

Luonnos kestävän tekoälyn työkalupakiksi

Työkaluja, ratkaisuja ja vaikutuksia

Miikkael Niemi
Maija-Leena Tapio
Veikko Sajaniemi



Julkaisupäivämäärä
18.6.2025

Julkaisun nimi
Luonnos kestävän tekoälyn työkalupakiksi

Tekijät
Miikkael Niemi, Maija-Leena Tapio, Veikko Sajaniemi

Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä
Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

Julkaisusarjan nimi ja numero
Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 21/2025
ISSN (verkkojulkaisu) 2669-8781
ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-311-987-1

Asiasanat
tekoäly, generatiivinen tekoäly, kestävä tekoäly

Tiivistelmä

Tekoälyn käyttö on laajentunut ja yleistynyt Liikenne- ja viestintävirasto Traficomissa. Viraston johto hyväksyi ohjeet tekoälyn käyttöön huhtikuussa 2024.

Luonnos kestävän tekoälyn työkalupakiksi -selvityksessä on luotu malli, jonka avulla pyritään tunnistamaan ja hahmottamaan tekoälyn kestävyyttä tuotannosta käyttöön. Kestävällä tekoälyllä tarkoitetaan tekoälyä, jonka kehittämisessä ja käytössä osataan tunnistaa ja huomioida ekologisen, sosiaalisen ja taloudellisen kestävyiden tavoitteet.

Selvityksessä on luotu malli, jolla kuvataan tekoälyn toimintaympäristö. Se koostuu ytimeistä ja ydintä kiertävistä näkökulmista. Jotta tekoälyn hyödyntäminen olisi kestävää, kaikki näkökulmat tulee tunnistaa ja huomioida.

Selvityksessä pääpaino on tekoälyn ympäristövaikutusten hahmottamisessa, sillä siihen Traficom tarvitsi nopeimmin apua. Tekoälyn vaikutuksia ympäristöön arvioidaan jalanjäljen, kädenjäljen ja nettovaikutuksen käsitteiden avulla. Ympäristövaikutuksia syntyy läpi tekoälyn arvoketjun tuotannosta käyttöön.

Jalanjäljellä tarkoitetaan tekoälyn haitallisia ympäristövaikutuksia esimerkiksi energiankulutukseen, vedenkulutukseen sekä laitteistojen materiaalien käyttöön liittyen.

Kädenjäljellä tarkoitetaan tekoälyn positiivisia vaikutuksia. Niitä ovat esimerkiksi optimoitu uusiutuvan energian tuotanto, ilmastoennusteiden tarkentuminen ja päästöjen vähentäminen toimitusketjuja optimoimalla.

Tekoälyn nettovaikutus ympäristöön riippuu siitä, kuinka hyvin osataan minimoida haitat ja maksimoida hyödyt. Tarkkaa vastausta ei vielä ole.

Tekoälyn käytön aiheuttamiin päästöihin voi vaikuttaa harkitsemalla tekoälyn käytön todellista tarvetta ja valitsemalla käyttöön laajuudeltaan riittävän mutta ei turhan suuren sovelluksen.

Yksittäinen henkilö voi kokeilla ja selvittää tekoälyn mahdollisuuksia omassa ympäristössään, kunhan tunnistaa myös valintojensa vaikutukset. Organisaatioiden tulisi harkita tekoälypanostuksia ja niiden hyötyjä tarkkaan, sillä systemaattisen ja laajan käytön ympäristövaikutukset ovat luonnollisesti yksittäisen käyttäjän kokeiluja suurempia.

Yhteyshenkilö
Susanna Niinivaara

Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 21/2025

Raportin kieli Suomi
Luottamuksellisuus julkinen
Kokonaissivumäärä 30
Jakaja Liikenne- ja viestintävirasto Traficom
Kustantaja Liikenne- ja viestintävirasto Traficom



Utgivningsdatum
18.6.2025

Publikation
Utkast till verktygslåda för hållbar artificiell intelligens

Författare
Miikkael Niemi, Maija-Leena Tapio, Veikko Sajaniemi

Tillsatt av och datum
Transport- och kommunikationsverket Traficom

Publikationsseriens namn och nummer
Traficoms forskningsrapporter och utredningar 21/2025
ISSN (elektronisk publikation) 2669-8781
ISBN (elektronisk publikation) 978-952-311-987-1

Ämnesord
artificiell intelligens, AI, generativ artificiell intelligens, hållbar artificiell intelligens

Sammandrag
Användningen av artificiell intelligens har breddats och blivit vanligare vid Transport- och kommunikationsverket Traficom. Verkets ledning godkände anvisningar för användningen av artificiell intelligens i april 2024.

I utredningen Utkast till verktygslåda för hållbar artificiell intelligens presenteras en modell som syftar till att identifiera och gestalta hållbarheten i artificiell intelligens från produktion till användning. Med hållbar artificiell intelligens avses AI där man vid utveckling och användning kan identifiera och beakta målen för ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet.

I utredningen har en modell skapats för att beskriva verksamhetsmiljön för artificiell intelligens. Den består av en kärna och perspektiv som kretsar kring denna kärna. För att användningen av AI ska vara hållbar måste alla perspektiv identifieras och beaktas.

Tyngdpunkten i utredningen ligger på att gestalta miljöpåverkan av artificiell intelligens, eftersom det var det Traficom snabbast behövde hjälp med. AI:s miljöpåverkan bedöms med hjälp av begreppen fotavtryck, handavtryck och nettoeffekt. Miljöpåverkan uppstår genom hela värdekedjan för AI från produktion till användning.

Med fotavtryck avses AI:s negativa miljöpåverkan, till exempel kopplad till energiförbrukning, vattenförbrukning samt användning av material i utrustning.

Med handavtryck avses positiva effekter av artificiell intelligens. Dessa inkluderar till exempel optimerad produktion av förnybar energi, förbättrade klimatprognoser och minskade utsläpp genom optimerade leveranskedjor.

AI:s nettoeffekt på miljön beror på hur väl man kan minimera skadorna och maximera nyttan. Ett exakt svar finns ännu inte.

Utsläppen från användningen av AI kan påverkas genom att noggrant överväga det faktiska behovet av AI och välja en tillräckligt omfattande, men inte onödigt stor, applikation.

En enskild person kan prova och utforska AI:s möjligheter i sin egen miljö, så länge hen också förstår konsekvenserna av sina val. Organisationer bör noggrant överväga sina AI-satsningar och de förväntade nyttorna, eftersom miljöpåverkan av systematisk och omfattande användning naturligtvis är större än enskilda användares försök.

Kontaktperson Susanna Niinivaara
Språk Finska
Sekretessgrad offentlig
Sidonantal 30
Distribution Transport- och kommunikationsverket Traficom
Förlag Transport- och kommunikationsverket Traficom

Alkusanat

Tekoäly on jo työpaikoilla. Se muuttaa työtä, palveluita ja tuottavuutta. Kilpailu tekoälyn hyödyntämisestä kiihtyy.

Kesällä 2024 Traficomissa henkilöstö tunnisti tarpeen lisätä viraston ymmärrystä tekoälyn hyödyntämisen ympäristövaikutuksista. Tähän tarpeeseen virasto tilasi Third Rockilta selvityksen, jonka nimeksi lopulta tuli Luonnos kestävän tekoälyn työkalupakiksi.

Luonnos tuli nimeen mukaan työn edetessä. Ymmärsimme, että olemme vasta alussa.

Third Rock järjesti selvitystyön aluksi työpajan, johon Traficomista osallistuivat Heidi Auvinen, Jukka Isosaari, Kristiina Lappalainen, Susanna Niinivaara, Susanna Summa, Ilona Varis ja Mikko Viitaila.

Kirjoitustyön edetessä Traficomilla oli mahdollisuus kommentoida selvitystä.

Vuoden 2024 vastuullisuusraportissa Traficom pystyy selvityksen ansiosta ensikertaa huomioimaan myös tekoälyn vastuullisen käytön.

Helsinki, maaliskuu 2025

Susanna Niinivaara

Johtava asiantuntija

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

Förord

AI finns redan på arbetsplatserna. Det förändrar arbete, tjänster och produktivitet. Konkurrensen om att dra nytta av AI tilltar.

Sommaren 2024 identifierade personalen vid Traficom ett behov av att öka ämbetsverkets förståelse för AI:s miljöpåverkan. För att möta detta behov beställde myndigheten en utredning från Third Rock, som till slut fick namnet Utkast till verktygslåda för hållbar artificiell intelligens.

Ordet "utkast" lades till i namnet i takt med att arbetet framskred. Vi insåg att vi bara är i början av detta arbete.

I början av utredningen ordnade Third Rock en workshop där följande personer från Traficom deltog: Heidi Auvinen, Jukka Isosaari, Kristiina Lappalainen, Susanna Niinivaara, Susanna Summa, Ilona Varis och Mikko Viitaila.

Under skrivprocessen hade Traficom möjlighet att kommentera utredningen.

Tack vare utredningen kan Traficom i hållbarhetsrapporten för 2024 för första gången också beakta ansvarsfull användning av AI.

Helsingfors, mars 2025

Susanna Niinivaara

Ledande sakkunnig

Transport- och kommunikationsverket Traficom

Sisällys

1	Työn tausta, tavoitteet ja toteutustapa	8
2	Tekoäly	9
2.1	Tekoälyn vaikutukset ja sääntely	9
2.2	Tekoälyn toimintaympäristön kuvaus	11
3	Tekoälyn ympäristövaikutukset	14
3.1	Tekoälyn jalanjälki	14
3.2	Tekoälyn kädenjälki	18
3.3	Tekoälyn nettovaikutus.....	20
4	Käyttjävalintojen vaikutus tekoälyn ympäristövaikutuksiin	20
4.1	Tarvitsetko tekoälyä?	21
4.2	Valitse mieluummin rajattu sovellus kuin laaja yleismalli	22
4.3	Suunnittele tarvittavat kehotteet	22
5	Yhteenveto	24
6	Lähdeluettelo	27
7	Muita tiedonlähteitä.....	30

1 Työn tausta, tavoitteet ja toteutustapa

Tekoäly on jo työpaikoilla ja sen käyttö lisääntyy. Liikenne- ja viestintävirasto Traficomin johto hyväksyi huhtikuussa 2024 tekoälyn käyttöön virastossa ohjeet, jotka kannustavat koko henkilöstöä kokeilemiseen ja opetteluun.

Traficomin ohjeissa ei ole erikseen huomioitu ympäristövaikutuksia, mutta julkista hallintoa koskee valtiovarainministeriön vuonna 2023 julkaisema eettinen ohjeistus tekoälyn käyttöön. Ohjeistuksen ensimmäisen kohdan mukaan tekoälyn vaikutukset kansalaiseen, yhteiskuntaan ja ympäristöön tulee huomioida.

Kesällä 2024 Traficomissa tunnistettiin tarve lisätä viraston ymmärrystä tekoälyn ympäristövaikutuksista. Tarve nousi viraston henkilöstöstä generatiivisen tekoälyn käyttöä opetellessa. Tämä oli luontevaa, sillä vastuullisuus on osa viraston tapaa toimia.

Traficom on sitoutunut YK:n Agenda 2030 -ohjelman kestävä kehityksen tavoitteisiin ja raportoinut toiminnastaan vastuullisuusraporteissa vuodesta 2022. Viimeisin raportti koskee vuotta 2023, ja siinä tekoälyä ei ole käsitelty.

Traficom on yksi niistä viranomaisista, jolle tulee tehtäviä Euroopan unionin tekoälyasetuksesta. Asetuksen tarkoituksena on varmistaa, ettei tekoälyjärjestelmillä vaaranneta ihmisen terveyttä, turvallisuutta tai perusoikeuksia.

Traficomin ja Third Rockin asiantuntijoiden keskusteluissa ymmärrettiin pian, että tekoälyn ympäristövaikutuksia tulee tarkastella osana kokonaisuutta. Näin syntyi työn ensimmäinen tavoite: luoda kokonaiskuva siitä, mitä kestävä tekoälyn käytössä tulee tunnistaa.

Kestävällä tekoälyllä tarkoitamme tekoälyä, jonka kehittämisessä ja käytössä osataan tunnistaa ja huomioida ekologisen, sosiaalisen ja taloudellisen kestävyys tavoitteet.

Tässä selvityksessä esitellään luonnos kestävä tekoälyn työkalupakiksi. Se perustuu malliin, jonka neljää ydintoimintoa kiertää viisi huomioitavaa näkökulmaa. Mallin tarkoituksena on tukea tekoälyn kestävä käyttöä Traficomissa.

Tässä työssä on keskitytty erityisesti lisäämään tietoa ja ymmärrystä ilmasto- ja ympäristövaikutuksista, joka on yksi ydintoimintoja kiertävistä näkökulmista. Vaikutuksia analysoidaan jalanjäljen ja kädenjäljen avulla.

Selvityksen aluksi kerrotaan mallin rakenne. Miksi ja miten tähän päädyttiin? Miten mallin osat liittyvät toisiinsa?

Yhteenvedossa tuodaan esille mahdollisten jatkoselvitysten tarve.

Third Rock järjesti työpajan Traficomin asiantuntijoiden kanssa työn aluksi. Tämän jälkeen Third Rockin asiantuntijat hyödynsivät työn taustoitukseen luotettavina pidettyjä julkisesti saatavilla olevia lähteitä. Traficomin asiantuntijoilla on ollut mahdollisuus kommentoida selvitystä työn edetessä.

2 Tekoäly

Tekoälysovelluksia on ollut käytössä jo vuosikymmeniä. Turingin testin tarkoitus oli mitata tietokoneiden tekoälyn ihmismäisyyttä jo vuonna 1950¹, ja varsinainen tekoälytutkimuksen tieteenalakin sai alkunsa jo 1956². Teollisuudessa koneoppimista ja erilaisia tekoälysovelluksia on sovellettu jo pitkään, mutta kuluttajien keskuudessa käännekohta oli OpenAI:n julkaisema ChatGPT -kielimalli loppuvuodesta 2022. Sitä tuli kuluttajakäytössä historian nopeimmin levinnyt sovellus³; ChatGPT keräsi miljoona käyttäjää viidessä päivässä. Vuonna 2024 ChatGPT:llä on yli 200 miljoonaa käyttäjää.

Vaikka kuluttajakäytössä vain muutamat tekoälysovellukset ovat yleisesti tunnistettuja, käytännössä erilaisia tekoälysovelluksia on kymmeniä tuhansia⁴, ja niitä tulee jatkuvasti lisää. Pienten sovellusten käyttökohteet vaihtelevat yksinkertaisista avustavista suoritteista hupitehtäviin, mutta myös merkittäviksi luokiteltavia laajoja tekoälysovelluksia on jo noin 1 000⁵.

2.1 Tekoälyn vaikutukset ja sääntely

Tekoälyn rooli ihmisten arjessa kasvaa koko ajan, ja sen hyötyjen lisäksi on tärkeä tunnistaa myös sen negatiiviset vaikutukset⁶. Yleisiä tunnistettuja ongelmia ovat esimerkiksi virheellisen tiedon tahaton tai tietoinen luominen ja levittäminen, puolueellista tausta-aineistoa käyttävät ja ennakkoluuloja vahvistavat sovellukset, tekoälyn kehitys- ja koulutusprosessien läpinäkyvättömyys, energian- ja vedenkulutus sekä tekoälyn ihmisoikeuksia loukkaava käyttö. Tässä selvityksessä tarkoitamme kestäväällä tekoälyllä sellaista tekoälyä, jonka kehittämisessä ja käytössä huomioidaan ekologisen, sosiaalisen ja taloudellisen kestävyuden tavoitteet.

¹ Investopedia. (2024). The Turing Test: What Is It, What Can Pass It, and Limitations. <<https://www.investopedia.com/terms/t/turing-test.asp>>.

² Dartmouth. (2024). Artificial Intelligence Coined at Dartmouth. <<https://home.dartmouth.edu/about/artificial-intelligence-ai-coined-dartmouth>>.

³ Wisernotify. (2024). The Latest ChatGPT Statistics and User Trends (2025-2025). <<https://wisernotify.com/blog/chatgpt-users/>>.

⁴ There's An Ai For That. (2025). <<https://theresanaiforthat.com/>>.

⁵ Epoch Ai. (2024). Notable AI Models. <<https://epoch.ai/data/notable-ai-models>>.

⁶ Harvard business Review (2024). AI's Trust Problem. <<https://hbr.org/2024/05/ais-trust-problem>>.

Arvioitaessa tekoälyn tulevia kehityssuuntia on syytä katsoa myös, mitkä tahot tekoälyä hallitsevat, minkälaiset motiivit näillä tahoilla on ja minkälaisia käyttötarkoituksia tekoälylle on pystytty löytämään tähän päivään mennessä. Tekoälymarkkina on pitkälti kolmen yrityksen, Microsoftin, Amazonin ja Googlen⁷, hallinnassa, joista kaikilla on merkittävä rooli ihmisten arjessa, sekä nykyisen yhteiskunnan toimivuudessa ja turvallisuudessa. Toisaalta kaikilla mainituilla teknologiajäteillä, ja esimerkiksi Metalla ja Applella, on kunnianhimoiset julkiset päästövähennystavoitteet, joissa puhutaan jopa hiilinegatiivisuudesta ja historiallisia päästöjä vastaavan hiilidioksidimäärän poistamisesta ilmakehästä⁸. Yhtiöiden ulkopuoliset selvitykset kuitenkin osoittavat, että jo varsinaisissa ympäristötavoitteissa on parannettavaa⁹, ja lisäksi todelliset kokonaispäästöt ovat todennäköisesti moninkertaisia raportoituihin päästöihin verrattuna¹⁰. Lisäksi, silloin kun päästövähennykset perustuvat oman toiminnan suorien vaikutusten vähentämisen sijaan kolmannen osapuolen päästökompensaatiohankkeisiin, päästöjen reaali vähennykset voivat olla yliarvioituja¹¹. Energiankulutuksen vähentäminen olisi selkeä suora päästövähennys, mutta erilaisten kompensatiovälineiden käytön tulokset ovat riippuvaisia siitä, miten hyvin kyseinen kompensatiohanke onnistuu ja miten tuloksia käsitellään. Teknologia-yhtiöiden tavoitteita ja toimenpiteitä arvioidessa kannattaa siis muistaa, että kokonaisuus on hyvin monimutkainen, ja nettovaikutusten osalta konkreettiset lopputulokset ovat ratkaisevia.

Valtiotasolla tekoälyn kehitystä hallitsevat USA ja Kiina¹², jotka ovat maailman suurimmat saastuttajat ja joiden ihmisoikeuksien ja ympäristötoimien nykyinen tila ja kehityssuunta eivät ole riittävällä tasolla ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta.

Tekoälyn positiivisten vaikutusten lisäksi siihen liittyy siis myös paljon riskejä, joita Euroopan unioni pyrkii hallitsemaan EU:n tekoälyasetuksella (EU) 2024/1689¹³. Asetuksen tavoitteena on valvoa, ettei EU:n alueella käytettävillä tekoälyjärjestelmillä vaaranneta ihmisten terveyttä, turvallisuutta tai perusoikeuksia. Asetus luokittelee järjestelmät eri riskiluokkiin,

⁷ MIT Technology review. (2023). Make no mistake—AI is owned by Big Tech. < <https://www.technologyreview.com/2023/12/05/1084393/make-no-mistake-ai-is-owned-by-big-tech/> >.

⁸ Microsoft. (2020). Microsoft will be carbon negative by 2030. <<https://blogs.microsoft.com/blog/2020/01/16/microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/>>.

⁹ Greenpeace. (2020). Microsoft, Google, Amazon – Who’s the Biggest Climate Hypo-crite? <<https://www.greenpeace.org/usa/microsoft-google-amazon-energy-oil-ai-climate-hypocrite/>>.

¹⁰ The Guardian. (2024). Data center emissions probably 662% higher than big tech claims. Can it keep up the ruse? <<https://www.theguardian.com/technology/2024/sep/15/data-center-gas-emissions-tech>>.

¹¹ MIT Technology Review. (2024). Google, Amazon and the problem with Big Tech’s climate claims <<https://www.technologyreview.com/2024/07/17/1095019/google-amazon-and-the-problem-with-big-techs-climate-claims/>>.

¹² Techopedia. (2024). Top 10 Countries Leading in AI Research & Technology in 2025. < <https://www.techopedia.com/top-10-countries-leading-in-ai-research-technology> >.

¹³ European Union. (2024). REGULATION (EU) 2024/1689 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32024R1689>>.

joiden mukaisesti järjestelmä voidaan joko kieltää tai sille voidaan asettaa erityisvaatimuksia. Asetus astui voimaan 1.8.2024.

Tekoälyn kehittämisen ja käytön ilmastovaikutukset ovat yksi merkittävimmistä haittavaikutuksista. Esimerkiksi energian- ja vedenkulutukseen liittyvien tietojen raportoinnin rooli jää tekoälyasetuksessa¹³ toistaiseksi kuitenkin pieneksi. Tekoälytoimittajilta edellytetään asetuksessa raportointia järjestelmän energian kulutuksesta ja laitteistotiedoista, mutta se antaa mahdollisuuden raportoida myös pelkkiä arvioita. EU:n tekoälyasetuksen hyödyt tekoälyn ympäristövaikutusten läpivalaisemisessa jäävät nähtäviksi.

Vaikka tarkkaa tietoa yksittäisten tekoälysovellusten ympäristövaikutuksista on hankala saada, pystytään alan isoimmista vaikutuksista muodostamaan suuntaa antava kokonaiskuva. Toistaiseksi vaikutusten suuruusluokkaa on arvioitu tieteellisissä tutkimuksissa, sekä asiantuntijoiden, julkisten organisaatioiden ja järjestöjen analyyseissä. Myös kattavia vertailutietoja eri kielimallien energiakulutuksesta on tulevaisuudessa mahdollisesti saatavilla¹⁴. Kuvaavaa kuitenkin on, että maailman suurimpien IT-jättien päästöt ovat viime vuosina kääntyneet taas kasvuun juuri tekoälyn myötä.

2.2 Tekoälyn toimintaympäristön kuvaus

Yhteiskunta sähköistyy vauhdilla, ja digitalisaatio, sähköinen viestintä, automaatioasteen kasvu sekä liikenteen sähköistyminen toimivat siinä vahvoina vetureina. Sähköistyvässä yhteiskunnassa tekoälyn integraatio on luontaista ja käyttömahdollisuudet sekä potentiaaliset ilmastohyödyt laajenevat, kun rajapintoja ja automaatiota pystytään toteuttamaan saumattomasti. Energiankulutuksen ja luonnonvarojen kulutuksen osalta tekoäly kilpailee samoista resursseista muun yhteiskunnan kanssa, mutta on riskineen ja mahdollisuuksineen kuitenkin enemmän kuin pelkkä yksittäinen sovellus tai työkalu, joten sen toimintaympäristön hahmottaminen on kokonaisuuden kannalta tärkeää.

Tekoälyn arvoketjua lähestytään usein taloudellisten vaikutusten kautta (esimerkiksi Nasdaq¹⁵ tai McKinsey¹⁶). Näissä määritelmässä tuotanto- ja arvoketjun eri vaiheet esitetään samankaltaisesti: laitteisto (englanniksi hardware), pilvipalvelut, tekoälymallit, MLOps (machine learning operations) eli tekoälyn kehityksen, testaamisen ja ylläpidon automatisointiin tähtäävä toimintamalli, sovellukset, palvelut ja loppukäyttäjät. Nämä

¹⁴ Hugging Face. (2025). Announcing AI Energy Score Ratings. < <https://huggingface.co/blog/sasha/announcing-ai-energy-score>>.

¹⁵ Nasdaq. (2023). Diving Deep into the AI Value Chain. <<https://www.nasdaq.com/articles/diving-deep-into-the-ai-value-chain>>.

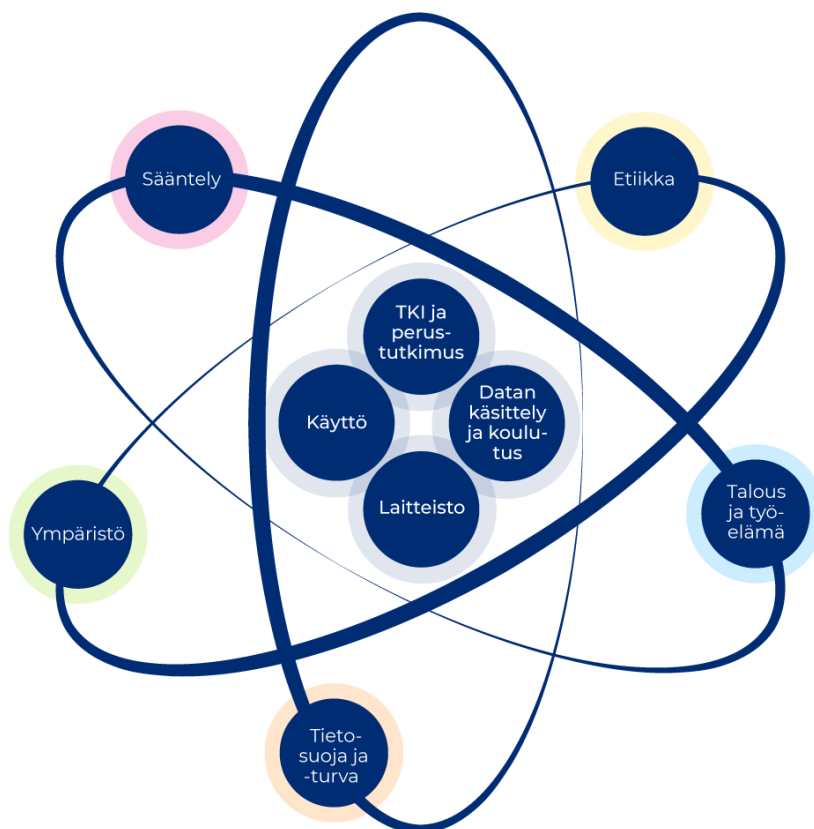
¹⁶ McKinsey. (2023). Exploring opportunities in the generative AI value chain. <<https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/exploring-opportunities-in-the-generative-ai-value-chain>>.

arvoketjun vaiheet kuvaavatkin hyvin tekoälypalvelun toteuttamiseen tarvittavia osa-alueita. Tämän selvityksen yhteydessä muodostetussa toimintaympäristön kuvauksessa ne kiteytettiin neljään osa-alueeseen:

- TKI (tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta) ja perustutkimus
- datan käsittely ja koulutus
- laitteisto
- käyttö.

Nämä neljä osa-aluetta muodostavat tekoälyn toimintaympäristön ytimen.

Toimintaympäristön kokonaisuutta tarkastellessa tekoälyn arvoketjun, ytimen, ympärille voidaan hahmotella sen yhteiskunnallinen ulottuvuus. Kokonaisuudesta muodostettiin tämän selvitystyön yhteydessä eräänlainen atomimalli (Kuva 1), jossa tuodaan arvoketjun lisäksi näkyväksi myös tekoälyn tuottamiseen, ylläpitoon ja käyttöön liittyvät eettiset, juridiset ja ympäristönäkökulmat sekä tietosuojaan ja -turvaan sekä työelämään liittyvät vaikutukset. Selvityksen sisältö on esitetty tämän toimintaympäristökuvauksen avulla.



Kuva 1. Tekoälyn toimintaympäristöä kuvaava atomimalli

Kaikkien osa-alueiden tekoälyn mahdollistavassa ytimessä tulee toteutua, jotta tekoäly on käytettävissä.

TKI (tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta) ja perustutkimus tarkoittavat tekoälyn toiminnan ja kehittämisen mahdollistavaa tutkimusta ja kehittämistä, esimerkiksi neuroverkkotutkimusta tai uudenlaisen laajan kieli-mallin taustakehitystä.

Datan käsittely ja koulutus tarkoittavat kehitetyn tekoälyn käyttöönotto-koulutukseen, jatkokoulutukseen sekä toiminnan aikaiseen ylläpitoon ja testaukseen liittyviä toimenpiteitä.

Laitteistolla tarkoitetaan tietokoneita, datakeskuksia ja kaikkia niitä tekni-siä järjestelmiä, jotka mahdollistavat tekoälytutkimuksen, koulutuksen, palvelun tarjoamisen ja ylläpidon sekä tekoälyn hyödyntämisen loppukäyt-täjän omalla päätelaitteella.

Käytöllä tarkoitetaan koulutetun tekoälyn hyödyntämistä. Tekoälyä voi hyödyntää toinen järjestelmä tai loppukäyttäjänä toimiva ihminen.

Tekoälyn ydintä elektronien tapaan kiertävät pääulottuvuudet eli näkökul-mat, jotka liittyvät olennaisesti tekoälyn hyödyntämiseen joko ohjaavina tai hyödyntämisen tuloksia ja vaikutuksia arvioivina osa-alueina.

Säätely sisältää kaiken tekoälyn toimintaympäristöön liittyvän lainsää-dännön ja ohjeistukset, joilla pyritään ohjaamaan tekoälyn kehitystä, omi-naisuuksia tai käyttöä.

Etiikan näkökulmalla tarkoitetaan tekoälyn kehitykseen, käyttöön ja loppu-tuloksiin liittyvää yleisesti koettua moraalialia, toiminnan eettisiä periaat-teita, lainkirjaimen lisäksi koettua oikeaa ja väärää sekä yleisiä arvoja.

Talouden ja työelämän näkökulmassa pääpaino on tekoälyn käytön tulos-ten arvioinnissa ja siinä, miten se vaikuttaa ihmisten arkeen, työn tekemi-seen, työskentelytapojen ja osaamisen murrokseen, tehokkuusajatteluun sekä yleiseen talouteen ja sen muutoksiin.

Tietosuoja ja -turvan näkökulma kulkee tiiviissä yhteistyössä säätelyn kanssa ja voisi olla myös sen osana. Tietosuoja ja -turva on kuitenkin nos-tettu omaksi näkökulmakseen, sillä mallia luotaessa koettiin, että tietosuo-jaan kuuluvat sen riippumaton tutkimus, käyttäjien tiedottaminen ja itse-näinen vuorovaikutus muiden näkökulmien kanssa.

Ympäristövaikutukset, erityisesti energiankulutus, tunnistetaan yleisesti tekoälyn merkittävimmäksi konkreettiseksi haittavaikutukseksi, negatiivis-ten käyttömahdollisuuksien lisäksi. Tästä syystä ne on perusteltua nostaa omaksi näkökulmakseen tekoälyn toimintaympäristöä tutkittaessa.

Ytimen eli arvoketjun osat ovat riippuvaisia toistensa olemassaolosta, jotta ne voivat muodostaa toimivan kokonaisuuden, mutta ulkokehällä olevia näkökulmia ei käytännössä tarvita toimivan tekoälyratkaisun toteuttamiseen. Kokonaistarkastelun kannalta nämä näkökulmat ovat kuitenkin olennainen osa toimintaympäristöä, joten myös ne tulisi ehdottomasti ottaa huomioon. Näkökulmat ovat tiiviissä vuorovaikutuksessa paitsi ytimen myös toistensa kanssa. Esimerkiksi sääntelyllä voidaan ohjata ilmastovaiikutuksia ja työelämän käyttötapoja, kun taas etiikka vaikuttaa sääntelyyn ja sen kautta arvioidaan myös tietosuojaa ja työelämän mahdollisuuksia. Tässä selvityksessä keskitytään tekoälyn ympäristövaikutusten näkökulmaan.

3 Tekoälyn ympäristövaikutukset

Tekoälyn vaikutuksia voidaan arvioida jalanjäljen ja kädenjäljen käsitteiden avulla. Ympäristönäkökulmasta jalanjäljellä tarkoitetaan toiminnan aiheuttamia negatiivisia vaikutuksia, kuten kuormitusta ympäristölle ja ilmastolle. Merkittävä jalanjälkivaikutus on esimerkiksi tekoälyn vaatimalla energiankulutuksella, josta aiheutuu päästöjä. Kädenjäljellä tarkoitetaan tekoälyn käytön positiivisia vaikutuksia, kuten ilmastonäkökulmasta esimerkiksi tekoälyratkaisuihin perustuvaa energiaverkkojen tehokkuuden parantamista tai laajojen logistiikkaketjujen optimoimista päästöjen pienentämiseksi.

Sekä jalanjäljen että kädenjäljen osalta on tärkeää erottaa toteutuneet vaikutukset tulevaisuuden potentiaalista. Vain toteutuneita vaikutuksia voidaan mitata ja todentaa, mutta tulevaisuus riippuu siitä, miten kaikki potentiaaliset mahdollisuudet toteutuvat ja millä tavalla. Tekoälyn osalta nykyinen energiankulutus, sovellukset ja investoinnit ovat toteutuneita vaikutuksia, kun taas tulevaisuuden visiot ovat ennen toteutumistaan vain potentiaalia, jonka toteutumisesta ei ole varmuutta.

3.1 Tekoälyn jalanjälki

Ilmastovaikutuksia syntyy läpi tekoälyn arvoketjun tuotannosta käyttöön. Tekoälysovellukset toimivat pääasiassa datakeskusten kautta, ja datakeskukset tarvitsevat valtavasti materiaaleja ja energiaa. Esimerkiksi yksi kilo tietokonekomponentteja vaatii 400 kiloa raaka-aineita¹⁷. Tietotekniikassa tarvitaan harvinaisia maamineraaleja, joiden louhintaan liittyy lukuisia ympäristö- ja ihmisoikeusongelmia. Yksiselitteisen vastuullista elektroniikkaa ei ole, ja datakeskusten kohdalla näkyvyys hankintaketjun vastuullisuu- teen voi hämärtyä, kun myytävänä ei ole fyysinen laite tai esine vaan

¹⁷ UNCTAD. (2024). Digital Economy Report 2024 - Shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future. <https://unctad.org/system/files/official-document/der2024_en.pdf>.

palvelu, joka on tallennustilaa, prosessointikapasiteettia tai näiden päällä toimiva tekoälysovellus. Myös yleisimmät tietotekniikassa käytetyt raaka-aineet, kuten pii, teräs ja alumiini, kuluttavat ilmastoa ja luontoa. Datakeskusten infran ja kiinteistöjen rakentaminen ja ylläpito sekä kaikkeen tähän liittyvä logistiikka tuottavat nekin päästöjä, joskin niiden osuus on pieni verrattuna datakeskusten komponenttien valmistuksen ja käytön päästöihin.

Elinkaarensa lopussa datakeskusten komponentit päätyvät elektroniikkajätteeksi. Globaalisti vain reilu viidennes kaikesta elektroniikkajätteestä kierrätetään asianmukaisesti, ja loput päätyvät kaatopaikoille tai luontoon, missä jäte aiheuttaa monenlaisia ongelmia ihmisille ja ekosysteemeille. Miljoonat ihmiset globaalin etelän maissa¹⁸ altistuvat elektroniikkajätteen dumpkauksen takia elohopealle, lyijylle ja muille myrkyille. Elektroniikkajätteen määrä on maailmanlaajuisesti jyrkässä kasvussa.¹⁹ Tämä johtuu pääosin sähköautojen tuotannon lisääntymisestä, mutta myös tekoälyn suosion kasvu lisää elektroniikkajätteen määrää.

Tekoäly kuluttaa paljon vettä kolmella eri tavalla²⁰: datakeskusten vesijäähdytyksen, kulutetun energian tuotannon ja komponenttien valmistuksen myötä. Kalifornian yliopistossa on arvioitu, että 5–50 kysymystä sisältävä keskustelu ChatGPT-3:n kanssa kuluttaa puolen litran pullon verran vettä²¹, ja esimerkiksi tulevan ChatGPT-5:n osalta luku on luultavasti suurempi. On arvioitu, että tekoäly kuluttaisi vuonna 2027 4,2–6,6 miljardia kuutiometriä vettä vuosittain, mikä vastaa yli 20-kertaisesti koko Suomen kotitalouksien kuluttamaa vesimäärää. Pelkästään yhden mikrosirun tuottaminen vaatii kahdeksan tuhatta litraa ultrapuhdasta vettä. Globaalisti vesi on kaikkein niukin raaka-aine. WWF:n mukaan 1,1 miljardilla ihmisellä ei ole pääsyä puhtaan veden lähteeseen²² ja vuonna 2025 jo kaksi kolmasosaa ihmiskunnasta kärsii ajoittaisesta vesipulasta.

Ympäristön kannalta tekoälyn merkittävin piirre on energiankulutus. Tekoälyä pyörittävät datakeskukset kuluttavat valtavasti sähköä, jonka tuotanto kiihdyttää ilmastonmuutosta ja luontokatoa sekä saastuttaa luontoa. Noin 40 prosenttia sähkönkulutuksesta tulee palvelinten suorasta energiantarpeesta, 40 prosenttia jäähdytyksestä²³ ja loput muun teknologian ja infran energiankulutuksesta. Yli puolet maailman sähköstä tuotetaan

¹⁸ WHO. (2024). Electronic waste (e-waste). <[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electronic-waste-\(e-waste\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electronic-waste-(e-waste))>.

¹⁹ WHO. (2020). Global e-waste surging: up 21 per cent in 5 years. <<https://www.who.int/news/item/28-06-2020-global-e-waste-surging-up-21-per-cent-in-5-years>>.

²⁰ OECD. (2023). How much water does AI consume? The public deserves to know. <<https://oecd.ai/en/wonk/how-much-water-does-ai-consume>>.

²¹ AP News. (2023). Artificial intelligence technology behind ChatGPT was built in Iowa — with a lot of water. <<https://apnews.com/article/chatgpt-gpt4-iowa-ai-water-consumption-microsoft-f551fde98083d17a7e8d904f8be822c4>>.

²² WWF. (2024). Water scarcity. <<https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>>.

²³ IEA. (2024). Electricity 2024 - Analysis and forecast to 2026. <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/6b2fd954-2017-408e-bf08-952fdd62118a/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>>.

fossiilisia polttoaineita polttamalla²⁴. Vaikka fossiilivapaan energian vaikutukset ilmastoon ja luontoon ovat murto-osan polttoon perustuvan energiantuotannon vaikutuksista, kaikki energiantuotanto kuormittaa ympäristöä.

On arvioitu, että kysymys ChatGPT:n varhaisemmalta versioltä kulutti kymmenen kertaa enemmän sähköä²⁵ kuin vastaava kysymys Googlelta. Tekoälyn vaatima energia näkyykin esimerkiksi IT-jättien päästöjen kasvuna: Microsoftin päästöt nousivat vuonna 2024 jopa 30,9 prosenttia vuoden 2020²⁶ tasosta, ja Googlen päästöt lisääntyivät vastaavassa ajassa peräti 66,3 prosenttia²⁷. Globaalisti datakeskukset tuottavat yhdessä kryptovaluuttojen kanssa noin 2 prosenttia kaikesta energiankulutuksesta. Kansainvälisen energiajärjestön arvion mukaan²² datakeskusten energiankulutus kaksinkertaistuu vuoteen 2026 mennessä vuoden 2022 tasosta pitkälti juuri tekoälyn suosion kasvun vuoksi. Joidenkin tulevaisuuden arvioiden mukaan generatiivisen tekoälyn energiankulutus tulee jopa 80-kertaistumaan²⁸ vuoteen 2030 mennessä vuoden 2024 arvioidusta tasosta. Tämä tarkoittaisi, että pelkästään tekoälysovellukset muodostaisivat 2–3 prosenttia globaalista energiankulutuksesta.

²⁴ IEA. (2024). Electricity. <<https://www.iea.org/energy-system/electricity>>.

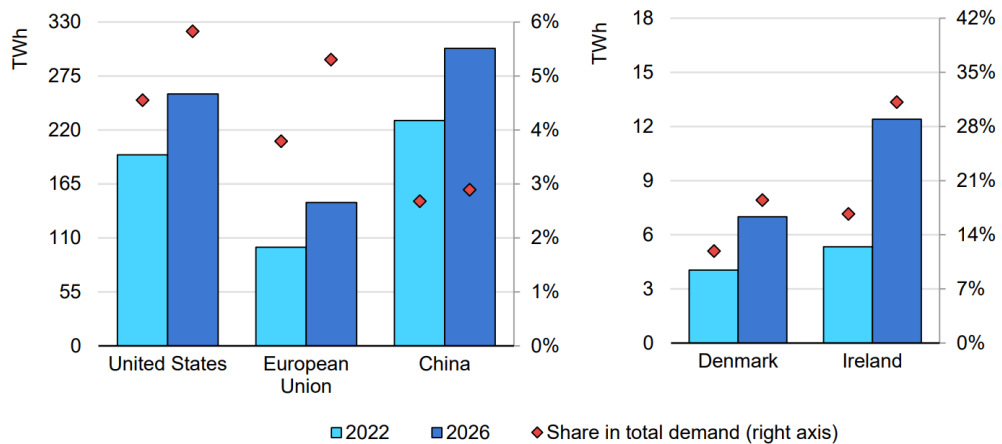
²⁵ EPRI. (2024). Powering Intelligence - Analyzing Artificial Intelligence and Data Center Energy Consumption. <<https://www.epri.com/research/products/3002028905>>.

²⁶ Microsoft. (2024). 2024 Environmental Sustainability Report. <<https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RW1IMjE>>

²⁷ Google. (2024). Environmental Report 2024. <<https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf>>.

²⁸ Forbes (2024). AI Power Consumption: Rapidly Becoming Mission-Critical. <<https://www.forbes.com/sites/bethkindig/2024/06/20/ai-power-consumption-rapidly-becoming-mission-critical/>>.

Estimated data centre electricity consumption and its share in total electricity demand in selected regions in 2022 and 2026



IEA. CC BY 4.0.

Kuva 2. Datakeskusten arvioitu energiakulutus ja osuus kokonaisenergiatarpeesta valikoiduilla alueilla²²

Samaan aikaan kun nykyisen tekoälykehityksen ja -käytön energiatarpeen voidaan todeta kasvavan, ja kasvun arvioidaan edelleen jatkuvan tulevaisuudessa, Kiinalaisen Deepseek-sovelluksen julkaisutiedot²⁹ antavat viitettä, että laajoja kuluttajille suunnattuja tehokkaita tekoälysovelluksia voidaan toteuttaa myös huomattavasti pienemmällä energia- ja laitteistomäärällä. Julkaisutiedot sisältävät kuitenkin vielä epävarmuutta³⁰, joten on vielä liian aikaista arvioida, että antaako tämä viitteitä tekoälykehityksen laajemmasta suunnasta lähitulevaisuudessa.

Koska pilvipalvelun käyttäjä on yleensä eri paikassa kuin datakeskus, on datakeskuksissa tärkeä huolehtia keskeytymättömästä palvelusta myös sähköverkon häiriöiden aikaan. Varavirtageneraattorit ja akustot lisäävät datakeskusten ympäristökuormitusta, ja niiden suosion voidaan olettaa kasvavan sääolosuhteille alttiin uusiutuvan energian yleistyessä. Datakeskusten kasvava sähköntarve voi myös pahentaa sähköverkkojen kuormitusta, mikä on monin paikoin ongelma kasvavan sähkönkulutuksen ja uusiutuvan energian yleistymisen myötä.

Kaikki edellä mainitut vaikutukset koskevat myös tekoälyn luomis- ja koulutusvaiheita. Tekoälymallin luomisvaihe ja kehitystyö tuottavat tutkijoiden arvion mukaan jopa satoja miljoonia kertoja³¹ suuremmat päästöt yksittäiseen mallin tekemään päätelmään verrattuna. Suosituimpien

²⁹ NDTV. (2025). <<https://www.ndtvprofit.com/technology/ai-and-power-consumption-deepseek-the-green-alternative-to-openai-meta-ai-grok>>.

³⁰ Financial Times. (2025). OpenAI says it has evidence China's DeepSeek used its model to train competitor. <<https://www.ft.com/content/a0dfedd1-5255-4fa9-8ccc-1fe01de87ea6>>.

³¹ Luccioni, A. S., Jernite, Y. & E. Strubell. (2024). Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment?. <<https://arxiv.org/pdf/2311.16863>>.

tekoälysovellusten kohdalla tämä määrä päätelmiä tulee kuitenkin helposti täyteen jo muutaman viikon käytöllä.

Tekoälykehityksestä on harvoin tarkkaa julkista dataa saatavilla, ja uusimmat julkaisut saattavat muuttaa tilannetta, mutta on arvioitu³², että edistyneimpien tekoälymallien (esimerkiksi GPT-4, DALL-E, Gemini 1.0 Ultra) kehittämisen kustannukset 2,4-kertaistuvat vuosittain. Tämä tarkoittaa sitä, että laajimpien mallien kehitystyö maksaa vuonna 2027 noin miljardi dollaria. Tästä summasta 49–67 prosentin arvioidaan kuluvan laitehankintoihin ja -kehitykseen, 2–6 prosentin energiaan ja loppusumman henkilöstökuluihin. Tämä tarkoittaisi, että kaikkein edistyneimpien mallien tuotekehitys kuluttaisi 20–60 miljoonan dollarin edestä energiaa vuosittain. Summa vastaa keskikokoisen suomalaisen kaupungin vuosittaista sähkönkulutusta ja on kaukana tekoälyn käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Myös akateeminen tutkimus³³ viittaa siihen, että valtaosa tekoälyn ympäristövaikutuksista tulee käytön aikana.

Joissain lähteissä on arvioitu, että tekoälymallien kehittäminen veisi jopa puolet²⁷ kaikesta tekoälysovelluksiin liittyvästä energiankulutuksesta. Joidenkin kapeamman sovellusalan tekoälysovellusten kohdalla tämä voikin pitää paikkansa, jos käyttö on hyvin rajoitettua.

3.2 Tekoälyn kädenjälki

Kädenjäljellä tarkoitetaan tekoälyn positiivisia ympäristövaikutuksia. Euroopan neuvosto³⁴ on tunnistanut yleiset tekoälyn hyötykategoriat, jotka palvelevat myös ympäristövaikutusten näkökulmaa: prosessitehokkuuden parantuminen, suurempi luovuus, pienempi virheriski, vaarallisten tehtävien toteuttaminen ja maailmanlaajuisten haasteiden ratkaiseminen.

Globaalien ilmastoennusteiden tarkentuminen mainitaan usein yhtenä merkittävänä tekoälyn kädenjälkivaikutuksena. Vaikutus voi olla suoraan päästöjä vähentävä, kuten esimerkiksi ennusteiden tarkentumisen myötä optimoitu uusiutuvan energian³⁵ tuotanto ja sähköverkkojen kuormitus. Myös tulvien ja metsäpalojen ennustaminen saattaa tarkentua tarkempien ilmastoennusteiden myötä. Vaikutus voi olla myös tulevaan muutokseen sopeuttava, kuten tulevaisuuden elinkelvottomien alueiden tunnistamisen ja niihin varautuminen ennakkoon³⁶. Myös sadonkorjuun tehostumisella ja

³² Epoch AI. (2024). How Much Does It Cost to Train Frontier AI Models?. < <https://epoch.ai/blog/how-much-does-it-cost-to-train-frontier-ai-models>>.

³³ Desislavov, R., Martínez-Plumed, F. & J. Hernández-Orallo. (2023). Trends in AI inference energy consumption: Beyond the performance-vs-parameter laws of deep learning. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 38. Elsevier.

³⁴ European Council. (2025). Benefits and risks of AI. < <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/benefits-and-risks-of-ai/>>.

³⁵ Greenly. (2024). How can artificial intelligence help tackle climate change? <<https://greenly.earth/en-us/blog/ecology-news/how-can-artificial-intelligence-help-tackle-climate-change>>.

³⁶ United Nations. (2023). Explainer: How AI helps combat climate change. < <https://news.un.org/en/story/2023/11/1143187>>.

satohävikin vähentämisellä³⁷ tarkempien ilmastoennusteiden myötä voidaan saavuttaa positiivisia ilmastovaikutuksia, ja esimerkiksi sen seurauksena viljelymaata voidaan palauttaa hiilinieluiksi.

Tekoälyn mahdollistamaa päästövähennyspotentiaalia voidaan tunnistaa³⁸ eri toimitusketjujen optimoinnissa, aina jakelumenetelmistä jätteenkäsittelyyn ja logistiikan reittisuunnitteluun. Muoti- ja tekstiiliala aiheuttaa merkittävää globaalia ympäristökuormitusta kasvihuonekaasujen, vedenkulutuksen ja jätteiden muodossa, ja vain noin 1 % vaatteista kierrätetään uusiksi vaatteiksi³⁹. Ylikulutuksen ja muiden haasteiden perusongelmia ei tekoälyllä suoraan pystytä ratkaisemaan, mutta myös muotialan³⁵ logistiikkaketjujen, ennusteiden ja hävikin päästöjä voitaisiin tekoälyn avulla vähentää.

BCG (Boston Consulting Group) on arvioinut⁴⁰ Googlen tilaamassa raportissa, että tekoälysovellusten suurin päästövähennyspotentiaali on juuri ilmastomallien ja päästölaskennan tarkentamisessa, energiatehokkuuden parantamisessa sekä luontoperäisten hiilinielujen laskemisessa. BCG:n arvion mukaan tekoälysovelluksilla on potentiaalia vähentää globaaleja päästöjä 5–10 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. On kuitenkin tärkeää huomioida, että potentiaalin osalta on merkittävää, miten se tulevaisuudessa toteutuu.

Tekoäly voi auttaa etäkokousten tai virtuaalitodellisuuden teknologioiden parantamisessa, mikä voi lisätä käyttömahdollisuuksia sekä -mukavuutta ja vähentää matkustamisen tarvetta. Etäyhteydet mahdollistavat päästövähennyksiä paitsi liikematkustuksen vähenemisen myötä, mutta myös työmatkaliikenteen vähenemisen kautta⁴¹. Toisaalta, etätyömahdollisuus saattaa myös lisätä vapaa-ajan matkustusta, kun työtä voi tehdä esimerkiksi lomakohteissa, joihin aikaisemmin matkustettiin vain lomalla. Matkustuspäätöksiin vaikuttavat myös taloudelliset näkökulmat sekä ajankäytön tehokkuus. Vaikka matkustuksesta on saatavissa tilastoja, ei niistä pystytä erottelemaan juuri tekoälyn mahdollistamaa vähennystä, joten suoria johtopäätöksiä esimerkiksi tekoälyn käytön lisääntymisen ja matkustuksen vähenemisen välille ei voida muodostaa.

³⁷ Dhal, S. B & D, Kar. (2024). Transforming Agricultural Productivity with AI-Driven Forecasting: Innovations in Food Security and Supply Chain Optimization. *Forecasting* 2024, 6(4), 925-951. < <https://www.mdpi.com/2571-9394/6/4/46>>.

³⁸ Green City Times. (2025). AI to Improve Supply Chain Sustainability. <<https://www.greencitytimes.com/ai-to-improve-supply-chain-sustainability/>>.

³⁹ European Parliament. (2020). The impact of textile production and waste on the environment (infographics). <<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographics>>.

⁴⁰ Boston Consulting Group. (2023). How AI Can Speed Climate Action. <<https://www.bcg.com/publications/2023/how-ai-can-speedup-climate-action>>.

⁴¹ MIT News. (2024). Has remote work changed how people travel in the US?. <<https://news.mit.edu/2024/has-remote-work-changed-how-people-travel-0409>>.

3.3 Tekoälyn nettovaikutus

Tekoälykehityksessä ja -hyödyntämisessä moni asia on epävarma, ja tekoäly tulee varmasti kehittymään vielä kaikilla toimialoilla sellaisiin suuntiin, joita ei tällä hetkellä osata kuvitellakaan. Tekoäly kuormittaa ympäristöä monin tavoin, mutta voiko sen kädenjälki ylittää haitat, eli voisiko tekoälyn nettovaikutus olla positiivinen?

Kun huomioidaan, että tekoälyn energiankulutuksen on arvioitu moninkertaistuvan vuosikymmenen loppuun mennessä, voivat pelkästään energiankulutuksen päästöt ylittää tekoälyn ilmastohyödyt, vaikka tekoälyn koko arvioitu potentiaali ilmastomuutoksen hillitsemiseksi saataisiin hyödynnettyä täysimääräisesti. Lopullinen nettovaikutus riippuu tekoälyn käyttötavoista, energialähteistä ja siitä miten hyvin tekoälyn kädenjälkipotentiaalia pystytään skaalautuvasti hyödyntämään. Lopputuloksen etumerkki riippuu siis siitä, kuinka hyvin osataan minimoida haitat ja maksimoida hyödyt. Myös Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisema tieto- ja viestintäteknologia-alan (ICT-ala) ilmasto- ja ympäristöstrategia⁴² painottaa kokonaisuuden merkitystä määrittelemällä toimenpiteitä koko arvoketjuun: ohjelmistojen ja palveluiden energianäkökohtien suunnitteluun, hankintoihin ja ympäristöystävällisten ratkaisujen yleistämiseen.

Myös teknologian energiatehokkuudella on merkittävä rooli päästöjen muodostumisessa, mutta energiatehokkuuden ilmastohyötyjen rinnalla on tärkeää tarkastella myös energiankulutuksen määrällistä kehitystä kokonaisuudessaan. Jevonsin paradoksin mukaisesti tehokkuuden parantaminen on läpi ihmiskunnan historian lähes poikkeuksetta johtanut kyseisen teknologian suurempaan käyttöön ja siten syönyt vähintään osan hyödyistä tai useimmiten ylittänyt ne.

4 Käyttäjävalintojen vaikutus tekoälyn ympäristövaikutuksiin

Tekoäly on monille organisaatioille edelleen uusi ja potentiaalinen työkalu, jonka käyttöönotto voi herättää suuria odotuksia mutta myös kysymyksiä. Sen tarjoamat käyttömahdollisuudet ja vaikutukset jokapäiväiseen työhön ovat vielä monelta osin tuntemattomia, mikä saattaa tehdä tekoälyn hyödyntämisestä haastavaa. Tämänhetkisen tiedon valossa on kuitenkin valintoja, joita tekoälyn hyödyntäjä voi tehdä sisällyttäessään tekoälyä työntekoon tai muuhun toimintaansa. Valinnat voivat auttaa rakentamaan perustan tarkoituksenmukaiselle, kestäväälle ja tehokkaalle tekoälyn käytölle.

Ympäristönäkökulmasta tekoälykäytön nettovaikutusta voidaan ohjata kestävään suuntaan kasvattamalla kädenjälkivaikutusta ja pienentämällä

⁴² Liikenne- ja viestintäministeriö. (2021). ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategia. < https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162910/LVM_2021_04.pdf>.

jalanjälkivaikutusta. Kädenjälkeä voi kasvattaa käyttämällä tekoälyä sel-laisiin tarkoituksiin, joilla on suora positiivinen ympäristövaikutus. Yksilö-käytössä laajamittaisia kädenjälkihyötyjä ei välttämättä ole saatavilla, mutta organisaatioilla tällaisia mahdollisuuksia on jo merkittävästi enem-män. Koska tekoälykäytön lähtökohta on kuitenkin usein joku muu kuin ilmastohaasteiden ratkaiseminen, keskitytään tässä selvityksessä valintoi-hin, jotka tähtäävät tekoälyn käytöstä aiheutuvan ympäristöjalanjäljen pienentämiseen.

Käytön volyyymi luonnollisesti kasvaa organisaation koon ja käyttäjien määrän mukana, jolloin myös päätösten vaikuttavuus ilmastoon ja ympä-ristöön kasvaa. Voidaan ajatella, että yksittäisen henkilön on suotavaa harjoitella tekoälyn käyttöä kerryttääkseen osaamistaan ja lunastaakseen tekoälyn käytön hyötyodotukset tulevaisuudessa, mutta myös ymmärtää käytön vaikutukset ympäristöön. Onkin järkevää tehdä tutustumista ja ko-keiluja yksilötasolla, jotta organisaatiotasolla osattaisiin punnita tekoäly-päätöksiä huolella ja tunnistaa niiden vaikutukset, sillä yhden organisaat-ion systemaattisen ja laajan tekoälykäytön vaikuttavuus ilmastoon on moninkertainen yksilön vaikuttavuuteen nähden.

Yleisesti voidaan todeta, että eniten negatiivisia ympäristövaikutuksia tuottavat⁴³ uutta sisältöä generoivat tehtävät, kuten kuvien, tekstin, yh-teenvetojen tai kuvatekstien tuottaminen. Kuviin liittyvät tehtävät ovat yleisesti ottaen energiasaastaisempia kuin tekstiin liittyvät tehtävät. Liik-kuva kuva puolestaan vaatii enemmän energiaa kuin staattinen kuva. Yleiskäyttöiset tekoälymallit kuluttavat samaan tehtävään enemmän ener-giaa kuin tehtävään varta vasten rakennetut mallit. Kehittyneemmät mallit tuottavat yleensä enemmän negatiivisia ympäristövaikutuksia kuin varhais-emmat versiot.

4.1 Tarvitsetko tekoälyä?

Ennen kuin ryhdytään hyödyntämään tekoälyä, olisi aiheellista pysähtyä pohtimaan, onko sen käyttö kyseisessä tilanteessa aiheellista. Tällä tavoin voidaan varmistaa, että tekoälyä käytetään tilanteissa, joissa se tuo lisä-arvoa eikä sen käyttö ole tarpeetonta tai ylimitoitettua. Yksittäisen käyttä-jän kohdalla kokeilut ovat suotavia osaamisen ja ymmärryksen kartutta-miseksi, mutta laajamittaista toistuvaa käyttöä turhiin tehtäviin tulisi vält-tää. Organisaatiotasolla tämä alkuvaihe tarkoittaa yksilöoppien ja -koke-musten hyödyntämistä, koko toimintaympäristön huomioivaa kriittistä harkintaa suunnittelutyössä, ja hyödyttömiksi todettujen tekoälyjärjestel-mien alasajoa jatkokäytössä.

⁴³ Luccioni, A. S., Viguiet, S. & A-L, Ligozat. (2022). ESTIMATING THE CARBON FOOTPRINT OF BLOOM A 176B PA-RAMETER LANGUAGE MODEL. < <https://arxiv.org/abs/2211.02001> >.

4.2 Valitse mieluummin rajattu sovellus kuin laaja yleismalli

Jos tekoälyn käyttö on tunnistettu tarpeelliseksi tehtävän kannalta, on seuraava askel pohtia, mikä tekoäly vastaa parhaiten tunnistettuun tarpeeseen. Laajat tekoälymallit pystyvät yksinään tukemaan käyttäjänsä monissa tehtävissä, kuten sisällön tuottamisessa, teknisten haasteiden ratkaisemisessa, tiedonhankinnassa ja prosessisuunnittelussa. Nämä resurssit ja kyvykkyys eivät kuitenkaan tule ilmaiseksi.

Kielimallin laajuus vaikuttaa koulutuksen ja käytön energiankulutukseen, mutta myös toisiaan vastaavien tekoälyjen ympäristövaikutuksissa on eroja. BLOOM on avoimen lähdekoodin kielimalli, jonka prosesseista saadaan tarkkaa tietoa, ja GPT-3 on Open AI:n kolmas versio. Kielimallien laajuutta kuvataan parametreilla. BLOOM-kielimallissa niitä on 176 miljardia ja GPT-3-kielimallissa 175 miljardia, joten laajuudet ovat hyvin lähellä toisiaan. Kun BLOOMia verrattiin GPT-3-kielimalliin⁴², havaittiin, että merkittävimmät erot tulevat energiankulutuksesta ja energian alkuperästä. BLOOMin energiankulutus on vain noin 34 prosenttia ja energiatuotannon päästöt noin 14 prosenttia GPT-3:n vastaavista lukemista. Pienissä kielimalleissa saattaa olla vain muutama miljoona parametria, kun taas GPT-4:ssä on 1 800 miljardia parametria.

Sillä on siis paljonkin merkitystä, mitä tekoälyä käyttää. Sen sijaan, että hyödyntää laajoja tietomalleja, on hyvä hyödyntää kohdennettuja tekoälyjä. Esimerkiksi kääntämiseen voi käyttää DeepL:ää. Valitettavasti käyttäjällä ei useinkaan ole näkyvyyttä siihen, mitä kaikkia sovelluksia taustalla käytetään, vaan jokin kohdennettu sovellus saattaa hyödyntää laajempaa kielimallia taustalla. Tästä huolimatta kannattaa peukalosääntönä käyttää kohdistettua sovellusta, sillä on todennäköistä, että sen energiankulutus on laajaa mallia pienempi.

4.3 Suunnittele tarvittavat kehotteet

Kun tarkoitukseen soveltuvien tekoäly on tunnistettu, seuraavaksi tulee miettiä, mitä siltä tarkalleen ottaen haluaa ja kuinka haluttuun lopputulokseen päästään mahdollisimman vähäisellä määrällä kehoitteita. Kun tekoälyn merkittävimmät ympäristövaikutukset liittyvät energiankäyttöön, on hyvä miettiä, kuinka paljon erilaiset toiminnot kuluttavat energiaa. Esimerkiksi yksittäinen kehote on energiatehokkaampi⁴⁴ kuin pitkä keskusteluketju.

Tekoälyn kehittämiseen ja käyttöön liittyy olennaisesti käsite kehotesuunnittelu (englanniksi Prompt Engineering). Yksinkertaistettuna tällä

⁴⁴ Moussaid, A. (2024). Investigating the Impact of Prompt Engineering Techniques on Energy Consumption in Large Language Models. >https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/190438/moussaid_aicha.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

tarkoitetaan toimintaa, jolla pyritään optimoimaan se, mitä tekoälyn halutaan tuottavan⁴⁵. Esimerkiksi napakka ja tarkka kehote ilman esimerkkejä (Zero-shot Prompting) on energiatehokkaampi kuin kehote, jossa rakennetaan lopputulosta monen kehotteen ja vaiheen kautta (Chain of Thought Prompting). Se, kuinka monta kehotetta on tarpeellista käyttää, liittyy myös aiheeseen. Monimutkainen aihe voi vaatia tekoälyn opettamista, jolloin täytyy muodostaa pidempiä kehotetekjuja. Tällöin on hyvä luonnostella ja optimoida etukäteen suunnitelma siitä, millaisilla kehoitteilla päästään haluttuun lopputulokseen. Viimeisimmissä tutkimuksissa⁴⁶ on huomattu, että lisäämällä kehoitteisiin sopivia tunnisteita (englanniksi Tag), voidaan eri kehoitteilla suoritettujen tehtävien päästöjä ja tarkkuutta parantaa merkittävästi, tutkimuksessa 7-99 % kehotetyypistä riippuen. Vastaavasti tunnisteiden käyttö saattoi myös lisätä energiankulutusta, ellei niiden käyttöä suunniteltu huolella.

Yksi nouseva tekoälyn kehityssuunta on päättelevä toimintamalli⁴⁷ (Reasoning Model). Jos edellä lopputulos rakennettiin useiden kehoitteiden kautta vaiheittain, päättelevä toimintamalli tekee tämän itse yhden kehotteen pohjalta. Siinä ei pelkästään arvioida sanojen tilastollista esiintyvyyttä opetusmateriaalissa, vaan pilkotaan monimutkainen kehote pienemmiksi helpommiksi tehtäviksi, joita suoritetaan vaiheittain. Prosessi vastaa perinteistä opetusmateriaaliin perustuvaa kielimallia enemmän ”tavallista” ihmisen oppivaa ja analysoivaa ajattelumallia (Chain Of Thought). Päättelevä toimintamalli pystyy käytännössä arvioimaan omaa vastaustaan, ennen lopullista käyttäjälle näytettävää vastausta. Tämä ”ajattelukyky” ei kuitenkaan tule ilmaiseksi, vaan edellyttää tietokonelaskentaa, joka kuluttaa energiaa. Päättelevistä toimintamalleista on kirjoitushetkellä varsin rajallisesti tarkkaa tietoa saatavilla, mutta tekoälyn tutkimusryhmä Epoch.Ai on arvioinut⁴⁸, että nykyisten päättelevien mallien energiankulutus tekstisisällön osalta olisi noin 2,5-kertainen perinteiseen kielimalliin verrattuna. Vertailu ei ole ihan yksinkertaista sillä tulokset ja toimintamallitkin ovat erilaisia. On myös mahdollista, että kehityksen myötä päättelevää toimintamallia hyödyntämällä voitaisiin käyttää pienempää opetusmateriaalia, joka saattaisi kielimallista ja käytöstä riippuen johtaa pienemmän kokonaiskulutukseen.

Vaikka nykyiset sovellukset osaavat itse muokata kehoitteita yksinkertaisemmiksi, peukalosääntönä voidaan pitää, että selkeä ja yksinkertainen lähtökehote on ympäristövaikutuksiltaan parempi, sillä se vaatii

⁴⁵McKinsey & Company. (2024). What is prompt engineering?. < <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-prompt-engineering>>.

⁴⁶ Rubei, R., Moussaid, A., Di Sipio, C. & D. Di Ruscio. (2025). Prompt engineering and its implications on the energy consumption of Large Language Models. <<https://arxiv.org/pdf/2501.05899>>.

⁴⁷ Big Data Wire. (2025). What Are Reasoning Models and Why You Should Care. < <https://www.bigdatawire.com/2025/02/04/what-are-reasoning-models-and-why-you-should-care/>>.

⁴⁸ Epoch Ai. (2025). How much energy does ChatGPT use? <<https://epoch.ai/gradient-updates/how-much-energy-does-chatgpt-use>>.

vähemmän jatkoprosessointia ja siten kuluttaa vähemmän energiaa. Myös pääättelevät toimintamallit toimivat parhaiten selkeillä kehotteilla⁴⁹.

Kuvamateriaalin kohdalla korkeampi resoluutio on energiantensiivisempää, joten ennakkoon voi määrittää sen, millainen resoluutio on käyttötarkoitusta varten riittävä. Kuvien muodostukseen tekoälyn avulla liittyy lisäksi samoja periaatteita kuin tekoälyn sanalliseen hyödyntämiseen. Mitä lyhyemmällä ja tiiviimmällä kehotteella pärjätään, sitä vähemmän energiaa kulutetaan.

5 Yhteenveto

Selvityksen alussa rakennettiin tekoälyn toimintaympäristön malli, jonka avulla hahmotettiin myös keskustelun olennaiset näkökulmat. Malli muodostuu atomin tapaan tekoälyn mahdollistavasta tiiviistä ytimestä ja sen ympärillä elektronien tapaan kiertävistä näkökulmista. Tämä toimintaympäristön atomimalli muodosti pohjan myös tälle selvitykselle.

Toimintaympäristön ydin muodostuu kokonaisuudelle välttämättömistä palasista; yhden palan puuttuessa toimivaa tekoälyekosysteemiä ei voi toteuttaa. Kiinteää ydintä kiertävät näkökulmat ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa sekä keskenään että ytimen kanssa. Näkökulmien keskinäiset painoarvot muodostavat kokonaisuuden tasapainon. Jos esimerkiksi etiikan merkitys kokonaisuudessa esiintyy hyvin heikkona, saattaa se samalla heikentää sääntelyn osuutta, kasvattaa ilmastovaikutuksia ja antaa tekoälyn käyttöön vapauksia, jotka puolestaan vaikuttavat työelämään. Vastaavasti, jos sääntelytoimenpiteet kasvavat suunnattoman suuriksi, saattavat tekoälyn positiiviset mahdollisuudet jäädä hyödyntämättä, mutta samalla sääntelyn ulottumattomissa olevat negatiiviset käyttömahdollisuudet ja ilmastovaikutukset jäävät voimaan. Etiikan ja yhteiskunnan näkökulmasta nämä olisivat luonnollisesti haitallisia vaikutuksia. Toimintaympäristön kokonaisuus ja sen ohjaaminen ovat siis yhteiskunnan päätettävissä.

Ytimen osat ovat teknisesti välttämättömiä tekoälyn toiminnalle, mutta kokonaisuus voi olla käyttökelpoinen myös ilman ydintä kiertäviä yhteiskunnallisia näkökulmia. Tekoäly ei kaipaa toimiakseen eettistä tarkastelua tai sääntelyä. Käytön lisääntyessä ja vaikutusten merkityksellisyyden kasvaessa on kuitenkin äärimmäisen tärkeää, että tekoälyn käyttöä arvioidaan ja ohjataan juuri toimintaympäristön kokonaisuuden sekä pitkän aikavälin vaikutusten tarkastelun pohjalta.

Varsinaisessa selvitysisällössä keskityttiin ilmasto- ja ympäristövaikutusten riskien ja mahdollisuuksien kartoittamiseen sekä tekoälyn kestävä käytön ohjeistuksen luomiseen. Selvityksen lopputuloksena on, että

⁴⁹ Open Ai. (2025). Reasoning models. <<https://platform.openai.com/docs/guides/reasoning#advice-on-prompting>>.

tekoällyn käyttö aiheuttaa merkittäviä haitallisia ympäristö- ja ilmastovai-
kutuksia energiankulutuksen, vedenkulutuksen sekä laitteistojen vaatiman
materiaalikulutuksen ja -kierrätyksen takia. Isoimmat tekoälykehittäjät ei-
vät julkaise yksityiskohtaisia tietoja malliensa energiakulutuksesta tai
muusta ympäristökuormituksesta, mutta selvitystuloksia on saatavilla
avoimen lähdekoodin alustojen ja julkiseen tietoon perustuvien asiantun-
tija-arvioiden avulla.

Energiankulutus on yhteydessä tekoällyn toimintaympäristön kaikkiin vai-
heisiin, mutta riippuu tekoällyn käytöstä, missä elinkaaren vaiheessa ener-
giaa kuluu kaikkein eniten. Tarkkaan rajatulla tekoälymallilla, jolla on pieni
määrä käyttäjiä, suurin osa energiasta saatetaan kuluttaa koulutukseen ja
tuotekehitykseen. Geneerisemmällä kuluttajakäyttöön suunnatuilla mal-
leilla koulutuksen päästöt ovat yhtä lailla merkittäviä, mutta miljoonat päi-
vittäiset käyttäjät nostavat käytön päästöt nopeasti moninkertaisiksi.

Vedenkulutuksen voidaan arvioida noudattavan energiankulutuksen
kanssa samankaltaista jakoperustetta, ja lisäksi tarvittavien elektroniikka-
komponenttien valmistaminen on erittäin vesi-intensiivistä.

Laitteiston aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat yhteydessä laitteistojen
uusimiseen ja vanhojen laitteiden jatkokäyttöön. Mitä harvemmin uusia
laitteistoja hankitaan ja mitä paremmin vanhoja voidaan hyödyntää, sitä
pienemmät ovat laitteistojen aiheuttamat kokonaispäästöt. Uusien laitteis-
tojen suhteellinen energiankulutus tuotettua laskentayksikköä kohden
saattaa päivityksessä pienentyä. Tämä on oleellista ja tärkeää kehitystä,
mutta samaan aikaan myös tekoällyn käyttö on lisääntynyt merkittävästi,
ja varsinaisten nettopäästöjen osalta tässäkin ratkaisevaa on kulutetun
kokonaisenergian määrä ja tuotantotapa.

Tekoällyn käyttöön liittyy myös positiivisia vaikutuksia, kuten logistiikka-
verkostojen ja energiaverkkojen optimointi sekä ilmastolaskenta, jotka
johtavat käyttökohteessaan suoraan pienempiin päästöihin tai muuten te-
hokkaampaan hyödyntämiseen. Potentiaalisia käyttökohteita ja niiden
mahdollistamia ympäristöhyötyjä on tunnistettu todella paljon, mutta po-
tentiaalin toteutumiselle ei ole aikatauluja tai täyttä varmuutta. Luonnon-
varojen ja energian kulutus tapahtuu osin etupainotteisesti, mutta lopulli-
nen tekoällyn nettovaikutus varmistuu vasta siinä vaiheessa, kun potenti-
aaliset hyödyt saadaan vietyä käytäntöön.

Tekoällyn käytön aikaisiin päästöihin voi vaikuttaa harkitsemalla tekoällyn
käytön todellista tarvetta, valitsemalla käyttöön laajuudeltaan riittävän
mutta ei turhan suuren sovelluksen ja käyttämällä mahdollisimman sel-
keitä kehoitteita, jotka tuottavat suoraan halutun tuloksen ilman ylimää-
räistä dataa. Yksittäinen henkilö voi kohtuullisen vapaasti kokeilla ja sel-
vittää tekoällyn mahdollisuuksia omassa ympäristössään, kunhan tunnistaa
myös valintojensa vaikutukset. Organisaatioiden tulisi kuitenkin harkita

tekoälypanostuksia ja niiden hyötyjä tarkkaan, sillä systemaattisen ja laajan käytön ilmastovaikutukset ovat luonnollisesti yksittäisen käyttäjän ko-keiluja suurempia.

6 Lähdeluettelo

1. Investopedia. (2024). The Turing Test: What Is It, What Can Pass It, and Limitations. <<https://www.investopedia.com/terms/t/turing-test.asp> .
2. Dartmouth. (2024). Artificial Intelligence Coined at Dartmouth. <<https://home.dartmouth.edu/about/artificial-intelligence-ai-coined-dartmouth>>.
3. Wisernotify. (2024). The Latest ChatGPT Statistics and User Trends (2025-2025). <<https://wisernotify.com/blog/chatgpt-users/>>.
4. There's An Ai For That. (2025). <<https://theresanaiforthat.com/>>.
5. Epoch Ai. (2024). Notable AI Models. <<https://epoch.ai/data/notable-ai-models>>.
6. Harvard business Review (2024). AI's Trust Problem. <<https://hbr.org/2024/05/ais-trust-problem>>.
7. MIT Technology review. (2023). Make no mistake—AI is owned by Big Tech. <<https://www.technologyreview.com/2023/12/05/1084393/make-no-mistake-ai-is-owned-by-big-tech> / >.
8. Microsoft. (2020). Microsoft will be carbon negative by 2030. <<https://blogs.microsoft.com/blog/2020/01/16/microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/>>.
9. Greenpeace. (2020). Microsoft, Google, Amazon – Who's the Biggest Climate Hypocrite? <<https://www.greenpeace.org/usa/microsoft-google-amazon-energy-oil-ai-climate-hypocrite/>>.
10. The Guardian. (2024). Data center emissions probably 662% higher than big tech claims. Can it keep up the ruse? <<https://www.theguardian.com/technology/2024/sep/15/data-center-gas-emissions-tech>>.
11. MIT Technology Review. (2024). Google, Amazon and the problem with Big Tech's climate claims <<https://www.technologyreview.com/2024/07/17/1095019/google-amazon-and-the-problem-with-big-techs-climate-claims/>>.
12. Techopedia. (2024). Top 10 Countries Leading in AI Research & Technology in 2025. <<https://www.techopedia.com/top-10-countries-leading-in-ai-research-technology>>.
13. European Union. (2024). REGULATION (EU) 2024/1689 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32024R1689>>.
14. Hugging Face. (2025). Announcing AI Energy Score Ratings. <<https://huggingface.co/blog/sasha/announcing-ai-energy-score>>.
15. Nasdaq. (2023). Diving Deep into the AI Value Chain. <<https://www.nasdaq.com/articles/diving-deep-into-the-ai-value-chain>>.
16. McKinsey. (2023). Exploring opportunities in the generative AI value chain. <<https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/exploring-opportunities-in-the-generative-ai-value-chain>>.

17. UNCTAD. (2024). Digital Economy Report 2024 - Shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future. <https://unctad.org/system/files/official-document/der2024_en.pdf>.
18. WHO. (2024). Electronic waste (e-waste). <[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electronic-waste-\(e-waste\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electronic-waste-(e-waste))>.
19. WHO. (2020). Global e-waste surging: up 21 per cent in 5 years. <<https://www.who.int/news/item/28-06-2020-global-e-waste-surging-up-21-per-cent-in-5-years>>.
20. OECD. (2023). How much water does AI consume? The public deserves to know. <<https://oecd.ai/en/wonk/how-much-water-does-ai-consume>>.
21. AP News. (2023). Artificial intelligence technology behind ChatGPT was built in Iowa — with a lot of water. <<https://apnews.com/article/chatgpt-gpt4-iowa-ai-water-consumption-microsoft-f551fde98083d17a7e8d904f8be822c4>>.
22. WWF. (2024). Water scarcity. <<https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>>.
23. IEA. (2024). Electricity 2024 - Analysis and forecast to 2026. <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/6b2fd954-2017-408e-bf08-952fdd62118a/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>>.
24. IEA. (2024). Electricity. <<https://www.iea.org/energy-system/electricity>>.
25. EPRI. (2024). Powering Intelligence - Analyzing Artificial Intelligence and Data Center Energy Consumption. <<https://www.epri.com/research/products/3002028905>>.
26. Microsoft. (2024). 2024 Environmental Sustainability Report. <<https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RW1IMjE>>
27. Google. (2024). Environmental Report 2024. <<https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf>>.
28. Forbes (2024). AI Power Consumption: Rapidly Becoming Mission-Critical. <<https://www.forbes.com/sites/bethkindig/2024/06/20/ai-power-consumption-rapidly-becoming-mission-critical/>>.
29. NDTV. (2025). <<https://www.ndtvprofit.com/technology/ai-and-power-consumption-deepseek-the-green-alternative-to-openai-meta-ai-grok>>.
30. Financial Times. (2025). OpenAI says it has evidence China's DeepSeek used its model to train competitor. <<https://www.ft.com/content/a0dfedd1-5255-4fa9-8ccc-1fe01de87ea6>>.
31. Luccioni, A. S., Jernite, Y. & E. Strubell. (2024). Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment?. <<https://arxiv.org/pdf/2311.16863>>.
32. Epoch AI. (2024). How Much Does It Cost to Train Frontier AI Models?. <<https://epoch.ai/blog/how-much-does-it-cost-to-train-frontier-ai-models>>.
33. Desislavov, R., Martínez-Plumed, F. & J. Hernández-Orallo. (2023). Trends in AI inference energy consumption: Beyond the performance-vs-parameter laws of deep learning. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 38. Elsevier.
34. European Council. (2025). Benefits and risks of AI. <<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/benefits-and-risks-of-ai/>>.

35. Greenly. (2024). How can artificial intelligence help tackle climate change?. <<https://greenly.earth/en-us/blog/ecology-news/how-can-artificial-intelligence-help-tackle-climate-change>>.
36. United Nations. (2023). Explainer: How AI helps combat climate change. <<https://news.un.org/en/story/2023/11/1143187>>.
37. Dhal, S. B & D, Kar. (2024). Transforming Agricultural Productivity with AI-Driven Forecasting: Innovations in Food Security and Supply Chain Optimization. Forecasting 2024, 6(4), 925-951. <<https://www.mdpi.com/2571-9394/6/4/46>>.
38. Green City Times. (2025). AI to Improve Supply Chain Sustainability. <<https://www.greencitytimes.com/ai-to-improve-supply-chain-sustainability/>>.
39. European Parliament. (2020). The impact of textile production and waste on the environment (infographics). <<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographics>>.
40. Boston Consulting Group. (2023). How AI Can Speed Climate Action. <<https://www.bcg.com/publications/2023/how-ai-can-speedup-climate-action>>.
41. MIT News. (2024). Has remote work changed how people travel in the US?. <<https://news.mit.edu/2024/has-remote-work-changed-how-people-travel-0409>>.
42. Liikenne- ja viestintäministeriö. (2021). ICT-alan ilmastoja ympäristöstrategia. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162910/LVM_2021_04.pdf>.
43. Luccioni, A. S., Viguier, S. & A-L, Ligozat. (2022). ESTIMATING THE CARBON FOOTPRINT OF BLOOM A 176B PARAMETER LANGUAGE MODEL. <<https://arxiv.org/abs/2211.02001>>.
44. Moussaid, A. (2024). Investigating the Impact of Prompt Engineering Techniques on Energy Consumption in Large Language Models. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/190438/moussaid_aicha.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
45. McKinsey & Company. (2024). What is prompt engineering?. <<https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-prompt-engineering>>.
46. Rubei, R., Moussaid, A., Di Sipio, C. & D. Di Ruscio. (2025). Prompt engineering and its implications on the energy consumption of Large Language Models. <<https://arxiv.org/pdf/2501.05899>>.
47. Big Data Wire. (2025). What Are Reasoning Models and Why You Should Care. <<https://www.bigdatawire.com/2025/02/04/what-are-reasoning-models-and-why-you-should-care/>>.
48. Epoch Ai. (2025). How much energy does ChatGPT use? <<https://epoch.ai/gradient-updates/how-much-energy-does-chatgpt-use>>.
49. Open Ai. (2025). Reasoning models. <<https://platform.openai.com/docs/guides/reasoning#advice-on-prompting>>.

7 Muita tiedonlähteitä

<https://promptengineering.org/>
<https://morethanmoore.substack.com/p/the-future-of-big-iron-telum-ii-and>
<https://www.stes.fi/2024/10/15/finnish-ai-dissertation-award-2023-to-sebastian-szyller/>
<https://cdn-dynmedia-1.microsoft.com/is/content/microsoftcorp/microsoft/final/en-us/microsoft-brand/documents/Microsoft%20Digital%20Defense%20Report%202024%20%281%29.pdf>
<https://www.scworld.com/news/llm-attacks-take-just-42-seconds-on-average-20-of-jailbreaks-succeed>
<https://www.nccgroup.com/us/research-blog/comparing-ai-against-traditional-static-analysis-tools-to-highlight-buffer-overflows/>
<https://www.developer.tech.gov.sg/our-digital-journey/singapore-digital-government-journey/ai-and-data-driven-government/serving-citizens-better-through-data-driven-decision-making>
<https://www.scmp.com/news/china/politics/article/3282044/chinas-grass-roots-officials-told-sift-out-losers-stop-random-attacks-public>
<https://klarigo.fi/paatoksenteke-on-muutakin-kuin-numeroita-meita-ohjaavat-myos-tunteet-ja-kognitiiviset-harhat/>
<https://www.panumoilanen.fi/?p=393>
<https://journal.fi/tt/article/view/147976/94290>
<https://luontoaconsulting.fi/en/chewing-over-ai-exploring-possibilities-in-sustainable-development/>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231224008671#sec6>
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.2773>
<https://www.theguardian.com/commentisfree/2025/feb/14/ai-godfathers-paris-industry-dangers-future>

<https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/150003/TTL-978-952-391-194-9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://www.sttinfo.fi/tiedote/70710173/tekoalyn-rooli-vihreassa-siirtymassa-ratkaisu-vai-osa-ongelmaa?publisherId=69819005>

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

PL 320, 00059 TRAFICOM

p. 029 534 5000

traficom.fi

ISBN 978-952-311-987-1

ISSN 2669-8781 (verkkojulkaisu)

TRAFICOM
Liikenne- ja viestintävirasto