessa se etu, mitä henkilö-, paikka- ja transaktiodatan yhteen keräämiseen ja käyttöön vapaasti suhtautuvissa maissa saavutetaan oppivien algoritmien kehittämisessä.<sup>52</sup> Esimerkiksi Kiinassa kehitys nähdään pikemminkin myönteisenä ja henkilödatan laajan keräämisen ja hyödyntämisen katsotaan vahvistavan Kiinan asemaa johtavana tekoälyn tutkimuksen maana tulevaisuudessa.<sup>53</sup> Tutkimuksen eettisen viitekehyksen huomioon ottaminen ja regulaation edelleen kehittäminen voi kuitenkin pitkällä tähtäyksellä toimia myös kilpailuetuna sekä Suomelle että muille Euroopan unionin maille.

Tekoälyllä on tunnetusti nykyisin sotilaallisia sovellutuksia, joiden määrä ja käyttöala ovat todennäköisesti lisääntymässä huomattavasti tulevaisuudessa.<sup>54</sup> Suureen osaan tekoälytutkimusta ja kansainvälistä tutkimusyhteistyötä liittyy tulevaisuudessa mahdollisuus tai riski tulosten sotilaallisesta hyödyntämisestä. Ns. dual-use -teknologiat, joilla voi olla sekä siviili-

<sup>52</sup> "If you disregard all privacy concerns and concentrate all the information relating to a billion people in one database, you'll wind up with much better algorithms than if you respect individual privacy and have in your database only partial information on a million people." Harari (2018, s. 68).

<sup>53</sup> "There's no data like more data'. More data makes AI smarter." Kai-Fu Lee, Sinovation Ventures, kommenttipuheenvuoro, AI Index 2017, Stanford Artificial Intelligence Laboratory, s. 49–50. "Jos EU:n tietosuojaj-asetus vaikeuttaa datan saantia, tekoälyn kehittäminen voi pysähtyä tai jäädä vain globaaliin it-jättien ja Kiinan kaltaisten suurvaltojen kontolle." Tekoälyn valtiat, Kaarina Vainio, Ulkopoliittika-lehti, 7.12.2017.

<sup>54</sup> Mm. <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2017-01-26-artificial-intelligence-future-warfare-cummings-final.pdf> ; <https://thebulletin.org/military-applications-artificial-intelligence/>

että sotilaskäyttöä, huomioidaan nykyisin Euroopan unionin tutkimusrahoitusohjeistuksessa, ja riskien hallinnalle on olemassa vakiintunut menettelytapa tutkimustoiminnassa.<sup>55</sup> Tekoälyn hyödyntämisen laaja-alaisuus ja teknologisen kehityksen nopeus, jopa yllätyksellisyys, voi kuitenkin johtaa siihen, että nykyinen dual-use -riskien hallinnan malli ei tulevaisuudessa enää riitä vastaamaan tutkimustyössä esiin nouseviin tulosten sotateknologiseen hyödyntämiseen liittyviin haasteisiin.

Tekoälytutkimuksella on merkittävää yhteiskunnallista vaikuttavuutta ja sen tuloksia hyödynnetään jo laajasti yhteiskunnassa. Julkisella sektorilla merkittävä osa esimerkiksi vero- ja sosiaalishallinnossa tehtävistä päätöksistä on nykyisin algoritmien avulla automatisoituja. Keskeinen tekoälytutkimuksen soveltamisen eettinen ja oikeudellinen ongelma sisältyy tekoälyn käyttämiseen yhteiskunnallisessa päätöksenteossa, mikäli algoritmit ja niiden taustalla oleva data eivät ole julkisesti ja avoimesti saatavilla ja arvioitavissa.

Eriyisen ongelman muodostavat nykyisin syviin neuroverkkoihin perustuvat algoritmit. Kyseiset algoritmit saattavat sisältää jopa miljoona sisäistä parametria (kerrointa). Tällaisesta algoritmista ja sen toiminnasta on ihmisen käytännössä mahdoton saada selkeää kokonaiskuvaa. Tekoälyratkaisu muodostaa tällöin käytännössä läpinäkymättömän mustan laatikon.

Julkista päätöksentekoa toteuttavien algoritmien tulisikin olla julkisesti saatavilla ja ainakin periaatteessa tutkittavissa samalla tavoin kuin lakien odotetaan olevan. Mikäli näin ei ole, niin ”digitaalinen yhteiskunta on vaarassa kehittyä huomattavasti vähemmän avoimeksi tai mahdollisesti täysin suljetuksi”, siinä määrin kuin kyse on algoritmeihin perustuvasta automaattisesta päätöksenteosta.<sup>56</sup> Viime kädessä kyse on siitä, rakentuuko yhteiskunta ja julkishallinto laillisuusperiaatteen vai algoritmiperiaatteen varaan?<sup>57</sup> Tähän liittyvän oman haasteensa muodostaa yksityisten toimijoiden tuottamien algoritmien tekijänoikeus, mikä osaltaan voi rajoittaa päätöksenteossa käytettävien tekoälysovellusten läpinäkyvyyttä.<sup>58</sup>

Tekoälytutkimuksen ja sen soveltamisen eettiseksi ongelmaksi on muodostumassa myös ns. algoritmitalous: tekoäly paitsi suosittelee ihmisille tapoja kuluttaa palveluja ja hyödykkeitä, myös määrittää, millaisia uutisia he saavat seurattavakseen ja millainen kuva maailmasta heille tällöin välittyy. Television ja muiden joukkoviestimien valta-aikaa seurannut – internetin sekä sosiaalisen median mahdollistama – yksilöiden välinen ja ryhmien sisäinen pienviestintä on mahdollisesti jäämässä välivaiheeksi ja tekemässä tilaa viestinnälle, jossa tekoäly ratkaisee yhä useammin viestin tai uutisen sisällön ja kohteen.<sup>59</sup> Viime kädessä algoritmit ja tekoäly tarjoavat tällöin mallin siitä, kuinka ihmisen tulisi elää. Kuten julkisen vallankäytön tapauksessa myös algoritmitaloudessa eettinen ongelma syntyy, kun ihmisillä ei ole keinoja arvioida tutkimuksen avulla luotujen tekoälyratkaisujen oikeellisuutta ja osuvuutta ja tunnistaa niiden taustalla olevan datan alkuperää ja järjestelmän vastuullista omistajatahoa.

<sup>55</sup> EU Komission ohjeistus: <https://doi.org/10.2873/14116>

<sup>56</sup> "Apparently, the digital society runs the risk of being much less open than society is today, perhaps entirely closed to the extent automated [i.e. algorithm-based] decision-making is used." On the openness of the digital society: from religion via language to algorithm as the basis for the exercise of public powers. Markku Suksi, *Transparency in the Future: Swedish Openness 250 Years*, Tallinn: Ragulka, 2017, s. 316.

<sup>57</sup> Ibid.

<sup>58</sup> Ibid. s. 294–295.

<sup>59</sup> "Robot journalism ... when algorithms turn into agents and begin to determine contents". Programme memorandum, Suomen Akatemian tutkimusohjelma, *Media and Society (Mediasoc) 2019–2022*, s. 7.

## 2.5 Tutkimusosaamiskartoituksen yhteenveto

### Huippututkimuksen edellytyksiä:

- pitkäjänteinen ja optimaalisesti suunnattu **tutkimusrahoitus**: haasteena tekoälyn monikäyttöisyys ja kehitysvauhti
- tiivis **kansainvälinen tutkimusyhteistyö**: satunnainen (julkaisu)yhteistyö ei riitä
- **ulkomaisten huippuosajien** onnistunut rekrytointi: kilpailu huippuosajista kovenee maailmalla; ulkomaisille huippuosajille pystyttävä tarjoamaan riittävän kiinnostavia ja globaalisti haasteellisia tutkimuskohteita
- riittävän pysyvät **tutkimusryhmät**: tärkeä asema ekosysteemissä, edellytys ulkomaisten huippuosajien saamiselle; edellyttävät **pitkäjänteistä ja ennakoitavaa rahoitusta**
- Suomelle löydetty tutkimuksen **omat painopistealueet**: ei kannata kilpailla Kiinan ja Intian vahvuusalueilla
- **data-aineistojen riittämättömyys**: tutkimuskäyttöön sopivien aineistojen saatavuus, käyttökelpoisuus ja määrä
- matematiikan ja tilastotieteen **perusosaaminen**: ylläpidosta ja osaamis pohjan edelleen vahvistamisesta tulee huolehtia
- tekoälyn kehittämiselle tyypillinen **kokeilukulttuuri**: haasteet pitkäjänteisen huippututkimuksen tekemiselle

### Osaamisen hyödyntäminen kaupallisesti:

- keskeistä tutkimuksen ja yritysten tiiviimpi vuorovaikutus tutkimuksen suuntaamisessa ja hyödyntämisessä:
  - yritysten näkökulmasta yliopistojen tutkimuksen tulisi keskittyä enemmän ongelmiin, joiden ratkaisulla on suoraan hyödynnettävää liiketoimintapotentiaalia
  - yliopistojen näkökulmasta yrityksiltä puuttuu vielä valmiuksia kehittää tekoälyn sovelluksia pitkäjänteisesti ja suunnitelmallisesti yhdessä yliopistojen kanssa
  - kaksoisroolissa (tutkijana yliopistossa ja yrittäjänä firmassa) toimimista tulee tukea aiempaa enemmän
  - yliopistojen tenure trackissä / tutkijan meritoitumisessa tulee huomioida aiempaa paremmin myös tutkijan työskentely yrityksessä
  - tutkimustyön ja yritystoiminnan eritahtisuuden ongelmat tulee ottaa esiin yhteistyön suunnittelussa aiempaa paremmin
  - osaamisen siirtymistä ei kuvaa vesiputousmalli, jossa osaamista siirtyisi vain yliopistoista ja korkeakouluista yrityksiin
- tekoälysovellusten kehittäminen edellyttää aina tiimityötä: monipuolista osaamispalettia, vahvaa tiimiä ja liiketoiminnan tuntemusta. Kyse ei koskaan ole pelkästä tekoälyn tai koneoppimisen osaamisesta

### Julkaisuanalyysin tuloksia:

- tekoälytutkimus on Suomessa hyvää kansainvälistä tasoa sekä viittausmäärillä että huippujulkaisujen osuudella tarkastellen
- yritys-yliopisto/tutkimuslaitos -yhteistyö on Suomessa keskimääräistä tiiviimpää, mutta ei yllä johtavien maiden tasolle (mm. Israel, Sveitsi, USA, Irlanti, muut pohjoismaat keskimäärin)
- kansainvälisen yhteistyön osuus Suomessa on suhteellisen korkea, julkaisuista keskimäärin yli puolella on kansainvälinen kumppani

## 3 TEKOÄLYOSAAMINEN YRITYKSISSÄ

### 3.1 Johdanto

Tämä luku kuvaa tekoälyosaamista suomalaisyrityksissä kolmesta näkökulmasta:

- Mikä on yritysten dataohjautuvan päätöksenteon valmiustaso? Luvussa 3.2 kuvataan suomalaisyritysten yleinen dataohjautuvan päätöksenteon valmiuden taso, sekä kuvaillaan niiden tekoälykeskeistä tuote- ja palvelukehitystä viime vuosien ajalta.
- Mitkä ovat yritysten investoinnit data-analytiikkaan ja laajemmin tekoälyyn – osaaminen yrityksissä? Luvussa 3.3 tarkastellaan analytiikka- ja tekoälyosaajien suhteellista määrää seitsemässä suuressa esimerkkiyrityksessä, viideltä toimialalta. Suomalaisia yrityksiä verrataan samalla toimialalla toimiviin kilpailijoihin EU:ssa sekä Pohjois-Amerikassa.
- Mikä on yritysten maturiteetti dataohjautuvan päätöksenteon hyödyntämiseen? Luvussa 3.4 paneudutaan haastattelujen perusteella dataohjautuvan päätöksenteon, analytiikan ja tekoälyn käyttöön ja hyödyntämiseen yrityksissä. Tutkimusraportin kymmenen osaamisalueen jaottelua käytetään apuna.

Analytiikka on yrityksissä kasvavassa roolissa, ja suuri joukko yrityksiä panostaa datavetoiseen päätöksentekoon, ja sitä kautta kehittää valmiuksiaan kohti laajempaa tekoälykyvykkyyttä<sup>60</sup>. Analytiikan nähdäänkin olevan perustava ensiaskel tekoälykyvykkyyksien kehittymiselle yrityksissä.

Isoimmaksi haasteeksi yllämainituissa kolmessa näkökulmassa voidaan katsoa toisistaan poikkeavat määritelmät ja erilaiset käsitykset siitä mitä tarkoitetaan analytiikalla, koneoppimisella ja tekoälyllä. Yritykset ovat harvoin määritelleet itse, mitä nämä käsitteet heille tarkoittavat.

Haastatteluissa tekoälyn ydinkyvykkyyksinä esiin nousivat seuraavat osaamisalueet: 1. Data-analyysi, 5. Digitaidot työelämässä sekä 8. Tekoälyn laskentaympäristöt. Muut seitsemän (2. Havainnointi ja tilannetietoisuus, 3. Luonnollinen kieli ja kognitio, 4. Vuorovaikutus ihmisten kanssa, 6. Koneoppiminen, 7. Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset, 9. Robotiikka ja koneautomaatio sekä 10. Etiikka, moraalit, regulaatio ja lainsäädäntö) muodostavat raamit tekoälyn edistyneemmille kyvykkyyksille.

Huomioitava on, että useimmille yrityksille kymmenen osaamisalueen listaus on liian laaja ja yritysten tulee osata poimia listalta itselleen ne keskeiset tekoälyn osaamisalueet, joita seurata ja hallita. Lisäksi kymmenestä osaamisalueesta voidaan johtaa jaottelu jokaisen yrityksen omille tekoälyn ydinkyvykkyyksille sekä tekoälyn edistyneemmille kyvykkyyksille.

<sup>60</sup> Kolmasosa suomalaisista yrityksistä näkee, että datalla ja datavetoisemmalla päätöksenteolla on kasvava merkitys heidän liiketoiminnassa ja teollisuudenalalla. (Rickne ym., 2015).

## 3.2 Digiosaaminen yrityksissä

Digibarometri<sup>61</sup> on vuosittain julkaistava raportti suomalaisyritysten digitaalisen kilpailukyvyn kehittymisestä suhteessa kansainväliseen kenttään. Digibarometri tarjoaa viitekehysten tarkastella suomalaisyrityksiä paitsi digitalisaation, myös tekoälyn kilpailukyvyn näkökulmasta. Tutkimuksemme soveltaa Digibarometrissa asetettua mallia seuraavilta osa-alueilta:

Viitekehys myynnin ja markkinoinnin digitaaliselle transformaatiolle<sup>62</sup>

- a. **Saavutettavuus** – Monikanavaisuuden omaksuminen sekä hyödyntäminen osana markkinoinnin ja myynnin jatkuvaa toimintamallia
- b. **Analytiikka** – Yritysten kyvykkyys hyödyntää analytiikkaa, ja ymmärtää markkinoinnin ja myynnin tuloksellisuutta
- c. **Automaatio** – Automaation hyödyntäminen osana myynti- ja markkinointiprosesseja esim. automaatiotyökalujen kautta
- d. **Sisällöt** – Yritysten tuottamien sisältöjen (verkkosivut, mainokset) laatu, toimivuus ja relevanssi
- e. **Yleisö** – Asiakas- ja yleisötiedon hyödyntäminen myynnin ja markkinoinnin kohdentamisessa sekä asiakasymmärryksen kehittämisessä

Viitekehys kuvaa yritysten toiminnallisen tason kyvykkyksiä omaksua digitaalisen liiketoiminnan toimintatapoja viiden kohdan mittaristolla. Digibarometri osoittaa, että verrattuna Ruotsiin ja Norjaan Suomen indeksiarvo on korkein. Suurin suhteellinen etulyöntiasema Suomella katsottiin olevan Sisällöt-kategoriassa. Sisällöt-kategoria peilaa yrityksen digitaalisten sisältöjen, kuten verkkosivujen ja mainosten, relevanssia ja toimivuutta. Tämän löydöksen voidaan katsoa tukevan suomalaisten yritysten tekoälyvalmiutta, sillä oikein käsiteltynä laadukkaiden sisältöjen voidaan katsoa korreloivan laadukkaan tekoälyn opetusdatan kanssa.

### Taulukko 3.1 Yritysten toiminnallisen tason kyky omaksua digitaalisen liiketoiminnan toimintatapoja

	Suomi	Ruotsi	Norja
Saavutettavuus	18,9	16,1	13,3
Analytiikka	16,1	14,8	12,4
Automaatio	9,7	7,7	6,1
Sisällöt	6,4	5,0	2,7
Yleisö	4,9	4,6	3,7

Lähde: Digibarometri (2018).

*Digibarometri kuitenkin huomauttaa: ”Vaikka suomalaiset suuryritykset käyttävätkin selvityksen mukaan tutkittuja teknologioita jopa muita Pohjoismaita enemmän, pelkkä teknologioiden hyödyntäminen ilman oikeaa toimintamallia, oikeita osaamisia ja strategista datan hyödyntämistä ei johda toivottuun muutokseen. Koko liiketoiminnan ytimeen on tuotava mitattavuuden ja datan hyödyntämisen toimintamalli, jota pystytään jatkuvasti kehittämään.” (Digibarometri 2018, sivu 29).*

Digibarometri tunnistaa suomalaisyritysten jakautuvan myös selkeästi eri luokkiin digitaalisen myynnin ja markkinoinnin teknologioiden hyödyntämistä tutkittaessa. Osan yrityksistä katsotaan hyödyntävän teknologioita jo hyvin. Kuitenkin suuren osan yrityksistä katsotaan

<sup>61</sup> Digibarometri (2018).

<sup>62</sup> Digibarometri (2018, kappale 3).



olevan vielä teknologian hyödyntämisen alkutaipaleella, ja nämä yritykset uhkaavat jäädä jälkeen digitalisaation tuomassa kilpailukyvyssä.

Digibarometrin vertailutuloksista voidaan yleisesti sanoa että:

- Pilvipalveluiden hyödyntäminen on olennainen osa yritysten tekoälyvalmiutta. Haasteeksi teknisille valmiuksille pilvipalveluiden hyödyntämiseen voidaan katsoa ikääntyneet / tarkoitukseen sopimattomat päätelaitteet sekä toimitilojen sisäverkot. Kansallinen tiedonsiirtoinfrastruktuuri tukee korkeampaa sijoittumista, mutta suomalaisyritykset eivät hyödynnä tätä vielä täyteen mittaansa. Kansalliseen tiedonsiirtoverkkoon panostaminen korreloi vahvasti digitaalisen kilpailukyvyn kanssa. Tekoälyn myötä esimerkiksi kuvasta ja videosta syntyy jokapäiväistä opetusdataa, joka johtaa suureen tiedonsiirtokapasiteetin kasvuun. Näin ollen kilpailukykyisen tiedonsiirtoverkon ylläpitäminen voidaan katsoa olennaiseksi osaksi kansallista kilpailukykyä.
- Vaikka ICT-alan asiantuntijoiden osuus on olennainen tekoälyn kehittämisessä, suurimman katalyytin voidaan katsoa kuitenkin olevan yritysjohdon suhtautuminen tekoälyyn. Mikäli tekoäly allokoidaan ICT-osastojen sisäiseksi tehtäväksi, eikä avainhenkilöitä läpi organisaation kouluteta ymmärtämään tekoälyn liiketoiminnallista puolta, ei yritys pääse transformoimaan ydinliiketoimintaansa tekoälyn kautta.

## Tekoälyä, analytiikkaa ja massadataa hyödyntävät yritykset kasvussa

Suomessa toimivien tekoälyn, analytiikan sekä massadata-palveluiden tarjontaan perustuvien yritysten määrä on kasvanut voimakkaasti Suomessa ja maailmalla viime vuosien aikana. Vuonna 2017 Suomessa mitattiin olevan 358 tekoäly-yritystä, jotka joko kehittivät tai sovelsivat tekoälyä, analytiikkaa tai massadataa omassa liiketoiminnassaan (Digibarometri, 2017, s. 19). Vuonna 2018 vastaavalla mittauksella havaittiin, että vastaavien yritysten lukumäärä oli kasvanut yli 800.<sup>63</sup>

Vastaava tekoäly-, analytiikka- ja massadata yritysten kehitys näkyy myös vuosina 2015–2017 Slush-konferenssiin osallistuneiden yritysten aineistosta tehdystä analyysistä (ks. taulukko 3.2).

### Taulukko 3.2 Tekoäly-, analytiikka- ja massadata-yritysten osuus Slush-konferenssiin osallistuneista yrityksistä

	2015	2016	2017
Kaikkien yritysten lukumäärä	987	2 382	2 320
Analytiikka-, massadata- ja tekoäly-yritysten lukumäärä ja osuus (%)	58 (6)	648 (27)	687 (30)
Suomalaisten yritysten lkm.	409	987	902
Analytiikka-, massadata- ja tekoäly-yritysten lukumäärä ja osuus suomalaisista yrityksistä (%)	18 (4)	215 (22)	242 (27)

<sup>63</sup> Digibarometria sekä Slush-ainestoa on tulkittava suuntaa-antavana suhdannesignaalinä, ei absoluuttisena mittarina, tekoäly-yritysten osuudesta yrityksistä tai startupien osalta. Mutta se antaa positiivisen viestin. Yhä suurempi määrä suomalaisista yrityksistä on kiinnostunut tekoälyn, analytiikan ja massadatan soveltamisesta. Vastaavasti lisääntynyt kiinnostus tekoälyä, analytiikkaa ja massadataa kohtaan, strategisena ja liiketoiminnallisena ilmiönä loi suotuisimmat puitteet yritysten ja yliopistojen, tutkimuslaitosten ja startupien kesken, koska monella yrityksellä ei ole itsellään kehitykseen tarvittavia resursseja (Rickne ym., 2015, s. 178). Huomionarvoista on myös se, että valtaosa uusista listatuista tekoäly-yrityksistä on perustettu vuosina 2014–2017.

## Teknologiaateollisuus ry:n tekoälykiihdyttämö

Teknologiaateollisuus ry:n perustama tekoälykiihdyttämö on kartoittanut yksityiskohtaisemmillä kriteereillä tekoäly-yrityksiä Suomessa ja sen pohjalta luonut listauksen tekoälyn huippuyrityksistä kolmessa kategoriassa: 1) tekoälyyn pohjautuvia tuotteita tai palveluja kehittävät yritykset, 2) tekoälyn konsultit ja 3) mahdollistavien teknologioiden tarjoajat<sup>64</sup>. Listaa on tarkoitus päivittää jatkossa säännöllisesti. Tuoreessa listauksessa on tunnistettu 15 huippuyrityksen kriteerit täyttävää tekoälyratkaisujen tarjoajaa. Tuotteita ja palveluita (kategoria 1) tarjoaa viisi yritystä, konsultteja (kategoria 2) on kuusi ja mahdollistajia (kategoria 3) on neljä. Tekoälykiihdyttämö perustaa yrityksille yhteistyöryhmiä. Ensimmäinen yhteistyöryhmä<sup>65</sup> keskittyy suomenkieliseen puheteknologiaan. Siinä on mukana viisi hyödyntäjäyritystä eri toimialoilta ja kolme teknologiayritystä.

### 3.3 Yritysten analytiikka ja tekoälyosaamisen henkilöstö

Sosiaalinen verkosto, kuten LinkedIn tai vastaava alusta, tarjoaa oivan näkökulman analysoida yrityksiä ja henkilöstöä analytiikan ja tekoälyosaamisen näkökulmasta<sup>66</sup>. Muodostaaksemme LinkedInin avulla käsityksen yritysten analytiikka- sekä tekoälyhenkilöstöstä, tutkimme sosiaalisessa verkostossa (LinkedIn) esillä olevia yritysten työntekijöiden käyttämiä profiileita.

Ensin kuitenkin muodostimme näkemyksen analytiikkaan ja tekoälyyn liitetyistä ammattinimikkeistä, joita yritysten henkilöstö käyttää, ja käytimme niitä hakujen perustana<sup>67</sup>. Koska ammattinimikkeiden suomenkieliset haut antoivat vähänlaisesti tuloksia, päädyimme käyttämään englanninkielisiä hakusanoja.<sup>68, 69</sup>

Aineistonluontiprosessi alkoi etsimällä kaikki kohdeyrityksessä työskentelevät, sosiaalisessa verkostossa, listatut henkilöt. Tämän jälkeen lista suodatettiin alaviitteissä 68 ja 69 mainittujen hakuparametrien mukaisesti. Palautuneet tulokset tarkastettiin asiantuntijan toimesta, ja samalla validoitiin esimerkiksi listattujen työntekijöiden tämänhetkinen työtila (eli onko työtehtävä aktiivinen vai palautunut edellisen työpaikan perusteella).

#### Vertailu keskeisiin kansainvälisiin kilpailijoihin

Vertasimme ammattiprofiileja ja seitsemää suomalaista yritystä viidellä toimialalla, lento-, paperi-, hissi-, teräs- ja vähittäiskaupan alalla niiden verrokkeihin vastaavalla toimialalla toimivaan kilpailijaan Euroopassa sekä Yhdysvalloissa<sup>70</sup>.

64 <https://teknologiaateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/uutiset/suomalaiset-tekoaly-yritykset-listattiin-listalle-yksi-15-yritysta>, haettu 7.12.2018

65 <https://www.tekoalyaika.fi/2018/11/tekoalykiihdyttamon-ensimmainen-ryhma-kehittaa-suomenkielista-puheteknologiaa/> haettu 9.12.2018

66 Menetelmällä on omat rajoituksensa, jotka on syytä huomioida. Osa yrityksistä voi rajoittaa henkilöstön esiintymistä ammatillisessa sosiaalisessa mediassa esimerkiksi aggressiivisen rekrytointin hankaloittamiseksi. Myös maiden ja toimialojen välillä on eroja sosiaalisen median käytössä. Lisäksi sosiaalisen median profiileissa suosituissa avainsanoissa voi olla vaihtelua toimialojen ja maiden välillä.

67 Haussa käytettiin seuraavia suomen- ja englanninkielisiä hakusanoja ja niiden eri variaatioita:  
– artificial intelligence, machine learning, analytics and data  
– tekoäly, koneoppivuus / koneoppiminen, analytiikka ja data

68 "Data" on luonteeltaan moniulotteinen termi, joka esiintyy relevantissa "Data Scientist" ("datatieteilijä") -hakutuloksessa, mutta myös epärelevantteissa tuloksissa, kuten "Data Center Manager" ("datakeskuksen ylläpitäjä"). Epärelevantteiksi katsotut tulokset suljettiin tutkimusaineiston ulkopuolelle. Aineistonluonti vaatii kuitenkin asiantuntijatioutta, sillä esimerkiksi "Master Data Coordinator" voidaan katsoa tekoälyprosessien kannalta tärkeäksi rooliksi opetusdatan hallitsijana.

69 Laajemmin ajateltuna ja tekoälyyn liittyen Priceonomics listasi kuusi tekoälyn laajempaan kehitykseen liitettyä työnkuvaa, joita on vaikea täyttää: 1) Computer Scientist, 2) Algorithm Engineer, 3) Principal Scientist, 4) Computer Vision Engineer, 5) Machine Learning Engineer, ja 6) Data Scientist; <https://priceonomics.com/which-industries-are-investing-in-artificial/> haettu 9.12.2019

70 On huomioitava, että LinkedIn ei välttämättä tarjoa täysin kattavaa kuvaa henkilöstön profiileista erityisesti aasialaisista yrityksistä, jonka vuoksi aasialaiset yritykset jätettiin vertailusta pois.

Tulokset toimialoittain on esitetty taulukossa 3.3.

Yllä esitettyjen viiden esimerkin valossa kyseisillä aloilla toimivien suomalaisten yritysten resurssi-investoinnit datavetoisen päätöksenteon osaamiseen ovat pääsääntöisesti korkeammat kuin keskeisten ulkomaisten toimijoiden vastaavat panostukset. Vastaavia tuloksia on ollut myös muilla teknologia-alueille, kuten asioiden internet. Aineiston suppeudesta ja LinkedIn-tietojen mahdollisista vääristymistä johtuen johtopäätösten tekoon on kuitenkin suhtauduttava varoen. Huomioitava on, että yritysten politiikat vaihtelevat merkittävästi koskien LinkedInin käyttöä osaamisen viestinnässä ja tapaa, jolla työntekijöiden nimikkeistä viestitään julkisuudessa.

Yllä olevat tulokset tukevat kuitenkin osittain Digibarometrin havaintoa, että keskimäärin valmiudet datan ja tekoälyn hyödyntämiseen liiketoiminnassa ovat Suomessa melko hyvällä tasolla suhteessa keskeisiin kilpailijamaihin. Nämä tulokset eivät kuitenkaan kerro taustalla olevista syistä, eli siitä, miksi suomalaiset yritykset ovat keskimäärin investoineet enemmän henkilöstöresursseihin, jotka tukevat datavetoista päätöksentekoa. Taustalta löytyy kenties Suomen teollisuuden vahva historiallinen teknologiaosaaminen ja hyvä koulutusporhja.

**Taulukko 3.3 Data-analytiikan ja tekoälyn osaajien osuudet viiden toimialan yrityksissä Suomessa ja verrokkimaissa, %**

	Data-analytiikan ja tekoälyn ammattilaisten osuus kaikista yrityksen ammatillisessa somessa esiintyvistä työntekijöistä	Vastaava osuus kaikista työntekijöistä
<b>Lentoyhtiöt</b>		
Finnair	0,54	0,29
Lufthansa	0,26	0,03
American Airlines	0,31	0,13
<b>Paperintuotanto</b>		
UPM	0,52	0,15
Billerud Korsnäs (Ruotsi)	0,18	0,07
International Paper (USA)	0,13	0,05
<b>Hissiyrietykset</b>		
Kone	0,26	0,09
Schinler (Saksa)	0,04	0,01
OTIS (USA)	0,08	0,08
<b>Terästeollisuus</b>		
Outokumpu	0,3	0,07
SSAB (Ruotsi ja Suomi)	0,06	0,01
US Steel	0,16	0,03
<b>Vähittäiskauppa</b>		
SOK	0,83	0,09
Kesko	0,59	0,1
ICA (Ruotsi)	0,18	0,09
Target (USA)	0,3	0,12

Luvut perustuvat ammatilliseen some-yhteisöön (LinkedIn) kuuluvien yritysten työntekijöiden profiilin avainsanoihin tekoäly, koneoppivuus / koneoppiminen, analytiikka ja data.

## 3.4 Syventävät haastattelut – hyödyt ja haasteet

### Haastateltavien valinta ja kysymykset

Tutkimuksessa suoritettiin seitsemän yrityshaastattelua. Yritykset valittiin kahden kriteerin perusteella: 1) yrityksen koko ja 2) näennäinen tekoälyn sekä tekoölyyn ja dataan pohjautuvan päätöksenteon kypsyyssaste.

Otantaan valittujen seitsemän yritysten valinnassa oli tavoitteena löytää riittävää hajontaa koossa (henkilöstön koko sekä liikevaihto) sekä tekoälyvalmiudessa, jotta tuloksista voitaisiin johtaa mahdollisimman yleistettäviä tuloksia suomalaisyritysten tämänhetkisestä tilasta. Jokainen tutkimukseen valittu yritys toimii Suomessa. Kaikki yrityshaastattelut toteutettiin Suomen maaperällä, ja haastatteluiden kohteeksi valittiin yrityksessään ylätason päätösvaltaa omaavia henkilöitä.<sup>71</sup> Haastattelut olivat noin tunnin mittaisia, ja niistä muodostettiin kattava, muistiinpanoihin pohjautuva dokumentaatio analyysityön tukemiseksi.

Haastattelut toteutettiin puolistrukturoidusti, ja niissä keskusteltiin neljästä keskeisestä teemasta:

- Miten analytiikka ja tekoäly tukevat yrityksen tämänhetkisiä operaatioita?
- Kuinka paljon yritys on investoinut analytiikkaan ja tekoölyyn, ja mitä etenemissuunnitelmia näiden aihepiirien ympärillä yrityksellä on?
- Mitä ovat yrityksen kokemat päähyödyt tekoälystä? Mitä sellaista tekoäly on mahdollistanut, joka olisi ollut yritykselle mahdotonta 5–10 vuotta sitten?  
HUOM. Mikäli yritys ei vielä ole investoinut tekoölyyn, käytiin sama keskustelu analytiikan ympärillä.
- Mitkä ovat tekoälyn ja analytiikan käyttöönoton päähaasteet?

Haastatteludokumentaatiosta johdettu analytiikka perustuu kymmeneen osaamisen osa-alueeseen, josta seuraavaksi.

### Tekoälyn kymmenen osaamisen osa-alueita – Mitä yritykset vastaavat?

Pohjautuen kymmenen kohdan osaamisalueen malliin, etenemistavaksi valittiin tekoälyn laaja-alaisen määritelmän soveltaminen, ja näin ollen analytiikan sekä kaiken datavetoisen päätöksenteon sisällyttäminen määritelmän piiriin. On kuitenkin tärkeää tiedostaa, että määritelmällä on olennainen vaikutus haastattelujen tuloksiin, sekä haastatteluista johdettaviin analyysiseihin ja johtopäätöksiin.

Keskusteluissa nousseesta tekoälyn määritelmästä voidaan korostaa muutamia avainkohtia:

- Tekoölyyn liitetään tällä hetkellä vahva ”mystiikan” sekä ”hopen” konnotaatio. Näiden teknologioiden yleistyessä käsitteet saavat valtavirtaisemman aseman, joka puolestaan ohjaa keskustelua kohti kehittyneempiä tekoälyratkaisuja.

<sup>71</sup> Yrityksistä ensimmäinen on vuonna 2017 perustettu startup-yritys, jolla koneoppivuus on jo olennainen osa ydinliiketoimintaa; Toinen yrityksistä perustettiin vuonna 2013, ja se on viime vuosina kasvanut nopean kasvupolun myötä 200 työntekijän kokoon. Myös tämä yritys listaa sekä koneoppivuuden että tekoälyn keskeisiksi osiksi operatiivista toimintamalliansa; Kolmannella monikansallisella yrityksellä on tekoälyn tutkimuskeskus Suomessa. Tutkimuskeskus tutkii ja kehittää palvelukonsepteja, jotka tukevat yrityskonsernin liiketoimintaa; Neljäs, tutkimusaineiston suurin, ulkomailta päämajaansa pitävä yritys on tehnyt merkittäviä panostuksia tekoälyn käyttöönottoon. Kyseisellä yrityksellä on merkittävä liiketoimintayksikkö Suomessa; Yrityksistä viides on hiljattain aloittanut analytiikan soveltamisen liiketoimintaansa ja tutkii paraikaa koneoppivuuden tehostavaa vaikutusta liiketoiminnassa. Kyseinen yritys on monikansallinen urheilutarvikkeiden ja -vaatetuksen tarjoaja; Kuudes yritys osoittaa pyrkimyksiä analytiikan käyttöönottoon liiketoiminnassaan. Yritys operoi matkustaja-alkusia Suomen saaristossa; Seitsemäs yritys on merkittävä suomalainen elintarvikealan tuottaja. Yritys listaa myös analytiikan sekä tekoälyn käyttöönoton tavoitteilakseen.

- Raja ”perinteisen” analytiikan, optimoinnin, heuristiikan sekä tekoälyn välillä on häilyvä ja monin paikoin vaikea määrittää. Eräässä haastattelussa navigointi- sekä uudelleenreititustoiminnallisuudet älypuhelimissa nostettiin esimerkeiksi määritteiden päällekkäisyyksistä, sillä kyseiset prosessit peilaavat pinnallisesti tekoälylle tyypillistä oppivuuden polkua.

Tekoälyn kymmenen osaamisen osa-alueita – vastauksia, analysointia ja tulevaisuuden suunnitelmia:

### 1. Data-analyysi

”Digitalisaatio ei onnistu ilman dataa” – Datan saatavuus on silti monissa yrityksissä ongelma. Tämä sinänsä lähes itsestäänselvyys siitä, että dataa tarvitaan ja sitä ei ole, kuvaa kuitenkin todellisuutta monessa yrityksessä. Yrityksillä ei ole oikeanlaista dataa käytössä data-analyysia ja koneoppimisen kokeiluita varten. Toisaalta, kyseessä voi olla tilanne, jossa dataa on tuhottu tai sitä ei systemaattisesti kerätä ja tallenneta.

Datan olemassaolo ei itsessään riitä. Lisäksi, datan tulee olla ajantasaista/reaaliaikaista ja formatoitua sekä esiprosessoitua, joita pidettiin useissa yrityksinä haasteena. Koneoppivat algoritmit vaativat riittäviä määriä dataa johtopäätösten tueksi. Datan ajantasaisuus/reaaliaikaisuus korostui haastatteluissa, sillä päätöksiä ja harkintaa pitää tehdä usein ja tilanteet muuttuvat.

Yrityksissä, joissa on jo kokemusta analytiikan ja koneoppimisen hyödyntämisestä, nämä haasteet on tunnistettu, ja laadukkaan datan keräämiseen osataan panostaa. Yhdessä haastattelussa todettiin tämän kyvykkyyden kuitenkin puuttuvan täysin, jolloin data-analyysiä voi tehdä lähinnä jälkiselvittelyn muodossa, ei niinkään operatiivisen toiminnan tukena.

”Vanha totuus” vahvistui, jonka mukaan 75 prosenttia tekoälyhankkeen työajasta menee datan esiprosessointiin.

### 2. Havainnointi ja tilannetietoisuus

Havainnointi ja tilannetietoisuus ovat keskeisiä osia tekoälyratkaisussa. Tämä osaamisalue nousee esille yrityksissä, jotka ovat jo tehneet merkittäviä panostuksia data-analyysi- ja koneoppimispohjaisiin tekoälyratkaisuihin. Näissä tapauksissa havainnointi ja tilannetietoisuus tyypillisesti laajentavat toteutetun tekoälyn kyvykkyyksiä. Haastatteluissa nousi erityisesti esille liikkeen mallintaminen, sekä ihmisliikkeen että esineiden liikkeiden osalta.

### 3. Luonnollinen kieli ja kognitio

Haastatteluissa luonnollisen kielen ymmärrys ei noussut isoksi teemaksi haastatteluissa yrityksissä. Tämä johtuu osittain haastatteluun valittujen yritysten fokuksesta. Toistaiseksi ne yritykset, joilla on jo merkittäviä panostuksia tekoälyyn eivät operoi aloilla, joissa tekstidatalla on suuri merkitys. Lisäksi esimerkiksi luonnollisen kielen ns. API-ratkaisuja löytyy hyvin suurimpien teknologiayritysten työkalupakeista. Toisaalta voidaan kuitenkin todeta, että luonnollisen kielen menetelmien hyödyntäminen saattaa nousta tulevaisuudessa merkittävämmäksi osaamisalueeksi. Lisäksi strukturoimattoman datan hyödyntäminen osana tulevia koneoppimisen ratkaisuja nähdään laajenevan.

#### 4. Vuorovaikutus ihmisen kanssa

Vuorovaikutus nousi niin ikään merkittäväksi teemaksi yrityksissä, jotka ovat jo tehneet laajempia panostuksia koneoppimiseen. Keskeisenä kysymyksenä on, miten nykyinen / tulevaisuuden tekoälyratkaisu voisi neuvoa yksilöä parempiin suoritukseen. Mikä on tarpeeksi hyvä suoritus ratkaisulta, on vielä täysin avoin kysymys. Toisin sanoen nämä mallit ovat vielä työn alla, eikä ratkaisuja ole vielä viety loppuasiakaskäyttöön.

#### 5. Digitaidot työelämässä

Yrityksissä on havaittu tarve ymmärtää, miten tekoälyä voisi hyödyntää, mutta keskustelu siitä, missä ja miten sitä pitäisi soveltaa, on vielä usein kesken. Haastateltavat henkilöt toivat toistuvasti esille tarpeen huomauttaa, ettei teknologian itsessään pitäisi olla fokus vaan liiketoiminnan tarpeiden ymmärtämisen, ongelman kuvaamisen ja teknologian soveltamisen tässä ympäristössä. Tämä pätee osittain jopa niissä yrityksissä, joissa panostukset tekoälyyn ovat olleet huomattavia.

#### 6. Koneoppiminen

Koneoppiminen on toistaiseksi tekoälyn edistyneemmissä kyvykkyyksissä keskeisessä asemassa. Sitä hyödynnetään lähes kaikissa yrityksissä, jotka ovat tehneet merkittäviä panostuksia tekoälyyn. Voidaan sanoa, että algoritmien kyvykkyydet oppia ilman uudelleenohjelmointia ovat tärkeässä asemassa, kun uusia tekoälyyn pohjautuvia ratkaisuja rakennetaan.

#### 7. Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset

Järjestelmätasoa ja systeemivaikutuksia koskeva teema ei noussut keskeiseen asemaan haastatteluissa. Tämä johtunee siitä, että tekoälyyn pohjautuvia ratkaisuja on kuitenkin suhteellisen vähän käytössä. Haastatelluista yrityksistä neljällä oli laajamittaisia koneoppimis-/tekoälyratkaisuja käytössä. Kaksi näistä neljästä oli ohjelmistopohjaisia palveluja, joihin tämä osaamisalue ei suoranaisesti sovellu hyödynnettäväksi.

#### 8. Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit

Teknologia-alustojen merkitys nousi lähes kaikissa haastatteluissa erittäin keskeiseen asemaan. Riippumatta yrityksen tekoälyn hyödyntämisen kypsyydestä, pääpainopiste yrityksissä oli joko datan infrastruktuurissa tai tekoälyalustojen laskentaympäristöissä.

Datan infrastruktuurin osalta keskitetty datan säilytys nousi vahvaksi teemaksi. On huomioitava, että tehokas datapohjainen päätöksenteko ei ole mahdollista ilman keskitettyä säilytyspaikkaa, joka toimii pohjana, kun datapohjaisia ratkaisuja rakennetaan. Tähän liittyy myös datan ajantasaisuus ja datan päivityksien toistumistiheys. Usein päätöksenteon pitää nojautua ajan tasalla olevaan lähes reaaliaikaiseen dataan. Erityistä huomiota on noudatettava datan päivitystiheyden osalta, jos kyseessä on autonominen järjestelmä ilman reaaliaikaista yhteyttä erilaisiin pilvi-infrastruktuureihin. Tämä korostui haastatteluissa varsinkin meriliikenteen osalta, mutta sama koskee kaikkia alueita ilman kattavaa tietoliikenneinfrastruktuuria.

## 9. Robotiikka ja koneautomaatio, tekoälyn fyysinen ulottuvuus

Haastatteluissa tämä teema liittyi vahvasti kohtaan 4). Tämä saattaa osittain johtua siitä, että haastateltavien yritysten joukossa ei ollut varsinaisesti tuotantoautomaatioita hyödyntäviä yrityksiä.

## 10. Etiikka, moraalit, regulaatio ja lainsäädäntö

Eräissä tapauksissa, joissa työn alla on uusia liiketoimintatapoja ja -malleja, koettiin, että regulaatio ei ole ajan tasalla. Tähän liittyvät mm. eri toimijoiden vastuukysymykset, kun kysymyksessä ovat turvallisuuskriittiset järjestelmät, jotka ovat osittain tai täysin autonomisia. Euroopan unionin tietosuojasetus (GDPR) on myös aiheuttanut haasteita ja kysymyksiä tekoälyn soveltamisen saralla.

Yllämainittujen osaamisen näkökulmien lisäksi haastatteluista nousi yksi teema yli muiden – toimialaosaaminen. Toimialaosaaminen listattiin olennaiseksi osaamisalueeksi, kun mietitään analytiikkaprosesseja ja tekoälyn soveltamista ja sovelluksia. Lisäksi yrityksissä nähtiin, että ohjelmistokehitykseen olennaisesti liittyvät työelämätaidot eroavat tekoälymallien kehittämisen taidosta. Esimerkiksi ohjelmointitaitoa ei voida rinnastaa tekoälymallin luomisen taitoon koneoppivuuden, konenäön tai luonnollisen kielen ymmärryksen parissa. Tästä huolimatta tekoälymallit eivät toimi eristyksessä ohjelmistoista vaan ne vaativat olemassa oleviin ohjelmistoihin liittämistä, käyttöliittymän tai oman ohjelmistokokonaisuuden rakentamista ollakseen käyttökelpoisia. Laajemmin ajateltuna tämä edellyttää myös IT-infrastruktuurin sekä liiketoimintaprosessien mukaan liittämistä osaksi kehitystyötä. Voidaan todeta, että toimivan tekoälyn tuotantoon saattaminen vaatii paitsi analytiikkataittoa, myös ohjelmistokehitystaitoa. Vain harva osaaaja pystyy osoittamaan riittävää kyvykkyyttä molemmilla osa-alueilla, ja tämä on olennaista huomioida organisaatiotasolla.

## Hyödyt

Kaikissa yrityksissä, riippumatta analytiikan ja tekoälyn soveltamisen kypsyyssasteesta, oli voimakas tahtotila vahvistaa yrityksen datapohjaista päätöksentekoa. Tietyissä yrityksissä, tekoäly toimii mahdollistajana, eli yrityksen liiketoiminnan tapa- ja malli oli rakennettu koneoppivien algoritmien päälle. Nämä yritykset olivat suhteellisen nuoria elinkaareltaan. Yritykset, joissa datavetoinen päätöksenteko on pitkällä ja tekoälyn soveltaminen on aloitettu, ovat myös systemaattisesti ratkaisseet alla olevia haasteita.

## Haasteet

Haastatteluissa esille tuodut suurimmat haasteet voidaan tiivistää kolmeen kohtaan:

### 1. Tekoälyn määritelmä ja soveltaminen

Tekoälyn määritelmä miellettiin yrityksissä häilyväksi ja todettiin, että jatkuva ja nopea teknologinen kehitys tulee muuttamaan käsityksiä tekoälystä ja siitä, miten sitä voidaan yrityksissä soveltaa. Tämä vaatii usein yritysten omalta henkilöstöltä syvällisempää osaamista eri teknologioista ja niiden soveltamisen mahdollisuuksista, niin perinteisen analytiikan alueelta kuin laajemmin tekoälyteknologioiksi nyt mielletävissä menetelmistään. Uudet teknologiat ja menetelmät tuovat usein mukanaan uusia mahdollisia tapoja ratkoa liiketoiminnan ongelmia uudella tavalla.

Haastatelluissa yrityksissä korostui vahvasti tarve soveltaa datavetoista päätöksentekoa ja koneoppimista/tekoälyä liiketoiminnan tarpeiden pohjalta. Käytännön toteutus vaatii käytännön ja liiketoiminnan syvällistä ymmärrystä siitä, missä ja miten tekoälyä voi ja kannattaa hyödyntää, ja missä perinteinen analytiikka tarjoaa puitteet ongelman ratkaisemiseksi.

Yritysten haasteena on identifioida, mitkä analytiikan ja koneoppimisen menetelmät ovat hyödyllisiä liiketoiminnallisia ennusteongelmia ratkaistaessa. Laajemmin ajateltuna analytiikan ja koneoppimisen kehityksen seuraaminen vaatii yrityksiltä omia resursseja, joita yrityksissä ei aina ole.

## 2. Datan saatavuus, ajantasaisuus sekä prosessointi

Lähes kaikki haastatteluissa mukana olleet yritykset nostivat datan käsittelyn haasteeksi. Riippumatta yrityksen data-analyysin tai koneoppimisen kypsyydestä datan sisäinen konsolidointi eri jäljitelmistä nähtiin myös ongelmallisena. Datan sisäinen konsolidointi mahdollistaa mm. metadatan yhtenäisyyden. Näin data on keskitetysti saatavilla analytiikan ja tekoälyn kehittämiseen ja operointiin.

Toiseksi haasteeksi nähtiin ajantasaisen datan saatavuus. Tekoälyn avulla pystytään tyypillisesti hyödyntämään uusia ja laajoja datalähteitä. Käyttöön voidaan ottaa myös datalähteitä, joita aikaisemmin oli hankala prosessoida perinteisillä analytiikkamenetelmillä. Haastatteluissa korostui mm. kuva- ja videodatan prosessointi, mutta asiaan liittyy myös vapaamuotoinen tekstidata.

Kolmanneksi haasteeksi miellettiin datan esikäsittely esimerkiksi koneoppivia malleja varten. Ongelma tunnistettiin varsinkin yrityksissä, joissa oli käytössä pitkälle vietyjä analytiikkaratkaisuja. Tästä voi päätellä, että pelkkä datan saatavuus ei riitä, vaan sen laadulla ja käytettävyydellä on iso merkitys. Riittävästi aikaa ja resursseja pitää allokoida myös datan esivalmisteluun.

## 3. Osaaminen ja käyttöönotto

Haastatteluissa kävi ilmi, että onnistuneet analytiikka- ja tekoälyhankkeet huomioivat liiketoiminnan tarpeet niin, että ratkaisusta muodostuu saumaton osa olemassa olevaa tai uutta liiketoimintaprosessia ja-mallia. Huomiota on kiinnitettävä olemassa olevan IT-infrastruktuurin liittämiseen osaksi analytiikka- tai tekoälyinfrastruktuureja ja -ratkaisuja. Lisäksi datavetoinen päätöksenteko, analytiikan tai tekoälyn avulla, vaatii toimialaosaaamista, laajaa analytiikkaosaamista (ml. koneoppiminen) sekä ohjelmistokehitys- ja IT-infrastruktuuriosaamista. Tähän sisältyy myös käyttökokemus eli tapa, jolla loppukäyttäjä hyödyntää dataa päätöksenteossa. Käytännön haasteena yrityksissä on löytää keinot, joilla nämä usein eri organisaatioissa olevat osaamisalueet yhdistetään niin, että vuorovaikutus on riittävää.



### 3.5 Yhteenveto ja suositukset

Digibarometri 2017, Digibarometri 2018 ja tätä raporttia varten tehty analyysi viittaavat siihen, että suomalaiset yritykset ovat panostaneet data-analytiikkaa ja tekoälyteknologioita hallitsevan henkilöstön hankintaan. Ovatko panostukset riittäviä?

Lähtökohdat tekoälyn hyödyntämiselle ja soveltamiselle ovat suhteellisen hyvät myös niissä yrityksissä, joissa liiketoimintamalli ei suoraan nojaa analytiikan ja koneoppimisen kyvykkyyksiin (tekoälyvyvykkyyksiin). Kaikissa haastatelluista yrityksistä tuotiin esille esimerkkejä, joissa päätöksentekoa on pyritty parantamaan datan avulla. Haastatteluissa selvisi myös se, että aina ei päästy tavoitteisiin eli epäonnistuttiin ja opittiin. Lisäksi laajamittaista data-pohjaista päätöksentekoa ei siis vielä pystytty aina toteuttamaan yrityksissä, joissa tekoälyvyvykkydet eivät suoranaisesti ole osa yrityksen liiketoimintatapaa ja -mallia. Monissa yrityksissä, datan saatavuuden ja infrastruktuurin ongelmien ohella, suurimpana haasteena pidetään osaamisen siiloutumista. Periytykö yritysten siiloutuminen osaamisen siiloutumisesta, joka on perua yliopistoista ja ammattikorkeakoulujen opinto-ohjelmien rakenteista ja niiden kankeudesta? Laajamittaiset poikkiteolliset lähestymistavat ovat harvinaisempia, joissa esimerkiksi liiketoiminnan eri näkökulmat yhdistetään sekä tietotekniikkaan että laajaan analytiikkaosaamiseen.

Kuten aikaisemmin tässä raportissa on todettu, tekoäly- tai analytiikkahankkeen onnistunut implementointi vaatii kolmen osaamisalueen yhteen sovittamista, kuten mitkä tahansa teknologian soveltamishankkeet: 1) liiketoimintaosaaminen, 2) IT-osaaminen, johon sisältyvät sekä sovelluksen käyttökokemuksen näkökulma että tarvittavat järjestelmäintegraatiot ja arkkitehtuurit ja 3) laaja analytiikkaosaaminen. Tämä laaja-alainen osaamisen haaste onkin johtanut tilanteeseen, jossa yritykset tekevät kokeiluja, mutta jossa laajamittainen käyttöönotto jää toteutumatta. Ongelma on myös, että kokeiluja ei ole suunniteltu skaalautuvuuden näkökulmasta. Ovatko kokeilut liian irrallisia varsinaisesta liiketoiminnasta?

Samankaltaiseen tulokseen päätyi myös Teknologiateollisuus ry, joka on kartoittanut Suomen tekoäly-yrityksiä: ”Avainasemassa on sekä yritysten että julkisen sektorin kyky käynnistää ja skaalata tekoälyn käyttöön perustuvia hankkeita ja kokeiluja ... Rahoitusta ja investointeja tarvitaan erityisesti kokeilujen skaalaamisessa<sup>72</sup>”.

Samankaltaisiin tuloksiin on päätynyt myös Microsoft, joka teetti tutkimuksen tekoälyn tilasta suomalaisissa yrityksissä. Suomen Microsoftin toimitusjohtaja toteaa, että ”monet suomalaisyritykset ovat jo toteuttaneet menestyksekkäitä pilottihankkeita, mutta liian monessa yrityksessä ollaan vielä tekoälyn suhteen odottavalla kannalla<sup>73</sup>. Raportissa todetaan lisäksi, että vain 4 prosenttia 277 tutkimuksessa olevasta eurooppalaisesta yrityksestä hyödyntää tekoälyä laajamittaisesti ja kehittyneellä tasolla.<sup>74</sup>

<sup>72</sup> <https://teknologiateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/uutiset/suomalaiset-tekoaly-yrietykset-listattiin-listalle-yksi-15-yritysta>, haettu 7.12.2018

<sup>73</sup> <https://pulse.microsoft.com/fi-fi/business-leadership-fi-fi/na/fa1-suomi-euroopan-karkea-tekoalyn-hyodyntamisessa-silti-yli-puolet-yrityksista-vastasuunnittelee-tai-pilotoi-tekoalyn-kayttoa/>, haettu 18.12.2018

<sup>74</sup> Microsoft ja Ernst Young (2018), Artificial Intelligence in Europe, Finland, Outlook for 2019 and Beyond, How 277 Major Companies Benefit from AI

## 4 KOULUTUSJÄRJESTELMÄ JA TEKÖÄLY

Tässä luvussa tarkastellaan koulutusjärjestelmän kykyä tarjota opiskelijoille tekoälyteknologioihin ja niiden hyödyntämiseen tarvittavaa osaamista ja valmiuksia. Pääpaino on suomalaisessa korkeakoulutuksessa yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa. Vertailumielessä tarkastellaan muutamaa ulkomaista korkeakoulua sekä sivutaan verkko-opetuksen kasvavaa merkitystä.

### 4.1 Suomalainen koulutusjärjestelmä

Tekoälyratkaisujen kehittäminen ja tekoälyn soveltaminen vaatii tekijänsä. Näistä osaajista on maailmanlaajuisesti huutava pula, eikä tilanne ole Suomessa merkittävästi parempi. Uusia osaajia ei tällä hetkellä valmistu riittävästi – osaajien määrän kasvattamisen tulee olla keskeinen kansallinen tavoite.

Tarvittavan osaamisen ja tarjolla olevien koulutusten kohtaaminen ei ole itsestäänselvää. Tekoälyllä viitataan tyypillisesti sellaisten tehtävien automatisointiin, joiden suorittamiseen on perinteisesti tarvittu ihmisen älykkyyttä. Samalla tekoäly muodostaa kattotermin monen eri teknologian soveltamiselle näiden tehtävien suorittamisessa. Tekoälykentän teknologioiden ja menetelmien moninaisuus johtaakin siihen, että tekoälyn sijaan koulutukset näyttävät keskittyvän tiettyjen osaamisalueiden valmiuksien kehittämiseen. Tekoäly ei terminä esiinny minkään tutkintotasaisen koulutuksen nimessä Suomessa.

Yleisesti voidaan todeta, että yliopistojen kaikki opetus ja luennot ovat julkisia yleisölle. Perustellusta syystä yleisön pääsyä opetusta ja luentoja seuraamaan voidaan kuitenkin rajoittaa. Pääsääntö on siis, että luennot ovat julkisia, ellei niitä jostakin erityisestä perustelusta syystä rajoiteta. Tarkemmin asia on kuvattu kokonaisuudessaan Yliopistolaisissa.<sup>75</sup>

Valtiovarainministeriön tietopoliittinen selonteko (2018) nostaa osaamisen kasvattamisen keskeiseksi kansalliseksi menestystekijäksi. Uusien osaajien kouluttaminen tapahtuu pääasiassa yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen (yhteisesti korkeakoulut) tutkinto- ja kurssitarjonnan kautta. Tämän reitin kautta valmistuvien osaajien määrä ei kuitenkaan pysty kattamaan tarvetta täysimääraisesti. Tekoälyn nousu keskeiseksi uudeksi organisaatioiden toimintaa muuttavaksi teknologiaksi on ollut nopeaa. Tutkintokoulutukset ovat hidas reitti äkillisen osaajatarpeen täyttämiseen. Sen sijaan täydennys- ja muuntokoulutukset voisivat tarjota mahdollisuuden uusien tekoälyn soveltamisosaajien määrän nopeampaan nostamiseen.

Tekoälykoulutuksen kenttä korkeakouluissa koostuu tällä hetkellä hyvin eri tasoisista kursseista ja kokonaisuuksista. Tekoälyosaamisen näkökulmasta koulutus voidaan jakaa kolmeen osaan sen pääasiallisten tavoitteiden näkökulmasta:

- Tekoälykoulutus, jonka tavoitteena on akateemisen tutkimusosaamisen kasvattaminen.
- Tekoälykoulutus, jonka tavoitteena on soveltavan tutkimusosaamisen kasvattaminen sekä kaupallistettavien tekoälytuotteiden tai -palveluiden tuottaminen.
- Tekoälykoulutus, jonka tavoitteena on kasvattaa osaamista tekoälyn soveltamiseen eri toimialoilla ja käyttötilanteissa.

<sup>75</sup> <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090558> haettu 8.12.2018

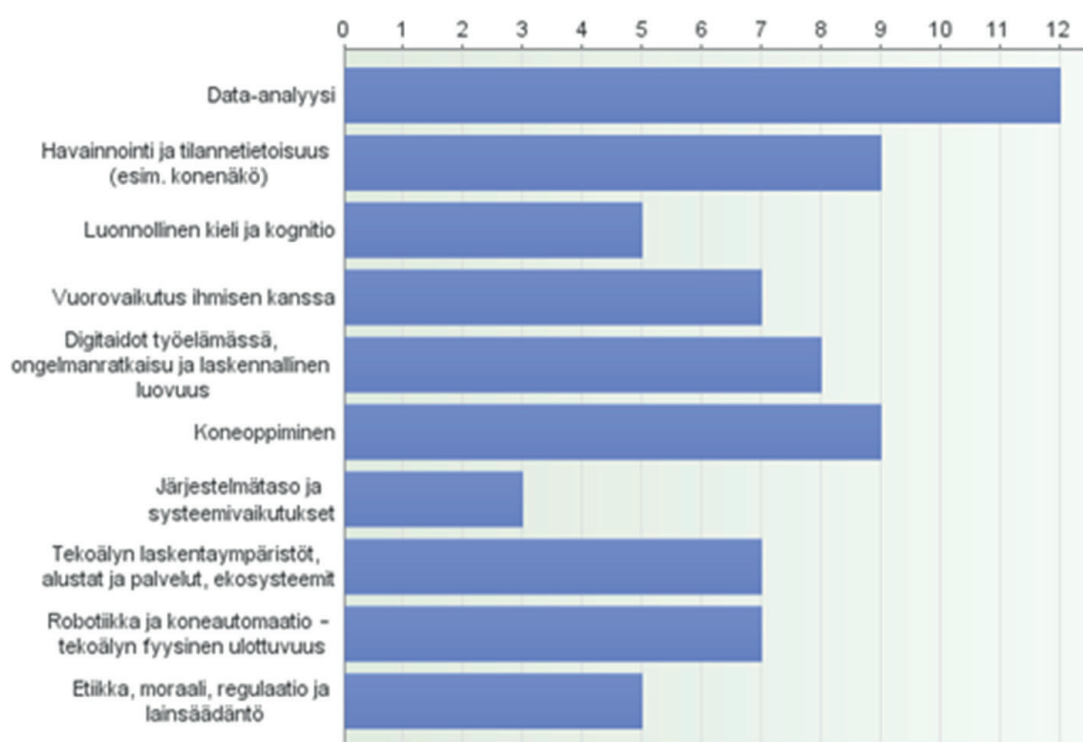
Näiden kolmen eri polun koulutukselliset sisällöt poikkeavat toisistaan merkittävästi. Samoin poikkeavat osaamisvaatimukset näille poluille aikovien opiskelijoiden osalta. Siinä missä kahden ensimmäisen polun osalta tulee luoda vahva pohja matemaattiseen ja tilastolliseen osaamiseen jo 2. asteen opintojen aikana, voi kolmannelle osallistua kevyemmillä valmiuksilla.

Yhtenä ratkaisuna osaajien määrän kasvattamiseen on tarjottu tekoälyosaamisen koulutusohjelmien aloituspaikkojen määrän merkittävää kasvattamista. Erityisesti kahden ensimmäisen polun osaajien määrän kasvattaminen vaatii pitkäjänteistä työtä eikä onnistu lyhyellä aikavälillä. Haastatteluissa kävi selvästi ilmi, että tutkintokoulutettavien aloituspaikkojen määrän lisäämisellä ei uskottu olevan merkittävää vaikutusta tämän alueen osaajien määrän kasvattamiseen 5–10 vuoden tähtäimellä, koska vaativan koulutuksen läpikäyminen ilman tarvittavia valmiuksia ei onnistu. Pitkän matematiikan suosion lasku 2. asteen koulutuksessa on johtanut siihen, että matemaattisia perusvalmiuksia omaavia opiskelijoita ei ole riittävästi. Yliopistot ovatkin siirtäneet koulutustarjonnan painopistettä puhtaasti tekoälytutkimuksen parista entistä enemmän tekoälyn soveltamiseen tutkimukseen ja koulutukseen (vrt. Oulun yliopisto).

### Tekoälyn 10 osaamisalueen koulutustarjonta suomalaisissa korkeakouluissa

Suomalaisten korkeakoulujen koulutustarjonta perustuu vahvasti eri soveltamisalueilla tarjolla oleviin kursseihin. Tutkintotasoisesti tekoälyopintoja ei ole tarjolla missään korkeakoulussa. Opintojen painottaminen kattamaan pääosin tekoälyn osaamisalueita on kuitenkin mahdollista jo monessa korkeakoulussa. Valitsemalla henkilökohtaiseen opintosuunnitelmaan kurseja tekoälypainotteisesti opiskelija voi keskittyä tekoälyn osaamisalueisiin. Erityisesti

**Kuvio 4.1 Kyselyyn vastanneiden yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen kurssitarjonnan kattavuus suhteessa tekoälyn 10 osaamisalueeseen**



data-analyysin alueella on mahdollista koota opinnot niin, että koko tutkinto koostuu tekoälyn osaamisalueen opinnoista. Aalto- ja Helsingin yliopistossa kurssitarjonnan laajuus tarjoaa parhaat mahdollisuudet lukea tekoälyopintoja pääaineena maisteritasolla. Lisäksi ensimmäinen kokonaan englanninkielinen kandidaattitason tutkinto-ohjelma käynnistyi Aalto-yliopistossa syksyllä 2018.

Osana tätä selvitystä kartoitimme yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen koulutustarjontaa korkeakouluille lähetetyllä kyselyllä. Kyselyn vastausprosentti oli yliopistojen osalta 60 prosenttia ja ammattikorkeakoulujen osalta 22 prosenttia. Kyselyn tuloksia täydennettiin haastattelujen kautta saaduilla materiaaleilla.

Peilattaessa kyselyn vastauksia suhteessa tekoälyn 10 osaamisalueeseen voidaan todeta, että yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen kurssitarjonnasta löytyy kattavimmin Data-analyysiin (80 %) liittyviä kursseja. Jaetulla toisella sijalla olivat Havainnointi ja tilannetietoisuus sekä Koneoppiminen (60 %).

Yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen kurssitarjonnasta löytyy vähiten Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset -kursseja (20 %). Jaetulla sijalla toiseksi vähiten kursseja tarjotaan osaamisalueilta Luonnollinen kieli ja kognitio sekä Etiikka, moraali, regulaatio ja lainsäädäntö (33 %).

Yliopistojen keskimääräinen osaamisalueiden määrä on 6,8 ja ammattikorkeakoulujen 3,2. Kaikille tekoälyn 10:lle osaamisalueelle koulutusta tarjosivat Helsingin yliopisto ja Aalto-yliopisto.

## **Tekoälyopintoja tutkintotasoisesti opiskelevien opiskelijoiden määrä**

Tutkintotasoisesti tekoälyopintoja opiskelevien määrän avulla pyritään arvioimaan sellaisten opiskelijoiden määrää, jotka olisivat potentiaalisia henkilöitä akateemisen ja soveltavan tutkimusosaamisen tehtäviin. Kyselyssä pyydettiin tietoja tekoälyopintoja maisteri- ja kandidaattitasolla pää- tai sivuaineena opiskelevien määrästä. Kyselyssä pyydettyjä tietoja ei ollut suoraan saatavissa korkeakoulujen opintorekistereistä, ja vastausten hajonta oli melko suuri. Haasteena oli, että tekoälyopintojen kriteeristöä tulkittiin vastaajien kesken eri tavoin.

Korkeakouluissa ei tyypillisesti ole määritelty tekoälykoulutusohjelmia, vaan useassa eri tutkinto-ohjelmassa on mahdollisuus valita pääaineeksi opintokokonaisuus, joka voidaan sisältönsä puolesta luokitella tekoälyopinnoiksi. Pääainevalinnat tehdään pääsääntöisesti kandidaattiopintojen toisen vuoden aikana ja maisteriopintoihin siirryttäessä, joten tekoälyopinnoissa aloittavien opiskelijoiden täsmällistä määrää on hankala määrittää.

Opintosuunnitelman joustava laatiminen henkilökohtaisen kiinnostuksen ja tavoitteiden mukaisesti tekee todellisen tekoälyopintojen määrän arvioinnista vaikeaa jopa pääaineen osalta. Sivuaineissa tilanne on vielä avoimempi, ja niiden rekisteröintiä ei kurssien sisällön osalta tehdä tässä selvityksessä tarvittavalla tasolla välttämättä edes tutkinnon valmistuessa. Pää- ja sivuaineena tekoälyopintoja opiskelevien opiskelijoiden määrää on tässä selvityksessä pyritty valottamaan eri korkeakoulujen esimerkkien kautta.

Helsingin yliopiston datatieteen maisteriohjelmassa aloitti 45 opiskelijaa syksyllä 2018. Tämä lukumäärä kattaa kuitenkin vain muista yliopistoista suoraan datatieteen maisteriohjelmaan tulevat opiskelijat, ja suurin osa kyseisen ohjelman opiskelijoista tulee suoraan

Helsingin yliopiston omista kandidaattiohjelmista. Osa datatieteen kandidaattiohjelmaan tulleista opiskelijoista jatkaa maisteriohjelmaan. Opiskelijamäärien arviointia haittaa se, että opinto-ohjelmaa voi vaihtaa kesken opintojen ja näiden vaihtojen osalta tilastoja ei ole käytössä. Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen kandidaattiohjelmaan valittiin 218 opiskelijaa, mutta uuden kokeilun myötä 1. vuoden opiskelut voi aloittaa kuka tahansa ilman pääsykoetta.

Turun yliopistossa tekoälyopinnot pää- tai sivuaineena maisteritasolla aloitti 55 opiskelijaa. Yhteensä tekoälyopintoja pää- tai sivuaineena opiskelevien määrä on 100 opiskelijaa. Oulun yliopistossa tekoälyopinnot pääaineena maisteritasolla aloitti 20 opiskelijaa. Yhteensä tekoälyopintoja pää- tai sivuaineena opiskelevien määrä on 143 opiskelijaa.

Aalto-yliopistossa uusia tekoälyyn liittyviä laajempia kurssikokonaisuuksia tarjotaan 2018 käynnistyneessä englanninkielisessä Data Science -kandidaattiohjelmassa ja samaan aikaan käynnistyvässä EIT Digitalin toteuttamassa Data Science -maisteriohjelmassa. Jo pidempään on toiminut kansainvälinen Machine Learning and Data Mining (Macadamia) -maisteriohjelma. Molemmista maisteriohjelmissa aloittaa 30 opiskelijaa vuosittain. Lisäksi on käynnistynyt sekä tekniikan että kauppatieteiden opiskelijoille suunnattu Analytics and Data Science -sivuaine.

Tampereen teknillisen yliopiston osalta tekoälyopintoja pää- tai sivuaineena opiskelevien määräksi arvioidaan 680 opiskelijaa, ja diplomi-insinööriksi valmistuneiden määrä on 190 opiskelijaa. Jyväskylän yliopistossa tekoälyopintoja pääaineena suorittaa 8 opiskelijaa.

## **Tekoälyopintoja tehneiden opiskelijoiden kokonaismäärä**

Tekoälyopintoja suorittaneiden opiskelijoiden kokonaismäärällä pyritään arvioimaan sellaisen opiskelijoiden määrää, jotka haluavat kasvattaa osaamistaan tekoälyn soveltamiseen eri toimialoilla ja käyttötilanteissa. Myös tällaisia opintoja suorittaneiden opiskelijoiden kokonaismäärän arviointi osoittautui kyselyn perusteella haastavaksi. Seuraavassa on esitelty yksittäisten korkeakoulujen arvioita opiskelijoiden määrästä.

Helsingin yliopiston osalta vähintään yhdelle tekoälyn johdantokurssille osallistuneiden määrä on 1 948 opiskelijaa ja muille kursseille osallistuneiden määrä kasvattaa kokonaismäärää usealla sadalla opiskelijalla. Jos osallistujien määräksi lasketaan Elements of AI MOOC-kurssin Avoimen yliopiston puolella suorittaneet suomalaiset, on luku 5 169 opiskelijaa. Kurssin luonteesta johtuen kaikki osallistujat eivät ole Helsingin yliopiston opiskelijoita tai tutkinto-opiskelijoita ylipäätään. Mielenkiintoinen ja ajankohtainen sisältö sekä mahdollisuus lukea kurssista tarjolla olevat kaksi opintopistettä osaksi omia opintoja innosti myös muiden korkeakoulujen tutkinto-opiskelijoita suorittamaan kurssin.

Aalto-yliopiston Tekoälyn perusteet -kurssille ilmoittautui noin 1 000 eri alojen opiskelijaa. Laaja tekoälyopintojen tarjonta kasvattaa tekoälykurseille osallistuneiden määrää merkittävästi.

Vähintään yhdelle tekoälykurssille osallistuneiden määriä:

- Tampereen teknillinen yliopisto, 1 550 opiskelijaa
- Turun yliopisto, 1 100 opiskelijaa
- Tampereen yliopisto, 500 opiskelijaa
- Oulun yliopisto, 245 opiskelijaa
- Svenska handelshögskolan, 5 opiskelijaa

Karelia ammattikorkeakoulussa Tekoäly ja robotiikka -kurssi kuuluu tietojenkäsittelyn koulutuksen ydinosaamisen opintoihin syksyllä 2017 ja 2018 aloittaneille opiskelijoille. Tässä koulutusohjelmassa on nyt yhteensä 96 opiskelijaa.

Vähintään yhdelle tekoälykurssille osallistuneiden määriä:

- Tampereen ammattikorkeakoulu, 100 opiskelijaa
- Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu, 20 opiskelijaa
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 10 opiskelijaa

### **Tekoälyyn tai sen soveltamiseen liittyvä kurssitarjonta korkeakouluissa**

Arvioitaessa yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen koulutustarjontaa suhteessa tämän selvityksen tekoälyn 10 osaamisalueeseen voidaan todeta, että laajin tarjonta löytyy data-analyysin ja koneoppimisen alueilta.

Yliopistoista laajin kurssitarjonta löytyy Helsingin yliopistosta ja Aalto-yliopistosta. Laaja tarjonta ja vanha osaaminen näkyvät akateemisen tutkimusosaaminen mittareissa. Noin 90 prosenttia suomalaisesta Fundamental AI -tutkimuksesta tuotetaan näissä yliopistoissa.

Akateemisesta tutkimuksen painotuksesta huolimatta Helsingin yliopiston tavoitteena on pitää maisteritason tutkinnon opetus hyvin käytännönläheisenä. Aalto-yliopiston kurssitarjonta sisältää laajan valikoiman tekoälyn menetelmiin ja teoriaan liittyviä kursseja. Tämän lisäksi tekoälyn sovellutukset tulevat esille isossa joukossa kursseja, jotka liittyvät esim. käyttöliittymiin, käytettävyyteen, tietojärjestelmiin, digitaalisiin palveluihin, älykkäisiin järjestelmiin, tuotesuunnitteluun, mekatroniikkaan, liikenteeseen, yhdyskuntasuunnitteluun ja geoinformatiikkaan. Oulun yliopistossa tekoälykoulutusta on tarjolla monessa eri tiedekunnassa. Kurssien sisällöt riippuvat tekoälyn osaamisalueiden merkityksestä ja roolista kussakin tutkinto-ohjelmassa. Yliopistojen koulutustarjonta painottuu pääosin eri soveltamisalueilla tarjolla oleviin kursseihin.

Kyselyyn vastanneiden yliopistojen kurssitarjonnan määrä:

- Aalto-yliopisto, yli 90 kurssia
- Helsingin yliopisto, yli 40 kurssia
- Tampereen teknillinen yliopisto, 32 kurssia
- Itä-Suomen yliopisto, 22 kurssia
- Tampereen yliopisto, 22 kurssia
- Jyväskylän yliopisto, 16 kurssia
- Oulun yliopistossa, 11 kurssia
- Turun yliopistossa, 10 kurssia
- Svenska Handelshögskolan, tarjolla vain muutama oma kurssi (tukeutuu muilta osin Arcada ammattikorkeakoulun kurssitarjontaan)

Ammattikorkeakoulujen koulutustarjonta keskittyy soveltavan osaamisen alueille ja on laajuudeltaan selkeästi yliopistojen koulutustarjontaa suppeampaa. Kyselyyn vastanneiden ammattikorkeakoulujen kurssitarjonnan määrä:

- Tampereen ammattikorkeakoulu, 4 kurssia
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 4 kurssia
- Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu, 2 kurssia
- Karelia ammattikorkeakoulu, 2 kurssia
- Oulun ammattikorkeakoulussa tarjolla 6 kurssia sekä laaja joukko erilaista projekti- luonteista kurssitarjontaa, jonka sisällöksi opiskelija voi valita tekoälyn soveltamisen

**Taulukko 4.1 Kyselyn yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen kurssi- tarjonnan kattavuus suhteessa tekoälyn 10 osaamisalueeseen**

	Data-analyysi	Havainnointi ja tilannetietoisuus	Luonnollinen kieli ja kognitio	Vuorovaikutus ihmisen kanssa	Digitaidot työelämässä, ongelmanratkaisu ja laskennallinen luovuus	Koneoppiminen	Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset	Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit	Robotiikka ja koneautomaatio – tekoälyn fyysinen ulottuvuus	Etiikka, moraalit, regulaatio ja lainsäädäntö	Yhteensä
<b>Yliopistot</b>											
Aalto-yliopisto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10
Helsingin yliopisto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10
Itä-Suomen yliopisto	X	X	X	X	X	X		X		X	8
Jyväskylän yliopisto	x		x	x		x		x			5
Lapin yliopisto											
Lappeenrannan teknillinen yliopisto	x	x			x	x		x			5
Maanpuolustuskorkeakoulu											
Oulun yliopisto	X	X	X			X		X			5
Svenska handelshögskolan	X				X		X			X	4
Taideyliopisto			X	X							2
Tampereen teknillinen yliopisto	X	X		X	X	X		X	X		7
Tampereen yliopisto	X	X		X		X			X	X	6
Turun yliopisto	X	X	X			X					4
Vaasan yliopisto	x					x	x	x			4
Åbo Akademi											
<b>Yhteensä</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>70</b>
<b>Ammattikorkeakoulu</b>											
Hämeen ammattikorkeakoulu	X					X					2
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu	X				X			X			3
Karelia-ammattikorkeakoulu				X	X			X			3
Oulun Ammattikorkeakoulu	X	X		X	X			X	X		6
Tampereen ammattikorkeakoulu	X					X					2
<b>Yhteensä</b>	<b>4</b>	<b>1</b>		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	<b>2</b>		<b>16</b>

X=kyselyn vastaus, x=haastattelujen kautta täydennetty tieto.

Haastatteluissa kävi ilmi, että vaikka koulutuspanostusten leikkaukset ovat vaikuttaneet koko korkeakoulukenttään, on erityisesti ammattikorkeakoulujen haasteena resurssien riittävyys. Käytössä olevat resurssit joudutaan kohdentamaan olemassa olevan koulutuksen järjestämiseen, ja kurssitarjonnan rakentaminen kokonaan uusille alueille on haastavaa. Tarve tekoälyn osaamisalueiden koulutukselle on kuitenkin olemassa, joten resurssipulan tuomat haasteet on pyritty ratkomaan tuottamalla kursseja yhteistyössä muiden ammattikorkeakoulujen kanssa. Näin saadaan yhteistyössä luotua useiden eri ammattikorkeakoulujen opiskelijoille riittävän laaja ja kiinnostava opintokokonaisuus. Lisäksi joidenkin ammattikorkeakoulujen opiskelijat ovat osallistuneet Helsingin yliopiston Elements of AI -kurssille. Kokemukset ovat tältä osin olleet hyviä ja HAMK harkitsee kurssin sisällyttämistä osaksi tieto- ja viestintätekniikan koulutusvastuun ydinosaamisen opintoja.

### Mitä vastaavia kursseja on suunnitteilla

Kyselyn ja haastattelujen perusteella nyt suunnitteilla oleva uusi tekoälyopetus täydentää korkeakoulujen kurssitarjontaa alueilla, joissa tarjonta on vielä koettu osin riittämättömäksi. Tutkimusosaamiseen tähtäävän opetuksen osalta kyse on lähinnä hienosäädöstä, mutta kurssitarjonnan kehittäminen tekoälyn soveltamisen alueille on selvästi kasvussa. Esimerkiksi Aalto-yliopistossa on jo laaja ja hyvin suunniteltu kokonaisuus tekoälyyn liittyviä kursseja. Tätä vahvaa osaamista hyödynnetään nyt uusien soveltavien kurssien suunnittelussa eri opinto-ohjelmissa ja tarjotaan kaikille opiskelijoille tekoälyn perusteiden opetusta mahdollisimman varhaisessa vaiheessa opintoja. ICT- ja tekoälyopetustarjontaa valmistellaan myös täydennyskoulutuksena jatkuvan oppimisen mallin mukaisesti yhteistyössä muiden tekniikan yliopistojen kanssa.

Yliopistoissa suunnitteilla olevia kursseja:

- Helsingin yliopisto, Ethics of AI ja Data Science and Law
- Tampereen teknillinen yliopisto, Artificial intelligence -jatkokurssi ja Seminar on deep learning methods
- Turun yliopisto, kuvantunnistukseen liittyvä kurssi
- Oulun yliopisto, syväoppiminen (deep learning)

Kajaanin ammattikorkeakoulu (KAMK) aloittaa vuoden 2019 syksyllä ensimmäisenä ammattikorkeakouluna datasta tekoälyyn koulutusohjelman insinööreille. KAMK on panostanut tekoälylaskentaan tarvittaviin laskenta-alustoihin, viimeksi hankkimalla tieteellisen laskennan keskukselta CSC:ltä käytetyn supertietokoneen.

Karelia ammattikorkeakoulussa uusien kurssien tarjonta nojaa kansallisessa Automation in Networks (AuNe) -hankkeessa toteutettaviin 10 opintopisteen Koneoppiminen ja virtuaalitodellisuus järjestelmissä -opintoihin. Osin tekoälyopintoja sivuava kokonaisuus on syksyllä 2019 alkava kolmen ammattikorkeakoulun yhteistyönä toteutettava korkeakouludiplomikoulutus Ohjelmistorobotiikka (60 op), jossa Karelian toteutusvastuulla on kolmannes opetuksesta.

Tampereen ammattikorkeakoulussa suunnitteilla on Data-analytiikka, Big data ja data-analyysi sekä Tekoälyn perusteet -kurssit. Tampereen alueen korkeakoulujen TRE3-yhteistyön puitteissa tehdään yhteistyötä myös opetussuunnitelmatyössä, ja tekoälyn osaamisalueiden kurssit ovat keskeinen osa näin syntyvää uutta kurssisisältöä.



Hämeenlinnan ammattikorkeakoulussa opintoihin ollaan sisällyttämässä tekoälyyn liittyviä opintoja. Tieto- ja viestintäteknikan koulutusvastuussa suunnitellaan noin 15 opintopisteen laajuista kokonaisuutta otsikolla Tekoäly, koneoppiminen ja data-analytiikka. Profiloiviin opintoihin kuuluvan kokonaisuuden ensimmäinen toteutus olisi kolmen vuoden päästä.

### **Mahdollisuus sisällyttää tekoälykurseja perusopintoihin**

Henkilökohtaisen opintosuunnitelman sisällölliset valinnat mahdollistavat opintojen painottamisen opiskelijan oman mielenkiinnon ja kiinnostuksen kohteiden mukaisesti. Poikkeuksen muodostavat EU-tasolla säädellyt tutkinnot (mm. arkkitehti), joiden kurssien sisältö on tarkkaan määritelty ja liikkumavaraa on vähän tai ollenkaan.

Kyselyn perusteella pääsääntönä on, että tekoälyopintojen sisällyttäminen osaksi opintoja on mahdollista kaikissa korkeakouluissa. Tekoälyn osaamisalueiden merkityksen ja kysynnän kasvu ovat johtaneet erityisesti johdanto- ja peruskurssien osallistujamäärien rajuun kasvuun, mutta myös laajemmat kurssikokonaisuudet ovat kasvattaneet suosiotaan. Korkeakoulusta riippuen tekoälyopintoja voi sisällyttää perusopintoihin, vapaaehtoiisiin opintoihin, vapaan sivuaineoikeuden opintoihin, vapaasti valittaviin opintoihin tai täydentävien osaamisten opintoihin. Opiskelijan itsensä valitsemat sisällöt voivat olla laajuudeltaan jopa 25 opintopistettä. Oulun ammattikorkeakoulussa opintojen painottaminen on mahdollista tehdä vielä voimakkaammin tekoälyopintojen suuntaan.

Tekoälyopinnot eivät siis tältä osin ole erityisasemassa, vaan vastaavat mahdollisuudet henkilökohtaisen opintosuunnitelman muokkaamiseen koskevat kaikkia muitakin opintoja.

### **Valmiudet tehdä tekoälyyn ja sen soveltamiseen liittyvää opetusta myös muiden hyödynnettäväksi**

Helsingin yliopiston valmiudet avoimien oppimateriaalien tuottamiseen ovat hyvät ja saavutukset valtakunnallisesti ainutlaatuiset. Osoituksena hyvistä valmiuksista on suuren suosion saavuttanut Elements of AI -kurssi, jolle on tulossa kaksi jatkokurssia kevään 2019 aikana. mooc.fi on yksi Helsingin yliopiston verkko-oppimisalustoista, ja siellä on tarjolla kourallinen tietojenkäsittelyyn liittyviä kursseja.

Itä-Suomen yliopiston valmius MOOC-kursseihin on hyvä. Jo nyt moni kurssi perustuu flipped classroom -malliin tai on toteutettu verkkokurssina. Valmiudet yritysyhteistyöhön ovat hyvät, sillä datatieteen opetuksen kehittämisen työryhmässä on yritysmaailman edustusta ja tietojenkäsittelytieteen laitoksella on laajaa kokemusta koulutuksen järjestämisestä yrityksille.

Osa Oulun yliopiston tekoälykursseista on tarkoitus toteuttaa verkkokursseina vuoden 2020 loppuun mennessä. Tällöin kursseja voidaan tarjota myös muiden yliopistojen ja yritysten hyödynnettäväksi.

Tampereen teknillinen yliopisto tunnetaan laajasta yritysyhteistyöstään ja yritysten kouluttamisesta myös tekoälyn saralla. Joulukuussa 2018 käynnistyy myös teollisuuden tekoälykeskus ”AI Hub for Intelligent Machines” (kotisivu: tampere.ai), jonka keskeinen toimintamuoto on yrityksille tarjottava koulutus ja tuki. Lisäksi avoimen yliopiston kautta on mahdollista päästä mukaan Tampereen teknillisen yliopiston tarjoamille opintojaksoille.

Aalto-yliopistossa joitakin tekoälyyn liittyviä kursseja on jo suunniteltu muutettavaksi verkko-opetukseen. Valmius ja halu tähän muutokseen myös suuremmassa mittakaavassa on olemassa, kunhan kurssien toteutukseen tarvittavat resurssit saadaan varmistettua.

Ammattikorkeakoulujen panostukset kohdentuvat nykyiseen opetukseen ja sen tehokkuuden parantamiseen eikä MOOC-kursseja ole suunnitteilla. Oulun ammattikorkeakoulussa on E-kampuksen kautta hyvät valmiudet opetuksen siirtämiseksi verkkoon, mutta opetuksessa ei tällä hetkellä ole valmiuksia tehdä tekoälyyn liittyvää opetusta, vaikka sovellutuskohteita ja tarpeita kyllä olisi.

Opetus- ja kulttuuriministeriön avaama erityisavustushaku ja sen tuoma lisärahoitus olisi tervetullut toimenpide verkko-opetuksen resurssivajeen ratkaisemiseen.

### **Yleinen koulutustarjonta ja yhteistyö yritysten kanssa**

Elements of AI -kurssin ovat suunnitelleet Helsingin yliopisto ja Reaktor yhdessä. Kurssin pohjana käytettiin Helsingin yliopiston Johdatus tekoälyyn -kurssia ja sen vastuupettaja on apulaisprofessori Teemu Roos. Reaktorilta toimialan näkemyksiä on antanut tekoälystä vastaava johtaja Hanna Hagström. Kurssi on osa Tekoälyn tutkimuskeskuksen (FCAI) koulutusohjelmaa, ja mukana kurssin mahdollistamisessa ovat olleet Avoin yliopisto ja mooc.fi.

Kurssi avattiin toukokuussa 2018 englanninkielisenä ja marraskuussa 2018 tarjolle tuli myös suomenkielinen versio. Englanninkieliselle kurssille on puolesta vuodesta rekisteröitynyt noin 100 000 osallistujaa. Näistä vain noin 10 prosenttia on suorittanut kurssin loppuun asti. Laadukas sisältö ja englanninkielinen toteutus houkuttelee osallistujia myös Suomen ulkopuolelta. Noin puolet osallistujista tulee Suomesta.

Kurssi koostuu itsenäisesti opiskeltavasta materiaalista, interaktiivisesta sisällöstä ja tehtävistä, jotka on ryhmitelty kuuteen osa-alueeseen:

1. Mitä tekoäly on?
2. Ongelmanratkaisu tekoälyn avulla
3. Tekoälyn käytännön sovellutukset
4. Koneoppiminen
5. Neuroverkot
6. Tekoälyn vaikutukset

Noin puolet kurssille rekisteröityneistä osallistujista on käynyt vain tutustumassa sisältöön eikä olet tehnyt lainkaan varsinaisia tehtäviä. Kurssin suorittaminen vaatii arviolta noin 30 tuntia. Kurssin loppuun suorittaneista noin neljännes on alle 45-vuotiaita ja naisia lähes 40 prosenttia.

Suomenkielisen version tavoitteena on avata ovi tekoälyn maailmaan myös niille osallistujille, joille uusiin asioihin tutustuminen englanninkielellä nostaa opiskelun aloittamisen ja erityisesti loppuunsaattamisen kynnyistä. Tekijöiden tavoitteena on saada yksi prosentti suomalaisista tutustumaan ja opiskelemaan tekoälyn perusteita. syksyllä 2018 tästä tavoitteesta ollaan vielä kaukana. Siksi kurssin suomenkielisen version julkaiseminen on erityisen tärkeä askel matkalla kohti tätä tavoitetta.

Osallistujien kirjo on laaja ja mukana on opiskelijoiden lisäksi iso joukko työelämässä jo pidempään olleita eri alojen ammattilaisia. Kurssin järjestäjät ovat käynnistäneet ohjelman (#tekoälyhaaste), johon mukaan tulevat yritykset järjestävät tutustumistilaisuuksia ja tekoälykoulutusta omien valmiuksiensa puitteissa.

Yliopistoille tehdyn kyselyn perusteella myös muiden yliopistojen suunnitelmissa on siirtää erityisesti laajalle opiskelijajoukolle tarkoitettuja tyypillisesti johdanto- tai peruskursseja verkko-oppimisympäristöissä toteutettavaksi. Aalto-yliopiston Tekoälyn perusteet -kurssin voi suorittaa kokonaan verkko-oppimisena syksyllä 2018. Kurssille ilmoittautui yli 1 000 opiskelijaa.

Tekoälyn soveltamisen osaamisen kasvattamiseen on monia tapoja. Ammatilliset oppilaitokset eivät tässä selvityksessä nousseet merkittävästi esille, mutta tälläkin alueella tehdään tekoälyn soveltamisen osaamisen kasvattamista. Hyvänä esimerkkinä tekoälyn kansalais-taitojen saattamisesta kaikkien saataville on Espoon seudun koulutuskuntayhtymä Omnian suojissa toimiva Omnia AI Lab, jossa eri elämäntilanteissa olevat oppijat voivat kasvattaa omaa tekoälyosaamistaan.

### Tekoälyyn keskittyvien opinto-ohjelmien löydettävyys

Osana tätä selvitystä kartoitimme eri tutkinto-ohjelmien löydettävyyttä opiskelupaikkaa etsiville opiskelijoille. Tutkinto-ohjelmien löytäminen korkeakoulujen omilta sivuilta on mahdollista, mutta tarjonnan läpikäyminen tällä tavalla on työlästä. Opetushallituksen ylläpitämä opintopolku.fi -verkkosivusto tarjoaa koulutuksen järjestäjille ja korkeakouluille keskitetyn paikan, jossa ne voivat ylläpitää tietoja koulutuksistaan. Tietojen oikeellisuus on koulutuksen järjestäjän tai korkeakoulun vastuulla.

Kartoituksen pohjaksi valittiin hakusanat, joiden perusteella tarjottavia tutkinto-ohjelmia haettiin opintopolku.fi:n tarjonnasta. Ensimmäinen haku tehtiin sanoilla Tekoäly ja Artificial Intelligence. Tämän lisäksi tehtiin toinen haku korkeakouluille tehdyn kyselyn pohjalta laa-

### Taulukko 4.2 Tekoälyn osaamisalueiden tutkinto-ohjelmat opintopolku.fi -sivustolla

Koulutusohjelma	Opetuskielenä suomi, ruotsi ja englanti		Kokonaan englanninkielinen toteutus		Yhteensä
	Avainsanat	Kuvaus	Avainsanat	Kuvaus	
Tohtoriohjelma		3			3
Kandidaatti- ja maisteriohjelma	10	7	2		19
Maisteriohjelma	13	11	3	19	46
Kandidaattiohjelma					0
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto	1	2	2	1	6
Ammattikorkeakoulututkinto	4	11	1	4	20
2. asteen koulutus		1			1
Avoin yliopisto		4		1	5
Yhteensä	28	39	8	25	100

Hakusanat: tekoäly, artificial intelligence, data-analytiikka ja data analytics.

jimman kattavuuden osaamisalueelle sanoilla Data-analytiikka ja Data Analytics. Hakutulokset luokiteltiin kahteen ryhmään sen mukaan, onko hakusana listattu avainsanojen joukkoon vai löytyykö viittaus hakusanaan tutkinto-ohjelman kuvauksesta. Haut tehtiin marraskuussa 2018, ja tietojen poiminta tehtiin manuaalisesti.

Edellä kuvatuilla neljällä hakusanalla tutkinto-ohjelmia löytyi 100 kappaletta. Kokonaan englanninkielellä toteutettuja tutkinto-ohjelmia oli 33 kappaletta. Tämän lisäksi useissa tutkinto-ohjelmissa koulutuksen kieleksi mainittiin suomi, ruotsi ja englanti.

Suomalaisen tekoälyopetuksen tarjonta painottuu yliopistojen osalta maisteriohjelmiin ja ammattikorkeakouluissa AMK-tutkintoihin. Kokonaan englanninkielisten toteutusten määrä on kasvussa, ja ne muodostavat jo noin kolmanneksen kaikista tämän haun tutkinnoista. Haussa käytettyjen tekoälyn osaamisalueiden nostamisen tutkinnon avainsanojen joukkoon on tehnyt 36 tutkintoa.

Toisen asteen koulutuksen ainoa hakutulos oli Vuosaaren lukion, jossa tarjolla olevia uusia painotuskursseja teknologiassa ovat mm. tekoäly- ja robotiikka sekä ohjelmistokurssit.

## 4.2 Poimintoja kansainvälisestä koulutusjärjestelmästä

Kansainvälinen koulutustarjonta noudattelee aiemmissa luvuissa esiin nostettuja tutkimuksen maantieteellisiä painotuksia. Tutkimuksen osalta Yhdysvallat on edelleen selkeä kärkimaa, vaikka Kiinan merkitys erityisesti tutkimuksen määrällisissä arvioissa on noussut. Tutkimuksen raportointiin löytyy monia vakiintuneita menetelmiä, mutta opetuksen osalta vastaavan tarkkuustason mittareita ei ole tarjolla.

Korkeakoulujen koulutuksen arviointi ja opetustoiminnan laadun toteaminen erilaisten akkreditointien avulla on vakiintunut keino varmistaa opetuksen kehittämisen tulosten laatu ja suunnata tulevia toimenpiteitä. Akkreditoinnit ovat keskeisessä osassa myös opetuksen laadun viestinnässä sidosryhmille, erityisesti tuleville opiskelijoille. Akkreditoinnit myönnetään kuitenkin yleensä varsin laajoina kokonaisuuksina, ja ne mittaavat enemmän yliopiston, tiedekunnan tai koulun opetuksen keskimääräistä laatua kuin yksittäisten tutkinto-ohjelmien tasoa ja aihealuekohtaisia laajuuksia.

Selvityksen perusteella osoittautui, että kansainvälisen koulutustarjonnan syvälliseen arviointiin tarvittavat tiedot ovat vaikeasti saavutettavissa. Useissa soveltuvissa verrokkimaissa yliopistotason koulutuksen järjestäminen poikkeaa rakenteeltaan suomalaisesta, ja koko maan kattavaa keskitettyä raportointia ei ole julkisesti käytettävissä. Tencentin (2018) arvion mukaan tekoälyopetusta tarjotaan maailmanlaajuisesti noin 370 yliopistossa, ja näistä tutkinto-ohjelmista valmistuu vuosittain lähes 20 000 henkilöä.

Lähestyimme koulutustarjonnan alueellisten painopisteiden selvittämistä kahden tuoreen tekoälyosaajaraportin kautta. Gagnén (2018) raportin perusteella tarve kokeneille, teknisesti kyvykkäille ja tohtorin tutkinnon suorittaneille osaajille on jatkossakin tarjontaa suurempi. Tällaisten akateemista tai soveltavaa tutkimusosaamista omaavien osaajien kokonaismääräksi arvioitiin raportissa noin 22 000 henkilöä. Tohtorin tutkinnon kasvava merkitys saa myös vahvistusta, kun keskustelemme eri tekoäly-yritysten kanssa erityisesti uusien tekoälyn teknologioiden kehittämisestä.

## Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA

Nykymuotoinen Carnegie Mellon University (CMU) perustettiin vuonna 1967, mutta yliopiston edeltäjät ja historia ulottuu 1900-luvun alkuun. Yliopistossa on noin 13 000 opiskelijaa. Vuosittain kandidaattiohjelmissa aloittaa noin 1 500 opiskelijaa ja näistä noin 200 Tietotekniikan koulussa (School of Computer Science).

CMU on arvioitu useissa vertailuissa tekoälyn kärkiyliopistoiksi maailmassa. Tietotekniikan koulu perustettiin vuonna 1965, mutta ensimmäinen IBM-tietokone otettiin yliopistolla käyttöön jo vuonna 1956. Tekoälyn tutkimusohjelma ja opetus pohjautuu edelleen siihen urauurtavaan tutkimustyöhön, jonka käynnistivät tekoälyn palkitut pioneerit Allen Newell, Herbert A. Simon ja Alan J. Perlis jo 1950-luvulla.

Vuonna 2017 CMU käynnisti kokonaisvaltaisen tutkimus- ja opetusohjelman, jossa henkilökunta ja opiskelijat muodostavat yli 1 000 henkilön yhteisön erilaisten tutkimusongelmien ratkomiseksi ja osaamisen kasvattamiseksi. Henkilökunnan ja opiskelijoiden suhde tässä yhteisössä on 1/5.

Vaikka akateeminen tutkimus on ollut aina tärkeä painopiste CMU:ssa, on tutkimukseen aina liittynyt olennaisena osana poikkitieteellisyys ja teknologian soveltaminen uusille alueille. Tämä perinne näkyy edelleen – pelkästään Tietotekniikan koulussa on tarjolla yli 20 eri tavoin painotettua maisteriohjelmaa.

CMU käynnisti vuoden 2018 syksyllä ensimmäisenä yhdysvaltalaisena yliopistona kandidaattitason Artificial Intelligence -tutkinto-ohjelman. Koulutusohjelman käynnistysvaiheessa sen mukaisesti opiskelee noin sata 2.–4. vuosikurssin opiskelijaa ja ohjelmassa aloittaa vuosittain 30–35 uutta opiskelijaa. Lisäksi tutkinto-ohjelmaan voi tulla opiskelijoita muista ohjelmista ensimmäisen vuoden jälkeen tehtävien pääainevalintojen kautta.

Tencentin selvityksessä osaajien määritelmä on väljempi, ja mukaan on laskettu tekoälytieteen kaikki jäsenet muodollisesta koulutustasosta riippumatta. Tällä määritelmällä osaajien määräksi saadaan noin 300 000 henkilöä, joista noin 200 000 työskentelee akateemisen tutkimuksen ulkopuolella. Vaikka osaajien määritelmät poikkesivat toisistaan, olivat Yhdysvallat ja Kiina molemmissa selvityksissä osaajien määrässä kärkikaksikko. Euroopassa Gagnén määritelmän mukaisten osaajien määrä on suurin Yhdistyneissä kuningaskunnissa. Osaajien liikkuvuus on korkean kysynnän vallitessa tavallista suurempaa, mutta uskomme osaajien ja koulutusohjelmien maantieteellisen jakauman vastaavan melko hyvin toisiaan.

Olemme tähän selvitykseen ottaneet mukaan katsauksen Yhdistyneiden kuningaskuntien tekoälykoulutuksen ohjelmiin sekä avanneet kahden yliopiston (Carnegie Mellon University / Yhdysvallat ja Brunel / Yhdistyneet kuningaskunnat) koulutuksen mallia. Lisäksi arvioimme Kiinan koulutusjärjestelmän painotuksia suhteessa tekoälyn 10 osaamisalueeseen.

### Yliopistojen koulutustarjonta: Yhdistyneet kuningaskunnat

Yliopistojen toiminta on Yhdistyneissä kuningaskunnissa hyvin itsenäistä ja koulutustarjonnan suunnittelu markkinaohjautuvaa. Yliopistot joutuvat hankkimaan merkittävän osan opetukseen liittyvästä rahoituksesta itse, ja valtion tuki on noin 70–80 prosenttia kokonais-

kustannuksista. Kiinnostavien ja hyvin opiskelijoita keräävien tutkinto-ohjelmien merkitys on myös yliopistotasolla suuri. Opiskelijoiden määrän kasvun myötä opetukseen käytettävissä olevan rahoituksen määrä kasvaa. Opiskelijamääriltään hiipuvien tutkinto-ohjelmien rinnalle on rakennettava uusia ja suosittuja tutkinto-ohjelmia. Tästä johtuen monet yliopistot ovat liittäneet perinteisten tietojenkäsittelyn tutkinto-ohjelmien yhteyteen trendikkäitä lisämääreitä, joiden avulla opiskelijoita houkutellaan. Suomessa vastaavaan markkinointiin ei ole lähdetty. Siinä missä robotiikkaan liittyvät sisällöt olivat yliopistoille vielä jokin aika sitten keskeinen vetovoimatekijä, ovat tekoäly ja data-analytiikka hyviä esimerkkejä nyt opiskelijoita kiinnostavista sisällöistä. Yliopistojen tarjoamat tekoälyyn liittyvät tutkinto-ohjelmat ovat keskittyneet seuraaville tekoällyn osaamisalueille: data-analytiikka, koneoppiminen, konenäkö, puheentunnistus ja vuorovaikutus ihmisen kanssa.

Osana tätä selvitystä kartoitimme tutkinto-ohjelmien löydettävyyden Yhdistyneissä kuningaskunnissa hotcoursesabroad.com -palvelun kautta. Kartoituksen pohjaksi valittiin samat

### Taulukko 4.3 Tekoäly- ja data-analytiikatutkintoja tarjoavat yliopistot Yhdistyneissä kuningaskunnissa

Koulutusohjelma	Artificial Intelligence	Data Analysis
Tohtoriohjelma	3	0
Maisteriohjelma	26	63
Kandidaattiohjelma	34	24

#### University of Brunel, Lontoo

University of Brunel perustettiin vuonna 1966, mutta yliopiston edeltäjät ja historia ulottuu 1800-luvun alkuun. Yliopistossa on noin 13 000 opiskelijaa, joista noin 75 prosenttia kandidaattiohjelmissa ja 25 prosenttia maisteri- tai tohtoriohjelmissa.

Brunelin tekoällyn osaamisalueiden opetus pohjautuu vuonna 1995 Intelligent Data Analysis -teeman ympärille perustettuun tutkimusryhmään. Tutkimusteeman ympärille on muodostunut pitkäaikainen seminaari, ja tutkimusjulkaisujen sarja. International Symposium on Intelligent Data Analysis (IDA) seminaari järjestettiin tänä vuonna seitsemättöoista kertaa ja mukana oli vahva edustus sekä Helsingin yliopistosta että Aalto-yliopistosta.

Brunelin maisteritason Data Science and Analytics tutkinto-ohjelmaan osallistui sen käynnistyessä alle kymmenen opiskelijaa, mutta tällä hetkellä opiskelijoiden määrä on 60–70. Tavoitteena on kasvattaa opiskelijamäärä lähivuosien aikana noin 100 opiskelijaan. Tutkinto-ohjelman kiinnostavuutta on lisännyt sen vahva linkki data-analytiikkaan keskittyvän palvelu- ja ohjelmistotalo SAS:n välineiden hyödyntämiseen käytännön opetuksessa. Opiskelijat saavat tutkinto-opintojen ohessa sertifioinnin ohjelmistojen perustason käyttöön.

Kandidaattitasolla opiskelijoita aloittaa vuosittain noin 170, ja tavoitteena on kasvattaa aloituspaikkojen määrä 300 opiskelijaan. Tutkinto-ohjelmien aloituspaikkojen määrän kasvattamisen rajoitteena on tällä hetkellä henkilökunnan määrä. Henkilökunnan ja opiskelijoiden suhde on tällä hetkellä 1/25.

hakusanat tekoäly (engl. Artificial Intelligence) ja data-analytiikka (engl. Data Analytics), joiden perusteella tarjottavia tutkinto-ohjelmia haettiin opintopolku.fi:n tarjonnasta. Yksittäinen yliopisto tarjosi tyypillisesti 1–4 tutkinto-ohjelmaa. Maisteriohjelmat ovat kestoltaan yksivuotisia ja kandidaattiohjelmien kesto yliopisto-opintojen osalta 3–4 vuotta.

Tekoälyyn keskittyviä kandidaattitason tutkinto-ohjelmia on tarjolla 34 yliopistossa ja data-analytiikkaan 24 yliopistossa. Kandidaattiohjelmien tarjonta on määrällisesti merkittävästi laajempaa kuin Suomessa. Käytännössä valtaosa tekoälyn kandidaattiohjelmista on toteutettu osana tietojenkäsittelytieteen (Computer Science) opetusta kolmivuotisessa tutkinto-ohjelmassa (Skotlannissa tutkinto-ohjelman kesto 4 vuotta). Tällöin opiskelijat keskittyvät ensimmäisen kahden vuoden ajan perinteisiin tietotekniikan ja tietojenkäsittelyn opintoihin ja erikoistuvat vasta kolmantena vuonna tekoälyn osaamisalueisiin. Kolmannelle vuodelle ajoittuu myös erikoistumisalueesta tehtävä projektityö. Monessa yliopistossa on lisäksi mahdollisuus liittää toisen ja kolmannen opiskeluvuoden väliin vuoden mittainen harjoittelujakso yrityksessä.

Tekoälyyn koko tutkinnon ajan keskittyviä kandidaattitason tutkinto-ohjelmia on tarjolla vain noin kymmenessä yliopistossa (mm. Imperial College London, University of Edinburgh ja University of Manchester).

Tekoälyyn keskittyviä maisteritason tutkinto-ohjelmia on tarjolla 26 yliopistossa ja data-analytiikkaan 63 yliopistossa. Maisteritason tutkinto-opinnot kestävät tyypillisesti vain yhden vuoden. Siinä missä kandidaattiohjelmien tutkintosisällöt pyrkivät kattamaan tekoälyn teknologia- ja osaamisalueita melko laajasti, on maisteritason tutkinto-ohjelmissä nähtävissä keskittyminen tietyille osaamisalueille. Esille nousevat tämän selvityksen tekoälyn 10 osaamisalueesta erityisesti koneoppiminen ja vuorovaikutus ihmisen kanssa.

Koulutusohjelmien lukukausimaksut vaihtelevat 13 000–34 000 euron välillä. Korkeimmat lukukausimaksut ovat yliopistovertailujen kärkipään huippuyliopistoissa (mm. University of

#### **Taulukko 4.4 Kandidaattitason Tekoäly-tutkinto-opintoja tarjoavat yliopistot Yhdistyneissä kuningaskunnissa**

Sija	Yliopisto	Tutkinto-ohjelma
9	Imperial College London	Artificial Intelligence and Machine Learning
29	University of Edinburgh	Artificial Intelligence
57	University of Manchester	Artificial Intelligence
106	University of Sheffield	Artificial Intelligence and Computer Science
116	University of Birmingham	Artificial Intelligence and Computer Science
118	University of Southampton	Computer Science with Artificial Intelligence Electric Engineering with Artificial Intelligence
119	University of York	Computer Science with Artificial Intelligence
149	University of Nottingham	Computer Science with Artificial Intelligence
153	University of Leeds	Computer Science with Artificial Intelligence
161	University of Sussex	Computer Science with Artificial Intelligence

Listauksessa mukana vain yliopistovertailun 200:n parhaaksi arvioidun yliopiston joukossa olevat yliopistot.

## Taulukko 4.5 Maisteritason Tekoäly-tutkinto-opintoja tarjoavat yliopistot Yhdistyneissä kuningaskunnissa

Sija	Yliopisto	Tutkinto-ohjelma
2	University of Cambridge	Machine Learning and Machine Intelligence Machine Learning, Speech and Language Technology
9	Imperial College London	Artificial Intelligence Machine Learning
14	University College London	Computational Statistics and Machine Learning
29	University of Edinburgh	Artificial Intelligence
57	University of Manchester	Artificial Intelligence
116	University of Birmingham	Human Computer Interaction
118	University of Southampton	Artificial Intelligence
119	Queen Mary University of London	Artificial Intelligence Machine Learning for Visual Data Analytics
149	University of Nottingham	Human Computer Interaction
158	University of Aberdeen	Artificial Intelligence
161	University of Sussex	Intelligent and Adaptive Systems
165	University of St Andrews	Artificial Intelligence Human Computer Interaction
167	University of Leicester	Human Technology Interaction

Listauksessa mukana vain yliopistovertailun 200:n parhaaksi arvioidun yliopiston joukossa olevat yliopistot.

Oxford, University of Cambridge ja Imperial College London). Paikalliset ja EU/EEA-alueelta tulevat opiskelijat maksavat alennettua lukukausimaksua, joka on tyypillisesti alle 10 000 euroa. Lukukausimaksujen käyttöönotto on osaltaan johtanut siihen, että valtaosa paikallisista opiskelijoista siirtyy kandidaattiopintojen jälkeen työelämäänsä maksaakseen opiskelujen yhteydessä kertyneen velan pois. Tämä kehitys näkyy myös maisteri- ja tohtoriopintojen opiskelijoiden kansallisuusjakaumassa. Maisteriopiskelijoista valtaosa ja tohtoriopiskelijoista lähes kaikki tulevat Yhdistyneiden kansakuntien ulkopuolelta.

Huomion arvoista on, että sisällöltään vastaavien suomalaisten tutkinto-ohjelmien lukukausimaksut ovat 12 000–15 000 euroa vuodessa. Helsingin yliopiston ja Aalto-yliopiston kanssa yliopistovertailuissa samoilla sijoilla olevien yliopistojen vuotuiset lukukausimaksut ovat noin 22 000 euroa.

### Yliopistojen koulutustarjonta: Kiina

Kiinan osuus tekoälytutkimuksen määrästä on kasvanut viime vuosien aikana merkittävästi. Kehityksen taustalla on vahva valtiollinen panostus tekoälyteknologioiden tutkimukseen. Valtiojohdon halu ymmärtää tekoälyn merkitys ja sen tuomat mahdollisuudet ilmenevät konkreettisesti Pekingin yliopiston aiheesta pitämänä luentosarjana maan ylimmälle johdolle. Kiinan julkinen rahoitus tekoälyhankkeille on yli 10 miljardia dollaria, ja tavoitteena on rakentaa tekoälyn ympärille lähivuosina uutta liiketoimintaa 150 miljardin dollarin arvosta.

Yliopistollisen tekoälytutkimuksen ja -opetuksen kehitystä pyritään vauhdittamaan erityisesti tekoälyn osaamisalueille keskittyvien tutkimuskeskusten kautta. Alla olevassa taulukossa on listattu Tencentin (2018) raportissaan esille nostamat tekoälytutkimuksen kymmenen



tärkeintä yliopistoa ja niiden tutkimuskeskukset. Osana tätä selvitystä on tutkimuskeskusten toiminnan tarkempaa sisältöä selvitetty paikallisen asiantuntijan avustuksella.

Ensimmäiset tekoälytutkimuskeskukset perustettiin yliopistojen (Chinese Academy of Sciences ja Zhejiang University) yhteyteen vuonna 1987. Valtaosa tutkimuskeskuksista on kuitenkin perustettu viimeisten kymmenen vuoden aikana, painottuen muutama vuoteen.

Tutkimuskeskusten kurssitarjonnassa tekoälyn osaamisalueista painottuvat:

- Havainnointi ja tilannetietoisuus
- Luonnollinen kieli ja kognitio
- Vuorovaikutus ihmisen kanssa
- Koneoppiminen

Lisäksi kaksi tutkimuskeskuksista keskittyy erityisesti lääketieteen soveltavaan tutkimukseen. Huomionarvoista on data-analytiikan lähes täydellinen puuttuminen kurssitarjonnan osaamisalueiden joukosta. Tämä saattaa osittain johtua siitä, että data-analytiikka on tutkimuskeskusten näkökulmasta opintojen aiemmassa vaiheessa (kandidaattitaso) kerrytettävää perusosaamista. Selvästi eniten opetusta oli tarjolla konenäön ja hahmontunnistuksen alueilla (Havainnointi ja tilannetietoisuus).

Tutkimuskeskukset keskittyvät lähtökohtaisesti tutkimukseen, ja opetuksen osalta toiminta tähtää tutkimuksellisten tavoitteiden saavuttamiseen. Valtaosa tutkimuskeskuksista tarjoaa

#### **Taulukko 4.6 Tekoälyosaamisen kannalta kymmenen tärkeintä kiinalaista yliopistoa ja niiden yhteydessä toimivat tutkimuskeskukset**

Sija	Yliopisto	Erikoistumisala
1	Tsinghua University	State Key Laboratory of Intelligent Technology and Systems
2	Peking University	State Key Laboratory of Visual and Auditory Information Processing Laboratory MOE Key Laboratory of Machine Perception
3	Chinese Academy of Sciences	State Key Laboratory of Pattern Recognition Key Laboratory of Intelligent Information Processing
4	Zhejiang University	Institute of Artificial Intelligence i-MD Research Center for Artificial Intelligence
5	Shanghai Jiao Tong University	Intelligent Computing and Intelligent Systems Laboratory (co-developed with Microsoft Research Asia)
6	Nanjing University	State Key Laboratory for Novel Software Technology
7	Fudan University	Institute of Science and Technology for Brain-Inspired Intelligence
8	Harbin Institute of Technology	MOE-MS Key Laboratory of Natural Language Processing and Speech
9	University of Science and Technology of China	National Engineering Laboratory for Brain-inspired Intelligence Technology and Application
10	Beijing University of Posts and Telecommunication	Lab of Mobile Robot and Intelligent Technology

Tekoälyosaamisen kannalta kymmenen tärkeintä kiinalaista yliopistoa ja niiden yhteydessä toimivat tutkimuskeskukset.

opetusta tohtori- ja maisteritason opiskelijoille. Osassa tutkimuskeskuksista ei tarjota opetusta lainkaan, vaan opetus on järjestetty osana yliopiston tietotekniikan tai muun tekniikan alan koulutusta. Vain yhdessä tutkimuskeskuksessa (Nanjing University) on tarjolla kurssi-tarjontaa kandidaattitason opiskelijoille. Tämä opetustarjonta on käynnistetty vuonna 2018, ja ensi vaiheen opetus toteutetaan osana yliopiston tietotekniikan opetusta.

## Kansainväliset verkkokurssit

Kansainvälisten verkko-oppimisympäristöjen [www.coursera.org](http://www.coursera.org) ja [www.edX.org](http://www.edX.org) tarjonnasta löytyy valikoima MOOC-kursseja tekoälyn 10 osaamisalueelle. Englanninkielisten kurssien aineistohaut tehtiin joulukuun alussa 2018.

Courseran toiminta käynnistyi vuonna 2012, kun kaksi Stanfordin yliopiston professoria siirsi perinteisessä muodossa opetetut kurssinsa verkko-oppimisympäristöön. Vuosien kuluessa tarjolla olleille yli 2 500 kurssille on ollut jo yli 35 miljoonaa osallistujaa. Courseran linkki yliopistoihin on säilynyt vahvana ja valtaosa sen kautta tarjotuista kursseista on yliopistojen (yli 150) tuottamia. Yksittäisten kurssien ja sertifikaattien lisäksi Courseran kautta on mahdollista suorittaa kokonaisia tutkintoja verkko-opetuksena. Coursera tarjoaa kurssitusta myös yrityksille ja julkishallinnolle. Ajasta ja paikasta riippumattoman opetuksen nimissä viimeisimpänä erityiskohderyhmänä mukaan on otettu pakolaiset.

Coursera-palvelun kautta oli Artificial Intelligence -hakusanalla tarjolla yhteensä noin 200 kurssia, joiden sisältö kattoi kohtuullisesti tämän selvityksen tekoälyn 10 osaamisalueen teemoja. Laajassa tarjonnassa koneoppimisen kurssit olivat erityisen hyvin edustettuina sekä määrällisesti että suosituimpien kurssien listalla. Termin tekoäly ja sen vaatimien osaamisten välinen ristiriita näkyy siinä, että aineistohaut Data Analytics ja Data Science -hakusanoilla tuottivat moninkertaisen (2,5x ja 4x) määrän kursseja. Kurssien joukossa on yliopistojen tarjoamien monipuolisten kurssien lisäksi paljon yritysten (mm. Microsoft, IBM ja Google) yksittäiseen välineeseen ja menetelmään keskittyviä kursseja.

EdX-palvelun kautta oli Artificial Intelligence -hakusanalla tarjolla yhteensä noin 20 tekoälykurssia. Näistä kolmesta oli Microsoftin toteuttamia, ja yhdessä ne muodostivat ammatillisen Microsoft Professional Program in Artificial Intelligence -sertifikaatin, jonka erillisten kurssien teemat noudattelivat varsin hyvin tämän selvityksen tekoälyn 10 osaamisalueen teemoja. Lisäksi tarjolla oli muutamia yliopistojen yleisiä tekoälykursseja ja IBM:n Watson-palveluiden hyödyntämiseen liittyviä kursseja. Aineistohaut Data Analytics ja Data Science -hakusanoilla tuottivat tässäkin palvelussa moninkertaisen (2,5x ja 10x) määrän kursseja suhteessa yleisempään Artificial Intelligence -hakusanaan. Samalla mukaan siivilöityi reilusti enemmän yliopistojen (mm. MIT ja Harvard) laatimia, teemaa yleisemmin lähestyviä kursseja.

Molempien alustojen hakujen perusteella voidaan todeta, että alan palveluita tarjoavat yritykset ovat löytäneet verkkokurssialustat ja niiden tarjoama pääosin ammatillisen pätevyyden kehittämiseen tähtäävä kurssitarjonta on hyvin edustettuna.

## Koulutuksen nostoja

1. Suomessa on erittäin laadukas ja pitkäaikainen koulutustarjonta tekoälyn osaamisalueilla. Miten tämä teknologinen ja teoreettinen osaaminen voidaan valjastaa paremmin soveltavan osaamisen kasvattamisen tueksi laajemmin koko yhteiskunnassa?
2. Korkeakoulujen yhteistyön kasvattaminen kurssitarjonnassa ja opiskelijoille vapaus suorittaa kursseja muiden korkeakoulujen tarjonnasta (laajennettu joustava opinto-oikeus, JOO). Eri korkeakoulujen vahvuudet tekoälykoulutuksen osalta tulisi saada laajemmin hyötykäyttöön.
3. Poistetaan rajoituksia ja tuetaan elinikäistä opiskelua, joka ei tähtää tutkintoon vaan tietyn osakokonaisuuden hallintaan (laajennettu avoin opinto-oikeus, AOO). Tämä auttaa työssäkäyviä ja työttömiä täydentämään tai hankkimaan uutta osaamista. Ammattikoulujen, ammattikorkeakoulujen ja yliopistojen koko opintotarjonta tulee saattaa avoimeksi verkkoon ja helposti löydettäväksi esimerkiksi hakukoneilla.
4. Suomenkielisen ”Open University” perustaminen, joka mahdollistetaan alkuun valtakunnallisella tuella ja rahoituksella. ”Open University” mahdollistaa elinikäisen opinto-oikeuden kaikille Suomen kansalaisille. Vahva panostus verkkokoulutusten koordinoituun tuottamiseen mahdollistaa laaja-alaisen opiskelun.
5. Tutkimuksen tason arvioinnissa on pitkät perinteet ja vakiintuneet menettelyt yliopistojen vertailuun, mutta koulutuksen tason arviointi suhteessa huippuyliopistoihin on vielä varsin kehittymätöntä. Vertailu tulisi saattaa enemmän koulutusohjelmataso suuntaan.
6. Tutkimuksellisen koulutuksen rahoitus tulisi muuttaa pitkäjänteisemmäksi. Tänäpäin tohtoriopiskelijoiden ja post doc -tutkijoiden rahoitusmallit eivät mahdollista tarpeeksi pitkäaikaista sitoutumista tutkimukseen.

## 5 OSAAMISEN SYNTY JA SIIRTYMINEN

Tässä luvussa tarkastellaan osaamiseen muodostumista (5.1) ja siirtymistä eri toimijoiden välillä sekä osaamistasetta (5.2). Suomalaisen tekoälyosaamisen vahvuus ja vajeet kymmenellä tekoälyn osaamisalueella tutkimuksessa, koulutuksessa ja yrityksissä käsitellään luvussa 5.3. Tekoälyyn liittyvän keskustelun kannalta olennaista hyphen ja todellisen käytönoton eritahtisuutta tarkastellaan luvussa 5.4.

### 5.1 Osaamisen synty

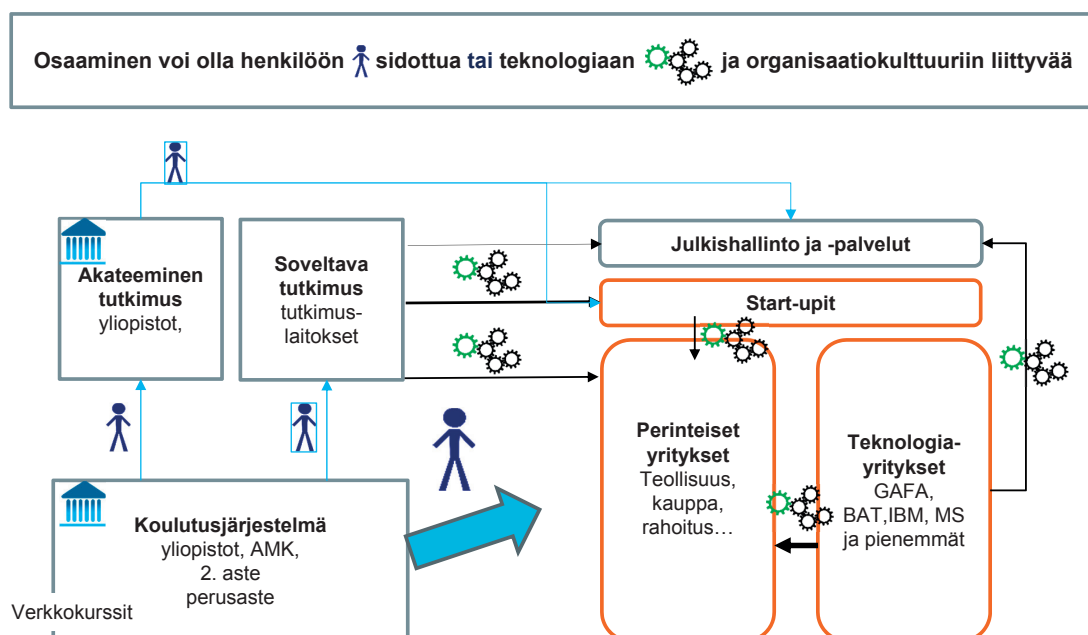
Tekoälyn kaltaiseen ilmiöön liittyy erilaista osaamista. Osaaminen voi olla yhtäältä tieteellistä ja teknologista tai toisaalta liittyä soveltamiseen ja liiketoimintaan. Tässä tarkastellaan tehtävänannon mukaisesti erityisesti tieteellistä ja teknologista osaamista.

Osaamisen voidaan ajatella olevan sitoutuneena henkilöihin ("osaajat") ja toisaalta teknologiaan ja organisaatiokulttuuriin.

Osaamista syntyy koulutuksen, tutkimuksen ja tekemisen tuloksena. Tätä on hahmotettu kuviossa 5.1. Koulutusjärjestelmä, erityisesti yliopistot ja ammattikorkeakoulut, antavat tutkintoja suorittaville opiskelijoille perusvalmiudet ja osaamisen tekoälyteknologioissa. Akateemista ja soveltavaa tutkimusta tekevien tutkijoiden osaaminen luonnollisesti kasvaa, ja heillä on oman alansa syvintä osaamista. Vastaavasti teollisuuden ja julkisen hallinnon sekä palveluiden piirissä syntyy erityisesti soveltamiseen liittyvää osaamista.

Tekoälyosaamiselle ominaisena piirteenä voi mainita verkkokurssien suosion osaamisen hankkimisessa tai täydentämisessä. Kotimaisen Tekoälyn perusteet -kurssin oli syyskuussa 2018 suorittanut 7 500 ihmistä. Vastaavasti amerikkalaisten verkkokurssitarjoajien suosituimpia kursseja ovat tekoäly- ja koneoppimiskurssit.

**Kuvio 5.1 Tekoälyyn liittyvän osaamisen synty ja siirtyminen**



Tekoälyyn liittyvä osaaminen poikkeaa perinteisemmistä aloista siinä, että huippuosaamista on ja sitä kasvatetaan merkittävässä määrin teknologiayrityksissä, ei vain akateemisessa maailmassa. Osa teknologiayrityksistä on ns. startupeja ja kasvuyrityksiä, osa taas jättiyrityksiä. Suomessa on useita kasvuyrityksiä, joihin on keskittynyt huomattavaa osaamista, ja muutamat niistä tekevät myös kansainvälisen tason tutkimusta kehitystyönsä ohessa. Muutamalla teknologiajätillä on tuotekehitystä Suomessa.

Maailmanlaajuisesti suuret teknologiayritykset, kuten Google, IBM, Alibaba ja Tencent, investoivat mittavasti tekoälyteknologioiden kehittämiseen. Julkaisu- ja patenttianalyysit viittaavat siihen, että niiden osaajakeskittymät ovat suurempia kuin isoimmat yliopistojen tai tutkimuslaitosten tutkimusryhmät.

## 5.2 Osaamisen siirtyminen ja osaamistase

Osaaminen siirtyy yleensä ihmisten (osaajat) tai teknologian muodossa. Tekoälyosaamiseen liittyviä teknologioita ovat tyypillisesti julkaisut, algoritmit, ohjelmistot, ohjelmistoalustat ja -työkalut sekä koneet ja laitteet. Organisaatiokulttuurissa olevan osaamisen siirtyminen on harvinaisempaa, mutta sitäkin tapahtuu erityisesti yritysostojen yhteydessä sekä silloin kun suurempi ryhmä osaajia siirtyy toiseen organisaation, esimerkiksi uutta yritystä perustettaessa.

Osaamisen siirtymistä tapahtuu sekä Suomessa että rajojen yli. Maan sisällä osaamista siirtyy usein ihmisten liikkuesssa; esimerkiksi valtaosa suomalaisista yliopistoista ja AMK:sta valmistuvista tekoälyosaajista siirtyy kotimaassa toimiviin yrityksiin tai julkiselle sektorille. Vastaavasti osaajat siirtyvät tutkimuksesta yrityksiin ja yritysten välillä sekä julkisen sektorin suuntaan ja sieltä yrityksiin. Jonkin verran tapahtuu liikettä myös yrityksistä tutkimus- ja opetuskentälle.

Asiantuntijoiden siirtymistä rajojen yli voidaan tarkastella nollasummapelinä aivovuodon ja -tuonnin näkökulmasta tai positiivisemmasta näkökulmasta, jossa ajatellaan lähtijän muodostavan verkostoja ja toimivan eräänlaisena Suomen lähettiläänä maailmalla ja tulijan tuovan arvokasta uutta näkökulmaa Suomeen. Tässä selvityksessä ei systemaattisesti analysoitu lähtijöiden ja tulijoiden määrää tai laatua, mutta haastatteluissa tuli ilmi huoli Suomessa maisterivaiheen tai tohtoritutkinnon suorittaneiden ulkomaalaisten herkkyydestä lähteä maasta. Osin syyksi nähtiin syntyperäisiä suomalaisia heikompi työllistyvyys ja työmarkkina-asema.

Teknologista osaamista luodaan tutkimuksessa, julkisella sektorilla ja yrityksissä. Akateeminen tutkimus ja sen tulokset ovat luonteeltaan hyvin kansainvälistä. Tässä yhteydessä on hyvä huomioida, että ylivoimaisesti suurin osa Suomessa hyödynnettävistä akateemisista tutkimustuloksista on syntynyt muualla kuin Suomessa (Suomen osuus tekoälyalan kaikista julkaisuista on 0,5 %), ja vastaavasti Suomessa aikaansaadut tulokset kiinnostavat ja hyödyttävät muuta maailmaa.

Soveltava tutkimus lähtee usein paikallisista yritysten tai julkisen sektorin tarpeista, jotka ohjaavat tutkimusta rahoituksellaan. Siksi on ilmeistä, että soveltava tutkimus on luonteeltaan kansallisia tai yritysten tarpeita palvelevaa. Yritysten tekemä tutkimus- ja kehitystyö on luonnollisesti ensisijaisesti niiden tarpeista lähtevää.

Yritysten kaupallisesti tarjoama teknologia on puolestaan luonteeltaan ylikansallista, jolla useimmiten pyritään nimenomaan kansainvälisille markkinoille. Kaupalliset tekoälyteknologiat ovat yleisimmin osana muita palveluita tai tuotteita, mutta ne voivat olla myös erillisiä tuotteita, esimerkiksi analytiikkatyökaluja.

Osaamistaseella tarkoitamme Suomessa olevaa osaamista verrattuna kansainväliseen tasoon. Vaikka tarkastelu on viitteellinen, on sen mukaan ottaminen perusteltua, koska tarkastelu antaa yleiskäsityksen tekoälyteknologioiden osaamisesta Suomessa. Tarkastelua voi lähestyä myös osaamisen huoltovarmuuden näkökulmasta. Taulukossa 5.1 on esitetty Suomen osaamistase toimijaryhmittäin jaoteltuna.

### Taulukko 5.1 Tekoälyn osaamistase toimijaryhmittäin (viitteellinen)

Koulutus	<p>Perusasteella ja toisella asteella tekoälyn osa-alueita ei vielä ole opetuksessa, mutta sitä tukevia perusvalmiuksia annetaan (matematiikka, ohjelmointi).</p> <p>Ammattikorkeakouluissa data-analytiikka ja robotiikka ovat osana tekniikan alan opetusta.</p> <p>Yliopistoissa on kurssitarjontaa kaikilla tekoälyn 10 osa-alueella Pääaineena maisterivaiheessa muutamassa yliopistossa.</p>
Akateeminen tutkimus	<p>Yliopistoissa useita tutkimusryhmiä, jotka yhdessä kattavat kaikki 10 osa-alueita. Alan tieteellisiä julkaisuja Suomessa on tuotettu keskimäärin 250 vuodessa viimeisten viiden vuoden aikana. Tutkijoiden määrä on n. 300–500 rajaustavasta riippuen.</p>
Soveltava tutkimus	<p>VTT:llä on 130 tekoälyosaajaa. Vastaavasti AMK:ssa ja yliopistoissa on soveltamiseen painottuvaa tutkimusta. Tekoälyn osa-alueista korostuvat data-analytiikka, robotiikka ja havainnointi. Useimmiten yhdistetään tekoälyä ja perinteisempiä teknisiä malleja (kemia, fysiikka) sekä käytäntöihin liittyvää ns. hiljaista tietoa.</p>
Julkinen hallinto ja palvelut	<p>Ministeriöissä, puolustusvoimissa ja terveydenhuollon piirissä kasvatetaan tekoälyyn liittyvää osaamista erityisesti kunkin toimijan omiin tehtäviin liittyen.</p>
Teknologiayrityksissä oleva osaaminen	<p>Isoissa IT-taloissa on analytiikkaosaamista ja ne kasvattavat tekoälyosaamista. Pienempiä analytiikka- ja tekoäly-yrityksiä on pelkästään Analytics+ -verkostossa on 40 yritystä, joissa on yli 500 työntekijää.</p> <p>Tekoälylaskennassa käytettäviä prosessoreita valmistavalla NVIDIA:lla on Suomessa 70 tuotekehittäjää ja tutkijaa, Intelillä vielä enemmän. Myös Nokia, Ericsson ja Huawei panostavat tekoälyteknologioihin Suomessa.</p>
Muissa yrityksissä oleva osaaminen	<p>Pankeissa ja vakuutuslalla on jo perinteisesti data-analytiikkaosaamista, samoin kaupassa ja mainosalalla. Prosessi- ja konepajateollisuudessa kasvatetaan tekoälyosaamista.</p>

## 5.3 Osaamisen vahvuudet ja osaamisvajeet osaamisalueilla

Taulukossa 5.2 annetaan karkea kuva Suomen suhteellisesta vahvuudesta tekoälyn kymmenellä osaamisalueella. Mittareina ovat tieteelliset julkaisut, koulutus ja osaaminen yrityksissä ja julkisella sektorilla. Erityisesti arvioitaessa yritysten osaamista täytyy kuitenkin olla varovainen; yritykset eivät paljasta kaikkea osaamistaan julkisesti.

**Taulukko 5.2 Suomen vahvuus tekoälyn kymmenellä osaamisalueella (karkea arvio)**

Osaamisalue	Tieteellinen (ns. huippujulkaisujen osuus, 1 = keskiarvoinen, isommat arvot parempia)	Koulutus korkeakouluissa	Yritykset tai julkinen hallinto
Data-analyysi	1,32	Lähes kaikissa	Laajasti käytössä, useita palvelu- ja teknologiayrityksiä, myös julkinen hallinto käyttää
Havainnointi ja tilannetietoisuus	1,24	Useissa	Käytössä, muutamia teknologiayrityksiä
Luonnollinen kieli ja kognitio	1,36	Muutamassa  Suomen kielistä puheteknologiaa tutkitaan ainakin Helsingin ja Turun yliopistoissa	Vielä vähäistä, harvoja yrityksiä.  Suomen kielen puheteknologiaa kehitetään muutamissa yrityksissä ja Tekoälykiihdyttäminen on perustanut ensimmäisen yritysryhmiensä tähän aiheeseen.
Vuorovaikutus ihmisen kanssa	1,2	Useissa	Harvoja yrityksiä, osa kuitenkin merkittäviä
Digitaidot työelämässä, ongelmanratkaisu ja laskennallinen luovuus	1,34	Useissa	Hyvin harvoja yrityksiä
Koneoppiminen	1,29	Useissa	Käyttö kasvaa, useita yrityksiä
Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset	1,2	Harvoissa	Julkishallinnossa huomioidaan
Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit	1,18	Useissa	Melko laajasti käytössä, myös kotimaista tarjontaa. Kv-teknologiayritysten kehitystä Suomessa
Robottiikka ja koneautomaatio – tekoälyn fyysinen ulottuvuus	1,19	Useissa	Laajasti käytössä yrityksissä ml. teknologiayrityksissä
Etiikka, moraalit, regulaatio ja lainsäädäntö	1,87	Muutamassa	Julkinen hallinto havahtunut laajasti haasteisiin

Koulutus korkeakouluissa: valkoinen väri harvoissa, vaalean vihreä muutamassa, vihreä useissa, tumma vihreä lähes kaikissa (katso tarkempi arviointi yliopistojen kurssitarjonnan kattavuudesta kappale 4.1, kuvio 4.1, s. 51).

Tieteellinen, yritykset tai julkinen hallinto: Tumma vihreä merkitsee erittäin hyvää tai hyvää tasoa, vihreä melko hyvää ja valkoinen väri kohtuullista tai vaatimatonta tasoa (tieteellisten huippujulkaisujen mittarista katso kappale 2.3 s. 13).

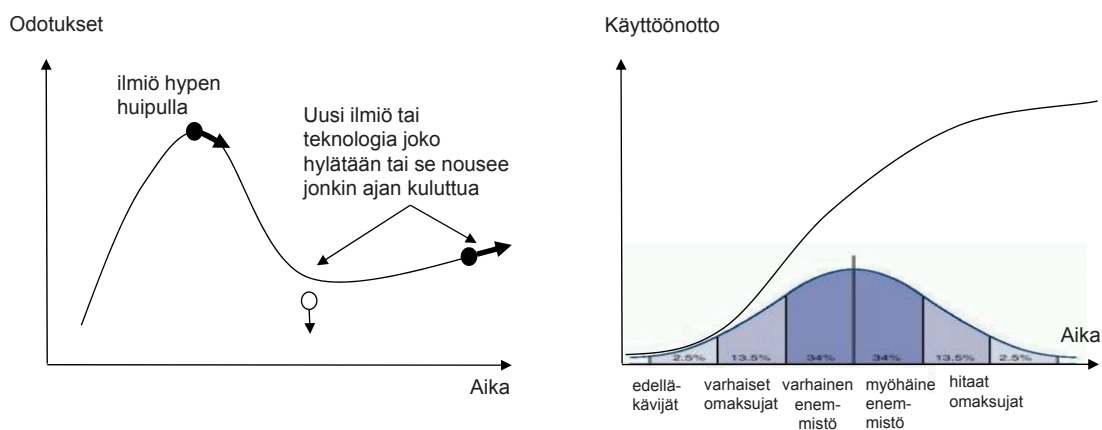
## 5.4 Hype-keskustelu ja tekoäly päätöksentekijänä

Tarkastelemme lyhyesti kahta tekoälykeskustelun ilmiötä: hype-keskustelua ja toisaalta vastakkaista algoritmipohjaisen päätöksenteon kieltämiseen johtavaa keskustelua.

### Hype-keskustelu

Tekoälykeskusteluun on liittynyt jossain määrin epämääräisyyttä ja kuohuntaa. Tällaista uusille ilmiöille tyypillistä innostunutta keskustelua ja suuria odotuksia kuvataan usein hype-käyrällä. Tällöin oletetaan, että alkunnostusta seuraa pettymys, jonka jälkeen kyseinen ilmiö, useimmiten teknologia, joko unohdetaan ja hylätään kokonaan tai se nousee lamaannuksen jälkeen tuottavaksi toiminnaksi. Kuviossa 5.2 vasemmalla on hahmoteltu hype-käyrän muoto. Käytännössä innovaatioiden, esimerkiksi uuden teknologian käyttöönotto, noudattaa kuitenkin usein Rogersin<sup>76</sup> jo 1960-luvulla esittämää innovaatioiden diffuusio-mallia (kuvio 5.2 oikea puoli). Hype-käyrä kuvaakin nimensä mukaisesti ilmiöön tai teknologiaan liittyviä odotuksia ja keskustelua, kun taas innovaatioiden diffuusio -malli kuvaa niiden käyttöönottoa ja hyödyntämistä.

**Kuvio 5.2 Hype-käyrä ja innovaatioiden diffuusiota kuvaava malli**



Usein hype-ilmiöille keksitään todellisuutta laajempi merkitys ja käyttötarkoitus. Tällöin oletetaan, että ilmiöllä pystytään nopeastikin ratkaisemaan vaikeita haasteita ja korvaamaan laajoja toimintamalleja ja -kokonaisuuksia. Ylisiuret odotukset voivat johtaa myös pettymykseen, joista voi seurata panostusten väheneminen ja jopa kehityksen selvä hidastuminen.

Toisaalta tekoälyteknologiat ovat tyypillinen esimerkki nopeasta ja usein yllätyksellisestä kehityksestä. Nyt kehityksen huippua edustavat syviin neuroverkkoihin pohjaavat menetelmät kohtaavat ehkä piankin hypen "alamäen", mutta uusia lupaavia teknologioita on tulossa. Näitä ovat esimerkiksi siirto-oppiminen (transfer learning) ja reaaliaikaisesta datavirrasta oppiminen, joissa molemmissa kierretään keskeinen syvien neuroverkkojen ongelma eli vaatimus valtavasta opetusdatan määrästä. Voidaan myös arvella, että vanhojen tekoälymenetelmien työkalupakista otetaan osa uudelleen käyttöön. Esimerkiksi datan sisällöllistä merkitystä käyttävät tietämysteknologiat (ontologiat, semanttiset menetelmät) voivat nousta taas valtavirtaan.

<sup>76</sup> Rogers, E.M Diffusion of Innovations. Free Press. New York (originally 1962, 5th edition 2003)



## Tekoäly päätöksenteon tukena vai myös päätöksen tekijänä

Tekoäly nähdään yleensä päätöksentekoa tukevassa roolissa. Tällöin tekoälyteknologiaa, esimerkiksi data-analyysiä, käytetään kokoamaan dataa ja jalostamaan, tiivistämään ja visualisoimaan sitä päätöksen tekevälle ihmiselle helpommin ymmärrettävään muotoon. Tällaista käyttöä ei juuri kyseenalaisteta, se on yleisesti hyväksyttyä.

Mutta pitäisikö tekoälyalgoritmeille sallia mahdollisuus myös päätöksen tekemiseen? Voisiko algoritmi päättää selvien sääntöjen pohjalta sosiaalietuuden myöntämisestä tai tietyissä puitteissa potilaan diagnoosista ja sen perusteella aloitettavasta lääkityksestä tai toimenpiteestä? Tällä hetkellä lainsäädäntö ja määräykset eivät juurikaan anna mahdollisuutta algoritmille tehdä lopullista päätöstä.

Keskustelussa tekoälyn mahdollisuudesta toimia päätöksentekijänä päädytään usein tilanteeseen, jossa asia viedään periaatetasolle ja isoihin kysymyksiin. Käytännössä tämä johtaa tilanteen jähmettymiseen: koska isoja periaatekysymyksiä tekoälyyn perustuvasta itsenäisestä päätöksenteosta ei ole ratkaistu, ei voida edetä pienissä asioissa.

Voidaan perustellusti kysyä, onko tämä lähestymistapa hedelmällinen vai olisiko parempi hankkia käytännön kokemusta algoritmista päätöksenteosta pienissä asioissa. Saadun kokemuksen perusteella voitaisiin lakeja ja säännöksiä muuttaa joko sallivampaan tai tiukempaan suuntaan. Samalla kansalaiset ja asiakkaat saisivat tekoälyteknologioista käytännön kokemusta ja he voisivat arvioida teknologioiden hyväksyttävyyttä todellisten kokemusten pohjalta.

## 6 TOIMENPIDESUOSITUKSET

Toimenpidesuosituksia on kohdistettu seuraaville tahoille: tutkimus-, kehitys- ja innovaatiojärjestelmän toimijoille (Business Finland, Suomen Akatemia, yliopistot ja ammattikorkeakoulut, VTT ja muut tutkimuslaitokset, yliopistosairaalat sekä edellisiä ohjaavat OKM, TEM ja muut ministeriöt), koulutusjärjestelmän toimijoille (koulut, ammattiopistot, amk:t, yliopistot, OKM ja muut toimijat), julkishallinnolle yleensä (ministeriöt, virastot, kunnalliset toimijat, sairaanhoitopiirit ja väliportaan hallinto) sekä yrityksille.

Vaikka selvityksen kohteena on nimenomaan tekoälyosaaminen Suomessa, on toimenpidesuosituksissa järkevää huomioida laajempi kenttä, koska tekoälyosaaminen ei ole irrallinen ilmiö. Siksi suositusten alue ulottuu osaamisen synnyn ja siirtymisen edistämiseen laajemmin kuin vain tekoälyssä, ja toisaalta ne koskevat myös tekoälyn hyödyntämistä, eivät vain puhtaasti osaamista.

Selvityksen perusteella tehdään seuraavat toimenpidesuosituksia:

### Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimijoille

#### **Luodaan selkeä kansallinen TKI-strategia ja parannetaan hyötysuhdetta**

Suomen edun kannalta on hyödyllistä luoda kansallinen tutkimus-, kehitys- ja innovaatiostrategia tekoälyteknologioiden hyödyntämiseksi. Tutkimuksessa tämä tarkoittaa pitkäaikaista panostusta ja sitoutumista toteuttajilta ja rahoittajilta.

Korkealaatuinen tutkimustoiminta edellyttää tutkimusryhmien pitkäjänteistä työtä, jonka edellytys puolestaan on ennakoitavissa oleva rahoitus. Tämä lisää sekä tutkimusryhmien että yksittäisten tutkijoiden mahdollisuutta ja halukkuutta sitoutua kansallisia tavoitteita edistäviin tutkimusaiheisiin. Turvattu tenure-urapolku on yksi keino sitouttaa ja motivoida yliopistotutkijoita tulokselliseen työhön.

Kokeneiden tutkijoiden ajasta suurin osa kuluu tutkimusrahoituksen hakemiseen itselle ja tutkimustiimille sekä pienemmässä määrin myös raportointiin. Kilpailutuksen näin aiheuttama kustannus on jo ohittanut sen tuomat hyödyt, ja järjestelmän kokonaishyötysuhde heikkenee.

Suosittellemme ratkaisuksi tähän tk-rahoituksen jakamista isompina kokonaisuuksina ja yliopistojen ja tutkimuslaitosten perusrahoituksen osuuden lisäämistä hyötysuhteen parantamiseksi. Samalla tulee löytää tasapaino kokeneempia tutkijoita ja ryhmiä suosivan aiempaa menestystä painottavan lähestymistavan ja radikaaleja avauksia ja tutkimusideoita suosivan lähestymistavan välillä rahoituksen myöntämisperusteissa.

#### **Valtavirran tungoksesta kapeisiin erikoisalueisiin**

Maailmassa tuotetaan – laskutavasta riippuen – yli 30 000 tekoälyyn liittyvää julkaisua vuodessa. Näistä 0,5 prosenttia on Suomesta. Tämä vahvistaa ajatusta, että Suomessa tehtävän tutkimuksen merkitys on pieni, jos se kohdistuu samoihin aiheisiin kuin suuryritysten tai esimerkiksi kiinalaisten huippuyliopistojen kiinnostus. Vaikuttavuuden ja kansallisen edun näkökulmasta on parempi kohdistaa panostus Suomelle merkittäviin kapeisiin painopistealueisiin. Tällaisia voisivat esimerkiksi olla tekoälyn soveltaminen Suomessa vahvoille elinkeinoelämän alueille, ihmisen ja koneen vuorovaikutuksen menetelmät, suomenkieleen liittyvät

tekoälymenetelmä ja algoritmien läpinäkyvyyden tutkiminen. Tekoälytutkimuksen yhteydet muihin tieteenaloihin ovat hyödyllisiä, ja niitä onkin edistetty Suomen Akatemian AIPSE-ohjelmassa. Myöskään nyt vähemmällä huomiolla olevien teknologioiden, kuten klassisen koulukunnan edustamien symbolisten menetelmien, mahdollisuuksia ei kannata unohtaa.

Oikeiden painopistealueiden tunnistaminen on paitsi tärkeää, myös vaikeaa, joten se on tehtävä huolellisesti ja järjestelmällisesti.

### **Data-aineistot tehokkaammin käyttöön**

Isot data-aineistot ovat nykyisin tekoälysovellusten raaka-aine. Datan aiempaa tehokkaampi hyödyntäminen oppivia järjestelmiä kehittäen ja laskentakapasiteettia kasvattaen on viimeaikaisten näyttävien tekoälyn läpimurtojen taustalla. Yritysten ja tutkimuksen tarpeet käytettävien data-aineistojen suhteen ovat paljolti eriäviä.<sup>77</sup>

Laajojen data-aineistojen saamiselle tutkimuksen käyttöön on keskeistä yritysten ja yliopistojen kiinteä vuorovaikutus ja tutkimusyhteistyö. Suuret kansainväliset tekoälyä ja datamassoja hyödyntävät yritykset ovat viime aikoina olleet aiempaa valmiimpia avaamaan dataansa tutkimuksen käyttöön yhteistyössä yliopistojen kanssa. Olennaisena datan tutkimuskäytön edellytyksenä on riittävän regulaation olemassaolo ja tutkimuksen eettisten rajausten tunnistaminen.

### **Suunnitelmalliseen kansainväliseen yhteistyöhön – Tekoälyn kansainvälinen tohtorikoulutusohjelma**

Useimmilla yliopistojen ja tutkimuslaitosten ryhmillä on jonkinasteista kansainvälistä yhteistyötä mm. tutkijanvaihtoon ja EU-rahoitteisiin projekteihin liittyen. Usein tämä on kuitenkin henkilösuhteisiin perustuvaa ja jossain määrin myös sattumanvaraista.

Haluttuihin päämääriin pääsemiseksi tulee pyrkiä strategisiin kumppanuuksiin, joissa toimitaan tarkoin valittujen kumppanien kanssa pitkäjänteisesti ja sopivalla työnjaolla. Koska kärkitutkimus on tällä hetkellä Yhdysvalloissa, tutkimussuhteita sinne kannattaa ylläpitää ja vahvistaa. EU:n piirissä ja alaisuudessa toimivat yhteisöt kuten julkis-yksityiset kumppanuuDET (engl. Public Private Partnership) ovat tärkeitä.

Useimmat maat, jotka ovat lähettäneet tutkijoita yhdysvaltalaisiin yliopistoihin, kuten Brasilia ym. vastaavat kehittyvät taloudet, ovat hyötäneet viime vuosina yhdysvaltalaisten teknologiayritysten suorainvestoinneista mm. tekoälyn tutkimuskeskuksiin. Yhdysvalloissa suoritettuna tohtorikoulutuksen aikana, osana yliopistojen tutkimusryhmiä, tutkijat ovat luoneet suhteita näihin teknologiayrityksiin. Tätä kehitystä on tuettu tutkijoiden kotimaassa systemaattisilla investoinneilla omiin, vastaavan teknologian, tohtorikoulutusohjelmiin.

Haluttuihin päämääriin pääsemiseksi tulee pyrkiä strategisiin investointeihin, joissa toimitaan tarkoin valittujen kansainvälisten yliopistojen kanssa pitkäjänteisesti. Tohtoriopiskelijat ja tutkijat kutsutaan ohjelmaan. Strategisten investointien rahoituksesta vastaa Opetusministeriö.

<sup>77</sup> Euroopan komissio nostaa tuoreessa Tekoälyn koordinoitussa toimintasuunnitelmassa esiin useita keinoja, joilla isot data-aineistot voidaan saada paremmin hyödynnettäviksi EU:ssa. Keskeisiä ovat mm. korkealaatuisten julkisten data-aineistojen uudelleenkäytön mahdollistaminen, teollisuuden data-alustojen kehityksen vahvistaminen ja terveydenhuollon data-alustojen edelleen kehittäminen hyödyntäen anonymisoituja ja vapaaehtoisuuteen perustuvia data-aineistoja. Coordinated Plan on Artificial Intelligence, European Commission, 2018, s. 14-17.

## **Yliopistoille ja tutkimuslaitoksille suoraa rahoitusta soveltavaan tutkimukseen**

Useimmat yliopistojen ja tutkimuslaitosten soveltavaan teknologiatutkimukseen keskittyneet tutkijaryhmät ovat pienentyneet viimeisen kolmen vuoden aikana. Tämä on pitkälti tulosta siitä, että yliopisto- ja tutkimuslaitosvetoinen soveltavan tutkimuksen rahoitusinstrumentti lopetettiin vuonna 2016. Tämä johti osittain myös pitkäjänteisen soveltavan tutkimuksen tuntuvaan vähenemiseen yrityksissä. Aikaisemmin kun soveltavan tutkimuksen osalta oltiin proaktiivisia, niin nyt ollaan reaktiivisia.

Haluttuihin päämääriin pääsemiseksi yliopistojen ja tutkimuslaitosten soveltavan tutkimuksen rahoitus tulee palauttaa Business Finlandille ja allokoida sille tarpeeksi varoja yliopisto- ja tutkimuslaitospohjaisen soveltavan teknologiatutkimuksen toteuttamiseen.

## **Koulutuksen tarjoajille**

### **Mahdollistetaan jatkuva oppiminen tekemällä kurssit avoimiksi kaikille**

Perus- ja toisen asteen koulutuksessa tulee luoda valmiudet tekoälyn opiskeluun korkea-asteella.

Tekoälyyn liittyvien kurssien ja koulutusohjelmien tarjonta on selvästi lisääntymässä korkea-asteella, mitä voidaan pitää toivottavana kehityksenä. Pääosin tämä koulutus on suunnattu nuorille ensimmäistä tutkintoa suorittaville opiskelijoille.

Jatkuvan oppimisen sekä osaamisen täydentämisen ja uusimisen merkitys kasvaa. Erityisen tärkeää se on nopeasti kehittyvien teknologioiden, kuten tekoälyn, yhteydessä. Verkkokurssit ja muut uudet oppimisen menetelmät sopivat erityisen hyvin jo työelämässä mukana oleville ja siten aikuisväestön osaamisen täydentämiseen ja uusimiseen. Uusien oppimis-  
muotojen hyöty-kustannussuhde on perinteistä luokkaopetusta selvästi parempi.

Yliopistojen, ammattikorkeakoulujen ja -opistojen **kurssit ja opetusohjelmat on syytä avata kaikille halukkaille** ja samalla hyödyntää verkko-opetuksen, webinaarien ja tubetuksen tarjoamat mahdollisuudet. On syytä muodostaa koulutusmoduuleita, joista opiskelija voi rakentaa tarpeitaan vastaavan kokonaisuuden. Opintopolku-tutkintorekisteriin <https://opintopolku.fi/oma-opintopolku/> pitää voida jatkossa tallentaa tutkintojen lisäksi myös pienempien opintokokonaisuuksien suorituksia.

Yliopistojen, ammattikorkeakoulujen ja ammattikoulujen kurssitarjonta tulee saattaa kokonaisuudessaan julkiseksi ja helposti tavoitettavaksi kaikille, jotta halukkaat löytävät tarjonnan ja voivat helpommin hakeutua eri jatkuvan oppimisen ja osaamisen kursseille. Kurssien sisällöistä on syytä muodostaa yhteinen esitystapa, jotta eri koulutustoimijoiden kurssit löytyvät helposti eri hakutavoilla ja verkkoympäristöissä. Tässäkin opintopolku-palvelu voi olla keskeisessä roolissa.

Yliopistot, ammattikorkeakoulut ja ammattikoulut veloitetaan tuottamaan Studia Generalia -laajuinen opetuskokonaisuus, vähimmillään 10–15 min. video, suomenkielisenä jokaisesta kurssikokonaisuudesta.

## Yrityskentälle ja julkisille palveluille

### **Tekoälymenetelmät tekemään päätöksiä rohkeasti jo nyt**

Tekoälypohjaista päätöksentekoa ei ole otettu juurikaan käyttöön. Yhtenä syynä tähän on se, että halutaan odottaa periaatteellisia linjauksia siihen, mistä kaikista tekoälymenetelmät voivat tehdä päätöksen. Tämä on ongelma, koska periaatetason keskustelussa esiin nostetaan isot kysymykset esimerkiksi autonomisten asejärjestelmien käytöstä sodankäynnissä. Isoihin periaatekysymyksiin ei ole odotettavissa selkeitä yhteisesti hyväksytyjä vastauksia. Niiden odottaminen pysäyttää hyödyntämisen.

Yhteiskunnan eri sektoreilla on kuitenkin monia tehtäviä, joissa tekoälymenetelmiä voitaisiin hyödyntää jo nyt ilman merkittäviä eettisiä tai laillisuuteen liittyviä ongelmia. Tällaisia tehtäviä on julkisessa hallinnossa ja palveluissa, yrityksissä ja kansalaisen omassa toiminnassa. Käytännön esimerkkinä voi ajatella autonomista autoa: vaikka emme salli kuljettamattoman auton ajaa yksin Rovaniemeltä Helsinkiin, auto voisi tulla ostoksia kantavaa perheenisää vastaan ajamalla hitaasti itse parkkipaikalta marketin ovelle. Etenemällä pienissä asioissa saadaan käytännön kokemusta tekoälymenetelmistä päätöksenteossa. Kokemusta voidaan käyttää, kun pohditaan tekoälypohjaisen päätöksenteon etuja, haittoja ja riskejä.

### **Joustavuutta henkilöiden liikkumiseen yritysten ja tutkimuksen välillä**

Haastatteluisa kävi ilmi, että yritysmaailman ja tutkimuksen välillä on tietty kuilu. Tämä ilmenee esimerkiksi siinä, että akateemiselta uralta ei juuri poiketa yritysmaailmaan ja palata, koska tällöin yliopistoon palaaja jäisi jälkeen akateemisten meriittien kerryttämisessä. Suosittelemme yhtäältä akateemiselle maailmalle teollisuuskokemuksen tuottamien ansioiden huomioimista urakehityksessä – muutenkin kuin ansioituneiden seniorien työelämäprofessoreissa. Toisaalta suosittelemme yrityksille osajien lähettämistä ”vaihtotutkijoiksi” tutkimusorganisaatioihin sekä molemmille tahoille mahdollisuutta esim. 50/50-työsuhteisiin, joissa henkilö toimii myös linkkinä kahden toimintaympäristön välillä. Sama koskee tutkimusta ja julkisia palveluita. Tässä voitaisiin ottaa oppia yliopistosairaaloista, joissa lääkärit toimivat usein sekä klinikoina että tutkijoina.

### **Tekoäly osaksi yritysten ja julkisen hallinnon digitalisaatiosuunnitelmaa**

Tekoälyteknologioiden hyödyntäminen kannattaa nähdä osana yrityksen laajempaa digitalisaatio-ohjelmaa. Johdon täysi sitoutuminen yrityksen digitalisaatio-ohjelmaan ja tekoälyn hyödyntämiseen sen osana on tärkeää.

Yritysten kyky hyödyntää sinne palkattua tekoälyosaajaa voi olla heikko, koska yrityksen digitaalinen kypsyys ei ole tasolla, jossa päästään suoraan hyödyntämään tekoälyteknologioita. Tekoälyosaajat jäävät tällöin ilman tukea ja ehkä liittyvät osaksi yrityksen tavanomaisista tietojärjestelmähenkilöstöä eli ”IT:tä”.

Tilanteen korjaamiseksi yritysten kannattaa nostaa digitaalista valmiuttaan jopa ennen tekoälyosaajien palkkaamista. Tämä tapahtuu kartoittamalla ja järjestämällä yrityksellä olevaa dataa sekä kehittämällä tietojärjestelmien välistä yhteensopivuutta. Tekoälykehityshankkeita ei voi säilyttää yksin palkattavien asiantuntijoiden vastuulle, vaan tarvitaan myös muita osajia kohteena olevasta liiketoimintaprosessista, tietojärjestelmistä ja mahdollisesti asiakasrajapinnasta.

Omia data-aineistojaan hyödyntävillä yrityksillä ei yleensä ole samanlaisia datan saatavuuteen liittyviä haasteita kuin yliopistoilla ja tutkimuslaitoksilla. Yritysten haasteet liittyvät data-

aineistojen hallintaprosessiin, käsittelyyn ja järjestelmien yhteentoimivuuteen. Prosessien pitää olla varmistettuja ja vakiintuneita, jotta ennustavaa analytiikkaa päästään rakentamaan ajantasaisilla aineistoilla. Lisäksi ohjattuun koneoppimiseen olennaisena osana kuuluva datan esiprosessointi varustamalla opetusdata tekoälyhankkeen tavoitteita tukevilla merkinnöillä edellyttää yrityksiltä joko koulutettua sisäistä henkilöstöä tai mahdollisuutta hankkia datan esiprosessointi yrityksen ulkopuolelta. Tekoälyyn panostavissa yrityksissä on tulevaisuudessa joka tapauksessa varattava aineistoprosessien hallintaan ja datan esikäsittelyyn resursseja nykyistä selvästi määrätietoisemmin.

### **Ulkomaisia osaajia yrityksiin**

Suomalaisissa yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa on paljon ulkomaalaislähtöisiä opiskelijoita ja tutkijoita. Heidän työllistymisensä yrityksiin on selvästi heikompaa kuin syntyperäisten opiskelijoiden ja tutkijoiden. Osin tämän vuoksi ulkomaalaislähtöiset osaajat lähtevät opiskelun tai lyhyen tutkijavaiheen jälkeen liian usein pois Suomesta. Menetämme uusimman tiedon haltijat ja osaajat, joiden koulutuksen olemme maksaneet.

Yritysten tulisi rohkeasti hyödyntää näitä osaajia. Tässä on yrityskulttuurin muuttamisen paikka. Käytännössä tämä tarkoittaa rekrytointilinjausten muuttamista.

### **Mikä on toimimattomuuden riski**

Esitettyjen toimenpiteiden toteuttaminen aiheuttaa lyhyellä tähtäimellä kustannuksia ja ainakin vaivaa. Siksi voi olla kiusaus jättää ne toteuttamatta.

Tämä ei kuitenkaan ole viisasta. Toimenpiteiden yhteydessä on kuvattu niistä saatavia hyötyjä ja joissain kohdissa nykytilan ja toimimattomuuden aiheuttamia haittoja. Laajemmin voidaan todeta, että Suomen nykyinen suhteellisen hyvä sijoitus tekoälyosaamisessa ja soveltamisessa ei säily ilman aktiivisuutta, koska kaikkialla maailmassa tekoälyyn panostetaan paljon. Jos Suomi jää panostuksissa, tämä havaitaan tutkijoiden ja muiden ammattilaisten joukossa, jolloin seurakuksena on osaajien laajempi muuttoaalto ulkomaille kiinnostavien ja hyvin palkattujen töiden perään.

Yhtenä riskinä tekoälyosaamisen näkökulmasta täytyy huomioida perusasteelta ja toiselta asteelta tulevien valmiudet opiskella tekoälyteknologioita. Konkreettisesti kannattaa kiinnittää huomio pitkän matematiikan lukijoiden ja kirjoittajien määrään lukioissa.

### **Lopuksi – tekoälyteknologiat ovat mahdollisuus Suomelle**

Suomi on tekoälyosaamisessa omassa kokoluokassaan vahva maa. Suomen vahvuudet on kuvattu taulukossa 5.2. Tutkimusosaaminen, osaaminen ja soveltaminen kasvuyrityksissä, muissa yrityksissä sekä julkisissa palveluissa on hyvää eurooppalaista tasoa. Alan koulusta on saatavilla useissa korkeakouluissa ja tarjontaa ollaan lisäämässä. Ei ole mitään estettä sille, että olemme jatkossakin vahvoja tekoälyteknologioiden osaamisessa ja hyödyntämisessä. Alan teknologista kehitystä ja hiljaisia signaaleja esimerkiksi nousevista teknologioista kannattaa seurata järjestelmällisesti. Edellä kuvatut toimenpide-ehdotukset toteuttamalla voimme edistää suotuisaa kehitystä.

## LÄHTEITÄ JA TAUSTA-AINEISTOJA

AI Index 2017. Stanford Artificial Intelligence Laboratory.

Ailisto, H. (toim.), Heikkilä, E., Helaakoski, H., Neuvonen, A. ja Seppälä, T. (2018). Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja. No. 46/2018. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/160925>

Bishop, P. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. Springer Verlag.

Coordinated Plan on Artificial Intelligence (2018). European Commission.

Correll, N. (2016). Introduction to Autonomous Robots, v1.7, October 6, 2016 Magellan Scientific ISBN-13: 978-0692700877.

Cummings, M. L. (2017). Artificial Intelligence and the Future of Warfare. Chatham House, the Royal Institute of International Affairs. ISBN 978-1-78413-198-2.

Digibarometri 2017. Liikenne- ja viestintäministeriö, Tekes, Teknologiateollisuus ja Verkkoteollisuus. Taloustieto Oy, Helsinki. <http://www.digibarometri.fi>

Digibarometri 2018. Business Finland, Liikenne- ja viestintäministeriö, Teknologiateollisuus ja Verkkoteollisuus. Taloustieto Oy, Helsinki. <http://www.digibarometri.fi>

Dual use technology in the EU (2017). Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-71758-1, [doi.org/10.2873/14116](https://doi.org/10.2873/14116)

Eettistä tietopolitiikkaa tekoälyn aikakaudella -selonteko (2018). Valtiovarainministeriön julkaisu VM/2527/00.01.00.01/2017.

Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. Hum. Factors, 37 (1), 32–64.

Gagné, J.-F. (2018). Global AI Talent Report 2018. [www.jfgagne.ai](http://www.jfgagne.ai), aineistohaku 11/2018.

Giertz, E., Rickne, A. ja Rouvinen, P. (2015). Small and beautiful – The ICT success of Finland & Sweden, VINNOVA Analysis, Nro 6, VINNOVA – Swedish Governmental Agency for Innovation Systems / Verket för Innovationssystem.

Harari, Y. N. (2018). Why technology favors tyranny. The Atlantic, October 2018.

[www.hotcoursesabroad.com](http://www.hotcoursesabroad.com) sivusto, Tekoälyn tutkinto-ohjelmat, aineistohaku 11/2018.

Lecun, Y., Bengio, Y. ja Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature, 521 (7553), 436–444.

Manning, C. ja Schütze, H. (1999). Foundations of Statistical Natural Language Processing 1999, MIT Press.

Media and Society (Mediasoc) 2019–2022 (2018). Programme memorandum. Suomen Akatemian tutkimusohjelma.

Microsoft ja Ernst Young (2018). Artificial Intelligence in Europe, Finland, Outlook for 2019 and Beyond, How 277 Major Companies Benefit from AI.

Military Applications of Artificial Intelligence (2018). Bulletin of the Atomic Scientists.

[www.opintopolku.fi](http://www.opintopolku.fi) sivusto, Tekoälyn tutkinto-ohjelmat, aineistohaku 11/2018.

Polonski, V. (2017). Can we teach morality to machines? Three perspectives on ethics for artificial intelligence. <https://www.oii.ox.ac.uk/blog/can-we-teach-morality-to-machines-three-perspectives-on-ethics-for-artificial-intelligence/> haettu 9.5.2018.

Rickne, A., Giertz, E., Seppälä, T. ja Pajarinen, M. (2015). ICT in other sectors, teoksessa Giertz, E. (ed.), Rickne, A. (ed.), Rouvinen, P. (ed.), Ali-Yrkkö, J., Arvidsson, N., Broström, A., Gens, M., Johansson, F., Kotiranta, A., Lindmark, S., Lougui, M., Mattila, J., Pajarinen, M., Pon, B., Seppälä, T., Thorén, K. ja Ylä-Anttila, P., Small and Beautiful: The ICT success of Finland and Sweden, VINNOVA Analysis VA 2015:06, 172–182.

Rogers, E. M. (2003). Diffusion of Innovations. Free Press. New York (originally 1962, 5th edition 2003).

Suksi, M. (2017). Transparency in the Future. Swedish Openness 250 Years, Ragulka.

Suomen tieteen tila 2016. Suomen Akatemia.

Suomen tieteen tila 2018. Suomen Akatemia.

Tarkoma, S. (2017). Tekoäly ja kokonaisturvallisuus. Maanpuolustus-lehti, nro 122.

Tencent Research Institute (2018). 2017 Global AI Talent White Paper.

Tukey, J. (1962). The Future of Data Analysis. Ann. Math. Statist. 33, no. 1, 1–67.

The United States-China Economic and Security Review Commission (2017). 2017 Annual Report. [https://www.uscc.gov/Annual\\_Reports/2017-annual-report](https://www.uscc.gov/Annual_Reports/2017-annual-report)

Vainio, K. (2017). Tekoälyn valtiat. Ulkopoliitikka-lehti, 7.12.2017.

Vernon, D. (2014). Artificial Cognitive Systems – A Primer, MIT Press, 2014.



# LIITTEET

## Liite 1: Tiedonhaut

Julkaisujen tiedot on haettu Elsevier Scopus -tietokannasta seuraavasti:

### Data-analyysi

KEY("Big Data" OR "Classification (of Information)" OR "Clustering Algorithm\*" OR "Data Analy\*" OR "Data Mining" OR "Predictive Analy\*") OR TITLE("Big Data" OR "Classification (of Information)" OR "Clustering Algorithm\*" OR "Data Analysis" OR "Data Mining" OR "Predictive Analy\*") OR (KEY("Artificial Intelligence" OR "Expert System\*" OR "Cognitive System\*" OR "Learning System\*" OR "Machine Learning" OR "Neural network\*") AND KEY("Internet Of Things" OR IoT OR Bioinformatics OR Genetics OR "Gene Expression" OR "Remote sensing") AND (SUBJAREA(COMP)))

### Havainnointi ja tilannetietoisuus

KEY ( "Ambient Intelligence" OR "Computer Vision" OR "Face Recognition" OR "Feature Extraction" OR "Machine vision" ) OR TITLE ( "Ambient Intelligence" OR "Computer Vision" OR "Face Recognition" OR "Feature Extraction" OR "Machine vision" ) OR ( KEY ( "Artificial Intelligence" OR "Expert System\*" OR "Cognitive System\*" OR "Learning System\*" OR "Machine Learning" OR "Neural network\*" ) AND KEY ( "Pattern Recognition" OR Perception OR "Remote Sensing" OR "Virtual Reality" OR Camera\* OR "Situation\* Awareness" ) AND ( SUBJAREA ( comp ) ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "cp" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re" ) )

### Luonnollinen kieli ja kognitio

KEY("Cognitive Systems" OR "Knowledge Based Systems" OR "Knowledge Representation" OR "Natural Language Processing" OR "Speech Recognition") OR TITLE("Cognitive Systems" OR "Heuristic Algorithms" OR "Knowledge Based Systems" OR "Knowledge Representation" OR "Natural Language Processing" OR "Speech Recognition") OR (KEY("Artificial Intelligence" OR "Expert System\*" OR "Cognitive System\*" OR "Learning System\*" OR "Machine Learning" OR "Neural network\*") AND KEY("Machine Translation" OR Cognition OR Reasoning OR Ontology OR Semantics) AND (SUBJAREA(COMP)))

### Vuorovaikutus ihmisen kanssa

KEY("Affective Computing" OR "Chatbots" OR "Computer Assisted Diagnosis" OR "Conversational Agents" OR "Emotion Recognition" OR "Game AI" OR "Game Artificial Intelligence" OR "Human Computer Interaction" OR "Human-Robot Interaction" OR "Machine Emotional Intelligence" OR "Recommendation Algorithms" OR "Recommendation Systems" OR "Recommender Systems") OR TITLE("Affective Computing" OR "Chatbots" OR "Computer Assisted Diagnosis" OR "Conversational Agents" OR "Game AI" OR "Game Artificial Intelligence" OR "Human Computer Interaction" OR "Human-Robot Interaction" OR "Machine Emotional Intelligence" OR "Recommendation Algorithms" OR "Recommendation Systems" OR "Recommender Systems") OR (KEY("Artificial Intelligence" OR "Expert System\*" OR "Cognitive System\*" OR "Learning System\*" OR "Machine Learning" OR "Neural network\*") AND KEY("Active Learning" OR Education OR "Interactive Agent\*" OR "Social Networking" OR "Virtual Reality") AND (SUBJAREA(COMP)))

### **Digitaidot työelämässä, ongelmanratkaisu ja laskennallinen luovuus**

KEY("Algorithmic Composition" OR "Artificial Emotional Intelligence" OR "Computational Creativity" OR "Creative System\*" OR "Decision Support System\*" OR "Decision Tree\*" OR "Digital Competences" OR "Digital Literacy" OR "Digital Skill\*" OR "Digital Storytelling" OR "Scheduling Algorithm\*" OR "Heuristic Algorithm\*" OR "Knowledge Based Systems" OR "Swarm Intelligence") OR TITLE("Algorithmic Composition" OR "Artificial Emotional Intelligence" OR "Computational Creativity" OR "Creative System\*" OR "Decision Support System\*" OR "Decision Tree\*" OR "Digital Competences" OR "Digital Literacy" OR "Digital Skill\*" OR "Digital Storytelling" OR "Scheduling Algorithm\*" OR "Knowledge Based Systems" OR "Swarm Intelligence") OR (KEY("Artificial Intelligence" OR "Expert System\*" OR "Cognitive System\*" OR "Learning System\*" OR "Machine Learning" OR "Neural network\*") AND KEY("Decision making" OR Forecasting OR Optimization OR "Problem Solving" OR Reasoning OR "Information Retrieval") AND (SUBJAREA(COMP)))

### **Koneoppiminen**

KEY("Ant Colony Optimization" OR "Artificial Bee Colony" OR "Artificial Neural Network\*" OR "Deep Learning" OR "Deep Neural Networks" OR "Evolution Algorithms" OR "Evolutionary Algorithms" OR "Genetic Algorithms" OR "Intelligent Agents" OR "Intelligent Control" OR "Intelligent Systems" OR "Learning Algorithms" OR "Learning Systems" OR "Machine Learning" OR "Multi Agent Systems" OR "Neural Networks" OR "Particle Swarm Optimization" OR "Reinforced learning" OR "Reinforcement learning" OR "Statistical Learning" OR "Supervised learning" OR "Support Vector Machines" OR "Unsupervised Learning") OR TITLE("Ant Colony Optimization" OR "Artificial Bee Colony" OR "Artificial Neural Network\*" OR "Deep Learning" OR "Deep Neural Networks" OR "Evolution Algorithms" OR "Evolutionary Algorithms" OR "Genetic Algorithms" OR "Intelligent Agents" OR "Intelligent Control" OR "Intelligent Systems" OR "Learning Algorithms" OR "Learning Systems" OR "Machine Learning" OR "Multi Agent Systems" OR "Neural Networks" OR "Particle Swarm Optimization" OR "Reinforced learning" OR "Reinforcement learning" OR "Statistical Learning" OR "Supervised learning" OR "Support Vector Machines" OR "Unsupervised Learning") OR (KEY("Artificial Intelligence" OR "Expert System\*" OR "Cognitive System\*" OR "Learning System\*" OR "Machine Learning" OR "Neural network\*") AND KEY("Bayesian Networks" OR "Fuzzy Systems" OR "Iterative Methods" OR "Principal Component Analysis" OR "Random Forests" OR "Regression Analysis" OR "Soft Computing" OR "Stochastic Systems") AND (SUBJAREA(COMP)))

### **Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset**

KEY("Artificial Intelligence" OR "Expert System\*" OR "Cognitive System\*" OR "Learning System\*" OR "Learning Algorithm\*" OR "Machine Learning" OR "Neural network\*") AND KEY("Adaptive Control Systems" OR "Automation" OR "Complex Networks" OR "Control Systems" OR "Dynamical Systems" OR "Electric Power Systems" OR "Electric Power Transmission Networks" OR "Large Scale Systems" OR "Linear Systems" OR "Manufacture" OR "Multi-body System Dynamics" OR "Nonlinear Control Systems" OR "Nonlinear Systems" OR "operation\* analysis" OR "Power System Dynamics" OR "Real Time Systems" OR "Stochastic Systems" OR "Supply Chains" OR "System Dynamics" OR "System Of Systems" OR "System Stability" OR "System Theory" OR "Systems Analysis" OR "Systems Engineering" OR "Uncertainty Analysis") AND (SUBJAREA(COMP))

### **Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit**

KEY("Artificial Intelligence" OR "Expert System\*" OR "Cognitive System\*" OR "Learning System\*" OR "Machine Learning" OR "Neural network\*") AND KEY("Big Data" OR "Cloud Computing" OR "Computer Architecture" OR "Data Analysis Software" OR "Data Handling" OR "Cloud Environments" OR "Digital Storage" OR "Distributed Computer Systems" OR "High Performance Computing" OR "Information Systems" OR "Network Security" OR "Computer hardware" OR Hadoop OR MapReduce OR Map-Reduce OR "Data Acquisition") AND (SUBJAREA(COMP))

### **Robottiikka ja koneautomaatio – tekoälyn fyysinen ulottuvuus**

KEY("Autonomous Agent\*" OR "Autonomous System\*" OR "Industr\* 4.0" OR "Robotic System\*" OR "Robot Learning" OR "Robotics") OR TITLE("Autonomous Agent\*" OR "Autonomous System\*" OR "Industr\* 4.0" OR "Robotic System\*" OR "Robot Learning" OR "Robotics") OR (KEY("Artificial Intelligence" OR "Expert System\*" OR "Cognitive System\*" OR "Learning System\*" OR "Machine Learning" OR "Neural network\*") AND KEY("Internet Of Things" OR "Robot\*" OR "Automation" OR "Process Control" OR "Factory Automation")) AND (SUBJAREA(COMP)))

### **Etiikka, moraalit, regulaatio ja lainsäädäntö**

KEY("Computer ethics" OR "Machine Ethics" OR "Robot Ethics" OR "Ethical Robots" OR "Machine Morality" OR "Ethical Machines" OR "Artificial Morality" OR "Data Ethics") OR TITLE("Computer ethics" OR "Machine Ethics" OR "Robot Ethics" OR "Ethical Robots" OR "Machine Morality" OR "Ethical Machines" OR "Artificial Morality" OR "Data Ethics") OR (KEY("Artificial Intelligence" OR "Cognitive System\*" OR "Learning System\*" OR "Machine Learning" OR "Neural network\*" OR Robots OR Robotics) AND KEY ("Ethics" OR "Moral Obligations" OR Morality OR Morals OR Regulation OR Legislation OR Laws OR Compliance OR "Information Privacy" OR "Data Privacy" OR Transparency OR Liability OR Legal OR Politics OR "Public Policy" OR "Ethical Issues" OR "Data Protection" OR GDPR OR "General Data Protection Regulation" OR "Ethical aspects" OR "Ethical System" OR "Moral Agency")) AND (SUBJAREA(SOCI)))

## **Liite 2: Haastattelut**

Tutkimusosaamisen edellytykset ja haasteet tulevaisuudessa -kappaletta varten tehdyt haastattelut:

- Suomen Akatemia 21.8.2018: Anu Nuutinen, Juha Latikka, Tommi Laitinen
- Business Finland 17.9.2018: Outi Keski-Äijö, Aki Ylönen, Aki Parviainen
- Helsingin yliopisto 1.10.2018: Teemu Roos
- Aalto yliopisto 1.10.2018: Samuel Kaski
- Oulun yliopisto 2.10.2018: Susanna Pirttikangas
- Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 3.10.2018: Kalle Kantola
- Oulun Ammattikorkeakoulu 6.11.2018: Manne Hannula
- University of Brunel 6.12.2018: Xiaohui Liu

## **Liite 3: Osaamiskartan päivittäminen tulevaisuudessa**

Osaamiskartta voidaan päivittää seuraavassa kuvatulla tavalla. Näin voidaan haluttaessa seurata tekoälyosaamisen kehittymistä Suomessa tutkimuksen, yrityksissä olevan osaamisen ja korkeakoulujen koulutustarjonnan näkökulmista.

Vertailukelpoisuuden asteeseen vaikuttavat tekoälytrendin ajankohtaisuus ja ”muodikkuus”. Samoja asioita voidaan tehdä eri otsikoiden ja avainsanojen alla (esim. hahmontunnistus vai koneoppiminen).

### **Tutkimusosaaminen, mittarina julkaisut**

Julkaisuanalyysin menetelmät eli kohdetietokannat, hakusanat jne. on kuvattu raportin liitteessä 1, analyysi on toistettavissa ja tulos vertailukelpoinen.

### **Koulutusjärjestelmä, useita arviointikohteita**

Koulutustarjonnan, opiskelijamäärien, verkkokurssitarjonnan ja osallistujien määrää voidaan seurata, ja tulos on vertailukelpoinen.

### **Osaaminen yrityksissä, useita arviointikohteita**

Digibarometri-selvitys tehdään määräjain ja se on vertailukelpoinen. Jos yrityshaastatteluita halutaan käyttää, ne tulee kohdentaa samoihin yrityksiin ja henkilöihin. Vastaava koskee LinkedIn-profiileja, selvitys on kohdistettava samoihin yrityksiin.



VALTIONEUVOSTON  
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

[tietokayttoon.fi](http://tietokayttoon.fi)

ISSN 2342-6799 (pdf)

ISBN 978-952-287-632-4 (pdf)

