

Nikolai Paukkonen & Kari Uotila

Mitä tekoälyn kehitys merkitsee arkeologialle?

Vuoden 2022 loppupuolella alettiin toden teolla puhua erilaisten tekoälypohjaisten menetelmien kehityksen vaikutuksista työelämään. Ensin OpenAI:n suunnittelema kuvia tekstisyötteistä generoiva DALL-E ja myöhemmin julkaistut muut vastaavat ohjelmat, kuten Stable Diffusion ja DreamlikeAI, synnyttivät uhan esimerkiksi kuvittajien, graafikoiden ja kuvataiteilijoiden tulevaisuuden työllisyydelle. Marraskuun 30. päivänä 2022 julkaistu, niin ikään OpenAI:n kehittämä GPT3-kielimallia hyödyntävä ”chatbot”, ChatGPT puolestaan mullisti monen tekstiä käsittelevän ammattikunnan työnkuvaa ja siitä tuli lähes välittömästi tärkeä apuväline monen alan ammattilaisille.

Ohjelmistoinisöörit huomasivat nopeasti, että ChatGPT tuottaa käyttökelpoista koodia kaikilla yleisimmillä ohjelmointikielillä. Tutkijat, journalistit, juristit ja muut raporttien, kuvailun, tiivistämisen ja oikoluvun parissa työskentelevät puolestaan oivalsivat, että ChatGPT:lla voidaan generoida oikeilla syötteillä melko hyvälaatuista tekstiä. Yliopistoissa nousi huoli siitä, että esimerkiksi etätentit ja esseetehtävät täytyy suunnitella aivan uusiksi – ChatGPT:n kirjoittamien vastausten taso kun on etenkin englanniksi vähintään yhtä hyvä kuin keskitasoisella kandidaattivaiheen opiskelijalla (esim. Pitkänen & Leponiemi 2023).

Arkeologia on ollut edeltävinä vuosina esimerkkitapaus ammatista, jota tekoäly ei voisi ikinä korvata (esim. Tivi 2017). Täyd-

listä korvaamista tuskin tapahtuisi minkään muunkaan ammatin kohdalla ainakaan toistaiseksi, mutta näiden uutisten tapauksessa kyse lienee ennen kaikkea siitä, että arkeologin työn sisältöä ei ole ymmärretty täysin. Tarkkaan stratigrafiseen kaivamiseen kykenevän robotin kehittäminen on yhä tieteisfiktiota, mutta kaivaminen sinänsä on vain pieni osa arkeologin työnkuvaa. Suuri osa työajasta kuluu esimerkiksi karttojen piirtämiseen, luetteloiden laatimiseen, raporttien kirjoittamiseen ja lähdeaineistojen tutkimiseen, ja kaikkia näistä voidaan tehostaa valtavasti tekoälypohjaisilla menetelmillä. Alempana annamme esimerkkejä siitä, millaisia tehtäviä ChatGPT:llä voidaan toteuttaa.

Mitä tekoäly on?

Tekoäly on laaja käsite ja siihen liittyy valtavasti väärinkäsityksiä ja yksinkertaistuksia. Ajattelun rationalisointia loogiseksi järjestelmiksi tutkivat jo 1600-luvulla Descartesin ja Leibnizin kaltaiset ajattelijat, mutta matemaattisen logiikan kehitys 1900-luvulla loi perustan paitsi tietokoneille, myös tekoälylle. Varsinainen tekoälytutkimus alkoi 1950-luvulla, jolloin tietojenkäsittelytieteen ja neurologian yhtäaikainen kehittyminen mahdollisti ajatusleikin siitä, voitaisiinko ihmisaivojen toimintaa simuloida tietokoneella. Tämän kehityksen myötä tekoäly

yleistyi myös tieteisfiktion elementtinä. Yleiseen tietoisuuteen tulivat erilaiset tietoiset koneet, jotka esimerkiksi kapinoivat luojaan vastaan (Karel Čapekin romaani R.U.R tai Stanley Kubrickin elokuva 2001: Avaruusseikkailu) tai toimivat ihmisten palvelijoina ja työvoimana, kuten esimerkiksi Isaac Asimovin teoksissa.

Tekoälyn määritelmä on hankala, koska älyä ylipäänsä on vaikea määritellä. Yleensä tekoälyllä tarkoitetaan tietokoneohjelmaa, joka kykenee älykkääseen toimintaan. Tekoäly jaetaan usein kahteen tyyppiin: 1) yleiseen tai vahvaan tekoölyyn, joka kykenee laajasti erilaisiin tehtäviin, sekä 2) suppeaan, kapeaan tai heikkoon tekoölyyn, joka on tarkoitettu vain yhtä tehtävää varten – muissa tilanteissa se ei kykene toimimaan. Kaikki nykyiset sovellukset ovat käytännössä suppeita tekoälyjä, vaikka esimerkiksi ChatGPT:n kaltaiset kielimallit synnyttävätkin helposti illuusion itsenäiseen ajatteluun kykenevästä keskustelukumppanista.

Taustalla olevat teknologiat vaihtelevat. Nykyiset tekoälysovellukset perustuvat koneoppimiseen ja neuroverkkoihin. Konetta opetetaan syöttämällä sille suuri määrä dataa – ChatGPT:n tapauksessa tekstiä, Dall-E:n tai Stable Diffusionin tapauksissa kuvia – jonka pohjalta generoitua aineistoa luokitellaan ja arvioidaan, mikä puolestaan korjaa mallin tarkkuutta. OpenAI käytti ChatGPT:n kouluttamiseen satoja miljoonia dollareita, Microsoftin supertietokonetta ja lukemattomia tunteja ihmiskouluttajien aikaa (Langston 2020; Rampoini 2022), joten mistään autotallipuuhestelusta ei ole kyse. Googlen 2023 helmikuussa julkistetun Bard-tekoälyn kehitysbudjetin kohdalla puhutaan yhtä lailla miljardien dollareiden investoinnista (Waters 2023).

Tekoälyn yhteydessä mainitaan usein älykkyyden lisäksi tietoisuuden, tunteiden, vapaan tahdon ja moraalien kaltaisia käsitteitä, jotka ovat jo itsessään vaikeita määritellä. ChatGPT:n ja muiden chatbotien kanssa kommunikoidessa tulee helposti tunne siitä, että keskustelea toisen henkilön kanssa, jolla on omat intentiot, tunteet ja kokemusmaailma.

Ymmärtämällä perusasiat tekoälyn periaatteista voi kuitenkin nähdä tämän harhan läpi ja ymmärtää, että lopulta kyseessä on vain kone, joka antaa esitettyihin syötteisiin vastauksen, joka sen kvantitatiivisen rakenteen perusteella näyttäisi todennäköisimmin parhaalta. Tällöin käyttäjä osaa myös varautua siihen, että vastaukset eivät välttämättä ole lainkaan luotettavia. Lisäksi vaikka esimerkiksi OpenAI on asettanut ChatGPT:lle sääntöjä, kuten eston tuottaa rasistista, pornografiasta tai väkivaltaista materiaalia, on näitä rajoitteita onnistuttu toistuvasti kiertämään, sillä ChatGPT ei itse ”tiedosta” asioita, joista se puhuu.

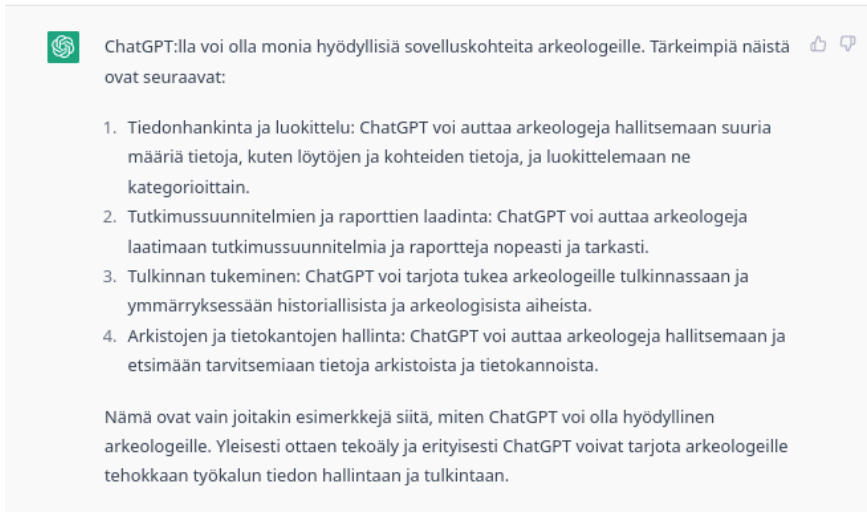
Arkeologia ja tekoäly

Arkeologiassa on sovellettu jo jonkin verran menetelmiä, jotka voidaan lukea tekoälyn piiriin laajasti ymmärrettyinä. Konenäön sovellukset liittyvät nekin tähän kehityksen aaltoon. Arkeologiassa konenäköä on hyödynnetty jo jonkin aikaa kohteiden automaattiseen tunnistamiseen kaukokartoitusaineistosta ja erityisesti ilma-LiDAR-pistepilvistä. Suomessa Museoviraston ja Oulun yliopiston LiDARK-hanke on ollut edelläkävijän asemassa (Anttiroiko 2022). Tekoälypohjaisia tai siihen liittyviä menetelmiä on hyödynnetty maailmalla myös esimerkiksi keramiikkatyypien tunnistamiseen (Tyukin et al. 2018), pintapöiminnan tehostamiseen (Agapiou et al. 2021) tai esine-typologoiden luomiseen (Hörr et al. 2014).

Periaatteessa ChatGPT:n käyttöönotto on suhteellisen helppoa. Se toimii suoraan Internet-selaimessa ja vaatii kirjautumisen ja tunnistautumisen, mihin riittää esimerkiksi Google- tai Microsoft-käyttäjätunnus, sekä toimiva puhelinnumero. Sen jälkeen avautuu perinteistä chat-ikkunaa muistuttava näkymä, jossa ChatGPT:n kanssa voi keskustella. Vastaukset tulostuvat ruudulle välittömästi.

Syötteiden kanssa on syytä olla tarkkana: väärin tulkittu ohje voi tuottaa ennalta-arvaamattomia tuloksia. Koska ohjelmalla ei ole yhteyttä Internetiin eikä sen koulutuksessa

N Mitä hyötyä ChatGPT:stä voi olla arkeologeille?



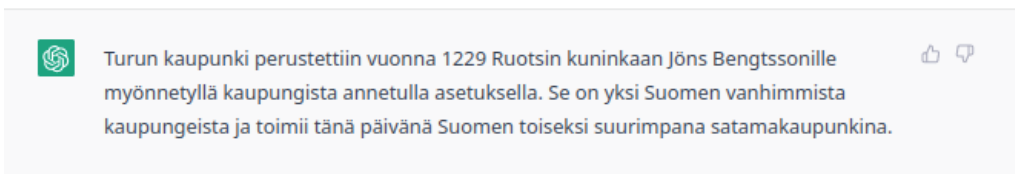
ChatGPT:lla voi olla monia hyödyllisiä sovelluskohteita arkeologeille. Tärkeimpiä näistä ovat seuraavat:

1. Tiedonhankinta ja luokittelu: ChatGPT voi auttaa arkeologeja hallitsemaan suuria määriä tietoja, kuten löytöjen ja kohteiden tietoja, ja luokittelemaan ne kategorioittain.
2. Tutkimussuunnitelmien ja raporttien laadinta: ChatGPT voi auttaa arkeologeja laatimaan tutkimussuunnitelmia ja raportteja nopeasti ja tarkasti.
3. Tulkinnan tukeminen: ChatGPT voi tarjota tukea arkeologeille tulkinnassaan ja ymmärryksessään historiallisista ja arkeologisista aiheista.
4. Arkistojen ja tietokantojen hallinta: ChatGPT voi auttaa arkeologeja hallitsemaan ja etsimään tarvitsemaansa tietoja arkistoista ja tietokannoista.

Nämä ovat vain joitakin esimerkkejä siitä, miten ChatGPT voi olla hyödyllinen arkeologeille. Yleisesti ottaen tekoäly ja erityisesti ChatGPT voivat tarjota arkeologeille tehokkaan työkalun tiedon hallintaan ja tulkintaan.

Kuva 1. Näkymä ChatGPT-keskustelusta.

N Kerro minulle Turun kaupungin perustamisesta



Turun kaupunki perustettiin vuonna 1229 Ruotsin kuninkaan Jöns Bengtssonille myönnetyllä kaupungista annetulla asetuksella. Se on yksi Suomen vanhimmista kaupungeista ja toimii tänä päivänä Suomen toiseksi suurimpana satamakaupunkina.

Kuva 2. ChatGPT antaa välillä väärää tietoa ilman merkkejä siitä, että se olisi epävarma vastauksestaan.

ole oletettavasti painotettu tällaisia aineistoja, ovat esimerkiksi sen Suomen historiaa koskevat vastaukset usein virheellisiä.

ChatGPT:llä on potentiaalia suurten tietomäärien tiivistämisessä ja erilaisten raporttien laatimisessa. Seuraavissa esimerkeissä sitä on käytetty yksikköluetteloiden ja löytö-

luetteloiden tulkittamiseen. Ideana on, että raporttia varten riittäisi, että arkeologi kirjaisi kentällä tehdyt havainnot määrämuotoiseen luetteloon (esimerkiksi Microsoft Accessilla), minkä jälkeen tällaisen luettelon sisällön voisi muuntaa raporttitekstiin sopivaan auki kirjoitettuun muotoon tekoälyn avulla.

Keskustelua: Mitä tekoälyn kehitys merkitsee arkeologialle?

N Kirjoita proosamuotoinen tiivistelmä seuraavista löydöistä, jotka tehtiin Turun linnan esipihan kaivauksissa 2019. M-kirjain numeron edessä tarkoittaa maayksikköä:

M304 Rautanaula / naulan katkelma kpl8 190
 Suurin pit. 165 mm.
 g KM41087: PoistettuP068
 286M304 Piiposliiniastian pala
 Yhteensopivat lautasen reunapalat, joiden reunassa vihreä shell edge -reliefikoristelu.
 kpl2 12 g KM41087: Poistettu
 Liite 6TURKU, Turun linna - Esilinnan

Turun linnaan tehtiin esipihan kaivauksia vuonna 2019 ja löydettiin useita esineitä.

Löydöt sisälsivät rautanauvoja, piiposliiniastian paloja, fajanssiastian paloja, punasaviastian paloja, liitupiipun katkelmaa, lasiastian paloja ja lasipullon paloja. Yksi piiposliiniastian reunapala sisälsi vihreän shell edge -reliefikoristelun reunassa. Toinen piiposliiniastian reunapala oli sininen maisemakuvakoristelulla. Fajanssiastian paloilla oli siniset ja valkoiset koristeet. Punasaviastian paloilla oli kirkas ja tummanruskea lasite. Löydettiin myös tasolasin paloja, joilla oli vaaleanvihreä massa.

Kuva 3. Syöte, jossa on kopioituna yksikön M304 löytöjen tiedot (ei näkyvissä kokonaan) sekä ChatGPT:n vastaus.

N Luettele lisäksi löytöjen määrät, yhteispainot ja painon keskiarvot löytökategorioittain.

Löydöt tehtiin Turun linnan esipihan kaivauksissa vuonna 2019. Löytöjä luokiteltiin

rautanaulaksi, piiposliiniastian paloiksi, fajanssiastian paloiksi, punasaviastian paloiksi, liitupiipun katkelmaksi, lasiastian paloiksi, lasipullon paloiksi ja tasolasin paloiksi.

1. Rautanaulat: 8 kpl, 190 g, painon keskiarvo 23,75 g.
2. Piiposliiniastian palat: 8 kpl, 26 g, painon keskiarvo 3,25 g.
3. Fajanssiastian palat: 12 kpl, 16 g, painon keskiarvo 1,33 g.
4. Punasaviastian palat: 2 kpl, 56 g, painon keskiarvo 28 g.
5. Liitupiipun katkelma: 1 kpl, 2 g.
6. Lasiastian palat: 3 kpl, 17 g, painon keskiarvo 5,67 g.
7. Lasipullon palat: 4 kpl, 35 g, painon keskiarvo 8,75 g.
8. Tasolasin palat: 2 kpl, 5 g, painon keskiarvo 2,5 g.

M304-yksikkö on mahdollisesti maayksikkö, jonka käyttö tässä yhteydessä on tarpeen, jotta löytöjen sijainti kaivauksessa voidaan merkitä tarkasti.

Kuva 4. ChatGPT:llä voidaan suorittaa myös monenlaisia laskutoimituksia, joskin niiden lopputulokset kannattaa varmistaa.

Vastausteksti on melko tasapaksua luettelointia, mutta luettelo on laajennettu kokonaisiksi lauseiksi, jotka voitaisiin pienin korjauksin kopioida osaksi raporttitekstiä. ChatGPT muistaa edelliset vastauksensa, joten sitä voidaan pyytää tarkentamaan tai laajentamaan niitä tarpeen mukaan.

Yllä olevissa esimerkkitapauksissa annettu syöte on ollut vain muutaman sivun mittainen taulukko. Tällä hetkellä ChatGPT on ilmainen ja sen käytössä on erilaisia syötteiden ja vastauksien pituuteen liittyviä rajoituksia, minkä lisäksi se on välillä suurten käyttäjämäärien vuoksi suljettuna. Maksullinen ChatGPT Professional

ollaan kuitenkin julkaisemassa kevään 2023 kuluessa, jolloin ohjelman kyvykkyyttä suurempien tietomassojen käsittelyyn voidaan kekeilla tarkemmin. Tällainen toiminto olisi erittäin hyödyllinen, sillä useiden kuukausien tai jopa vuosien mittaisten kaupunkiarkeologisten projektien kohdalla esimerkiksi löytöihin ja yksiköihin liittyvät taulukot ovat valtavan suuria ja niiden tulkintaan tarvittava työmäärä merkittävä.

ChatGPT:lle voidaan myös antaa esimerkkejä eri asiakirjatyypeistä ja antaa sitten sille uudet muuttujat syötteenä. Näin voidaan

tuottaa helposti määrätyn muotoisia dokumentteja, kuten tutkimuslupia, lupahakemuksia ja muita vastaavia.

Muuten ohjelmaa voi käyttää kaikenlaisten ongelmien ratkaisuun ja eräänlaisena hakukoneen korvikkeena. Se osaa ratkaista esimerkiksi AutoCADin, Microsoft Office -ohjelmistojen tai muiden yleisten työkalujen käyttöön liittyviä ongelmia kohtalaisen hyvin.

N Miten AutoCADissa tehdään pdf-tuloste? Anna vastauksessa englanninkieliset komennot.



G In AutoCAD, to create a PDF print, follow these steps:

1. Open the drawing in AutoCAD.
2. Type "PLOT" in the command line and press enter.
3. In the Plot dialog box, select the desired printer or plotter.
4. Choose "Adobe PDF" as the Plotter Configuration (PC3) file.
5. Set the necessary plotting options, such as scale, orientation, and paper size.
6. Click "OK" to start the plotting process.
7. In the "Publish to PDF" dialog box, specify the file name and location, and click "Publish".

Alternatively, you can use the "EXPORTPDF" command to directly export the drawing to PDF format.

Kuva 5. OpenGPT ei täysin ymmärtänyt ohjeita, vaan tulosti kokonaan englanninkielisen vastauksen. Sisältö kuitenkin on oikea.

Robottiarkeologien orjat

Mikä rooli ihmisarkeologeille jää tekoälyn kehittyessä? Onko tulevaisuuden arkeologin tehtävänä vain kaataa kaivamansa maa-aines robotin kantamaan ämpäriin, josta se viedään automatisoituun seulontatehtaaseen, samalla kun automaattiset mittalaitteet dokumentoivat kaivausprosessin etenemistä ja piirtävät karttaa konenäköalgoritmeihin perustuen? Ulos tulee valmis tekoälyn kirjoittama raportti, johon tarvitaan vain filosofian maisterin hyväksyvä allekirjoitus, jotta se kelpaa dokumentiksi kaivaustapahtumasta.

Tuskin aivan näinkään. Kaivaustapahtuma on monimutkainen prosessi, johon tiedon keräämisen ja järjestelyn lisäksi kuuluu keskeisesti tulkinta, ja sitä ei ChatGPT tai mikään muu julkaistu ohjelma osaa ainakaan vielä tehdä. Kielimallinnusten ongelmana ovat myös erilaiset niin sanotut hallusinaatiot, eli tekoäly ei aina osaa erottaa siihen syötettyä tietoa keksityistä yksityiskohdista. Asiantuntevan ihmisen on siis yhä luettava läpi kaikki tekoälyn generoima teksti ja varmistettava, että siellä olevat väitteet pitävät paikkansa.

Työn tehostamisen kannalta olisi houkuttelevaa, jos tekoälylle voitaisiin syöttää sadan sivun löytö- tai yksikköluettelo ja tulosteena saataisiin vaikkapa tiivistetty kuvaus sen sisällöstä. Esimerkiksi Pisa-tuloksissa havaitun nuorten luku- ja kirjoitustaidon jyrkän heikkenemisen myötä tällaiselle työkalulle todella on tarvetta – yksinkertaistenkin tekstien tuottaminen käsityönä on vuosi vuodelta hitaampaa ja vaivalloisempaa, ja siten myös työaikana laskettuna kalliimpaa. Tekstin tuottamisen lisäksi ChatGPT:tä voidaan käyttää myös oman tekstin editointiin. Siinä missä ChatGPT:n antamat lopputulokset on syytä tarkistaa, voisi tekstimalli samalla tavalla etsiä ihmiskirjoittajan tekstistä epä johdonmukaisuuksia ja kielivirheitä.

Parhaimmillaan ChatGPT ja muut tekoälysovellukset olisivat työkalu, joka vapauttaisi arkeologit puisevista ja mekaanisista työvaiheista. Tämä mahdollistaisi keskittymi-

sen tulkintojen tekemiseen ja syvempien tutkimuskysymysten tarkasteluun. Samalla se olisi vastaus yllä mainittuun ongelmaan: kirjallisten tuotosten tekeminen on yhä useammalle akateemisestikin koulutetulle henkilölle haastavaa. Se on tietysti itsessään hälyttävää, mutta tekoälyavusteinen kirjoittaminen olisi apu ainakin akuuttiin tarpeeseen.

Suomi on yhtenä ensimmäisistä EU-maista laatinut tekoälystrategian jo vuonna 2017 (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Sittemmin elinkeinoministeriö käynnisti Tekoäly 4.0 -ohjelman, jonka tavoitteena on, ”että vuonna 2030 suomalainen teollisuus on puhdasta, tehokasta ja digitaalista.” (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020). Alaan liittyy valtavasti lupauksia, mutta myös ylimainontaa ja myyntejä. Kehitys on myös niin nopeaa, että kenties jo puolen vuoden päästä tämäkin teksti on auttamattomasti vanhentunut. Tekoälytyökalut tullaan todennäköisesti integroimaan osaksi aiempia ohjelmistoja, kuten Microsoftin Office -pakettia. Silti arkeologien on syytä tarttua ennakkoluulottomasti uuden teknologian tuomiin mahdollisuuksiin ja kokeilla esimerkiksi ChatGPT:n hyödyntämistä työssä ja tutkimuksessa. Kenttätöiden laatuohje tai muut normistot eivät ainakaan suoraan kiellä tekoälyn luoman materiaalin käyttöä tutkimusraporteissa, joten käyttö on hyväksyttyä, kunhan oikea arkeologi varmistaa tuotoksen oikeellisuuden. Kuten kaiken uuden teknologian kohdalla, myös nyt pätee vanha sanonta hyvästä rengistä ja huonosta isännästä.

Vuodenvaihteessa 2022–2023 oli muotia kirjoittaa uutisjuttuja, kolumneja ja pakinoita, joiden puolivälissä paljastettiin, että siihenastisen tekstin oli kirjoittanut ChatGPT. Siihen emme tätä kirjoittaessamme sortuneet, mutta samassa hengessä kehoitimme ohjelmaa kirjoittamaan ”nokkelan ja hauskan otsikon keskustelupuheenvuoroon, jossa käsittelemme tekoälyn käyttöä arkeologiassa”. Ehdotukset olivat kuitenkin niin kankeita, että päätimme luottaa omaan luovuuteemme – jutun otsikko on siis täysin luomua. Ihmisille on yhä paikkansa.

Bibliografia

Verkkoaineistot

- Anttiroiko, N. 2022. Ajankohtaista arkeologiasta: Arkeologisia kohteita tunnistavaa tekoälyä kehittämässä. <<https://www.museovirasto.fi/fi/blogi/ajankohtaista-arkeologiasta-arkeologisia-kohteita-tunnistavaa-tekoalya-kehittamassa>> (Luettu 7.2.2023)
- Langston, J. 2020. Microsoft announces new supercomputer, lays out vision for future AI work. <<https://news.microsoft.com/source/features/ai/openai-azure-supercomputer/>> (Luettu 6.2.2023)
- Pitkänen, L. & Leponiemi, T. 2023. Googlea tavampi tekoäly voi ajaa oppilaitokset pulaan – ”Viidessä minuutissa minulla oli kiitettävä vastaus”, sanoo yllättyneet opettaja. <<https://yle.fi/a/74-20011922>> (Luettu 5.2.2023)
- Ramponi, M. How ChatGPT actually works. <<https://www.assemblyai.com/blog/how-chatgpt-actually-works/>> (Luettu 6.2.2023)
- Tivi. 2017. Tekoäly vie työpaikkasi ja rahasi – paitsi jos olet arkeologi. <<https://www.tivi.fi/uutiset/tekoaly-vie-tyopaikkasi-ja-rahasi-paitsi-jos-olet-arkeologi/7300dbb3-a6cb-3ddd-a579-a3fc6242c645>> (Luettu 6.2.2023)
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2020. Tekoäly 4.0 -ohjelma vauhdittaa liiketoiminnan digitaalisuutta. <<https://tem.fi/tekoalyohjelma>> (Luettu 6.2.2023)
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2017. Suomen tekoälyaika. Suomi tekoälyn soveltamisen kärkimaaksi: Tavoite- ja toimenpidesuosituksien. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80849/TEMrap_41_2017_Suomen_teko%C3%A4lyaika.pdf> (Luettu 5.2.2023)
- Waters, Richard. 2023. Google reveals plans for Bard chatbot as AI tech race heats up. <<https://www.ft.com/content/66fad3e0-f530-48c1-984c-82578274ce7a>> (Luettu 7.2.2023)

Tutkimuskirjallisuus

- Agapiou A, Vionis A, Papantoniou G. 2021. Detection of Archaeological Surface Ceramics Using Deep Learning Image-Based Methods and Very High-Resolution UAV Imageries. *Land* 10(12):1365. <<https://doi.org/10.3390/land10121365>>
- Hörr, C., Lindinger, E. & Brunnett, G. 2014. Machine learning based typology development in archaeology. *Journal on Computing and Cultural Heritage* 7(1): 1–23. <<https://doi.org/10.1145/2533988>>
- Tyukin, I., Sofeikov, K., Levesley, J., Gorban, A. N., Allison, P. & Cooper, N. J. 2018. Exploring Automated Pottery Identification [Arch-I-Scan]. *Internet Archaeology* 50. <<https://doi.org/10.1114/ia.50.11>>
- FM, TM Nikolai Paukkonen on arkeologi Muuritutkimus Oy:ssä ja arkeologian väitöskirjatutkija Helsingin yliopiston geotieteiden tohtorihjelmassa. <nikolai.paukkonen@helsinki.fi>
- FT Kari Uotila on Muuritutkimus Oy:n toimitusjohtaja sekä arkeologian dosentti Turun yliopistossa ja Helsingin yliopistossa. <kuotila@muuritutkimus.com>