EDUSKUNNAN JULKAISUT -POHJA

TuV Tekoälyraportti

Johdantoluku (mitä tekoäly on)

Heikki Ailisto, tutkimusprofessori, VTT

Petri Myllymäki, professori, Helsingin yliopisto

Johdanto

Tässä luvussa kuvataan tekoälyä yleisellä tasolla, haetaan vastausta kysymykseen mikä on tekoälyn ja tavallisen tietokoneohjelman ero, käsitellään tekoälyä muutosvoimana taloudessa ja laajemmin yhteiskunnassa sekä tuodaan esille seikkoja, jotka sekä päättäjien että kansalaisten on tekoälyn ja digitalisaation ajamassa murroksessa syytä ottaa huomioon.

Seuraavissa luvuissa käsitellään tarkemmin tekoälyn mahdollistamia toimintoja, kuten tiedon analysointia, havainnointia, liikkumista ja oppimista sekä pohditaan tekoälyn merkitystä yhteiskunnan eri osa-alueilla sekä tekoälyn etiikkaa. [Tämä kappale on tarpeeton, jos jäsennys kuvataan esipuheessa]

Mitä tekoäly on

Tekoäly nähdään yhtenä merkittävimmistä teknologisista muutosvoimista. Aiheeseen liitetään yhtäältä suuria toiveita esimerkiksi talouden kasvusta, ympäristön muutosten hallinnasta sekä lääketieteen ja muiden alojen tieteellisistä läpimurroista, mutta toisaalta uhkakuvia massatyöttömyydestä, eriarvoistumisesta, valvontayhteiskunnasta ja jopa perustavaa laatua olevasta uhasta ihmiskunnalle. On siis syytä yrittää selvittää, mitä tekoäly on.

Tekoälyn historia tieteenalana ulottuu 1950-luvulle. Tutkijat asettivat tavoitteeksi ihmisen kaltaiseen päättelyyn, järkeilyyn ja toimintaan pystyvien keinotekoisten (artificial) järjestelmien rakentamiseen. Vasta kehitettyjen tietokoneiden yhdistäminen kehittyviin kognitiotieteisiin, perinteiseen logiikkaan, lingvistiikkaan ja muihin tutkimusaloihin arveltiin tuottavan keinotekoista älykkyyttä suhteellisen piankin. Tie kohti tavoitetta osoittautui kuitenkin pidemmäksi ja vaikeammaksi kuin liki 70 vuotta sitten luultiin [AI 100 report]. Matkan varrella maalia on siirretty – ihmisen kaltainen älykkyys on edelleen kaukana, mutta pitkälti tekoälytutkimuksen ansiosta meillä on mm. hakukoneita, joiden ansiosta tieto on helpommin saatavilla kuin koskaan, kasvojentunnistuksella aukeavia älypuhelimia, lähes itsenäisesti ajavia autoja ja nopeaa rokotekehitystä vastaamassa pandemioiden uhkiin.

Tekoälyä on hyvin vaikea määritellä, eikä yhtä yleisesti hyväksyttyä määritelmää tiedeyhteisön piirissä olekaan pystytty muodostamaan. Perusongelma on se, että luonnollista älykkyyttäkään ei ole onnistuttu määrittelemään yleispätevästi. Tässä raportissa keskitytään pitkälti koneoppimiseen, mikä onkin tärkeä (joskin ei ainoa) tekoälytutkimuksen osa-alue. Koneoppiva **tekoäly on keinotekoinen järjestelmä, joka kykenee tekemään havaintoja ympäristöstään ja muuttamaan tai säätämään toimintaansa tekemiensä havaintojen perusteella** (järjestelmä on siis adaptiivinen eli jossain mielessä ”oppiva”, vaikka tällainen adaptiivisuus ei ihmisen oppimista paljoa muistutakaan). Purkamalla määritelmää hieman pääsemme syvemmälle sen sisältöön. Keinotekoisen järjestelmän ydin on nykyratkaisuissa tietokoneohjelma. Ohjelma toimii tietokoneessa, ja se voi saada tietoa ympäristöstä antureiltaan, esimerkiksi kameralla. Se voi vaikuttaa ympäristöönsä, esimerkiksi suoraan ohjaamalla robottia tai välillisesti

avustamalla ihmistä päätöksenteossa. Oppiva tekoälyohjelma muuttaa itse säätöarvojaan tai koodiaan niin, että sen tuottamat tulokset palvelevat paremmin sille annettua tavoitetta. Ympäristö ja toiminta voi olla puhtaasti digitaalinen, tai konkreettinen kuten tehdas tai autotie.

Tekoäly voidaan karkeasti jakaa suppeaan (heikkoon) ja yleiseen (vahvaan) tekoälyyn. Edellinen on se, mitä käytännössä on nyt pystytty toteuttamaan, jälkimmäinen taas on tavoite, johon voidaan pitemmällä tähtäimellä pyrkiä. Vahva tekoäly on myös paljon esillä tieteiskirjallisuudessa ja -elokuvissa. Näitä ei ole syytä ylenkatsoa, koska niiden avulla päättäjät, kansalaiset ja tutkijat voivat pohtia haluttuja ja ei-toivottuja kehityssuuntia, mutta tällöin on hyvä pitää mielessä, että asiantuntijat ovat hyvin erimielisiä siitä kuinka kauan kestää ennen kuin ensimmäisiä vahvoja ”oikeasti älykkäitä” tekoälyjärjestelmiä pystytään rakentamaan, jos koskaan Ja on joka tapauksessa hyvin epätodennäköistä, että sellaista ihmisälykkyyttä muistuttavaa vahvaa tekoälyä, joka voisi muodostaa ihmisille jonkinlaisen uhan, voisi syntyä mitenkään vahingossa. Kaikki nykyiset (ja vielä pitkälti tulevaisuudessa kehitettävät) tekoälyjärjestelmät perustuvat heikkoon ja kapeaan tekoälyyn, mutta ne voivat olla ihmisille suunnattoman hyödyllisiä työkaluja. Toinen tapa jaotella tekoälyä on esitetty Tekoälyn kokonaiskuva ja kansallinen osaamiskartoitus -selvityksen loppuraportissa (2019), jossa tekoäly jäsennetään kymmeneksi osaamisalueeksi data-analyysistä robotiikkaan.

Nykyään käytössä olevat tekoälyratkaisut perustuvat hyvin suurelta osin koneoppimiseen, millä tarkoitetaan siis tietokonejärjestelmiä, jotka kykenevät oppimaan datasta ja parantamaan/säätämään toimintaansa. Koneoppiminen poikkeaa perinteisestä ohjelmoinnista, jossa kaikki muutokset tekee ohjelmoija miettien jokaisessa tapauksessa yksityiskohtaisesti, miten ohjelman on reagoitava eri tilanteissa. Koneoppimisessa ohjelmoijan ei tarvitse ratkaista jokaista yksityiskohtaa itse, vaan riittää kun hän luo alustavat raamit ja mekanismin, jonka avulla ohjelma voi sitten muokata datan perusteella tietyissä suppeissa rajoissa itse itseään.

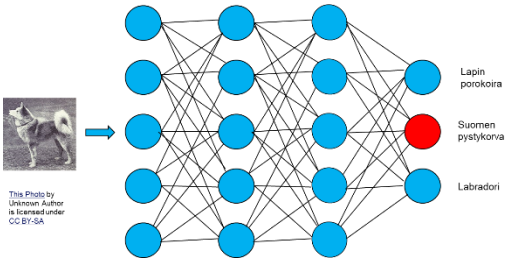
Koneoppimisella pystytään kuitenkin luomaan vain hyvin yksinkertaisia ohjelmia, joiden tehtävä on kapea ja hyvin määritelty, ja lopputuloksena on aina suppean tekoälyn sovellus. Koneoppiminen soveltuu erityisen hyvin esimerkiksi aikasarjojen ennustamiseen ja hahmontunnistukseen. Aikasarja voi olla esimerkiksi Suomen sähkönkulutus ensi viikon aikana, hahmontunnistuksesta hyvä esimerkki on hienoisen poikkeaman havaitseminen potilaan röntgenkuvasta.

On huomattava, että tällaisen tehtävän ratkaiseva tekoälyohjelma ei yksinään muodosta hyödyllistä tietokonejärjestelmää, vaan se on aina osa laajempaa modulaarista järjestelmää, jossa osa moduuleista saattaa kerätä tekoälyohjelman tarvitsemaa dataa, osa suorittaa toimenpiteitä tai laatia toimenpidesuosituksia tekoälyohjelman tulosten perusteella, ja osa huolehtia koneen ja ihmisen käyttöliittymästä. Tekoälyjärjestelmäkin on siis loppujen lopuksi aina ihmisten rakentama tietokonejärjestelmä, josta suurimman osan muodostavat perinteisellä tavalla ohjelmoidut moduulit, mutta yksi tai useampi kapean ja hankalasti ohjelmoitavan tehtävän hoitava moduuli rakennetaan tekoälymenetelmiä käyttäen. Koska näitä moduuleja ei rakenneta kokonaan käsin, keskeisiä kysymyksiä ovat tekoälymoduulien ymmärrettävyys ja niiden toiminnan oikeellisuuden ja luotettavuuden validointi.

Koneoppiminen neuroverkoilla

Koneoppivien menetelmien kenttää hallitsevat nyt keinotekoiset neuroverkot, ja erityisesti ns. syvät neuroverkot. Keinotekoinen neuroverkko on etäisellä tavalla ihmisen aivosoluja muistuttava laskentamalli, joko on toteutettu tietokoneohjelmana. Neuroverkko koostuu suuresta määrästä alkeellisia laskentaosasia, ”neuroneja”, jotka liittyvät toisiin neuroneihin (kuva 1). Neuronit on järjestetty kerroksiksi, jotka muodostavat eräänlaisen putken tai liukuhihnan, jossa edellisen kerroksen ulostulo on seuraavan syöte. Käytössä neuroverkon alkupäähän syötetään data, esimerkiksi koiraa esittävän kuvan pikselit, ja syöte etenee kerros kerrokselta liukuhihnan läpi tuottaen toisessa päässä toivottavasti halutun tuloksen, esimerkiksi tunnistuksen kuvan aiheesta: ”tämä on suomenpystykorva”.

Kuva 1. Neuroverkko kuvantunnistuksessa



Neuroverkon varsinainen ydin on opetusalgoritmi, joka opetusvaiheen aikana muokkaa kussakin alkeellisessa laskentaosasessa (neuronissa) olevia kertoimia vähitellen niin, että neuroverkko antaa oikeita tuloksia. Opetusvaiheessa neuroverkolle syötetään opetusdataa, esimerkiksi kuvia eri rotuisista koirista ja samalla kerrotaan, mikä on oikea tulos. Opetuksen aikana neuroverkon tunnistustarkkuus kasvaa ja se kykenee tunnistamaan oikein myös syötteitä, joita se ei ole koskaan aiemmin saanut, esimerkissämme uuden kuvan koirasta. Syväoppivaksi tai syväksi neuroverkkoa sanotaan, kun siinä olevien neuronien ja kerrosten määrä on hyvin suuri, esimerkiksi satojatuhansia, miljoonia tai jopa miljardeja neuroneja. On syytä huomata, että koneoppiminen saattaa tuottaa tilastollisesti hyviä tuloksia (esim. 95% vastauksista oikein), mutta sen antama tulos ei ole koskaan absoluuttinen totuus.

Koneoppimisen haasteet

Neuroverkoilla on saavutettu näyttäviä tuloksia viimeisten kymmenen vuoden aikana, esimerkiksi kuvien tunnistamisessa ja luonnollisen kielen tuottamisessa. Edistykseen voidaan nähdä neljä syytä:

- tietokoneiden kasvanut laskentateho mahdollistaa suuremmat ja siksi paremmin toimivat neuroverkot,
- hyvälaatuista dataa on saatavissa runsaasti neuroverkkojen opettamiseen,
- neuroverkkojen ohjelmointityökalut ovat kehittyneet erittäin paljon, jolloin ne ovat muidenkin kuin alan tutkijoiden hyödynnettävissä,

- koneoppimisalgoritmit ovat kehittyneet tutkimuksen ansiosta paremmiksi.

Nykyiset tekoälyjärjestelmät ovat datapohjaisia. Tällä tarkoitetaan sitä, että ne oppivat datasta, siis tavallaan ohjelmoivat itseään datan pohjalta. Siksi laadukkaan ja runsaan datan saatavuus on niille välttämätöntä.

On vielä syytä korostaa, että nykyisillä tekoälyohjelmilla ei ole minkäänlaista tietoisuutta eikä todellista ymmärrystä käsittelemästään informaatiosta. Informaatio ja data ovat tekoälyohjelmalle vain numeroita, joita se käsittelee algoritminsa ohjaamana. Tekoälyohjelmat ovat tästä huolimatta suuri edistysaskel tavallisiin tietokoneohjelmiin verrattuna ja niiden tuottamat hyödyt ja aiheuttamat muutokset monilla talouden ja yhteiskunnan alalla ovat hyvin suuria. Muutoksen taustalla on yksinkertaisesti se havainto, että koneoppimisalgoritmeilla voidaan luoda melko helposti ohjelmistoja sellaisiin tehtäviin, joiden ratkaiseminen perinteisellä ohjelmoinnilla olisi ollut työlästä tai mahdotonta (Kuinka tunnistaa älypuhelimen käyttäjä kuvan perusteella? Kuinka rakentaa konenäköohjelma joka erottaa läpivalaisukuvissa samanlaisia poikkeamia kuin lääkärit?) Kyseiset ohjelmat eivät ole missään nimessä ole älykkäitä vahvan tekoälyn mielessä, mutta kapea tekoäly riittää mainiosti lukemattoman moniin hyödyllisiin sovelluksiin.

Miten sitten tästä eteenpäin, yhä suurempia neuroverkkoja yhä vaativampiin tehtäviin? Tekniseltä kannalta yhä monimutkaisemmat neuroverkot pystyvät ratkaisemaan kapeita, hyvin määriteltyjä tehtäviä yhä paremmin ja paremmin, mutta tämä ei välttämättä tarkoita sitä, että tämä on oikea tie kohti yleiskäyttöisempää/vahvempaa tekoälyä: yksi tekoälyohjelma osaa laskea Go-pelin seuraavan siirron niin että sen mukaan pelaava amatööri voittaa parhaan Go-ammattilaisen, mutta sama tekoälyohjelma ei osaa itse siirtää nappuloita tai havaita peliasetelmaa, eikä se edes tiedä pelaavansa peliä (tai että ihmisiä on olemassa). Lisäksi samaa tekoälyohjelmaa ei voi soveltaa esimerkiksi edes shakkiin tai mihinkään muuhun peliin, puhumattakaan vaikkapa auton ohjaamisesta tai läpivalaisukuvan tunnistamisesta. Neuroverkkojen parametrien lukumäärän kasvattamien satoihin tai tuhansiin miljardeihin (mikä tällä hetkellä on jo todellisuutta) ei suoraan johda yhtään vahvempaan/monikäyttöisempään tekoälyyn, vaan on omiaan entisestään pahentamaan neuroverkkojen kriittisiä ongelmia:

- koska neuroverkkojen toiminta perustuu miljoonien tai miljardien parametrien tuottamiin ”mikrovaikutuksiin”, kokonaisuuden hahmottaminen on vaikeaa, eikä neuroverkkojen toimintaa yleensä ole mahdollista yleisellä tasolla selittää tai summata kovinkaan ymmärrettävästi (vaikkakin niiden rakentamismekanismi on sinänsä hyvin ymmärrettävä, ja itse asiassa matemaattiselta kannalta varsin yksinkertainen)
- parametrien lukumäärän lisääminen mahdollistaa entistä suurempien dataaineistojen hyödyntämisen, mutta tällöin etulyöntiaseman (jopa tietynlaisen monopoliaseman) saavat sellaiset teknojätit, jotka ovat osanneet tällaisia tarvittavia valtavia datamassoja kerätä, usein yksityisyyden suojan kustannuksella
- neuroverkkojen säätämiseen (”opettamiseen”) tarvittavat laskentaresurssit kasvavat parametrien ja datan lukumäärän kasvaessa, suosien osapuolia, jotka

osaavat parhaiten muuttaa keräämänsä datan rahaksi esimerkiksi personoidun mainonnan kautta. Samaan aikaan koneoppimiseen käytetyt energiamäärät alkavat olla globaalisti jo hälyttävällä tasolla, eikä tekoälyvallankumous ole laajamittaisesti vielä edes alkanut.

Seuraavan sukupolven tekoälyjärjestelmistä on rakennettava tehokkaampia niin, että ne pääsevät hyvään tulokseen pienemmällä määrällä dataa (ja laskentaa/energiaa), toimivat laaja-alaisemmin (mahdollisesti heterogeenisiä datalähteitä yhdistäen), ja kehittyvät ihmisten toimintaa tehostaviksi hyödyllisiksi, monipuolisiksi ja luotettaviksi kokonaisuuksiksi, eivätkä pelkästään automatisoi erillisiä aikaisemmin ihmisten tekemiä yksinkertaisia tehtäviä.

Tekoäly muutosvoimana

Maailman talousfoorumi WEF näkee tekoälyn neljännen teollisen vallankumouksen ajurina [WEF] ja OECD puolestaan korostaa tekoälyä laajasti yhteiskuntaan vaikuttavana murroksellisena voimana (OECD 2021). Muutos ei rajoitu talouteen, vaan se koskee myös terveydenhoitoa, julkista hallintoa laajasti, maanpuolustusta ja kansallista turvallisuutta sekä kansalaisyhteiskuntaa. Murrokseen liittyy luonnollisesti sekä suuria mahdollisuuksia että uhkia.

Ei olekaan yllättävää, että kansallisvaltiot, EU, kansainväliset organisaatiot ja suuryritykset ovat laatineet tekoälystrategioita. Suomi oli ensimmäisten joukossa julkistaessaan kansallisen ohjelman Suomen tekoälyaika [Suomen tekoälyaika 2017]. Tekoälyn merkitys näkyy investoinneissa: suuryritykset sijoittivat 2020 tekoälyteknologiaan n. 60 miljardia euroa [Statista 2021], tekoäly-yrityksiin sijoitettiin 2019 n. 36 miljardia euroa (Brookings 2020). Näiden lisäksi tulevat kansalliset investoinnit tutkimukseen ja tekoälyn sotilas-, valvonta- ja turvallisuussovellutuksiin. Tekoälyn hyödyntäminen on myös muodostunut suurvaltojen kilpakentäksi, jossa Yhdysvallat ja Kiina ovat vahvassa asemassa.

Suomen lähtökohdat tekoälyteknologioiden hyödyntämiseen ovat hyvät. Perustan muodostaa kansainvälisestikin merkittävä tieteellinen tutkimus ja koulutus, jonka juuret ulottuvat 1960 ja 70-luvuille sekä Suomen yleinen vahvuus digitaalisuudessa. Lisäksi kansalaisten asenteet ja kyvykkyys uuden teknologian käyttöönottoon ovat eurooppalaisittain hyvällä tasolla. Viime vuosina maahamme on syntynyt vahvojen kansainvälisillä markkinoilla toimivien yritysten rinnalle kasvuyritysten ja start-upien joukko. Suomen potentiaali on noteerattu konsulttiyrityksissä (Purdy ja Daugherty 2017; Suomen Tekoälyaika 2017), jotka ennakoivat Suomen olevan tekoälystä eniten hyötyvien kansantalouksien joukossa Yhdysvaltojen ja Ruotsin ohella.

Tekoälyn hyödyntämiseksi ja uhkien torjumiseksi EU on luomassa tekoälyn käytön harmonista sääntelyä (Artificial Intelligence Act), ja samantyyppistä lainsäädäntöä luodaan myös muissa maissa. OECD (OECD 2019) on julkistanut tekoälyn käyttöä ohjaavat periaatteet ja vastaavia kannanottoja on muodostettu esimerkiksi YK:ssa.

On kuitenkin syytä huomata, ettei tekoälyteknologia ole vielä lunastanut siihen asetettuja suuria talouskasvuun liittyviä odotuksia. Esimerkiksi Accenture (Purdy ja Daugherty 2017) ennusti vuonna 2017 tekoälyteknologioiden hyödyntämisen kaksinkertaistavan BKT:n kasvun perusuraan verrattuna Yhdysvalloissa ja Suomessa vuosina 2017-30 niin, että vuotuinen kasvu olisi neljä prosenttia kahden sijasta. Vastaavasti konsulttiyritys McKinsey arvioi Tekoälyaika -raportissa (2017) siteeratussa Suomea koskevassa selvityksessään tekoälyn tuottaman lisäkasvun olevan samat 2% perusuraan verrattuna. Ennustettu tekoälyn vauhdittama tuotannon ja tuottavuuden kasvu ei ole ainakaan toistaiseksi toteutunut. Toisaalta myöskään tekoälyyn liitetyt uhkakuvat massatyöttömyydestä eivät ole realisoituneet.

Vaikka tekoäly ei ole vielä siivittänyt maailman ja Suomen taloutta tuottavuuslähtöiseen suureen kasvuun, tämä ei tarkoita, etteikö tekoälyteknologioiden soveltamisella ole jo nyt suuria vaikutuksia yrityksissä ja yhteiskunnassa. Voi myös olla niin, että uuden teknologian laajamittaisempi leviäminen ja merkittävimmät vaikutukset tulevat pitemmällä viipeellä kuin oletettiin, koska nykyisten perusmenetelmien suoraviivainen soveltaminen ei edellä mainittujen teknisten ongelmien vuoksi riitä tekoälyn lopulliseen läpimurtoon kaikilla yhteiskunnan osa-alueilla. Tämä tarkoittaa sitä, että tekoälyn jatkokehitykseen ja erilaisten teknologisten tai yhteiskunnallisten pullonkaulojen poistamiseen vahvimmin investoivat tahot tulevat hyötymään tästä murroksesta jatkossa eniten, ja että lähtökohdat ovat Suomella (ja Euroopalla) oikein hyvät mutta kisa on vasta alussa.

Viestit päättäjille ja kansalaisille

Tekoälyteknologioiden tutkimuksella, kehittämisellä ja hyödyntämisellä on suuri merkitys Suomen tulevalle kilpailukyvylle, kansalaisten hyvinvoinnille sekä turvallisuudelle. On syytä varmistaa, että Suomi pystyy käyttämään hyvät lähtökohtansa tekoälyn hyödyntämisessä.

Koska tekoäly on alana nopeasti kehittyvä ja varsin laaja - kyse ei ole yksittäisestä teknologiasta vaan monitahoisesta menetelmäperheestä - päättäjien tulisi varata aikaa aihealueen kehityksen ja siitä käytävän keskustelun seuraamiseen ainakin yleistasolla. Erityisesti on tärkeää vaikuttaa aktiivisesti EU:n asiaa koskevaan sääntelyyn, niin että se luo Eurooppaan selkeän, ymmärrettävän ja innovaatiopositiivisen toimintaympäristön, eikä vahingossakaan luo vaikutelmaa ylimitoitetuista, raskaista ja monimutkaisista prosesseista niin että yritykset tai julkiset toimijat jättäisivät tekoälyratkaisut hyödyntämättä. Luonnollisesti tekoälyteknologioiden käytön on oltava sopusoinnussa yhteiskunnan perusarvojen ja kansalaisten oikeuksien kanssa, minkä pitääkin olla kaiken eurooppalaisen tekoälysääntelyn vahvana taustamotiivina.

Konkreettisiksi tavoitteiksi kannattaa asettaa:

- perus- ja soveltavan tutkimuksen resurssien vahvistaminen
- yritysten ja tutkimusmaailman tiiviin yhteistyön tukeminen
- tekoälyteknologioiden määrätietoinen ja strategisesti johdettu hyödyntäminen julkisella sektorilla terveydenhuollosta maanpuolustukseen

- tekoälyn teknologiaosaajien riittävä kouluttaminen ja/tai rekrytoinnit ulkomailta ja osaajien sitouttaminen

Kansalaisten on syytä seurata ja osallistua tekoälyn käytöstä, vaikutuksista ja eettisistä kysymyksistä käytävään keskusteluun. Kansalaisille tarkoitetut tekoälyyn liittyvät verkkokurssit, esimerkiksi Helsingin yliopiston ja Reaktorin Tekoälyn perusteet, tarjoavat erinomaisen mahdollisuuden tutustua asiaa hieman pintaa syvemmältä, mikä toisaalta auttaa hälventämään joitakin tieteiskirjallisuudesta tuttuja pelkoja, ja toisaalta tuo realismia tekoälyä kohtaan asetettuihin suuriin odotuksiin. Täydennys- ja jatkokoulutus sekä työssäoppiminen kehittävät tekoälytaitoja, joiden ansiosta työmahdollisuudet laajentuvat ja hallinnan tunne työssä parantuu.

Viitteet

AI 100 2021 Michael L. Littman, Ifeoma Ajunwa, Guy Berger, Craig Boutilier, Morgan Currie, Finale Doshi-Velez, Gillian Hadfield, Michael C. Horowitz, Charles Isbell, Hiroaki Kitano, Karen Levy, Terah Lyons, Melanie Mitchell, Julie Shah, Steven Sloman, Shannon Vallor, and Toby Walsh. "Gathering Strength, Gathering Storms: The One Hundred Year Study on Artificial Intelligence (AI100) 2021 Study Panel Report." Stanford University, Stanford, CA, September 2021. Doc: http://ai100.stanford.edu/2021-report. Accessed: September 16, 2021.

Tekoälyn kokonaiskuva ja kansallinen osaamiskartoitus – loppuraportti. Ailisto, Heikki; Neuvonen, Anssi; Nyman, Henrik; Halén, Marco; Seppälä, Timo (2019). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 4/2019. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161282 Haettu 4.10.2021.

Suomen tekoälyaika (2017). Tekoälyohjelman ohjausryhmä. Suomen tekoälyaika – Suomi tekoälyn soveltamisen kärkimaaksi: Tavoite ja toimenpidesuositukset. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja TEM raportteja 41/2017.

OECD (2019) https://www.oecd.org/digital/artificial-intelligence/ai-principles/

OECD (2021) https://www.oecd.org/digital/artificial-intelligence/

WEF (2021) https://www.weforum.org/platforms/shaping-the-future-of-technology-governance-artificial-intelligence-and-machine-learning.

Statista (2021). Global total corporate artificial intelligence (AI) investment from 2015 to 2020.

Brookings (2020) https://www.brookings.edu/techstream/what-investment-trends-reveal-about-the-global-ai-landscape/

Purdy M. ja Daugherty P. 2017. Why artificial intelligence is the future of growth. Accenture.