

Petteri Kuisma

Tekstiä generoivan tekoälyn hyödyntäminen oppimisessa

Koulutusteknologian kandidaatintutkielma

29. huhtikuuta 2024

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Petteri Kuisma

Yhteystiedot: kuismapm@student.jyu.fi

Ohjaaja: Sanna Juutinen

Työn nimi: Tekstiä generoivan tekoälyn hyödyntäminen oppimisessa

Title in English: Utilising text-generating artificial intelligence for learning

Työ: Kandidaatintutkielma

Sivumäärä: 25+0

Tiivistelmä: Tämä kandidaatintutkielma on kirjallisuuskartoitus tekstiä generoivan tekoälyn hyödyntämiseen oppimisessa ja sen vaikutuksiin opetuksessa. Tutkielmassa myös perehdytään lyhyesti tekoälyn käsitteen historiaan ja ChatGPT:n toimintaan sekä pohdintaan opetuksen ja tekoälyn tulevaisuuden näkymiä.

Avainsanat: Generatiivinen tekoäly, tekoäly, ChatGPT, suuret kielimallit, oppiminen, opetus

Abstract: This bachelor's thesis is a literature review on the use of text-generating AI in learning and its implications for teaching. The thesis also briefly explores the history of the concept of AI and the functioning of ChatGPT, and reflects on the future of teaching and AI.

Keywords: Generative artificial intelligence, artificial intelligence, ChatGPT, Large Language Models, learning, teaching

Kuviot

Kuvio 1. Gwo-Jen Hwangin kuva (Hwang ym. 2020) tekoäly koulutuksen rooleissa. 7

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	TEKOÄLYN NYKYAIKAINEN LÄPILYÖNTI.....	2
3	CHATGPT:N TOIMINTA JA KÄYTTÖ OPETUKSESSA.....	5
4	OPETTAJIEN JA OPISKELIJOIDEN HAVAINNOT TEKOÄLYSTÄ	9
4.1	Opettajien havaitsemat hyödyt ja haitat	9
4.2	Opiskelijoiden havaitsemat hyödyt ja haitat	10
4.3	Ratkaisumahdollisuuksia.....	10
5	LÖYDÖKSET	13
6	TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ	15
7	YHTEENVETO.....	17
	LÄHTEET	18

1 Johdanto

Generatiiviset tekoälymallit ovat nousseet merkittävään rooliin myös koulutusalan kehityksessä tarjoten innovatiivisia työkaluja oppimisen tueksi. Niiden kyky tuottaa luonnollisen kielen kaltaista tekstiä ja vastata käyttäjän syötteisiin on herättänyt kiinnostusta opiskelijoiden, opettajien ja tutkijoiden keskuudessa (Kasneci ym. 2023). Tämä tutkielma keskittyy tarkastelemaan, miten generatiivisia tekoälymalleja hyödynnetään oppimisessa ja millainen vaikutus niillä on. Tavoitteena on ymmärtää, mitä tarpeita nämä teknologiset työkalut täyttävät opiskelijoiden koulutuspoluilla ja millainen merkitys niillä on oppimisprosessissa (Hwang ym. 2020). Lisäksi tarkastellaan myös niiden hyödyllisyyttä ja mahdollisia haasteita, jotka voivat vaikuttaa niiden tehokkaaseen käyttöön. Tämän tutkielman avulla pyritään syventämään ymmärrystä generatiivisten tekoälymallien roolista oppimisessa. Sekä tarkoituksena on avata, miten niitä voidaan parhaiten hyödyntää koulutusympäristöissä ja -järjestelmissä.

Generatiivinen tekoäly osoittautuu arvokkaaksi työkaluksi opiskelijoiden oppimisen kehityksessä (Kaplan-Rakowski ja Grotewold 2023). Opettajat hyötyvät työtehtävien automatisoinnista, saavat lisää aikaa vuorovaikutukselle ja tunnistavat tekoälyn rajoituksia. Vaikka Suomessa tutkimus on vähäistä verrattuna ulkomaihin, sen vaikutukset opetukseen on havaittavissa (Mehtälä 2023). Ja avoimeksi jää edelleen monia vastuu-, toimijuus- sekä valvonta haasteita (Seo ym. 2021).

Tutkielmassa käsitellään tekoälyä ja opetusta viiden osa-alueen myötä. Näistä ensimmäinen keskittyy tekoälyn nykyaikaiseen läpimurtoon ja hieman sen historialisiin taustoihin. Toisessa osassa käsitellään tekoälyn käyttöä opetuksessa, erityisesti korostaen generatiivisten tekoälymallien merkitystä tässä kontekstissa. Kolmannessa osassa pureudutaan opettajien ja opiskelijoiden havaintoihin ja kokemuksiin tekoälyn käytöstä opetusympäristöissä. Neljännessä osassa esitellään löydöksiä tutkielman pohjalta ja pohditaan tekoälyn vaikutuksia opetusalaan sekä mahdollisia ratkaisuja havaittuihin haasteisiin. Viidennessä osassa pohditaan mahdollisia tekoälyn mahdollisia tulevaisuuden merkityksiä, jonka jälkeen kootaan tutkielman ajatuksia yhteenvedon muodossa.

2 Tekoälyn nykyaikainen läpilyönti

Tekoäly terminä on keksitty Darmouthin yliopistossa vuonna 1956 pidetyssä seminaarissa (Kaplan ja Haenlein 2019). Se voidaan määritellä tietokonejärjestelmien kyvyksi suorittaa tehtäviä, jotka vaativat ihmismäistä älykkyyttä. Näitä tehtäviä voi olla esimerkiksi päätöksenteko, oppiminen, kielenkäsittely ja ongelmanratkaisu. Tekoäly on liitetty vahvasti ihmisen älykkyyteen ja tapoihin jäljentää ihmisen älykkyyttä (Russell ja Norvig 2010). Sitä voidaan toteuttaa monella tavalla, kuten koneoppimisen, neuroverkkojen ja symbolisen laskennan avulla. Alan Turing (1950) ei suoraan määritellyt tekoälyä. Sen sijaan Turing keskittyi ”ajattelukoneeseen” ja siihen, voisiko kone olla älykäs. Turingin testiä pidetään yhtenä tekoälyn historian pilareista. Sen mukaan koneen voidaan katsoa olevan älykäs, jos se pystyy keskustelemaan ihmisen kanssa tavalla, joka ei ole erotettavissa ihmisten välisestä keskustelusta.

Tekoälyn tutkimuksessa on ollut kaksi perinteistä lähestymistapaa. Toisessa näistä, tekoälyä pidetään keinotekoisena luomuksena, joka pyrkii jäljittelemään ihmisen älykkyyttä tai jopa ylittämään sen. Toisessa, se nähdään enemmän käyttäytymismuotojen jäljittelynä tai toistamisena ilman välttämättä pyrkimyksenä luoda ihmisälylle vastaavaa kyvykkyyttä (Felix 2020). Eräs tapa toteuttaa tekoälyn kaltaista älykkyyttä on keinotekoisilla neuroverkoilla (engl. Artificial Neural Networks, ANNs). Tällöin abstrahoidaan ihmisen aivojen hermoverkon tiedonkäsittelyä, luodaan yksinkertainen malli ja muodostetaan erilaisia verkkoja erilaisten yhteyksien mukaan. Tavoitteena on simuloida aivojen hermoverkon käsittelyä. Nämä hermoverkot ovat laskentamalleja, joissa on suuret määrät solmuja (neuroneita), jotka on kytketty toisiinsa. Jokainen solmu edustaa lähtöfunktiota. Jokaisen kahden solmun välinen yhteys edustaa yhteyden kautta kulkevaa painoa, joka vastaa keinotekoisien neuroverkon muistia. Verkon ulostulo vaihtelee riippuen siitä, kuinka verkko on kytketty, painon arvosta ja lähtöfunktiosta. Verkko on kuitenkin arvio jonkinlaiselle algoritmille tai funktiolle (Yanbo 2009).

Suuret kielimallit (engl. Large Language Models, LLM) ovat todennäköisyysjakaumia, jotka kattavat laajan valikoiman luonnollisen kielen elementtejä, kuten sanoja ja lauseita. Nämä mallit pyrkivät ymmärtämään ihmistenkieltä ja tekemään ennusteita sen pohjalta. Tieto-

koneet ja laskentamallit hyödyntävät näitä todennäköisyysjakaumia analysoidakseen ja reagoidakseen ihmisten kielenkäyttöön (Zhang ja Aslan 2021). Suuret kielimallit on suunniteltu erityisesti luonnollisen kielen käsittelyyn, kun taas keinotekoiset neuroverkot ovat monipuolisempia ja soveltuvat erilaisiin koneoppimistehtäviin. LLM:t käyttävät transformer-mallin kaltaisia arkkitehtuureja ja koulutetaan suurilla tekstiaineistoilla, kun taas ANNs voivat olla erilaisia, kuten eteenpäin suuntautuvia neuroverkkoja. Vaikka LLM:t tuottavat tekstiä tulosteenaan, ANNs tuottavat tuloksia tietyn tehtävän mukaan, kuten kuvantunnistuksessa tai puheentunnistuksessa. Vaikka molemmat ovat tärkeitä tekoälyn työkaluja, niillä on erilaiset käyttötarkoitukset ja toimintatavat.

Tekoälyn aikakausi alkaa keskeisten arkkitehtuurien ja algoritmien, kuten transformer-arkkitehtuurin, alustavalla kehityksellä vuonna 2017. Tämä johti suurten kielimallien skaalaamiseen ja kehittämiseen, joilla tavoitellaan ihmisen kaltaisia piirteitä, kuten päättelykyky, kognitio, tarkkaavaisuus ja luovuus. Tällä aikakaudella on kehitetty suuria kielimalleja kuten ChatGPT.

Generatiivinen tekoäly (engl. Generative Artificial Intelligence, GenAI, GAI) on tekoälyteknologia, joka automaattisesti tuottaa sisältöä vastauksena luonnollisella kielellä esitettyihin pyyntöihin (engl. prompts). Tämä puolestaan eroaa perinteisemmistä menetelmistä, joissa tekoäly saattaa valikoida olemassa olevia verkkosivuja tai hyödyntää olemassa olevaa sisältöä. GenAI kykenee luomaan uutta sisältöä itsenäisesti (Fengchun ja Wayne 2023; Opetushallitus 2024). Toisin sanoen, generatiivinen tekoäly ei pelkästään toista tai jäljittele olemassa olevia rakenteita, vaan kykenee luomaan alkuperäistä sisältöä vastauksena pyyntöihin.

Vaikka GenAI on kehittynyt hurjasti viimeisen muutaman vuoden aikana, ei ChatGPT ole ainoa olemassa oleva vaihtoehto. Joukossa on muun muassa:

- Googlen kehittämä Bidirectional Representations from Transformers (BERT). BERT pystyy tulkitsemaan käyttäjän edellisiä ja seuraavia syötteitä (Devlin ym. 2018). He jatkoivat kehitystä ja loivat Language Model for Dialogue Applications (LaMDA) eli sarjan kielimalleja. Tämän he sisällyttivät Bard -palveluunsa.
- BERT ei kuitenkaan ollut riittävä kilpailija ChatGPT:lle, joten kehitys jatkui ja vuoden 2023 loppuvaiheessa Google julkisti Gemini-tekoälymallinsa. Se on Googlen tämän-

hetkinen suora kilpailija OpenAI:n ChatGPT:lle.

- Microsoft on kehittänyt Copilot -keskustelubotin, jonka kanssa voi keskustella yhtä lailla kuin ChatGPT:n. Copilot korvasi aikaisemman Bing Chat -ominaisuuden, joka oli integroituna Microsoft Bing -hakukokeeseen ja Microsoft Edge-selaimeen. Se hyödyntää Microsoftin luomaa Prometheus mallia, joka perustuu GPT-4 teknologiaan.

Yhä useammat yritykset ovat maailmanlaajuisesti osoittaneet kiinnostusta tekoälyn mahdollisuuksista ja tuottaneet niistä omia versioitaan. Tämä on osoitus suuresta kiinnostuksesta, jolla pyritään muuttamaan tuntemamme digitaalista maailmaa. Tekoälyn kasvava rooli ja sen tuoma muutos ovat merkityksellisiä ja ovat laajentaneet vaikutusta monilla aloilla, mukaan lukien koulutuksessa.

3 ChatGPT:n toiminta ja käyttö opetuksessa

Tekoäly on saanut jalansijaa myös koulutuksen maailmassa, ja sen hyödyntämistä erilaisissa koulutehtävissä on havaittu opiskelijoiden keskuudessa. Tämä johtuu sen kyvystä tuottaa uskottavaa ihmismäistä tekstiä. Opiskelijoiden työ helpottuu, kun tekoäly pystyy luomaan tekstikatkelmia heidän puolestaan. Heille jää tehtäväksi tekstien lukeminen ja asiayhteyksien tarkistaminen. Opettajat myös ovat hyödyntäneet tekoälyä tehtävien arvioimisessa sekä palautteiden kirjoittamisessa. Tämä on vapauttanut heille enemmän aikaa muiden työvelvoitteiden suorittamiseen sekä rauhoittumiseen työn ohella.

Miten korkeakoulu opiskelija voisi hyödyntää ChatGPT:tä opinnoissaan? Alla havainnollistetaan ChatGPT:n tarjoamia vaihtoehtoja. Lisäksi havainnollistetaan kuinka viestisyötteen muuntaminen vaikuttaa tuotettuun tekstimuotoon. Annetaan ChatGPT:lle seuraava tekstisyöte ”*Miten korkeakoulu opiskelija voisi hyödyntää ChatGPT:tä opinnoissaan?*”.

Opintomateriaalin selittäminen: Opiskelijat voivat käyttää ChatGPT:tä saadakseen selityksiä vaikeasti ymmärrettävistä käsitteistä tai aiheista. ChatGPT voi auttaa purkamaan monimutkaisia käsitteitä ymmärrettävään muotoon ja tarjota lisätietoa aiheista, jotka opiskelijat eivät ymmärrä täysin.

Harjoitustehtävien ratkaiseminen: ChatGPT voi auttaa opiskelijoita ratkaisemaan harjoitustehtäviä eri aiheista, kuten matematiikasta, tietojenkäsittelystä tai muista teknisistä aiheista. Opiskelijat voivat esittää tehtäviä ChatGPT:lle ja saada apua niiden ratkaisemiseen sekä selityksiä väliaskelista.

Luovien ideoiden generointi: Opiskelijat voivat käyttää ChatGPT:tä luovien ideoiden generoimiseen esimerkiksi esseitä varten. ChatGPT voi tarjota inspiraatiota aiheista ja auttaa muotoilemaan ajatuksia tai tarjota erilaisia näkökulmia tiettyyn aiheeseen.

Kurssimateriaalien tiivistäminen: ChatGPT voi auttaa opiskelijoita tiivistämään laajoja kurssimateriaaleja, kuten oppikirjoja tai luentoja, helpommin hallittavaan muotoon. Opiskelijat voivat esittää ChatGPT:lle kysymyksiä tietyistä aiheista ja pyytää yhteenvedon keskeisistä käsitteistä ja tiedoista.

Kielen oppiminen ja kielitaitojen harjoittelu: ChatGPT voi toimia apuna kielen oppimisessa ja kielitaitojen harjoittelussa tarjoamalla käännöksiä, kieliopin selityksiä ja harjoitustehtäviä eri kielillä. (ChatGPT 2024).

Huomataan, että tekstisyötteen muutoksella voidaan saada yksinkertaisia vastauksia ilman turhia selittelyitä haluttaessa. Lisäksi muuttamalla ja tarkentamalla tekstisyötettä voidaan määrittää millaisessa muodossa vastaus halutaan. Muutetaan tekstisyötettä lisäämällä loppuun kielto turhasta selittelystä. Tekstisyöte on ”*Miten korkeakoulu opiskelija voisi hyödyntää ChatGPT:tä opinnoissaan? Älä sepitä*”.

- Selittämällä vaikeita käsitteitä ja antamalla lisätietoa opintomateriaaleista.
- Auttamalla ratkaisemaan harjoitustehtäviä ja tarjoamalla selityksiä.
- Generoimalla luovia ideoita esimerkiksi esseitä varten.
- Tiivistämällä laajoja kurssimateriaaleja.
- Harjoittelemalla kielen oppimista ja kielitaitoja tarjoamalla käännöksiä, kieliopin selityksiä ja harjoitustehtäviä. (ChatGPT 2024).

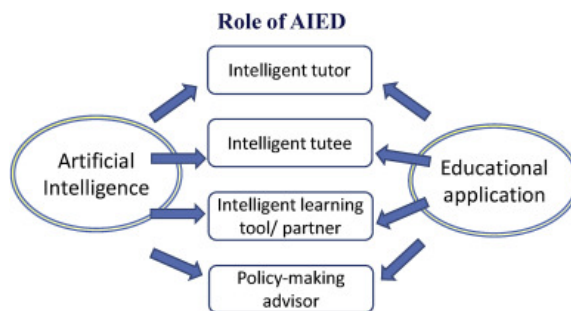
Tekoälyn käyttöä on säädetty koulutuslaitosten, opetushenkilöstön kuin opiskelijoiden keskuudessa. Sen käyttö on herättänyt huomiota korkeakouluissa, koska useimmat suomen korkeakoulut ovat luoneet linjaukset sekä ohjeet tekoälysovelluksien käyttöön opiskelussa. Näissä linjauksissa mainitaan tekoälypohjaiset tekstieditorit ja -generaattorit osaksi opiskelua. Esimerkkejä Aalto-yliopiston 2023 ja Jyväskylän yliopiston 2023 ohjeistuksista tekoälyn käytöstä oppimisessa.

1. Opiskelija on vastuussa palauttamastaan tekstin sisällöstä ja heidän tulee välttää vilpillistä toimintaa kuten plagiointia tai tekoälyn käytön salaamista.
2. Niiden käyttö opiskelun tukena on sallittua.
3. Tekoäly ei ole tieteellinen lähde.
4. Ohjeita sovelletaan ja täydennetään tieteenala- tai oppiainekohtaisesti.

Lisäksi on pohdittu kuinka paljon opiskelijat käyttävät esimerkiksi ChatGPT:tä ja kuinka laaja osa teksteistä voi olla muun kuin ihmisen luomaa. Tunnistamiseen on kehitetty työkaluja ja Turnitin-järjestelmässä on menetelmiä tekoälysovelluksien tuotoksien tunnistamiseen.

Suomen kieli tuottaa haastetta tekoälypohjaisten tekstien tunnistamisessa vielä toistaiseksi.

Chen, Chen ja Lin (2020) ovat artikkelissaan tarkastelleet tekoälyn soveltamista oppilaitoksissa ja sen vaikutuksia opetuksen laatuun sekä opiskelijoiden oppimisprosesseihin. He huomioivat, että tekoälyä on käytetty monipuolisesti erilaisissa konteksteissa, kuten hallinnollisten prosessien automatisoinnissa, opetussuunnitelmien kehittämisessä sekä opetuksen tukemisessa. Sekä opettajat että opiskelijat ovat hyödyntäneet tekoälysovelluksia esimerkiksi kirjoittamisen tai ymmärtämisen apuna. Kasneci ym. (2023) artikkelissa puolestaan esitetään, että suuret kielimallit voivat tarjota arvokkaita oppimismahdollisuuksia yliopisto opiskelijoille. Näiden mallien avulla opiskelijat voivat kehittää tutkimus- ja kirjoitustaitojaan sekä parantaa kriittistä ajatteluaan ja ongelmanratkaisutaitojaan. Kriittisen ajattelun kehittäminen auttaa opiskelijoita argumentoimaan ja tekemään johtopäätöksiä paremmin. Kyky arvioida kriittisesti tiedon merkitystä sekä tiedostaa seuraamuksia ovat tärkeitä tieteellisen ajattelun ja tutkimuksen piirteitä. Minkä myötä heitä koulutetaan asiasisältöjen syvälliseen ymmärrykseen (Hurtig ym. 2010). Lisäksi suuret kielimallit voivat helpottaa tekstin ymmärtämistä ja jäsentämistä kirjoitusta varten tarjoamalla tiivistelmiä ja luonnoksia. Tämä puolestaan voi auttaa opiskelijoita hahmottamaan tekstin pääkohtia ja jäsentämään ajatuksiaan tehokkaammin.



Kuvio 1. Gwo-Jen Hwangin (Hwang ym. 2020) kuva tekoäly koulutuksen rooleissa.

On huomattava, että tekoälyn rooli ei ole korvata opettajaa, vaan pikemminkin toimia täydentävänä ja tukevana työkaluna oppimisprosessissa (Chen, Chen ja Lin 2020; Zhang ja Aslan 2021). Näin voidaan säilyttää ihmisten välinen vuorovaikutus keskeisenä osana oppimista. Lisäksi tekoälyn integrointi opetusjärjestelmiin voi mahdollistaa entistä paremman palautteen ja arvioinnin opiskelijoiden suorituksille.

Tulokset viittaavat siihen, että tekoälyllä ja suurilla kielimalleilla on potentiaalia parantaa oppimisprosesseja eri tavoin. Yhdistämällä näitä teknologioita perinteiseen opetukseen voidaan luoda oppimisympäristöjä, jotka ovat monipuolisempia ja tehokkaampia. Esimerkiksi tekoälyllä varustetut älykkäät tutorjärjestelmät, kuten ACTIVE Math, MATHia ja Comet, on käytetty oppimisen arvioinnissa suoritusten seuraamiseksi ja käytettävissä olevien pedagogisten välineiden parantamiseksi (Chen, Chen ja Lin 2020). Tällaiset ympäristöt pystyvät vastaamaan paremmin opiskelijoiden tarpeisiin ja tukemaan heidän akateemista kehitystään (Adamopoulou ja Moussiades 2020). Lisäksi huomataan, että opiskelijoiden ja opettajien käyttömahdollisuudet tekoälyn suhteen ovat moninaiset. Esimerkiksi ChatGPT:n käyttö kysymyksiin vastaamisessa, tiivistelmien luomisessa ja palautteen antamisessa tarjoaa uusia tapoja oppimisen ja opetuksen tukemiseen. Opettajat voivat käyttää tekoälyä työkaluna opiskelijoiden oppimisen tukena.

4 Opettajien ja opiskelijoiden havainnot tekoälystä

Tekoälyn käytöllä on merkittäviä vaikutuksia sekä opettajien että opiskelijoiden kokemuksiin. Opettajat hyötyvät tekoälyn tarjoamasta mahdollisuudesta automatisoida työtehtäviä ja helpottaa heidän työtään (Chen, Chen ja Lin 2020). Opiskelijat voivat hyötyä tekoälystä yksilöllisemmän ohjauksen ja adaptiivisen oppimisen muodossa. On huomioitava, että tekoälyllä on rajoitettu ymmärrys, mikä voi johtaa virheisiin ja väärinymmärryksiin (Zhang ja Aslan 2021; Baidoo-Anu ja Owusu Ansah 2023; Seo ym. 2021).

4.1 Opettajien havaitsemat hyödyt ja haitat

Baidoo-Anu ja Owusu Ansah (2023) ovat havainneet, että opettajien työtä voidaan helpottaa automatisoimalla esseiden arviointia ja palautteenantoa. Tekoälyn rooli tässä on toimia työkaluna, joka tukee opettajia, mutta ei korvaa heidän ja opiskelijoiden välistä vuorovaikutusta. Kuviossa 1 havainnollistetaan tekoälyn roolia työkaluna. On tärkeää huomata, että tekoälyllä on omat rajoituksensa, kuten rajoitettu ymmärrys, mahdollinen puolueellisuus sekä luovuuden ja kontekstin ymmärtämisen puute. Sen sijaan tekoälyä voidaan hyödyntää vastaamaan yksinkertaisiin kysymyksiin, mikä mahdollistaa opiskelijoiden keskittymisen olennaiseen vuorovaikutukseen muiden opiskelijoiden kanssa. Lisäksi tekoäly voi tarjota reaaliaikaista ja personoitua ohjausta opiskelijoille. Samaan aikaan se auttaa opettajia olemaan paremmin selvillä opiskelijoiden tarpeista (Seo ym. 2021). Lisäksi Chen, Chen ja Lin 2020 huomasivat, että opettajat ovat tehokkaampia ja tuloksellisempia, oppilaat saavat yksilöllisen ja rikkaamman oppimis- tai koulutuskokemuksen.

Toisaalta on huolta siitä, että tekoälyn tuottamat väärinymmärrykset voivat johtaa ristiriitoin opettajien ja opiskelijoiden välillä. Lisäksi on esitetty huoli siitä, että liiallinen tuki tekoälyltä voi poistaa opiskelijoilta oppimisprosessiin kuuluvia vaiheita, kuten tiedonhaun. Opintojen keskeyttämisen on myös havaittu olevan ongelma, erityisesti tilanteissa, joissa opettajilla ei ole riittävästi aikaa tarjota tarvittavaa tukea kaikille opiskelijoille. Tämä johtuu osittain opetusryhmien kokojen kasvamisesta sekä lähi- ja verkko-opetuksen saavutettavuusongelmista.

4.2 Opiskelijoiden havaitsemat hyödyt ja haitat

Tekoälysovellusten käytöstä on havaittu olevan monipuolisia etuja opiskelijoille. Näitä ovat muun muassa yksilöllisempi ohjaus, interaktiivinen ja adaptiivinen oppiminen sekä tuki oppimisprosessin eri vaiheissa (Baidoo-Anu ja Owusu Ansah 2023; Zhang ja Aslan 2021). Kasnecin ym. (2023) artikkelissa puolestaan esitetään, että suuret kielimallit voivat edistää lukemisen, kirjoittamisen, matematiikan, luonnontieteiden ja kielitaidon kehittymistä. Edistyminen toteutettaisiin tarjoamalla henkilökohtaista harjoitusmateriaalia, tiivistelmiä ja selityksiä, jotka voivat parantaa opiskelijoiden suorituksia ja oppimiskokemuksia. Lisäksi Kaplan-Rakowskin ja Grotewoldin (2023) artikkelissa mainitaan paremmat mahdollisuudet itseohjautuvaan opiskeluun ja oppimiseen.

Opiskelijoiden keskuudessa on herännyt huoli tekoälyn tuottamien vastausten virheellisyydestä, mikä voi vaikuttaa haitallisesti heidän arvosanoihinsa. Lisäksi pelätään, että tekoälyn tarjoama pelkistetty ja standardisoitu tuki saattaa vähentää opiskelijoiden kykyä oppia. Huolta herättää myös se, että opiskelijat kokevat koulutilat epämukaviksi, mikäli heidän tiedostamatonta käyttäytymistään seurattaisiin ja analysoitaisiin, kuten silmien tai kasvojen ilmeitä. He painottavat, että seuranta tuntuu valvonnalta (Seo ym. 2021).

4.3 Ratkaisumahdollisuuksia

Ratkaisuja haasteisiin löytyy selitettävyyden korostamisesta päätöksenteossa, opiskelijoiden ja opettajien osallistumisesta päätöksentekoon sekä normien luomisesta tiedonkeruulle ja käytölle. Tärkeänä on säilyttää opiskelijoiden toimijuus ja varmistaa oppimisympäristöjen turvallisuus ja joustavuus (Seo ym. 2021). Tekoälyllä tuotetut tekstit ja vastaukset tulee lukea ja ymmärtää. Näin voidaan vähentää väärinymmärrettävyyttä sekä tarkastaa tekoälyn tuotosten virheellisyyttä. Tekoälyn helppokäyttöisyys on johtanut siihen, että siihen tukeudutaan helposti, mikä on näkynyt laiskuutena oppimisessa (Kasneci ym. 2023). Laiskuutta vähentämällä voidaan suoraan vaikuttaa oppimisprosessiin, koska tällöin opiskelija tekee itse oppimistyötä eikä heidän kykynsä oppia heikkenisi.

Henkilökunnan ja opiskelijoiden henkilötietoja suojaamalla, voidaan myös keskustella seurannasta sekä rauhoittaa siitä johtuvia ennakkoluuloja. Tietojen käyttöä tulee säätää erilaisten

tietosuojakäytäntöjen mukaan, jotta tietojen käsittely on turvallista. Lisäksi organisaation on sovittava, kuka on vastuussa tekoälyn käytöstä ja sen seurauksista (Seo ym. 2021). Opiskelijoille ja opettajille tulee tiedottaa selkeästi, milloin tekoälyä voidaan käyttää, miten se toimii ja mihin käyttötarkoituksiin sitä voidaan käyttää. Myös sen käyttöä ei tulisi salata organisaation sisällä, vaan siitä tulisi avoimesti keskustella opettajien ja opiskelijoiden keskuudessa. Opettajille tulee tarjota koulutusta ja tietoa tekoälyn eettisyydestä sekä parhaista käytännöistä opetuksessa.

Tekoälysovelluksia voidaan hyödyntää apuna sisällyttämällä niihin opetussisältöä. Ne voivat toistaa vanhoja oppitunteja, ja niiltä voi esimerkiksi kysyä luentotallenteen sisältöön liittyviä asioita (Adamopoulou ja Moussiades 2020). Näin opiskelijat voivat kysyä reaaliaikaisesti opetussisältöön liittyviä kysymyksiä, eikä seuraavilla oppitunneilla tarvitse kysyä edellisen oppitunnin asioita. Sovelluksiin voidaan sisällyttää ennakoivia järjestelmiä, jotka ilmoittavat opettajalle, jos opiskelija on jäämässä jälkeen opetuksessa. Samalla voitaisiin seurata opiskelijoiden oppimisprosessia ja nähdä tekoälyn vaikutuksia.

Tekoälyn eettistä käyttöä opetuksessa on tärkeää pohtia. Tulkinnanvaraisuuden puute on yksi merkittäviä rajoituksia, kun tekoälymallit ennustavat syötteitä ilman varsinaisia perusteluja tai lähteitä. Rajoituksia tarvitaan, koska on vaikea ennustaa tekoälyjen vaikutusta esimerkiksi työllisyyteen. Riskeinä on myös väärinkäytön tai riittämättömän käyttöönoton riskit ja eheyden menettäminen. (Kasneci ym. 2023). Eettisillä ohjeistuksilla voidaan rajoittaa ihmisiin kohdistuvaa vahinkoa, vaaroja sekä riskejä koulutuksen tasolla. Opettajat, opiskelijat, hallintohenkilöstö ja yhteiskunnan jäseniä tarvitaan mukaan keskusteluihin, joissa arvioidaan vaikutuksia (Williamson ja Eynon 2020; Zhang ja Aslan 2021). On varmistettava, että tekoälyä käytetään opiskelijoiden oppimisen tukemiseen ja yksityisyyden suojan kunnioittamiseen. Tekoälyn käytön mahdolliset vaikutukset opettajien työhön ja koulutusjärjestelmään on myös syytä ottaa huomioon.

Eräänä ratkaisuna voisi toimia luoda tekoälymalli koulutusta ja opettamista varten. Tätä varten tarvittaisiin monipuolinen aineisto mallin kouluttamista tai hienosäätöä varten, jotta varmistetaan, että malli ei ole puolueellinen minkään tietyn ryhmän suhteen. Mallin suorituskyvyn säännöllinen seuranta ja arviointi (eri ihmisryhmien osalta), jotta mahdolliset vääristymät voidaan tunnistaa ja korjata. Tarvitaan toimenpiteitä ja harhojen korjaustekniikoita,

kuten esikäsitteily- tai jälkikäsitteilymenetelmiä. Lisäksi malliin sisällytettäisiin avoimuusmekanismit, joiden avulla käyttäjät voivat ymmärtää mallin tuotoksen sekä sen tuottamiseen käytetyt tiedot ja oletukset. Tällaisen mallin jatkuva päivittäminen monipuolisilla, puolueettomilla tiedoilla ja tulosten tarkistaminen asiantuntijoiden valvonnassa. (Kasneci ym. 2023.) Tekoälymallin tueksi voisi olla mahdollista luoda adaptiivinen oppimismalli, johon liittyy affektiivisen ja kognitiivisen suorituskäyvyn analyysi. Tämä on jo osoittautunut tehokkaaksi keinoksi vähentää matematiikan ahdistusta viidesluokkalaisten keskuudessa Taiwanissa (Zhang ja Aslan 2021).

5 Löydökset

Suomessa tekoälyyn liittyvää tutkimusta ei juurikaan vielä ole tehty, mutta ulkomailla kuten Aasiassa ja Yhdysvalloissa on tehty. Suomessakin on huomattu tekoälyn vaikutuksia opetuksessa, kuten Mehtälä on kirjoittanut blogissaan (Mehtälä 2023). Siinä hän kartoittaa tapoja tunnistaa tekoälyn tuotoksia sekä miten opettaja voi hyödyntää sitä. Hän on nostanut esille samoja ongelmia sekä mahdollisuuksia, joita on mainittu luvussa 4. Lisäksi Suomessa on käynnissä Generation AI (GenAI) -hanke, jossa pyritään rakentamaan perustaa uuden sukupolven, teknologiakasvatukselle. Se ottaisi huomioon tekoälyn toimintaperiaatteet, mahdollisuudet ja vaikutukset (*Generation AI (GenAI) Tilannekuvaraportti 2022* 2022). Hankkeen avulla saadaan kerättyä tietoa tekoälyn vaikutuksista sekä valmistaudutaan koulutusalan muutokseen.

Chen, Chen ja Lin (2020) huomauttavat, että tekoälyllä on ollut merkittävä vaikutus koulutukseen yleisesti ja erityisesti sen soveltamiseen tietyissä oppilaitoksissa. Sen jatkuva kehitys sekä potentiaali tuo mukanaan paremman luonnollisen kielen ymmärryksen, jolla vältytään väärinymmärryksillä ja virheiltä (Adamopoulou ja Moussiades 2020). Tekoälyä käyttävät tai sitä hyödyntävät opettajat voivat parantaa tehokkuuttaan ja vaikuttavuuttaan erilaisten tehtävien suorittamisessa. Näitä ovat muun muassa hallinnolliset tehtävät, kuten tehtävien tarkastaminen, arviointi ja palautteen antaminen opiskelijoille. Lisäksi tekoälyn eri muodot, kuten verkkopohjaiset älykkäät järjestelmät, cobotit ja chatbotit, voivat auttaa opettajia parantamaan opetuksen laatua. On myös painotettava, että tekoälyn ei tulisi vähentää opettajien lukumäärää nykyhetkessä tai tulevaisuudessa. Opiskelijoiden käytössä tekoälyä on pidetty arvokkaana työkaluna, jolla he ovat voineet edistää ammatillista kehitystään (Kaplan-Rakowski ja Grotewold 2023). Lisäksi tekoäly voi tarjota opiskelijoille käytännönläheisiä tai kokemuksellisia oppimiskokemuksia. Erityisesti kun sitä käytetään yhdessä muiden teknologioiden, kuten virtuaalitodellisuuden, 3D-tehtävien, pelien ja simulaatioiden kanssa (Romero ja Ventura 2013).

Stanfordin johtaman tutkimuksen (2023) mukaan automaattinen palautetyökalu paransi opettajien käyttämää ”uptake”-käytäntöä. Tässä käytänteessä opettajat tunnustavat, toistavat ja hyödyntävät opiskelijoiden aikaansaannoksia. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että palaute-

työkalu paransi opiskelijoiden suorituksia ja yleistä tyytyväisyyttä kurssiin. Lisäksi opettajat, jotka käyttivät työkalua, paransivat heidän käsittämiskykyään ja kyseenalaistamista palautteen antamisessa. Opiskelijoiden oppiminen ja tyytyväisyys kurssiin lisääntyivät myös niillä, joiden opettajat saivat palautetta, verrattuna niihin, joiden opettajat eivät käyttäneet työkalua.

Seo ym. (2021) huomauttavat, että tekoälyjärjestelmien käyttöönotto verkko-opinnoissa voi mahdollistaa yksilöllisen opiskelijoiden ja opettajien välisen vuorovaikutuksen laajassa mitataavassa. Huolta herättää, että tekoälyjärjestelmät voivat luoda verkko-opintoihin vastuullisuus-, toimijuus- ja valvontakysymyksiä, joilla on mahdollista rikkoa sosiaalisia rajoja. Rikkominen tapahtuisi jokaisessa opiskelijan ja opettajan vuorovaikutuksen osa-alueessa, kuten viestinnässä, tukemisessa ja läsnäolossa. Millä tarkoitetaan, että opiskelija ei varsinaisesti keskity opiskeluun tai ilmoita miten hän suorittaa tehtäviä, mutta opettajan näkökulmasta joku kirjoittaa ja palauttaa tehtävät. Sama voi tapahtua toiseen suuntaan, eli opiskelija saa palautetta ja arviointia, mutta ei ole varmaa onko se opettajan tuottamaa.

6 Tulevaisuuden näkymiä

Tekoälyteknologioiden kehittyessä kehittyvät myös opetusjärjestelmät. Näissä järjestelmissä tapahtuu erimuotoista seuranta, kuten arvosanojen, kurssisuoritusten ja opiskelijoiden tuotosten kesken. Korkeakouluissa ja koulutuksen sektorilla on säädettävä tähän seurantaan liittyviä sääntöjä sekä tietoturva (Adamopoulou ja Moussiades 2020). Säännöillä myös pyrittäisiin helpottamaan opiskelijoiden tuntemusta seurannasta, kuten kappaleessa 4.2 se nostettiin yhtenä koettuna hahtana. Tekoälyn vaikutuksia opettajien ja opiskelijoiden vuorovaikutussuhteisiin tutkittava etenkin eri tieteenaloilta. Samaan aikaan tulisi tutkia eri tekoälyjärjestelmien suoria vaikutuksia opiskelijoihin (Seo ym. 2021). Tulevaisuudessa toivottava tekoälyjärjestelmä suunniteltaisiin parantamaan oppimistaitoja ja niiden odotettaisiin edistävän eri osa-alueita kuten, tiedonhallintaa, oppimiskykyä ja urakehitystä (Chen, Chen ja Lin 2020).

Tulevaisuudessa tekoäly voi olla integroituna oppimisympäristöihin sekä -materiaaleihin tukemisen työkaluna. Sillä pyrittäisiin helpottamaan opettajan työtä sekä antamaan opiskelijoille reaaliaikaista ja välitöntä arviointia ja palautetta. Ennen integrointia olisi hyvä pohdita miten opiskelijoille ja opettajille koulutetaan tekoälyn oikeanlainen käyttö akateemisessa kontekstissa. Lisäksi laiskuuden tuottamaa riippuvuutta tekoälystä voidaan vähentää kouluttamalla opettajat ja opiskelijat tunnistamaan riippuvuuden rajat sekä lähteet. Näin voidaan estää haitallisia vaikutuksia oppimisprosessissa, kuten analyttisten taitojen kehityksen pysähtyminen (Fengchun ja Wayne 2023; Baidoo-Anu ja Owusu Ansah 2023). Myös aivoja voidaan työstää tehokkaasti, kun koulutus suunnitellaan niin, että itsenäinen päätöksien teko korostuu ja se palkitaan.

Tutkimushakua voidaan laajentaa siten, että se kattaa myös muita hyvämaineisia tietokantoja, erikoislehtiä tai vertaisarvioituja konferenssijulkaisuja. Lisää avainsanoja, kuten jokin tietty tekoälyteknologia tai sen koulutussovellukset (Zhang ja Aslan 2021). Tulevissa katsauksissa tulisi myös kiinnittää huomiota hakutuloksiin, sillä joskus hakutuloksissa näkyy myös muita aiheita, kuten pelipohjaista oppimista, käsitteleviä julkaisuja (esim. Yoon ja Kim 2015), vaikka ne eivät liittyisikään tekoälyyn. Poikkitieteellisenä alana AIED:llä (Artificial Intelligence in Education) on päällekkäisyyksiä muutamien nousevien osa-alueiden

kanssa, kuten pedagoginen tiedonlouhinta, oppimisanalytiikka ja tietokonepohjainen opetus (Romero ja Ventura 2013). Tulevaisuuden tutkimuksessa voitaisiin lisäksi harkita AIED-tutkimuksen tarkastelua kansallisesta näkökulmasta, jotta voitaisiin tunnistaa yksittäisissä maissa tai alueilla merkittäviä instituutioita ja tutkijoita (Chen ym. 2020).

7 Yhteenveto

Tutkielman keskeisenä tavoitteena on ollut tarkastella generatiivisen tekoälyn hyödyntämistä opinnoissa, erityisesti korkeakoulutasolla, ja sen vaikutuksia opetukseen. Tutkielmassa keskityttiin erityisesti ChatGPT-tekoälysovellukseen, joka on ollut laajasti käytetty tekoälysovellus. Tutkielmassa on käsitelty tekoälyn roolia nykyaikaisessa opetuksessa, opettajien ja opiskelijoiden havaintoja sen käytöstä sekä tutkimuksen löydöksiä ja niiden vaikutuksia.

Kartoituksessa havaittiin, että generatiivinen tekoäly on arvokas työkalu opiskelijoille, sillä he ovat tiivistäneet oppimissisältöä paremmin ymmärrettäväksi. Lisäksi he tuntevat tekoälyn auttaneen heidän ammatillisen kehityksensä tukemisessa. Opettajat hyötyivät automatisoiduista työtehtävistä, mutta tunnistivat myös tekoälyn rajoituksia. Opiskelijat pystyivät saamaan yksilöllisempää ohjausta, mutta heillä oli huolta tekoälyn tuottamista virheistä ja standardoidusta tuesta. Uutena teknologiana opetuksessa siihen liittyy edelleen vastuu-, toimijuus- ja valvontakysymyksiä, joita ratkotaan sääntöjen avulla. Vaikka Suomessa tekoälyn tutkimus on vähäistä verrattuna ulkomaisiin tutkimuksiin, sen vaikutukset opetukseen ovat havaittavissa hankkeiden muodossa.

Ratkaisuja tekoälyn käytön haasteisiin haettiin säilyttämällä opiskelijoiden toimijuutta, korostamalla tekoälyn eettistä käyttöä ja tarjoamalla koulutusta sen käytöstä. Tärkeänä on huomioida tietosuojan merkitys tekoälyn käytössä ja varmistaa oppimisympäristöjen turvallisuus sekä joustavuus. Tekoälyn integraatio tuo mukanaan uusia mahdollisuuksia ja haasteita, jotka ovat monialaisia.

Yhteenvetona voidaan todeta, että generatiivinen tekoäly pystyy tarjoamaan monia mahdollisuuksia opetuksessa ja oppimisessa, mutta sen käytössä on niin eettisiä, että käytännöllisiä haasteita. Tulevaisuudessa on tärkeää jatkaa tutkimusta tekoälyn vaikutuksista opetukseen ja kehittää keinoja hyödyntää tekoälyä entistä tehokkaammin koulutusympäristöissä.

Lähteet

Aalto-yliopisto. 2023. "Ohjeistus tekoälyn käytöstä Aalto-yliopiston opetuksessa ja oppimisessä". Viitattu 5. maaliskuuta 2024. <https://www.aalto.fi/fi/palvelut/ohjeistus-tekoalyn-kaytosta-aalto-yliopiston-opetuksessa-ja-oppimisessa>.

Adamopoulou, Eleni ja Lefteris Moussiades. 2020. "Chatbots: History, technology, and applications". *Machine Learning with Applications* 2:100006. ISSN: 2666-8270. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2020.100006>.

Baidoo-Anu, David ja Leticia Owusu Ansah. 2023. "Education in the Era of Generative Artificial Intelligence (AI): Understanding the Potential Benefits of ChatGPT in Promoting Teaching and Learning". *Journal of AI* 7 (1): 52–62. <https://doi.org/10.61969/jai.1337500>.

ChatGPT. 2024. "Suurikielimallit tekoälyssä: Viesti OpenAI:n GPT-3:sta." Viitattu 10. helmikuuta 2024. <https://chat.openai.com/>.

Chen, Lijia, Pingping Chen ja Zhijian Lin. 2020. "Artificial Intelligence in Education: A Review". *IEEE Access* 8:75264–75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>.

Chen, Xieling, Haoran Xie, Di Zou ja Gwo-Jen Hwang. 2020. "Application and theory gaps during the rise of Artificial Intelligence in Education". *Computers and Education: Artificial Intelligence* 1. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100002>.

Devlin, Jacob, Ming-Wei Chang, Kenton Lee ja Kristina Toutanova. 2018. "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding". *CoRR* abs/1810.04805. Viitattu 16. huhtikuuta 2024. arXiv: 1810.04805.

"Feedback from an AI-driven tool improves teaching, Stanford-led research finds". 2023. Viitattu 30. tammikuuta 2024. <https://ed.stanford.edu/news/feedback-ai-driven-tool-improves-teaching-stanford-led-research-finds>.

Felix, C.V. 2020. "The Role of the Teacher and AI in Education", 33–48. Marraskuu. ISBN: 978-1-83982-713-6. <https://doi.org/10.1108/S2055-364120200000033003>.

Fengchun, Miao ja Holmes Wayne. 2023. *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. Viitattu 15. helmikuuta 2024. <https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/Guidance%20for%20generative%20AI%20in%20education%20and%20research.pdf>.

Generation AI (GenAI) Tilannekuvaraportti 2022. 2022. Tekninen raportti. Helsinki, Suomi: Suomen Akatemia. <https://www.aka.fi/globalassets/3-stn/1-strateginen-tutkimus/strateginen-tutkimus-pahkinankuoressa/tilannekuvaraportit/stn2022-hankkeet/genai-tilannekuvaraportti-2022.pdf>.

Hurtig, Johanna, Merja Laitinen, Katriina Uljas-Rautio, Markku Heiskanen, Meri Mäkiran-ta, Anna-Maija Puroila ja Joahna Hurtig, toimittaneet. 2010. *Ajattele itse! : tutkimuksellisen lukutaidon perusteet*. Jyväskylä: PS-kustannus. ISBN: 978-952-451-486-6, viitattu 19. hui-tikuuta 2024.

Hwang, Gwo-Jen, Haoran Xie, Benjamin W. Wah ja Dragan Gašević. 2020. “Vision, chal-lenges, roles and research issues of Artificial Intelligence in Education”. *Computers and Education: Artificial Intelligence* 1:100001. ISSN: 2666-920X. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100001>.

Jyväskylän-yliopisto. 2023. “Tekoälypohjaisten sovellusten käyttö opiskelussa - JYU ohjeet ja linjaukset”. Viitattu 5. maaliskuuta 2024. <https://www.jyu.fi/fi/opiskelijalle/kandi-ja-maisteriopiskelijan-ohjeet/opintoja-ohjaavat-saadokset-ja-maaraykset/tekoalypohjaisten-sovellusten-kaytto-opiskelussa-jyu-ohjeet-ja-linjaukset>.

Kaplan, Andreas ja Michael Haenlein. 2019. “Siri, Siri, in my hand: Who’s the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence”. *Business Horizons* 62 (1): 15–25. ISSN: 0007-6813. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004>.

Kaplan-Rakowski, Regina ja Kimberly Grotewold. 2023. “Generative AI and Teacher’s Pers-pectives on Its Implementation in Education”. *Journal of Interactive Learning Research* 34:313–338. Viitattu 15. helmikuuta 2024. <https://www.learntechlib.org/p/222363>.

Kasneji, Enkelejda, Kathrin Sessler, Stefan Küchemann, Maria Bannert, Daryna Dementieva, Frank Fischer, Urs Gasser ym. 2023. “ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education”. *Learning and Individual Differences* 103:102274. ISSN: 1041-6080. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>.

Mehtälä, Markko. 2023. “TEKOÄLY, UHKA VAI MAHDOLLISUUS OPPIMISELLE? HAASTATELTAVANA CHATGPT-TEKOÄLY”. Viitattu 3. huhtikuuta 2024. <https://www.lapinamk.fi/blogs/Tekoaly,-uhka-vai-mahdollisuus-oppimiselle-Haastateltavana-ChatGPT-tekoaly/0q5cunco/24141bcf-dde3-4ea2-9ffe-67f0a0f98193>.

Opetushallitus. 2024. *Tekoäly opetuksessa: Vinkkejä koulujen ja oppilaitosten johdolle*. Viitattu 12. helmikuuta 2024. https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/Teko%C3%A4ly%20opetuksessa%20Vinkkej%C3%A4%20koulujen%20ja%20oppilaitosten%20johdolle_2.pdf.

Romero, Cristobal ja Sebastian Ventura. 2013. “Data mining in education”. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 3 (1): 12–27. <https://doi.org/10.1002/widm.1075>.

Russell, Stuart J ja Peter Norvig. 2010. *Artificial intelligence a modern approach*. London. Viitattu 5. maaliskuuta 2024. https://people.engr.tamu.edu/guni/csce421/files/AI_Russell_Norvig.pdf.

Seo, Kyoungwon, Joice Tang, Ido Roll, Sidney Fels ja Dongwook Yoon. 2021. “The impact of artificial intelligence on learner–instructor interaction in online learning”. *International Journal of Educational Technology in Higher Education* 18 (joulukuu). <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00292-9>.

Turing, A. M. 1950. “I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE”. *Mind* LIX, numero 236 (lokakuu): 433–460. ISSN: 0026-4423. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>.

Williamson, Ben ja Rebecca Eynon. 2020. “Historical threads, missing links, and future directions in AI in education”. *Learning, Media and Technology* 45 (3): 223–235. <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1798995>.

Yanbo, Huang. 2009. “Advances in Artificial Neural Networks – Methodological Development and Application”. *Algorithms* 2 (syyskuu). <https://doi.org/10.3390/algorithm2030973>.

Yoon, Du-Mim ja Kyung-Joong Kim. 2015. “Challenges and Opportunities in Game Artificial Intelligence Education Using Angry Birds”. *IEEE Access* 3:793–804. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2442680>.

Zhang, Ke ja Ayse Begum Aslan. 2021. “AI technologies for education: Recent research future directions”. *Computers and Education: Artificial Intelligence* 2:100025. ISSN: 2666-920X. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100025>.