

Yksitoista oppia koneoppimisen meta-analyysistä

Aikaisempaan tutkimukseen perustuen vain joka kymmenes koneoppimishanke tuo yritykselle merkittävää lisäarvoa. Lisäksi automatisointi koneoppimisella edellyttää koneoppimisen kokonaisvaltaista kapselointia tietyn työtehtävän hoitoon ja se on osoittautunut erittäin haastavaksi kokonaisuudeksi.

Tiivistelmä

Koneoppimisessa viime vuosina tapahtunut kehitys on saanut monet yritykset kokeilemaan teknologian käyttöä kokeellisessa sekä kaupallisessa tarkoituksessa. Yritysten koneoppimiseen pohjautuvien valmiuksien kehittäminen ja hyötyjen saavuttaminen on kuitenkin osoittautunut välillä erittäin haastavaksi. Tässä politiikkasuosituksessa yritysten koneoppimisen valmiuksia, oppeja ja hyötyjä analysoidaan sosio-tekniisten järjestelmien näkökulmasta. Meta-analyysin tarkoituksena on saada aikaan parempi käsitys soveltavien yritysten koneoppimisen kyvykkyyksistä ja opeista. Aiempaan informaatio- ja tietojärjestelmiä koskevaan tutkimukseen verrattuna sosio-tekniinen analyysikehyksemme on yleisluonteisempi ja monipuolisempi, sillä sitä ei ole rajattu pelkästään yrityksen dynaamisten valmiuksien tarkasteluun. Lisäksi analyysikehykseemme sisältyy myös ajallinen ulottuvuus, joka yksinkertaistaa yrityksen valmiuksien syntymiseen johtavien oppimisprosessien tutkimista. Analyysiämme on havainnollistettu yhdellätoista opilla, joita muodostamme soveltamalla analyysikehystä yritysten koneoppimishankkeiden puitteissa. Lopuksi kuvaamme mikrotasoisia politiikkasuosituksia innovaatiopolitiikan näkökulmasta.

BRIE-ETLA 2019 – 2022 - Shaping the Future in the Era of Intelligent Tools: AI and Beyond

Tomasz Mucha; tomasz.mucha@aalto.fi

Timo Seppälä; timo.seppala@etla.fi (vastaava kirjoittaja)

Politiikkatoimet alustataloudessa - Policy Rationales in the Shift to Digital Platform Economy

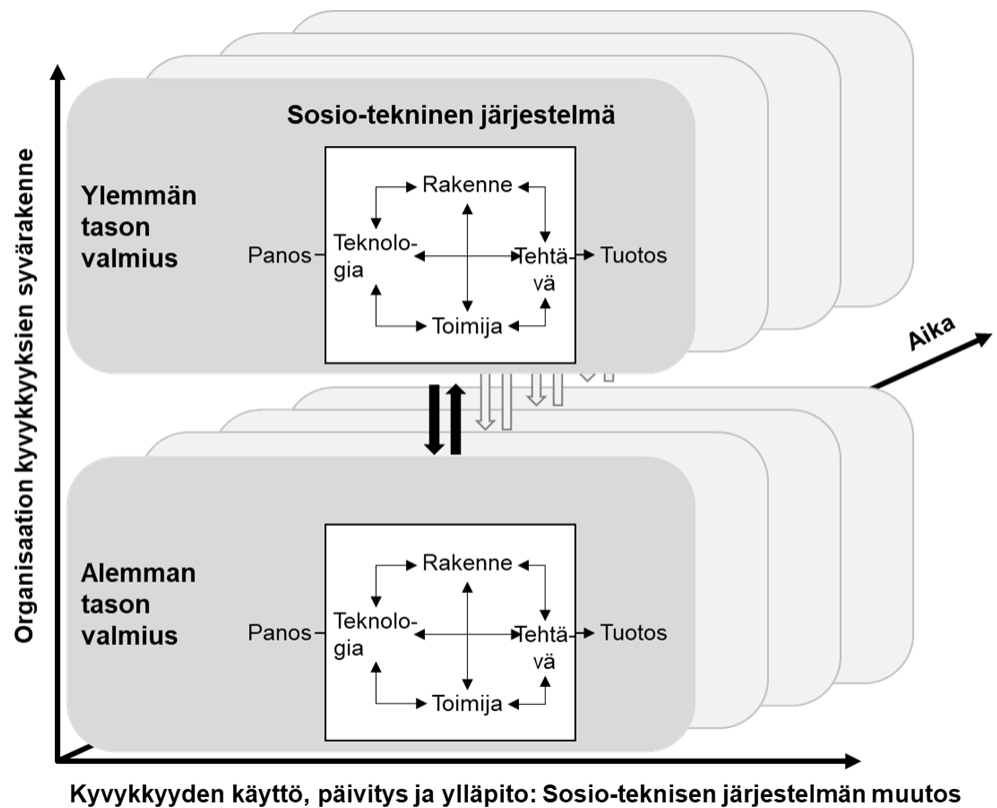
Robin Gustafsson; robin.gustafsson@aalto.fi

Koneoppimisen skaalaus ja käyttöönotto ovat osoittautuneet välillä haasteellisiksi.

Johdanto ja käsitteellinen viitekehys

Tekoälyn kaupallistamisen ytimessä oleva koneoppiminen on suurten yritysten tämänhetkisen näkemyksen mukaan uusista teknologioista sekä tärkein että vahingollisin [1]. Toisin kuin perinteisessä ohjelmoinnissa, koneoppimisessa sovelletaan tilastollisia ja laskennallisia tekniikoita oppimismalleihin ja muodostetaan dataan tai kokemukseen pohjautuvia induktiivisia päätelmiä [1], [2]. Nykyaikaisiin laskentaresursseihin ja runsaaseen datamäärään yhdistettynä koneoppimisella on voitu parantaa esimerkiksi konekäännösten, puheen- ja kuvantunnistuksen sekä tekstin, äänen ja kuvien tuotannon tehokkuutta [3]. Tämä kehitys on rohkaissut monia yrityksiä kokeilemaan koneoppimista kaupallisessa käytössä eri sovellusalueilla [4], [5]. Kasvaneesta kiinnostuksesta huolimatta yritysten olemassa olevien valmiuksien parantaminen samoin kuin uusien kyvykkyyksien kehittäminen on erittäin haastavaa. Vaikka koneoppimisen pilotointi onkin suhteellisen vaivatonta, sen skaalaus ja käyttöönotto ovat osoittautuneet välillä haasteellisiksi [1], [5]. Ransbothamin ja hänen kollegoidensa [4] löydösten perusteella vain joka kymmenes koneoppimiseen panostanut yritys saa siitä mitään järkevää hyötyä irti. Yritysten koneoppimisvalmiuksien ja -kyvykkyyksien kehittäminen ei siis selvästikään ole helppoa.

Yritysten valmiuksia ja kyvykkyyksiä ei saada aikaan pelkästään teknologioiden avulla [6]–[9]. Usein niihin tarvitaan myös erillinen harjoittelu-, koneellistamis- ja opettamisprosessi, jonka avulla eri työtehtäviin voidaan sovittaa teknologisten työkalujen lisäksi myös henkilöstön osaaminen ja roolit samoin kuin organisaatorakenne, yrityksen muut resurssit sekä eri prosessit- ja viestintävirrat [6], [10]–[13]. Määrittelimme tämän yrityksen sosio-tekni- ja järjestelmän mikrotason tekijät seuraavasti. Yrityksen valmiuksia, kyvykkyyksiä ja sosio-tekni- ja järjestelmän (engl. socio-technical system) teoriaa käsittelevää lähdeaineistoa tutkimalla paljastuu myös, että näitä näkökulmia yhdistävät seuraavat ominaispiirteet: (1) koneellistaminen (engl. rutinization), (2) syvärakenne (engl. deep structure) ja (3) sisäkkäistäminen (engl. nesting). Näiden perusteella ehdotammekin kuvan 1 mukaista sosio-tekni- ja järjestelmän kehystä yrityksen valmiuksien ja kyvykkyyksien tarkasteluun ja sovellamme sitä yritysten koneoppimishankkeiden kontekstissa. Esitettyjen koneoppimisen kehityshankkeisiin perustuen kuvaamme yritysten saamia valmiuksia ja kyvykkyyksiä sekä niistä syntyneitä hyötyjä.



Kyvykkyyden käyttö, päivitys ja ylläpito: Sosio-teknisen järjestelmän muutos

Kuva 1. Organisaatioiden valmiuksien sosio-teknisen järjestelmän kehys

Käyttämämme yleisluonteinen versio tästä analyysikehyksestä sisältää kaksi erilaista yritysvalmiuksien tasoa. Todellisuudessa näitä analyysin tasoja on useampia. Näiden valmiuksien ja kyvykkyyksien kohdalla on kyse syötteiden (eng. input) muuntamisesta tuotoksiksi (engl. output), jota harjoitellaan ja koneellistetaan taustalla olevien sosio-teknisten järjestelmien kautta. Pystyakseli kuvaa organisaatio- ja valmiusrakenteen tasoja. Vaaka-akseli taas jakaa syötteet, sosio-tekniset järjestelmät ja tuotokset tilallisesti. Näin ollen syötteiden muunnoksen tuloksiksi oletetaan tapahtuvan yksittäisen ajanjaksojen sisällä. Syvyysakseli edustaa myös näiden valmiuksien edistymistä ajan mittaan. Tämä saattaa pitää sisällään yksittäisessä tai monessa osassa tapahtuvat muutokset samoin kuin valmiuksien (tai niiden taustalla olevien sosio-teknisten järjestelmien) väliset kaksisuuntaiset vaikutukset eri valmiuksien ja organisaation tasoilla.

Tässä politiikkasuosituksessa lähestytään yrityksen valmiuksia sosio-teknisen järjestelmän näkökulmasta ja kehitetään kaksi eri analyysitasoa yhdistävä käsitteellinen kehys yritysten innovaatiojärjestelmän tueksi ja eri teknologioiden käyttöönoton hyötyjen analysoimiseksi. Asiaa käsitellään siitä olettamuksesta, että yritysten vuorovaikutus koneoppimisen ja tekoälyn kanssa kasvaa, alkaen koneoppimisen yksittäisistä käyttötapauksista ja päättyen valmiuden täydelliseen automatisointiin. Näiden pohjalta muodostamme useita väittämiä. Väittämiä tukemassa ja selkeyttämässä on anekdoottista todistusaineistoa. Sitä on koottu organisaatioiden koneoppimisen käyttöä koskevista jo julkaistuista

tapaustutkimuksista sekä yli kaksi vuotta jatkuneen tutkimuksen tuloksista. Tutkimus sisältää haastatteluja sekä osallistavaa havaintojen tekoa valtionhallinnon rahoittamaan tekoälykiihdyttämöön kuuluvien yritysten parissa. Tekoälykiihdyttämöön kuuluvat yritykset ovat lähinnä vakiintuneita organisaatioita, joiden toiminta kattoi lähes kaikki koneoppimisessa käytetyt tekniikat sekä organisatorisen koneoppimisen kypsyystasot.

Kuvaamme seuraavaksi yksitoista oppia koneoppimisesta ja sen hyödyistä yrityksille. Lopuksi esittelemme mikrotasaisen innovaatiopolitiikan suosituksemme.

11 oppia koneoppimisesta ja tapauskuvaukset

Koneoppimista voidaan käyttää kahdentyyppisissä tilanteissa – yksittäisanalyseissä ja toistuvassa käytössä [14]. Merkittävä osa projekteista, joihin yritysten datatiimit ja muut osaajat osallistuvat, koskee yksittäisiä analyysejä, tietoturvasa ja liiketoiminnassa yleisesti pääpainon ollessa jälkimmäisellä. Tästä syystä käsittelemme kumpaakin koneoppimisen käyttötapaa.

Oppi 1: Koneoppimisen yksittäinen käyttö organisaatiossa ei johda uuden valmiuden luomiseen.

Koneoppimista hyödyntävät yksittäisanalyysit eivät yksinään sovellu koneellistamiseen sosio-tekniikan järjestelmän suorittamien analyysien osalta. Niinpä uusia valmiuksia ei luodakaan heti sosio-tekniikan järjestelmän tasolla. Koneoppimisesta ei myöskään tule keskeisen valmiuden taustalla olevan teknologian pysyvää osaa. Koneoppimisen mukanaan tuoma muutos ilmenee tavallisesti alemman tason valmiutena ja liittyy toimijoiden, teknologian ja rakennekonfiguraation tai järjestelmään tulevien syötteiden modifikaation uudelleenjärjestelyyn. Tarkemmin sanottuna kyseessä on koneoppimisen käytöstä johtuva uusi näkemys tai tieto, joka edellyttää joko sosio-tekniikan järjestelmään tulevien syötteiden tai itse sosio-tekniikan järjestelmän muuttamista. Tällaiset koneoppimisen käyttötarkoitukset tuovat organisaatioille arvoa kahdella eri tavalla. Ensinnäkin organisaatiot voivat niiden ansiosta selvittää yksittäisistä haasteista hyödyntämällä uusia näkemyksiä, tietoja ja olemassa olevia valmiuksia. Kun pyörremyrsky Frances oli lähestymässä Floridan rannikkoa, Walmartin tietohallintojohtaja päätti yrittää ennakoita tulevia tapahtumia sen sijaan, että olisi odottanut niiden tapahtumista. Hänen onnistui tiiminsä kanssa selvittää, mistä tuotteista olisi suurta kysyntää alueella [15]. Walmartin olemassa olevien valmiuksien ansiosta kaupan hyllyt täytettiin mansikanmakuisilla Pop-Tart-piiraililla ja oluella [32]. Tämä on hyvä osoitus siitä, että joissakin tapauksissa yritykset pystyvät yksittäisen koneoppimisanalyysin avulla saatujen uusien näkemysten ansiosta hyödyntämään olemassa olevia, muuttumattomia valmiuksia ratkaistakseen ainutlaatuisia ongelmia tai hyödyntääkseen ainutlaatuisia tilaisuuksia. Toinen tapa, jolla organisaatiot voivat hyödyntää koneoppimiseen pohjautuvia yksittäisanalyysijä, ei ole ihan yhtä dramaattinen, mutta sitäkin arvokkaampi. Koneoppimista soveltamalla saatu uusi näkemys tai tieto voi olla pysyvämpää. Esimerkkinä mainittakoon eräs kiinteistöhoitoyhtiö, joka käytti vanhentunutta maaperän kosteuden

Koneoppimista soveltamalla saatu uusi näkemys tai tieto voi olla yritykselle pysyvämpää.

arviointimenetelmää ja maksoi alihankkijoille korvausta sen perusteella. (Tämä esimerkki saatiin 24.5.2021 eräältä asiantuntijalta, kun olimme vahvistamassa kehiksemme merkityksellisyyttä käytännössä.) Yhtiö hankki konsulteilta uuden koneoppimiseen pohjautuvan kosteudenarviointimenetelmän. Sen jälkeen kävi ilmi, että kosteustasot olivat monissa kohteissa huomattavasti aiemmin arvioitua alhaisemmat. Tämän ansiosta yhtiö voi säästää miljoonia dollareita tulevissa projekteissa. Vaikka yhtiö ei tässä tapauksessa ottanutkaan koneoppimista pysyvästi käyttöön, yksittäisestä analyysistä saadut näkemykset paransivat olemassa olevien valmiuksien tehoa ja saivat aikaan pitkäaikaista positiivista arvonluontia.

Oppi 2: Koneoppimisen yksittäiset käyttökerrat organisaatiossa voivat johtaa koneoppimisvalmiuden luomiseen ja koneellistamiseen.

Kahdesta edellä mainitusta koneoppimisen käyttöä koskevasta esimerkistä voidaan johtaa muita väittämiä. Vaikka kummatkin näistä koneoppimisen käyttötavoista kuuluvatkin yksittäisanalyysien kategoriaan, Walmartin toimintatavan ja toisen esimerkin välillä on hurja ero. Walmart käytti talon sisäistä koneoppimiskapasiteettia siinä, missä kiinteistöhoito-yhtiö hyödynsi ulkoisia koneoppimisvalmiuksia. Kummassakin tapauksessa koneoppiminen esitti toimintavalmiuksia suurempaa roolia. Sitä käytettiin työkaluna korkeamman tason sosio-tekniikan järjestelmän teknisessä osassa. Walmart kuitenkin käytti oman organisaationsa sisäistä sosio-tekniikan järjestelmää. Toinen yhtiö puolestaan toteutti yksittäisiä projekteja ulkoisten resurssien avulla. Walmartilla oli lisäksi valmiina kaikki sosio-tekniikan järjestelmän osatekijät, joita analyysin tekoon tarvittiin. Kyseessä oli siis koneellistettu prosessi. Voidaankin sanoa, että Walmartilla oli koneoppimisvalmius. Tämä eroaa toisesta yhtiöstä, sillä ensinnäkin siltä puuttuivat vaaditut talon sisäiset resurssit, ja toiseksi sen oli suoritettava tavallisuudesta poikkeavaa tiedonkeruuta toteuttaakseen projektin. Tärkeän eron muodostavat organisaation koneoppimisvalmiudet. Organisaatiot, joilta tällaiset valmiudet löytyvät, kykenevät toteuttamaan koneoppimishankkeita nopeammin. Sen lisäksi ne pystyvät tunnistamaan tilaisuuksia ja käyttämään niitä paremmin hyväkseen. Yksittäisten koneoppimishankkeiden toteuttaminen moneen kertaan voi myös kehittää tai vahvistaa organisaation koneoppimisvalmiuksia karttuneen kokemuksen ja korkeamman järjestelmän sisäisen koneellistumisasteen myötä.

Oppi 3: Koneoppimisvalmiuden käytöllä organisaatiossa on myönteinen vaikutus jatkossa tapahtuvien koneoppimishankkeiden onnistumiseen.

Vaikka esimerkissämme Walmartin tapa käyttää koneoppimista koskikin yksittäistä käyttöä, organisaatio voisi käyttää olemassa olevaa koneoppimisvalmiutta uusien toimintavalmiuksien testaamiseen tai olemassa olevien valmiuksien rikastuttamiseen [16]. Walmart kehittää esimerkiksi koneoppimiseen perustuvaa hyllyjen valvontajärjestelmää, joka kertoo, kun hyllyjä on tarpeen täyttää, ja havaitsee myös läikkyneet nesteet ja muut ongelmat [17]. Näitä toimintavalmiuksia kehitetään yrityksen Intelligent Retail Lab -laboratoriossa, joka on tässä asiayhteydessä koneoppimisvalmiuden omaava ylemmän tason järjestelmä. Tässä mielessä koneoppimisvalmiuksista voisi olla hyötyä sekä koneoppimisen yksittäisessä käytössä että koneoppimiseen

Organisaatio voi käyttää olemassa olevaa koneoppimisvalmiutta uusien toimintavalmiuksien testaamiseen ja olemassa olevien valmiuksien rikastuttamiseen.

pohjautuvien valmiuksien kehittämisessä. Kummassakin tapauksessa koneellistettu sosio-tekninen järjestelmä ja siihen perustuva koneoppimisvalmius tarjoavat edun verrattuna organisaatioihin, joilla vastaavia valmiuksia ei ole.

Firebird-järjestelmän välityksellä tapahtunut varhainen yhteistyö ulkopuolisen tutkijaryhmän sekä Atlantan palo- ja pelastustoimen välillä havainnollistaa mainiosti, miten omien koneoppimisvalmiuksien puute saattaa vaikeuttaa koneoppimisvalmiuden perustamista. Firebird on kehys, joka auttaa kunnallisia palolaitoksia kaupallisten tilojen palotarkastustarpeiden tarkastamisessa ja priorisoinnissa koneoppimisen, geokoodauksen ja informaation visualisoinnin keinoin [18, p. 185]. Tätä kirjoitettaessa Madaio kollegoineen [30] päätyi siihen johtopäätökseen, että osa koneoppimisen kehitysprosessista olisi tarpeen uusia säännöllisesti, koska tiedonjakokäytännöt kunnan keskeisten osastojen välillä olivat niin surkeita. Ilman tiedonjakoa järjestelmä ei kyennyt havaitsemaan muutoksia kaupallisissa tiloissa toimivien yritysten toiminnassa ja sijaintipaikoissa. Koneoppimisvalmiuksien puutteen takia Firebird-järjestelmän käyttö alkuvaiheessa osoittautui hyödylliseksi, vaikkei siitä tullutkaan alun perin suunniteltua koneoppimisvalmiutta.

Oppi 4: Koneoppimiseen perustuvaa valmiutta voidaan myös kehittää ilman organisaation omaa koneoppimisvalmiutta.

Koneoppimisen yksittäinen käyttö organisaatiossa on kuitenkin mahdollista, vaikka oma koneoppimisvalmius puuttuisikin. Koneoppimisen toistuvaa käyttöä eli koneoppimiseen perustuvaa valmiutta voidaan myös kehittää ilman omaa koneoppimisvalmiutta. Tavallisimmat tähän kategoriaan osuvat esimerkit koskevat tapauksia, joissa koneoppimisteknologia yhdistetään organisaation toimintavalmiuksien pohjana toimivassa sosiaalisteknisessä järjestelmässä käytettyihin kolmannen osapuolen työkaluihin. Myyntipäälliköt käyttävät myyntitilaisuuksiin johtavien liidien ennakointiin esimerkiksi Salesforce Einsteinia. Tällainen koneoppimisen työkalumainen käyttö olemassa olevien toimintavalmiuksien puitteissa on paketoitu pilvipalvelutoimittajien toimesta palveluksi. Ilman omaa koneoppimisvalmiutta on kuitenkin myös mahdollista kehittää monitahoisempia koneoppimisen käyttötarkoituksia, jotka saattavat edellyttää esimerkiksi laitteistoon tehtyjä fyysisiä muutoksia. Esimerkiksi eräs saksalainen sähköanturi- ja toimilaittevalmistaja on kehittänyt yhteistyössä yliopiston kanssa koneoppimiseen pohjautuvaa, automatisoitua, visuaalista tarkastustoimintoa laadunvalvontaryhmänsä käyttöön [19].

Oppi 5: Uuden koneoppimiseen perustuvan valmiuden luomiseen vaaditaan organisaation tasapainoista syvärakennetta, joka yhdistää organisaation toiminnan eri tasot.

Sosio-teknisen järjestelmän vaaditut, mutta irralliset osat eivät yksinään riitä organisaation koneoppimiseen perustuvan valmiuden perustamiseen. Näiden osien sijaan niiden yhteistoiminta on koneellistettava, kunnes suorituskyky on saavuttanut riittävän luotettavuuden tason. Merkki tällaisesta koneellistamistasosta on taustalla olevan sosio-teknisen järjestelmän syvärakenteen vakaus tai tasapaino. Esimerkiksi Firebirdin tapauksessa tiedot piti puhdistaa ja yhdistää vain kerran [18], joten toimintoa ei tarvinnut koneellistaa.

Koneoppimisvalmius piti kehittää ja integroida olemassa oleviin järjestelmiin minkä lisäksi valmiuden kehitystyötä piti jatkaa eri toimijoiden kesken.

Näin ollen organisaation kykyä tunnistaa ja priorisoida palotarkastuksia ei ollut tarpeen perustaa koneoppimiseen. Toisena esimerkkinä mainittakoon Norjassa toimiva maailmanlaajuinen laivanvälitysyhtiö, joka kehitti uuden koneoppimiseen perustuvan valmiuden tuottaa öljykauppataulukoita – laskentataulukoita, jotka sisältävät tietoa tiettyjen laivojen toiminnasta, kuten lähtöjen ja saapumisten aikaleimat, kohteet sekä satamat, joissa laivat lastaavat tai purkavat kuormaa [20, p. 6]. Valmius piti kehittää ja integroida olemassa oleviin järjestelmiin, minkä lisäksi kehitystyötä piti toistaa merenkulkualan tutkijoiden kanssa. Siinä sivussa näiden toimenkuvat oli myös määriteltävä uudelleen. Koneoppimiseen perustuvan valmiuden rakentaminen ja koneellistaminen vei noin kaksi vuotta.

Oppi 6: Koneoppimisen lisääminen sosio-tekniiseen järjestelmään ei ole riittävä edellytys organisaation valmiuden suorituskyvyn parantamiselle.

Organisaation koneoppimiseen pohjautuvien valmiuksien luominen perustuu usein organisaation jo olemassa oleviin valmiuksiin. Koneoppimiseen pohjautuvan valmiuden luominen voidaan helposti katsoa olemassa olevien valmiuksien kehittämiseksi tai uudistamiseksi [12]. Koska olemassa olevat valmiudet itsessään ilmentävät tiettyä sosio-tekniisen järjestelmän syvärakenteen tasapainoa, uusien teknisten osien lisääminen saattaa uhata tätä tasapainoa (katso kuva 1). Tässä kohdassa perehdymme valmiuden suorituskyvyn ja sen sosio-tekniisen järjestelmän vakauden väliseen suhteeseen koneoppimisteknologian käyttöönoton puitteissa.

Yllä oleva esimerkki norjalaisen laivanvälitysyhtiön koneoppimiseen perustuvasta valmiudesta tarjoaa mahdollisuuden tarkastella hieman laajemmin sosio-tekniisen järjestelmän epätasapainoa. Koska tavoitteena oli heti projektin alusta asti puhdistaa algoritmi sekä valmistella ja luokitella raakadata vastaavalla tavalla kuin tutkija teki manuaalisesti luodessaan kauppataulukoita [20, p. 7], merentutkijan tehtäväkuvaan oli odotettavissa muutoksia, olihan työn pääasiallisena tarkoituksena kauppataulukoiden luominen. Siitä huolimatta alussa ei ollut mitään takuita siitä, että koneoppimisvalmius takaisi paremman suorituskyvyn. Olemassa olevan valmiuden sosio-tekniisen järjestelmän järkyttäminen ei näin ollen ole riittävä edellytys suorituskyvyn parantamiselle. Toinen esimerkki tästä on eräs eurooppalainen suuryritys, joka kuuluu maailmanlaajuiseen kulutustavarakonserniin, jonka vuotuinen liikevaihto on yli viisikymmentä miljardia dollaria. Yrityksen tavoitteena oli poistaa subjektiivisuus ja puolueellisuus työvoiman päätöksenteosta datatieteen, neurotieteen ja koneoppimisen avulla [21, p. 2]. Tavoite oli kunnianhimoisen, mutta koneoppimisen käyttöönotto harjoittelijoiden rekrytointiprosessissa Euroopassa järkytti taustalla olevan valmiuden sosio-tekniisen järjestelmän tasapainoa. Reiluuden parantaminen valinta- ja rekrytointiprosessissa ei myöskään tuottanut toivottua tulosta. Jotkut hakijoista valittivat prosessin oikeudenmukaisuudesta. Niin tekivät myös rekrytoinnin linjapäälliköt, yrityksen oma keinoälytiimi sekä projektia alun perin johtaneet henkilöstöpäälliköt. Epätasapaino aiheutti ristiriitoja rekrytoinnista vastaavien johtajien ja koneoppimispohjaista päätöksentekoa puolustavien henkilöstöpäälliköiden välillä, koska rekrytoinnista vastaavat johtajat eivät voineet palkata haluamiaan hakijoita.

**Koneoppimisen
käyttöönotto ei yksinään
riitä valmiuden
suorituskyvyn
parantamiseen.**

Oppi 7: Koneoppimisen lisääminen olemassa olevaan valmiuteen voi olla edellytys valmiuden suorituskyvyn tuntuvalle parantamiselle.

Vaikka sosio-tekni- sen järjestelmän järkyttäminen koneoppimisen käyttöönotolla ei yksinään riitä valmiuden suorituskyvyn parantamiseen, oletamme, että se on silti tarpeellinen edellytys merkittäväille suorituskyvyn parantamiselle. Tämä johtuu siitä, että valmiuden syötteiden ja tuotosten välisessä suhteessa tapahtuneen merkittävän muutoksen takia keskeinen sosio-tekni- nen järjestelmä on konfiguroitava (tai konfiguroitu) uudelleen, jotta se pystyisi tarjoamaan uusia vastauksia ja ominaisuuksia [13]. Tällainen uudelleen konfigurointi ei tarkoita pelkästään jonkin olemassa olevan teknologian korvaamista koneoppimisella. Kyseessä on laajempi muutos keskeisen sosio-tekni- sen järjestelmän laajuudessa. Tässä tapauksessa koneoppimisen käyttöönotto johtaa muutoksiin keskeisen sosio-tekni- sen järjestelmän osassa tai osissa. Näin ollen muutokset teknologian muissa osissa, toimijoiden roolissa, sosiaalisessa rakenteessa ja organisaatorakenteessa tai taustalla olevissa tehtävissä liittyvät aina koneoppimisen käyttöönotosta johtuviin tuntuviin parannuksiin suorituskyvyssä. Esimerkkinne norjalaisesta laivanvälitysyrityksestä, joka rikastutti kauppataulukoidensa luontia koneoppimisen käyttöönotolla, on hyvä osoitus muutoksesta toimijoiden roolissa ja tehtävien luonteesta [36]. Kun koneoppimis pohjaiseen kauppataulukoiden luontiin oli siirrytty onnistuneesti, merenkulkualan tutkijoista tuli organisaation taulukoiden luontiin käyttämän koneoppimis algoritmin ”opettajia ja valvoja”. Toisessa tutkimuksessa, joka koski koneoppimisen käyttöönottoa erään kiinalaisen verkkokauppajä- tin keskuksessa – Alibaban älyvarastossa [5] – perinteiset trukkeihin ja manuaaliseen työhön perustuvat tavarankäsittelytavat korvattiin automatisoidulla, kolmiulotteisella varastolla, johon ihmisillä ei turvallisuus- ja tehokkuussyistä ole normaalisti lupaa mennä. Yksittäisten tavaralavojen paikat lasketaan koneoppimisen avulla ennakoitun kysynnän perusteella, ja robotit siirtävät lavat niiden oikeille paikoille. Kun tavaratilaus on otettu vastaan, työntekijöiden ei tarvitse liikkua varastossa keräämässä siihen sisältyviä tuotteita, vaan robotit hoitavat asian. Tässä hyödynnetään koneoppimiseen perustuvan algoritmin todennäköisyysarvioita eri tuotteista, jotka kuuluvat useisiin yhteen koottuihin, reaaliaikaisiin tilauksiin.

Oppi 8: Koneoppimiseen perustuvan valmiuden jatkuva käyttö organisaatiossa ei välttämättä edellytä oppimissilmukkaa.

**Vakiintunut
koneoppimis pohjainen
valmius on riittävän
luotettava, sitä on
harjoitettu, se on
koneellistettu ja sosio-
tekni- sen järjestelmän
uusi tasapaino on
saavutettu.**

Nyt kun olemme käsitelleet koneoppimis pohjaisten valmiuksien luomisen, on aika siirtää painopiste sillä saavutettuihin parannuksiin ja oppeihin. Vakiintunut koneoppimis pohjainen valmius on riittävän luotettava, sitä on harjoitettu ja se on koneellistettu sekä tasapainossa taustalla olevan sosio-tekni- sen järjestelmän kanssa. Vaikka koneoppiminen sisältääkin sanan oppiminen, valmiuden suorituskyvyn lisäparannuksista ei ole mitään takuita. Tämä käy ilmi tarkastelemalla pikaisesti koneoppimisen elinkaarta [22], jonka aikana tuotantokäyttöön otettu koneoppimis malli saattaa vaatia lisäoppimista (uudelleenkoulutusta), joskaan ei välttämättä. Koneoppimis pohjaisen valmiuden kehittäjien on päätettävä, voidaanko tällaista uudelleenkoulutusta tarjota, kuinka usein ja missä muodossa. Koneoppimis mallin koulutus ja päättely ovat toisin

Vakiintuneen koneoppimisohjaisen valmiuden kehittäminen opettamalla tarjoaa marginaalisia hyötyjä valmiuden suorituskykyyn.

sanoen kaksi eri vaihetta mallin elinkaaren aikana. Jotta koneoppiminen voisi suorittaa päättelyä tuotannossa, vaaditaan vähintään yksi koulutuskierron (oppiminen). Esimerkiksi kohteiden havaitsemiseen ja seurantaan kykenevä droni [23] on käynyt läpi koulutusvaiheen ja pystyy suorittamaan päättelyä oman ohjelmistonsa ja laitteistonsa avulla. Jos organisaatio yhdistäisi tällaisen droonin valvontavalmiuksiinsa, se voisi mahdollisesti parantaa kyseisten valmiuksien suorituskykyä. Droonin jatkuva käyttö ei kuitenkaan itsessään aiheuttaisi muutoksia droonin omassa koneoppimisalgoritmissa.

Oppi 9: Integroitu oppimispalautesilmukka vakiintuneessa koneoppimiseen perustuvassa valmiudessa tarjoaa marginaalisia parannuksia valmiuden suorituskyvyssä.

Koneoppimiseen perustuvia valmiuksia kehittävät organisaatiot havaitsevat usein, että koneoppimismallit vaativat päivitystä ja mahdollisesti jatkuvaa oppimista. Tämä pitää erityisesti paikkansa ympäristön suuren dynaamisuuden yhteydessä. Oppimispalautesilmukat integroidaan usein taustalla olevan sosio-tekniikan järjestelmän yleiseen teknologiaosaan. Niitä voi esiintyä (1) offline-ylläpitotoimien tai (2) online-päivitysten muodossa [38]. Esimerkiksi eräs eurooppalainen pankki kouluttaa talon sisäisesti kehitettyä asiakaspalvelurobotia säännöllisesti uudelleen. (Tämä esimerkki saatiin eräältä asiantuntijalta 20.11.2019 pidetyssä workshopissa.) Tällainen offline-ylläpitoharjoitus pidetään noin kolmen kuukauden välein. Teknisen tiimin lisäksi myös asiakaspalvelun edustajien on osallistuttava siihen. Uudelleenkoulutuksen tavoitteena on parantaa koneoppimistekniikan suorituskykyä asiakkaiden oikein tunnistettujen aikomusten osalta sekä päivittää robotin vastauksia, joiden on oltava linjassa jatkuvasti muuttuvan tarjonnan ja asiakasehtojen kanssa. Hyvä esimerkki online-oppimispalautesilmukkaan integroidun, koneoppimiseen pohjautuvan valmiuden käytöstä on eräs kiinalainen petrokemian tehdas, jossa käytetään digitaalista kaksoisjärjestelmää katalyyttisen krakkausyksikön prosessien hallintaan [24]. Järjestelmässä käytetään reaaliaikaista operatiivista dataa optimaalisten tuotantoasetusten löytämiseen, minkä lisäksi data toimii myös jatkuvasti koneoppimismallin automaattisen uudelleenkoulutuksen syötteenä.

Vaikka nämä esimerkit osoittavatkin, että suorituskykyä voidaan parantaa oppimispalautesilmukan integroinnilla vakiintuneisiin, koneoppimiseen perustuviin valmiuksiin, odotettavissa olevien tai toteuttamiskelpoisten muutosten laajuus ei käy niistä ilmi. Tätä varten perehdymme kahteen tällä hetkellä merkittävään koneoppimisen kehitysalueeseen – suuriin muunninohjaisiin kielimalleihin sekä automatisoituun ajamiseen. Keinoälytutkimukseen ja keinoälyn käyttöönottoon erikoistunut OpenAI lanseerasi vuonna 2020 kolmannen sukupolven suuren kielimallinsa nimeltä Generative Pre-trained Transformer (GPT-3) [25]. GPT-3:n avulla saavutettu ennennäkemätön tehokkuus useiden tehtävien suorittamisessa on herättänyt mielenkiintoa niin tiedotusvälineissä kuin monissa käyttäjissään. Jos tarkastellaan esityksiä, jotka kuvaavat parannuksia GPT-3:n eri tehtävien suoritustarkkuudessa useiden syöttöparametrien funktiona, käy ilmi, että marginaaliset parannukset pienenevät jatkuvasti [25]. Koneoppimisen tehon parantaminen vaikeutuu siis jatkuvasti suorituskyvyn parantuessa. Tämä havainto käy yksiin automatisoidun ajamisen suorituskykyparannusten tyypillisen

kehityskaaren kanssa. Aluksi suorituskky kasvaa paljon, mutta jatkossa kulmat ja reunat aiheuttavat kasvavia haasteita [26].

Oppi 10: Koneoppimiseen perustuvan valmiuden suorituskkyssä on oppimispalautesilmukan avulla mahdollisuus saavuttaa suurempia kertaluonteisia parannuksia.

Koneoppimisjärjestelmien suorituskkyparannukset tasaantuvat.

Vaikka suorituskkyparannusten tasaantuminen onkin odotettavissa kaikkien valmiuksien kohdalla, merkittävät tehokkuusparannukset ovat mahdollisia vielä sen jälkeenkin [12]. Joissakin tapauksissa voidaan saavuttaa parannuksia, jotka ylittävät koneoppimiseen perustuvaan valmiuteen integroidun oppimispalautesilmukan mahdollistaman asteen. Tämä kuitenkin edellyttää merkittävää uutta kehitystyötä, jonka seurauksena valmiuden sosio-tekni- sen järjestelmän syvärakenteen tasapainoa on tarpeen järkyttää. Kun Airbnb korvasi kiinteistöhakujen luokitteluun käyttämänsä manuaalisen pisteytystoiminnon gradienttitehosteisella päätöksenteon puumallilla, joka on eräänlainen koneoppimisalgoritmi, se koki ”erään suurimmista parannuksista Airbnb:n kiinteistövarausten historiassa, joka tulisi toistumaan jatkossa moneen kertaan” [27, p. 1927]. Lopulta algoritmin suorituskkyyn tehostuminen kuitenkin tasaantui. Tämän seurauksena hakuluokitusten kehittämisestä vastaava tiimi päätti yrittää toteuttaa järjestelmässä laajamittaisia muutoksia [27, p. 1927] ja otti käyttöön uuden, syviin hermoverkkoihin perustuvan lähestymistavan. Alun perin tiimin tavoitteena oli säilyttää kaikki muu muuttumattomana ja korvata nykyinen malli hermoverkolla [27, p. 1934], mikä säilyttäisi olemassa olevan tasapainon taustalla olevan sosio-tekni- sen järjestelmän kanssa. Ratkaisu kuitenkin vain heikensi hakuluokitustoiminnon suorituskkyä. Tiimin piti suunnitella mallia ympäröivä järjestelmä täysin uudelleen [43, p. 1934] pystyäkseen parantamaan suorituskkyä huomattavasti.

Oppi 11: Valmiuden automatisointi koneoppimisen kapseloinnin avulla muodostaa siitä rakenteellisen osan ylemmän valmiuden sosio-tekni- seen järjestelmään kuuluvaa sosiaalista alajärjestelmää.

Automatisointi koneoppimisen avulla edellyttää täydellistä teknologian kapselointia.

Äärimmäisessä tapauksessa olemassa oleva valmius voidaan automatisoida täysin koneoppimisen avulla, tavallisesti yhdessä muiden tekniikoiden kanssa. Tällainen täysi automatisointi edellyttää teknologian täydellistä kapselointia neljässä toimintoluokassa: (1) tiedonhankinta, (2) tietojen analysointi, (3) päätöksenteko ja toiminnon valinta, (4) toimenpiteen toteutus [28]. Valmiuden täydellinen kapselointi teknologian avulla on mahdollista sekä rajallisten valmiuksien että organisaatioiden sosiaalisesti monimutkaisten tai ydinvalmiuksien osalta. Valmiuden täydellinen automatisointi ei kuitenkaan eristä teknologiaa organisaation muodostavista sosiaalisteknisistä järjestelmistä. Koska sosio-tekni- set järjestelmät ovat sisäkkäisiä rakenteita, alemman tason sosio- tekni- sen järjestelmän kapselointi tekee siitä osan korkeamman tason sosio- tekni- sen järjestelmän teknistä alajärjestelmää. Tällä saattaa olla vaikutusta kyseisen korkeamman tason sosio-tekni- sen järjestelmän sisäiseen sosiaaliseen rakenteeseen ja viestivirtoihin. Valmiuden kapselointi koneoppimiseen perustuvaan teknologiaan saattaa näin ollen järkyttää suoraan kapseloidun valmiuden yläpuolella olevan valmiuden sosio-tekni- sen järjestelmää. Hyvä esimerkki tästä on saksalainen pankkikonserni, joka päätti korvata pienten

Business Finlandin rahoittamassa innovaatio- ja kasvututkimuksessa tavoitteena on löytää ratkaisuja Suomen talouden ja yhteiskunnan globaaleihin haasteisiin.

yksityislainojen hyväksymiseen ja lainaehtojen asettamiseen käytetyn talon sisäisen toiminnon koneoppimiseen perustuvalla teknologialla [29]. Alustavasti toimintoa rikastutettiin yhdistämällä se työkaluun, joka tarjosi suosituksia, joita lainakonsultit voivat muuttaa, muokata tai jättää huomiotta [29, p. 308]. Myöhemmin työkalusta otettiin käyttöön paranneltu, täysin koneoppimiseen pohjautuva versio täysautomaattisena ratkaisuna, joka myöntää tai evää lainoja, määrittää lainaehdot sekä muuttaa lainauskriteerejä automaattisesti asiakkaan toiminnan ja senhetkisten markkinamuutosten perusteella [29, p. 308]. Valmius pienten yksityislainojen myöntämiseen ja lainaehtojen määrittelyyn siis kapseloitiin koneoppimiseen perustuvaan ratkaisuun. Ratkaisusta tuli näin tekninen osa ylemmän lainaustoiminnon sosio-tekniistä järjestelmää. Muutos aiheutti myös mullistuksia lainaustoiminnon sosiaalisessa rakenteessa. Lainakonsultit, joilla oli ollut aiemmin kohtuullisen korkea asema pankissa kokemuksensa, koulutuksensa, hankkimiensa sertifikaattien sekä riippumattoman asemansa johdosta, kokivat työkalun uhkana ammatilliselle identiteetilleen ja asemansa arvostukselle. Koneoppimiseen perustuvan työkalun ansiosta täysin uusi työntekijäryhmä, johon kuului muun muassa aiemmin asiakaspalvelussa tai vastaanotossa toimineita työntekijöitä samoin kuin uusia työntekijöitä, pystyikin yhtäkkiä suorittamaan lainakonsultin tehtäviä. Tämä vahvisti näiden työntekijöiden ammatillista identiteettiä merkittävästi. Koneoppimiseen perustuvan lainaustyökalun käyttö vähensi myös osittain sisäisen viestinkulun tarvetta, joka oli aiemmin toiminut asiakirjan todennusvaiheena. Tässä tapauksessa toiminnon kapselointi toisin sanoen järkytti pankin lainausvalmiutta koskevaa sosio-tekniistä järjestelmää.

Mikrotasoisia politiikkasuosituksia innovaatiopolitiikalle: Case koneoppiminen

Tässä tutkielmassa pyrimme laajentamaan tällä hetkellä käytyä keskustelua yritysten koneoppimisen valmiuksista ja sen käyttötavoista. On kuitenkin huomattava, että yritysten valmiuksien mikroperusteiden tuntemus ja tutkimus on kuitenkin vielä melko rajallista. Tämä pitää erityisesti paikkansa sellaisten yrityshankkeiden osalta, joiden tavoitteena on koneoppimisen kaltaisten teknologioiden integrointi yrityksen nykyisiin valmiuksiin ja kyvykkyyksiin. Seuraavaksi listaus kertauksenomaisesti yhdestätoista opista koneoppimisen tapauksetutkimuksesta:

- Koneoppimisen yksittäinen käyttö organisaatiossa ei johda uuden valmiuden luomiseen.
- Koneoppimisen yksittäiset käyttökerrat organisaatiossa voivat johtaa koneoppimisvalmiuden luomiseen ja koneellistamiseen.
- Koneoppimisvalmiuden käytöllä organisaatiossa on myönteinen vaikutus jatkossa tapahtuvien koneoppimishankkeiden onnistumiseen.
- Koneoppimiseen perustuvaa valmiutta voidaan myös kehittää ilman organisaation omaa koneoppimisvalmiutta.
- Uuden koneoppimiseen perustuvan valmiuden luomiseen vaaditaan organisaation tasapainoista syvärakennetta, joka yhdistää organisaation toiminnan eri tasot.
- Koneoppimisen lisääminen sosio-tekniiseen järjestelmään ei ole riittävä edellytys organisaation valmiuden suorituskyvyn parantamiselle.

Vain joka kymmenes koneoppimishanke tuo yritykselle merkittävää lisäarvoa.

- *Koneoppimisen lisääminen olemassa olevaan valmiuteen voi olla edellytys valmiuden suorituskyvyn tuntuvalle parantamiselle.*
- Koneoppimiseen perustuvan valmiuden jatkuva käyttö organisaatiossa ei välttämättä edellytä oppimissilmukkaa.
- Integroitu oppimispalautesilmukka vakiintuneessa koneoppimiseen perustuvassa valmiudessa tarjoaa marginaalisia parannuksia valmiuden suorituskyvyssä.
- Koneoppimiseen perustuvan valmiuden suorituskyvyssä on oppimispalautesilmukan avulla mahdollisuus saavuttaa suurempia kertaluonteisia parannuksia.
- Valmiuden automatisointi koneoppimisen kapseloinnin avulla voi muodostaa siitä rakenteellisen osan ylempään valmiuden sosio-tekniiseen järjestelmään kuuluvaa sosiaalista alajärjestelmää.

Koneoppimisen käyttöä organisaatioissa koskevista empiirisistä tutkimuksista saatujen näyttöjen ja oppien pohjalta voidaan todeta, että vain joka kymmenes koneoppimishanke tuo merkittävää lisäarvoa [4]. Toteuttajille aiheutuu tästä lisähaasteita. Toistaiseksi Suomen osalta vastaavaa tutkimusta näytöistä, opeista ja haasteista ei ole systemaattisesti kerätty ja ei ole saatavissa.

Politiikkasuositus 1: *Velvoitetaan innovaatorahoitusta saavat yritykset ja organisaatiot avaamaan koneoppimisen (eri teknologoiden) käyttöön liittyvien kehityshankkeidensa tapauskohtaiset kuvaukset, sovelluskohtaiset dokumentoinnit ja hankkeiden hyötyjen objektiiviset jälkiarvioinnit jatkotutkimusta varten.*

Käytännön vaikutusten osalta kehiksemme ja väittämämme sisältävät useita katsantokantoja, jotka saattavat vaikuttaa koneoppimishankkeista rajallista kokemusta omaavien ammattilaisten silmissä intuitionvastaisilta. Esimerkiksi koneoppimisen käyttö organisaatiossa ei tarkoita sitä, että organisaatiolla on koneoppimisvalmiudet tai että se on luonut jonkin uuden valmiuden (Oppi 1 ja Oppi 5). Koneoppimisen suhteen mitään ei saada ilmaiseksi – koneoppimisen avulla saavutettu tuntuva valmiuden suorituskyvyn parannus edellyttää huomattavia muutoksia valmiuden taustalla olevassa sosio-tekniisessä järjestelmässä (Oppi 8). Koneoppiminen ei tuotantoon siirrettynä opi oletusarvoisesti (Oppi 10), mutta toisaalta se ei aina vaadi sitä (Oppi 11). Datan syöttäminen koneoppimisjärjestelmään johtaa parhaimmillaan asteittain vähentyviin parannuksiin suorituskyvyssä (Oppi 10). Valmiuden täydellinen automatisointi ei poista täysin henkilöstön tarvetta (P12).

Politiikkasuositus 2: *Innovaatiopolitiikan tulisi yksittäisten yritysten marginaalisten koneoppimisen valmiuksien, kyvykkyyksien ja hyötyjen tukemisen sijaan keskittyä laajempien tuote- ja palvelukokonaisuuksien systeemiseen tukemiseen sekä koneoppimisen hyödyntämiseen arvoketju- ja liiketoimintaekosysteemeissä.*

Jatkotutkimus

Jatkotutkimuksemme vie työtämme eteenpäin monella eri tapaa. Ensimmäiseksi käsitteellinen kehuksemme ei rajoitu pelkästään koneoppimiseen. Sitä voidaan hyödyntää tulevissa tutkimuksissa ja innovaatiotutkimuksen jälkiarvioinneissa, joissa luodetaan syvemmin digitaalisten tekniikoiden vaikutusta organisaatioiden valmiuksiin ja innovaatiopolitiikan suorien hyötyjen selvittämiseen. Toiseksi, koska kehys yhdistää mikroperusteet nimenomaisesti yrityksen valmiuksiin ja kyvykkyyksiin, sen avulla voidaan tutkia eri teknologioiden vaikutuksia työntekijöihin ja -kuviin sekä työtehtäviin ja -paikkoihin. Kaiken kaikkiaan edellä kuvatun kaltainen pidempiaikainen empiirinen tutkimus ja jälkiarviointi lisää ymmärrystämme yritysten valmiuksista hyödyntää transformatiivisia teknologioita.

Lähdeluettelo

- [1] H. Benbya, T. H. Davenport, and S. Pachidi, "Special Issue Editorial: Artificial Intelligence in Organizations: Current State and Future Opportunities.," *MIS Quarterly Executive*, vol. 19, no. 4, pp. ix–xxi, Dec. 2020.
- [2] H. Benbya, S. Pachidi, and S. Jarvenpaa, "Special Issue Editorial: Artificial Intelligence in Organizations: Implications for Information Systems Research," *Journal of the Association for Information Systems*, vol. 22, no. 2, p. 10, Mar. 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.17705/1jais.00662>.
- [3] G. C. Kane, A. G. Young, A. Majchrzak, and S. Ransbotham, "Avoiding an Oppressive Future of Machine Learning: A Design Theory for Emancipatory Assistants," *MIS Quarterly*, vol. 45, no. 1, pp. 371–396, Mar. 2021, doi: [10.25300/MISQ/2021/1578](https://doi.org/10.25300/MISQ/2021/1578).
- [4] A. McAfee and E. Brynjolfsson, *Machine, platform, crowd: Harnessing our digital future*. WW Norton & Company, 2017.
- [5] D. Autor, "Polanyi's Paradox and the Shape of Employment Growth," National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, w20485, Sep. 2014. doi: [10.3386/w20485](https://doi.org/10.3386/w20485).
- [6] E. Brynjolfsson and T. Mitchell, "What can machine learning do? Workforce implications," *Science*, vol. 358, no. 6370, pp. 1530–1534, Dec. 2017, doi: [10.1126/science.aap8062](https://doi.org/10.1126/science.aap8062).
- [7] S. Kambhampati, "Polanyi's revenge and AI's new romance with tacit knowledge," *Commun. ACM*, vol. 64, no. 2, pp. 31–32, Jan. 2021, doi: [10.1145/3446369](https://doi.org/10.1145/3446369).
- [8] N. J. Nilsson, *The quest for artificial intelligence*. Cambridge University Press, 2009.
- [9] E. Brynjolfsson, X. Hui, and M. Liu, "Does machine translation affect international trade? Evidence from a large digital platform," *Management Science*, vol. 65, no. 12, pp. 5449–5460, 2019.

- [10] D. Zhang et al., "The AI Index 2021 Annual Report," arXiv preprint arXiv:2103.06312, 2021.
- [11] S. Ransbotham, S. Khodabandeh, D. Kiron, F. Candelon, M. Chui, and B. LaFountain, "Expanding AI's Impact With Organizational Learning," MIT Sloan Management Review and Boston Consulting Group, Oct. 2020, Accessed: Jan. 04, 2021. [Online]. Available: <https://sloanreview.mit.edu/projects/expanding-ai-impact-with-organizational-learning/>
- [12] D. Zhang, L. G. Pee, and L. Cui, "Artificial intelligence in E-commerce fulfillment: A case study of resource orchestration at Alibaba's Smart Warehouse," *International Journal of Information Management*, vol. 57, p. 102304, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2020.102304.
- [13] A. Cam, M. Chui, and B. Hall, "Global AI Survey: AI proves its worth, but few scale impact," 2019.
- [14] R. M. Grant, *Contemporary strategy analysis: Text and cases edition*. John Wiley & Sons, 2016.
- [15] C. Y. Baldwin, "Design Rules Volume 2: Chapter 2—Transactions in a Task Network," Baldwin, CY (2020)"Transactions in a Task Network" Harvard Business School Working Paper (August 2020), 2020.
- [16] T. Felin, N. J. Foss, and R. E. Ployhart, "The Microfoundations Movement in Strategy and Organization Theory," *ANNALS*, vol. 9, no. 1, pp. 575–632, Jan. 2015, doi: 10.5465/19416520.2015.1007651.
- [17] C. Salvato and R. Vassolo, "The sources of dynamism in dynamic capabilities," *Strategic Management Journal*, vol. 39, no. 6, pp. 1728–1752, 2018, doi: <https://doi.org/10.1002/smj.2703>.
- [18] D. G. Sirmon, M. A. Hitt, R. D. Ireland, and B. A. Gilbert, "Resource Orchestration to Create Competitive Advantage: Breadth, Depth, and Life Cycle Effects," *Journal of Management*, vol. 37, no. 5, pp. 1390–1412, Sep. 2011, doi: 10.1177/0149206310385695.
- [19] D. J. Teece, "Business models and dynamic capabilities," *Long range planning*, vol. 51, no. 1, pp. 40–49, 2018.
- [20] D. G. Sirmon, M. A. Hitt, and R. D. Ireland, "Managing Firm Resources in Dynamic Environments to Create Value: Looking Inside the Black Box," *AMR*, vol. 32, no. 1, pp. 273–292, Jan. 2007, doi: 10.5465/amr.2007.23466005.
- [3] P. Mikalef, R. van de Wetering, and J. Krogstie, "Building dynamic capabilities by leveraging big data analytics: The role of organizational inertia," *Information & Management*, p. 103412, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.im.2020.103412.
- [22] D. Zhang, S. L. Pan, J. Yu, and W. Liu, "Orchestrating big data analytics capability for sustainability: A study of air pollution management in China,"

Information & Management, p. 103231, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.im.2019.103231.

[23] T. L. Griffith and D. J. Dougherty, "Beyond sociotechnical systems: introduction to the special issue," *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 19, no. 2, pp. 205–216, Jun. 2002, doi: 10.1016/S0923-4748(02)00018-8.

[24] P. M. Leonardi and S. R. Barley, "Materiality and change: Challenges to building better theory about technology and organizing," *Information and Organization*, vol. 18, no. 3, pp. 159–176, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.infoandorg.2008.03.001.

[25] E. L. Trist, *The evolution of sociotechnical systems*, vol. 2. Ontario Quality of Working Life Centre Toronto, 1981.

[26] E. Trist and H. Murray, "Historical Overview: The Foundation and Development of the Tavistock Institute.," in *The Social Engagement of Social Science*, Volume 2, E. Trist, H. Murray, and B. Trist, Eds. University of Pennsylvania Press, 1993, pp. 1–34. Accessed: Apr. 26, 2021. [Online]. Available: <http://www.jstor.org.libproxy.aalto.fi/stable/j.ctt1bj4q98.4>

[27] S. Winter, N. Berente, J. Howison, and B. Butler, "Beyond the organizational 'container': Conceptualizing 21st century sociotechnical work," *Information and Organization*, vol. 24, no. 4, pp. 250–269, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.infoandorg.2014.10.003.

[28] R. P. Bostrom and J. S. Heinen, "MIS Problems and Failures: A SocioTechnical Perspective. Part I: The Causes," *MIS Quarterly*, vol. 1, no. 3, p. 17, Sep. 1977, doi: 10.2307/248710.

[29] C. J. G. Gersick, "Revolutionary Change Theories: A Multilevel Exploration of the Punctuated Equilibrium Paradigm," *Academy of Management Review*, vol. 16, no. 1, pp. 10–36, Jan. 1991, doi: 10.5465/AMR.1991.4278988.

[30] M. Madaio *et al.*, "Firebird: Predicting fire risk and prioritizing fire inspections in Atlanta," in *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2016, pp. 185–194.