

strateginen TUTKIMUS



Generation AI (GenAI)

Tilannekuvaraportti 2022



SUOMEN AKATEMIA

1. Tiivistelmä

Generation AI -hanke vastaa kolmeen toisiinsa liittyvään yhteiskunnalliseen haasteeseen: 1) Turvallisuuden, kontrollin ja vapaan tahdon tunteen heikkeneminen dataistuneessa yhteiskunnassa; 2) luottamuksen heikkeneminen viranomaisiin, tiedotusvälineisiin, tieteeseen, kansalaisyhteiskuntaan ja kansalaisiin sekä 3) nopeasti kasvava eriarvoisuus, joka liittyy alati muuttuvan tieto- ja viestintätekniiikan hallintaan ja toimijuuteen. Hankkeessa kehitetään esiopetuksen ja kouluopetuksen kontekstissa interventioita, joilla voidaan parantaa lasten resilienssiä teknologistuvassa maailmassa, luoda ja edistää kyberturvallisuusajattelua ja varustaa opettajat opetussuunnitelmien muuttamiseen tarvittavilla oivalluksilla ja pedagogiikalla. Lisäksi hanke parantaa lasten oikeuksia (CRC) koskevaa tutkimusta tekoälyn alalla.

Hankkeessa rakennetaan perustaa, jonka päälle voidaan rakentaa "AI-sukupolven" teknologiakasvatusta: teknologiakasvatusta, joka ottaa huomioon tekoälyn toimintaperiaatteet, sen tarjoamat mahdollisuudet ja dynaamiset vaikutukset—unohtamatta sen puutteita ja riskejä tai sitä kuinka tekoälyjärjestelmät voivat kasvattaa vastakkainasettelua, syrjintää, turvattomuutta ja rapauttaa luottamusta. Hanke tukee oppijoiden ymmärrystä turvallisuudesta ja luottamuksesta tekoäly (AI)- ja koneoppimis(ML)-pohjaisiin järjestelmiin. Hankkeessa mitataan sen vaikutusta oppijoiden datatoimijuuteen ja heidän kykyynsä työskennellä monimutkaisten ja epälineaaristen prosessien kanssa ja tehdä niistä vähemmän arvaamattomia ja polarisoivia. Hanke antaa oppijoille mahdollisuuden tunnistaa verkossa tekemiensä, usein tiedostamattomien valintojen seuraukset. Se havainnollistaa, miten ennakkoluulot hiipivät järjestelmiin ja luovat algoritmista syrjintää sekä eriarvoisuutta. Se herkistää oppijat kysymyksille hallinnasta, teknologisesta determinismistä, sekä siitä, kenellä on valtaa tietojen käyttöön ja millä tavoin käyttäjien luottamusta voidaan käyttää väärin.

Hanke tuo yhteen teknologian kehittäjät, koulut, viranomaiset, yritykset ja kansalaisjärjestöt. Se vahvistaa lasten ja nuorten kykyä kohdata teknologian globaaleja yhteiskunnallisia vaikutuksia sekä tuottaa opettajien käyttöön pedagogisia työkaluja oppimisen murrokseen. Lasten ja nuorten oivalluttaminen teknologiasta, josta tulevaisuuden yhteiskunta on enenevässä määrin riippuvainen, on yksi 2000-luvun merkittävimmistä haasteista. Tämän haasteen innostamana "Generation AI"-hanke tuottaa ja terävöittää tieteellistä ymmärrystä, joka mahdollistaa AI- sukupolven osaamistarpeisiin vastaavat koulutusratkaisut.

2. Yhteiskunnallinen haaste

Generation AI -hanke vastaa kolmeen toisiinsa liittyvään yhteiskunnalliseen haasteeseen: 1) Turvallisuuden, kontrollin ja vapaan tahdon tunteen heikkeneminen dataistuneessa yhteiskunnassa; 2) luottamuksen heikkeneminen viranomaisiin, tiedotusvälineisiin, tieteeseen, kansalaisyhteiskuntaan ja kansalaisiin sekä 3) nopeasti kasvava eriarvoisuus, joka liittyy muuttuvan tieto- ja viestintätekniiikan hallintaan ja toimijuuteen.

Hankkeessa kehitetään varhaisia interventioita, joilla voidaan parantaa lasten resilienssiä tekoälyyn pohjautuviin teknologioihin liittyen, luoda ja edistää kyberturvallisuusajattelua ja varustaa opettajat pedagogisilla valmiuksilla tekoälyopetuksen tuomiseksi kouluopetukseen. Tätä varten hanke toimii esiopetuksen ja kouluopetuksen (K-9) kontekstissa, mikä tuo muassaan kaksi muuta tutkimushaastetta: 4) lapsen oikeuksia koskevan tutkimuksen vähäisyys tekoälykontekstissa sekä 5) tutkimukselle perustuvien pedagogisten mallien puute tekoälyn ja datatoimijuuden opetuksessa.

2.1. Vaikuttavuustavoitteet

Hanke edistää yllämainittujen haasteiden ratkaisemista...

a) Kehittämällä pedagogisia puitteita tekoäly- ja turvallisuuskasvatukselle

Hanke järjestää sarjan osallistavia tekoälyyn liittyviä yhteissuunnitteluprojekteja ja käytännön harjoituksia opettajiksi opiskeleville sekä esi- ja perusopetuksen opettajille ja oppilaille. Käytännössä hankkeessa osallistetaan 90 opettajaa ja opettajaopiskelijaa sekä 360 koululaista esi- ja perusopetuksessa. Näissä projekteissa keskitytään kyberturvallisuuden perusteisiin ja sen yhtymäkohtiin tekoälyn (AI) ja koneoppimisen (ML) kanssa. Niissä esitellään ML:n peruskäsitteitä ja -taitoja sekä ML:n eettisiä ja yhteiskunnallisia vaikutuksia jokapäiväisessä elämässä. Projektissa kehitettävässä pedagogisessa mallissa hyödynnetään suunnittelupohjaisen tietojenkäsittelyn (Vartiainen et al., 2021) ja keksimisen pedagogiikan (Korhonen et al., 2022) käytäntöjä. Projekteissa oppijat määrittävät kyberturvallisuuteen liittyviä, henkilökohtaisesti merkityksellisiä haasteita ja innovoivat niihin ratkaisuja tutkijoiden avustuksella. Samalla oppijat kehittävät ja syventävät ymmärrystään tekoälyyn ja koneoppimiseen liittyen.

Jotta oppijat saadaan mukaan suunnittelemaan ja toteuttamaan omia tekoälyyn ja koneoppimiseen perustuvia ratkaisujaan, käytämme ikäkaudelle sopivia työkaluja, ja erityisesti hankkeessa kehitettyjä oppimisvälineitä ja -materiaaleja. Tavoitteena on saada oppijat, opettajat ja opettajaksi opiskelevat ymmärtämään tekoälyyn/koneoppimiseen (AI/ML) liittyviä turvallisuuskysymyksiä sekä teknologioita ja malleja kokeilujen ja

keksimisen kautta. Saatamme opettajaopiskelijat tiiviiseen yhteistyöhön koulujen kanssa ja parannamme siten teknologiakasvatuksen laatua sekä esi- ja perusopetuksessa että maamme opettajankoulutuksessa pitkällä aikavälillä.

b) Kehittämällä uusia esi- ja perusopetukseen soveltuvia tekoälyn opetusvälineiden ja -menetelmien sekä oppimiskokonaisuuksien yhdistelmiä

Hanke kehittää ja tarjoaa helppokäyttöisiä verkko-oppimisympäristöjä ja -materiaaleja, joissa keskitytään erityisesti tekoälyn ja kyberturvallisuuden väliseen vuorovaikutukseen. Näiden avulla voidaan tukea kouluopetuksen lisäksi lasten ja heidän perheidensä itseopiskelua. Hankkeessa arvioidaan siinä kehitettyjen opetusvälineiden käytettävyyttä ja soveltuvuutta kyberturvallisuuteen sekä disinformaation, ennakkoluulojen ja stereotyyppien torjuntaan. Työkalujen avulla saadaan myös dataa käyttäjien mieltymyksistä ja oppimistuloksista. Jotta saavutetaan mahdollisimman laaja vaikuttavuus oppimiskokonaisuudet ja opetustyökalut suunnitellaan skaalautuviksi ja helposti käyttöön otettaviksi.

c) Edistämällä lapsen oikeuksien toteutumista tekoälyyn perustuvissa järjestelmissä

Hanke lisää lasten oikeuksia (Convention on the Rights of the Child - CRC) koskevaa tutkimusta tekoälyn alalla. Tutkimuksessa problematisoidaan oikeusdogmaattisen tutkimuksen avulla tietoviranomaisen oikeudellisia vaatimuksia ja yksilöidään tekoälyn riskejä lasten oikeuksille suojelun ja osallistumisen näkökulmasta. Oikeudellista kehystä verrataan oppijoiden asenteisiin ja käsityksiin heidän dataan ja algoritmiseen manipulointiin liittyvistä oikeuksistaan. Toisella kolmivuotiskaudella hanke tuottaa suosituksia hallitukselle, huoltajille, opettajankouluttajille ja kasvattajille (esim. kouluille) siitä, miten ne voivat täyttää tekoälyä ja lasten oikeuksia koskevat velvoitteensa (liittyen esim. erityisiin tekoälyn läpinäkyvyyttä koskeviin vaatimuksiin, lasten tiedonhallintaan ja lasten verkossa profilointiin liittyviin ongelmiin).

Hankkeessa tutkitaan oikeudellisia käsitteitä, jotka koskevat lasten suostumusta ja päätöksentekokykyä tekoälypohjaisissa järjestelmissä. Siinä analysoidaan lasten (oikeuksien haltijoiden) suostumuksen lainsäädännöllisiä ikärajoja ja osoitetaan nuorempien lasten huoltajien vastuu suostumuksen antamisesta ja siirtämisestä kouluille. Hankkeessa tarkastellaan kriittisesti lasten suostumusta koskevia oikeudellisia normeja, erityisesti tietosuoja-asetukseen liittyen. Siinä tarkastellaan myös päätöksenteon edellytyksiä tekoälyyn perustuvissa opetus- ja oppimistyökaluissa kuten sitä, millaista AI/ML:ää koulut voivat opetuksessa soveltaa lapsen suostumuksella, vanhempien luvalla ja koulun opetusmandaatilla.

3. Tutkimuksen state-of-the-art

Tekoälyn ja datan rooli yhteiskunnassa on kasvanut mutta sen opetukseen liittyvä pedagoginen ymmärrys on riittämätöntä

Stoilovan ym. (2020) hiljattain tekemässä katsauksessa todettiin, että pienten lasten käsityksiä ja kokemuksia AI/ML:stä ja datatoimijuudesta on tutkittu niukasti. Vaikka vanhempien ja kasvattajien odotetaan olevan avainasemassa lasten yksityisyyden suojan ja turvallisuuden turvaamisessa ja tukemisessa verkossa, aiemmat tutkimukset ovat myös osoittaneet, että aikuisilla itselläänkin on vaikeuksia ymmärtää nykypäivän datatalouden perustana olevia oikeudellisia, sosio-tekniisiä ja taloudellisia prosesseja (Lupton & Williamson, 2017; Vartiainen et al., 2022).

Tietojenkäsittelytieteen didaktiikan alalla on huomattu, että perinteiset ohjelmointiin keskittyvät tietojenkäsittelyn opetussisällöt vastaavat huonosti datafikoituneen yhteiskunnan haasteisiin (Tedre et al., 2021; Shapiro & Fiebrink, 2019). Lähes kaikki alan tutkimusjulkaisut käsittelevät klassista ohjelmointia, ja alan pioneerit ovat todenneet tarpeen tutkia koneoppimisen didaktiikkaa ja oppijoiden oppimisprosesseja (Shapiro, Fiebrink & Norvig, 2018). Tekoälyyn ja dataan liittyvän opetuksen tutkimus kasvaa nopeasti, ja kirjallisuuskatsaukset osoittavat, että kansainvälisten aloitteiden määrä kasvaa vauhdilla (e.g., Zhou et al., 2020; Marques et al., 2020; Tedre et al., 2021b; Long & Magerko, 2020).

Tekoälyn ja datan käytön säätelyssä koulu- ja oppimiskontekstissa on puutteita

Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että lasten aikuisilta saamassa yksityisyyden suojaan ja turvallisuuteen liittyvässä tuessa on huomattavia eroja, mikä lisää eriarvoisuutta ja tekee toisista lapsista haavoittuvampia kuin toisista (Stoilova et al., 2020). Nämä toimet ovat osa oikeudellisten ja poliittisten säännösten, kuten yleisen tietosuojasetuksen, kontekstia, jossa oletetaan, että teini-ikäiset, vanhemmat ja kasvattajat pystyvät ja haluavat tehdä tietoon perustuvia päätöksiä, kun he ovat tekemisissä erilaisten palvelujen monimutkaisten verkkotietojen suostumusmekanismien kanssa.

Lasten näkökulmasta verkkoympäristö aiheuttaa myös dilemman, joka koskee heidän yksityisyytensä ja turvallisuutensa suojelemista suhteessa heidän mahdollisuuksiinsa osallisuuteen, ilmaisunvapauteen, itsensä tutkimiseen, tiedonhakuun ja kansalaisyhteisöihin, kuten Yhdistyneiden Kansakuntien yleissopimuksessa lapsen oikeuksista määrätään. Tutkijat ovat myös korostaneet, että yksityisyyden suojaa ja tietoturvaa verkossa koskevassa tutkimuksessa on hyvin vähän otettu lasten ääntä mukaan heille tärkeissä prosesseissa (Stoilova et al., 2020). Oikeuksien haltijoina kaikkien lasten on voitava turvallisesti hyötyä AI/ML:stä, ja siksi on tärkeää kehittää resursseja, välineitä ja pedagogisia malleja kyberturvallisuuden,

yksityisyyden suojan ja tekoälyn opetuksen edistämiseksi erityisesti K-9-opetuksessa sekä opettajankoulutuksessa.

Tekoälyn opetusta tukeva opetusteknologiavalikoima on suppea

Modernin tekoälyn opettamista ja oppimista helpottavia opetusteknologioita on tutkittu huomattavan vähän. Viimeaikaisissa katsauksissa Marques et al. (2020), Zhou et al. (2020) ja Tedre et al. (2020b) osoittivat muutamia kymmeniä yleisesti käytössä olevia AI/ML -opetusteknologioita. Merkittäviä aloitteita on meneillään esimerkiksi CMU:ssa (ai4k12.org), Googlessa (ai-4-all.org), Paderbornin yliopistossa (prodabi.de), Stanfordissa (cyberai4k12.org), Helsingin yliopistossa (elementsofai.com) ja IBM:ssä (machinelearningforkids.co.uk). Hyvin ylläpidetty luettelo aloitteista ja opetuksen työkaluista on saatavilla osoitteessa ai4k12.org. Keskeisiä puutteita ylläolevissa työkaluissa suomalaisen koulukontekstin näkökulmasta ovat esimerkiksi suomen kielen tuen puute ja epäselvyys niiden keräämän datan käytöstä.

3.1. Odotetut tieteelliset tulokset ja läpimurtopotentiaali

Hankkeen tarkoituksena on edistää tieteen nykytilaa neljällä eri osa-alueella.

Kasvatustieteen näkökulmasta hanke vastaa tarpeeseen kehittää sosio-tekniologisten innovaatioiden ja tekoälyn sekä datan käyttöön liittyvää turvallisuutta koskeva pedagogiikkaa, joka tukee uuden sukupolven turvallisuusorientoitunutta ajattelua sekä tietoyhteiskunnan kansalaisten koulutusta (Hintz et al., 2019). Hanke laajentaa uusinta tietämystä siitä, miten AI/ML -pohjaista ja datapohjaista ajattelua voidaan käyttää osallistavissa pedagogisissa käytännöissä. Lisäksi hanke kehittää uutta tietämystä tekoälyn/datan turvallisuuteen, luottamukseen ja tasa-arvoon liittyvän episteemisen fluenssin kehittämisestä, jota tarvitaan datapohjaisen teknologian kyllästävässä yhteiskunnassa.

Tekoälyn/XAI:n (eXplainable AI) turvallisuuteen liittyvän opetusteknologian näkökulmasta hanke täyttää viime aikoina osoitettuja puutteita sellaisissa tekoälyn opetusvälineissä jotka soveltuvat esi- ja perusopetukseen (Zhou et al., 2020). Hanke kehittää ML/AI-pohjaista opetusteknologiaa ja verkko-oppimista, jotka tukevat oppijoiden tietoisuutta ja ymmärrystä AI/ML-teknologioista ja kyberturvallisuudesta.

Tietojenkäsittelyn koulutustutkimuksen näkökulmasta hanke vastaa tekoälyn ja laskennan didaktiikkaa koskevan empiirisesti perustellun tiedon tarpeeseen, jota tekoälyn pioneerit, kuten Peter Norvig (Shapiro et al., 2018), ovat peräänkuuluttaneet. Hankkeessa tutkitaan esimerkiksi, millaisia (virheellisiä) käsityksiä oppijat kehittävät siitä, mitä koneessa tapahtuu, kun dataa johdetaan neuroverkon läpi.

Lapsioikeuden näkökulmasta hanke vastaa tarpeeseen tuottaa oikeudellista tutkimusta lapsen oikeudesta suojeluun ja osallistumiseen tekoälyssä.

Konsortio tuottaa uutta tietoa oppijoiden tiedonvälityksen ja tekoälyn turvallisuusajattelun luonteesta ja kehityksestä sekä määrittää tekoälyn oikeudellisia velvoitteita ja riskejä lasten oikeuksien ja turvallisuuden toteutumisen varmistamiseksi.

Hankkeen tieteidenvälisyys ja skaalautuvuus asettavat tämän hankkeen etulyöntiasemaan verrattuna NSF:n SaTC-EDU-tutkimusohjelmasta rahoitettuun kapeampaan, rajallisempaan ja luonteeltaan kartoittavampaan hankeportfolioon. Seuraavien vuosien aikana konsortio lujittaa asemaansa johtavana ryhmänä tekoälykoulutuksen alalla peruskoulukontekstissa, ja se keskittyy ainutlaatuisella tavalla tekoälyyn ja dataan perustuvien järjestelmien turvallisuuteen ja luottamukseen. Yhdistetty laajempi raportti kokoaa erilliset alahankkeet yhteen kuvaukseksi suuntaviivoista kohti parempaa AI/ML- ja kyberturvallisuuskoulutusta koulumaailmassa, sekä syvällisempää digitaalista kansalaisuutta.

4. Monitieteinen yhteistyö

SHIELD-ohjelman tavoitteiden saavuttamiseksi konsortiossa yhdistyvät tutkimusryhmät ja käytännön toimijat, joiden asiantuntemus täydentää toisiaan tekoälyteknologian, yhteissuunnitteluun ja yhteiskeksintöihin perustuvan pedagogiikan, lapsioikeuden, tekoäly- ja yksityisyydensuojaa koskevan lainsäädännön, tekoälykoulutuksen tutkimuksen, pitkäikäiskoulutustutkimuksen ja tekoäly-/ AI-opetusteknologian aloilta.

Asiantuntijat tulevat kolmen yliopiston seitsemästä tiedekunnasta, kolmesta johtavasta tiedekasvatusorganisaatiosta sekä viidestä kansalaisyhteiskunnan ja valtion organisaatiosta. Kukin tuo mukanaan toisiaan täydentävää asiantuntemusta monilta eri aloilta—muun muassa tietojenkäsittelyn didaktiikasta, opetusteknologiasta, tekoälystä, pitkäikäistutkimuksesta, arviointivälineistä, luovan oppimisen ja opetuksen tutkimuksesta, lapsioikeudesta, itsemääräämisoikeudesta ja teknologian säätelystä. Suomen koodikoulun suosittu tekoälyopetus suunnitelma, joka on saatavilla kymmenessä maassa, yhdistää tutkimustulokset suomalaiseen opetusmalliin ja suomalaiseen lähestymistapaan K-9-koodausopetuksessa. SciFest (maan suurin vuosittainen tiedefestivaali) ja Tiedekeskus Heureka (maan suosituin tiedekeskus) tuovat hankkeeseen kokemuksensa osallistavista aktiviteeteista ja verkostoitumismahdollisuuksista oppijoille, opettajille ja suurelle yleisölle, näyttelytiloista ja näkyvyydestä tiedotusvälineissä.

5. Vuorovaikutus ja vaikuttavuuden edistäminen

Hanke rakentaa kumppanuuksia, jotka kannustavat sitoutumiseen ja hankkeen tuotosten siirtämistä käytäntöön. Tärkein hyöty muille kuin

akateemisille sidosryhmille on valmius tuoda AI/ML-opetusta kouluihin ja koteihin. Sidosryhmien hyötyjä ovat myös osallistavat materiaalit ja mobiilityökalut, joilla tuetaan itsereflektiota ja datan toimijuuden, luottamuksen ja turvallisuuden kehittämistä (kaikki sidosryhmät), pedagogiset mallit ja ML-pohjaiset teknologiat AI/ML-aiheiden integroimiseksi koulutukseen (koulutusorganisaatiot) sekä näkemys alakohtaisista strategioista ja keinoista, joilla vahvistetaan osallistumista ja toimijuutta tekoälyaikakaudella (poliittiset päättäjät).

Opettajankoulutusohjelmilla on keskeinen rooli hankkeen kestävyuden kannalta: Hankkeessa luodaan materiaalia, demonstraatioita ja näyttelyitä, joilla edistetään AI/ML aiheiden sisällyttämistä opettajankoulutusohjelmiin, ja niitä pilotoidaan kolmessa yliopistossa. Tulevia opettajia kannustetaan jakamaan oppimaansa ja tätä aihetta koskevaa materiaalia työpaikoillaan oppilaiden ja kollegoiden keskuudessa. Alumniverkosto tarjoaa opettajille uutiskirjeen, uutta ja ajankohtaista tietoa turvallisuuskysymyksistä sekä täydennyskoulutusta.

Vaikuttavuutta parannetaan sosiaalisen median, uuden MOOC-kurssin, ja avoimen oppimateriaalin avulla. Lasten luvalla heidän ML-ideoitaan, yhdessä suunniteltuja sovelluksia ja näkemyksiä voidaan jakaa eri alustoilla, jotta kasvattajat, poliittiset päättäjät ja suuri yleisö kuulisivat paremmin heidän äänensä, ideansa ja näkökulmansa. Tavoitteenamme on tavoittaa sosiaalisen ja perinteisen median sekä tapahtumien kautta yli 10 000 henkilöä vuodessa.

Lähdeluettelo

Hintz, A., Dencik, L., & Wahl-Jorgensen, K. (2019). *Digital Citizenship in a Datafied Society*. Cambridge, UK: Polity Press.

Korhonen, T., Kangas, K. & Salo, L. (Eds.) (2022). *Invention pedagogy - The Finnish approach to maker education*. Routledge.

Long, D. and Magerko, B. (2020). What is AI literacy? competencies and design considerations. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '20*, pages 1–16, New York, NY, USA. ACM.

Lupton, D. and Williamson, B. (2017). The datafied child: The dataveillance of children and implications for their rights. *New Media & Society*, 19(5):780–794.

Marques, L. S., Gresse von Wangenheim, C., and Hauck, J. C. R. (2020). Teaching machine learning in school: A systematic mapping of the state of the art. *Informatics in Education*, 19(2):283–321.

Shapiro, R. B., Fiebrink, R., and Norvig, P. (2018). How machine learning impacts the undergraduate computing curriculum. *Communications of the ACM*, 61(11):27–29.

Shapiro, R. B. and Fiebrink, R. (2019). Introduction to the special section: Launching an agenda for research on learning machine learning. *ACM Transactions on Computing Education*, 19(4):30:1–30:6.

Stoilova, M., Livingstone, S., & Nandagiri, R. (2020) Digital by default: Children's capacity to understand and manage online data and privacy. *Media and Communication* 8(4): 197–207.

Tedre, M., Denning, P. J., and Toivonen, T. (2021). CT 2.0. In *Proceedings of the 21st Koli Calling International Conference on Computing Education Research*, Koli Calling '21, Koli: Finland. ACM.

Tedre, M., Toivonen, T., Kahila, J., Vartiainen, H., Valtonen, T., Jormanainen, I., and Pears, A. (2021). Teaching machine learning in K–12 classroom: Pedagogical and technological trajectories for artificial intelligence education. *IEEE Access*, 9:110558–110572.

Vartiainen, H., Toivonen, T., Jormanainen, I., Kahila, J., Tedre, M., and Valtonen, T. (2021). Machine learning for middle schoolers: Learning through data-driven design. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 29:100281.

Vartiainen, H., Pellas, L., Kahila, J., Valtonen, T., Tedre, M. (2022). Pre-Service Teachers' Insights on Data Agency. *New Media & Society*, 2022.

Zhou, X., Van Brummelen, J., and Lin, P. (2020). Designing AI learning experiences for K–12: Emerging works, future opportunities and a design framework. ArXiv 2009.10228