

Reeta-Mari Eura

# TEKOÄLYN KÄYTTÖ CAD-MALLINNUK- SESSA

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja: Ilari Laine  
Joulukuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Reeta-Mari Eura: Tekoälyn käyttö CAD-mallinnuksessa  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta, Konetekniikka  
Joulukuu 2023

---

Tässä työssä tutkitaan tekoälyn (engl. Artificial Intelligence, AI) nykyisiä ja mahdollisia käyttötapoja CAD-mallinnuksessa. Tekoälyn käyttö CADissa yleistyy kasvavaa tahtia, sillä sen avulla voidaan parantaa suunnittelun tuottavuutta ja laatua. Työn tavoite on selvittää, mihin tekoälyn toiminta perustuu ja miten sitä voidaan hyödyntää koneensuunnittelussa, sekä millaisia haasteita tekoälyn käytölle on.

Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Työn alku avaa tekoälyn käsitteen alle kuuluvia alakäsitteitä ja tekniikoita. CADin toiminnot ovat pääasiallisesti koneoppimista. Työssä todetaan, että koneoppivia algoritmeja on useita erilaisia, mutta useimmat niistä suorittavat tehtävänsä vertaamalla saamaansa sisääntuloa aiemmin keräämäänsä tietoon. Aikaisempi tieto voi olla koulutuksen aikana tekoälylle syötettyä käsiteltyä tai käsittelemätöntä dataa. Tekoäly voi myös kerätä dataa jatkuvasti toimintansa aikana ja muunnella itseään sen perusteella. Tällainen tekoäly on esimerkiksi keinotekoinen neuroverkko eli algoritmi, joka imitoi ihmisen aivojen rakennetta.

Työssä kerrotaan tekoälyä hyödyntävien CAD-ohjelmien yleisistä teemoista ja tarkemmista toiminnoista. Esimerkkeinä käytetään CAD-ohjelmia kuten SolidWorks, Siemens NX ja ANSYS. Tutkimuksessa esiin nousseita tekoälyn käytön teemoja ovat 3D-mallien luonti ja niiden rakenteen optimointi, suunnittelun kattavampi tukeminen sekä CAD-ohjelman käytön helpottaminen. Eräs tärkeimmistä esiin nousseista toiminnoista on tekoälyn kyky antaa suunnittelijalle ehdotuksia, jotka nopeuttavat suunnittelua ja poistavat toistuvia tehtäviä.

Tekoälyyn liittyy kuitenkin ongelmia, jotka rajoittavat sen käyttöä. Työssä tuodaan esiin niin yleisiä tekoälyyn liittyviä ongelmia kuin CADin uniikkeja haasteita. Tällä hetkellä suurin haaste tekoälyn käytölle CADissa on koulutukseen käytettävän datan määrällinen ja laadullinen puute. Eräs ratkaisu ongelmaan on siirtovaikutuksen käyttö. Siirtovaikutus mahdollistaa valmiiden AI-mallien kopioimisen uusiin tehtäviin, mikä vähentää datan tarvetta ja tekoälyn luontikustannuksia. Toinen tutkimuksessa esiin noussut ongelma on yleisen AI-tutkimuksen ja CADia varten tehdyn AI-tutkimuksen erillisyyks.

Avainsanat: tekoäly, CAD, koneoppiminen, koneensuunnittelu

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

# ABSTRACT

Reeta-Mari Eura: Use of artificial intelligence in CAD-modelling  
Bachelor's Thesis  
Tampere University  
Bachelor's Degree Programme in Mechanical Engineering  
December 2023

---

This thesis explores the current and possible uses of artificial intelligence (AI) in CAD modeling. The use of AI in CAD is constantly rising in popularity since it can increase the productivity and quality of design work. My goal in this thesis is to explain how AI works, how it can be utilized in mechanical design and what kind of problems are associated with it.

This thesis is a literature review. The beginning clarifies the concept of AI and what sub-concepts and techniques it includes. CAD functions mainly belong under the concept of machine learning (ML). There are multiple different ML algorithms, but in general they execute their functions by comparing the given input to the data they already have. The existing data can be sorted or unsorted data inserted during the learning process. AI can also constantly collect data during its operation and develop itself based on it. An example of such AI is an artificial neural network, an algorithm which imitates the structure of a human brain.

Afterwards this thesis goes over the common themes and more specific functions appearing in CAD programs that utilize AI. Examples of such CAD programs are SolidWorks, Siemens NX and ANSYS. Some AI utilization themes that emerged during research are the creation of 3D models and their optimization, more comprehensive support during the design process and general aid in the use of CAD programs. One of the most important functions explored is AI's ability to give the designer suggestions that remove repetitive tasks and make the design process faster.

However, there are limits to AI's utilization. Common challenges of AI as well as CAD's unique problems are explored in the last chapter of this thesis. Currently the biggest challenge for AI's utilization in CAD is the quantitative and qualitative lack of training data. A possible solution to this is transfer learning. Transfer learning can be used to utilize trained AI algorithms in new tasks, which decreases the amount of required training data and the creation costs of AI. Another problem that is discussed is the difference between the goals of common AI research and the AI research done specifically for AI's use in CAD.

Keywords: artificial Intelligence, CAD, machine learning, mechanical design

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin Originality Check service.

# SISÄLLYSLUETTELO

|  |    |
|--|----|
| 1. JOHDANTO .....                          | 1  |
| 2. TEKOÄLYN TOIMINTA.....                  | 3  |
| 2.1 Tekoälyn opettaminen.....              | 5  |
| 2.2 Ongelmanratkaisutekniikat.....         | 8  |
| 3. TEKOÄLYRATKAISUJA CAD-ONGELMIIN .....   | 10 |
| 3.1 Ihminen vastaan kone .....             | 10 |
| 3.2 Ääni- ja tekstikomennot.....           | 11 |
| 3.3 Mallien generointi.....                | 12 |
| 3.4 Suunnittelun laatu .....               | 13 |
| 3.5 Tekoälyn ehdotukset.....               | 14 |
| 3.6 Simulointi .....                       | 15 |
| 4. TEKOÄLYN RAJOITTEET JA TULEVAISUUS..... | 17 |
| 4.1 Yleisiä tekoälyn ongelmia.....         | 17 |
| 4.2 Nykyinen AI-tutkimus .....             | 19 |
| 5. YHTEENVETO.....                         | 21 |
| LÄHTEET .....                              | 23 |

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

|       |  |
|-------|--|
| AI    | engl. Artificial Intelligence, tekoäly                           |
| AlaaS | engl. AI as a Service, AI palveluna                              |
| AR    | engl. Augmented Reality, lisätty todellisuus                     |
| CAD   | engl. Computer-Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu     |
| CBR   | engl. Case-Based Reasoning, tapauskohtainen päättely             |
| DL    | engl. Deep Learning, syväoppiminen                               |
| IoT   | engl. Internet of Things, esineiden internet                     |
| ML    | engl. Machine Learning, koneoppiminen                            |
| NLP   | engl. Natural Language Processing, luonnollinen kielen käsittely |
| (A)NN | engl. (Artificial) Neural Network, (keinotekoinen) neuroverkko   |
| RBS   | engl. Rule-Based Systems, sääntöpohjaiset järjestelmät           |

# 1. JOHDANTO

Tekoäly on viime vuosina ollut hyvin ajankohtainen aihe sen edistymisen ja laajan yleistyksen vuoksi, mutta koneensuunnittelun maailmassa sen mahdollisuuksiin aletaan vasta tutustua. Tässä työssä perehdytään tarkemmin näihin mahdollisuuksiin tarkastelemalla tekoälyn CADiin integroimisen hyötyjä ja rajoitteita.

Tietokoneavusteinen suunnittelu tai CAD (engl. computer-aided design) tarkoittaa tietokoneohjelmia, joilla suunnittelijat voivat luoda tuotteista digitaalisia kolmiulotteisia malleja ja kaksiulotteisia piirustuksia. Näiden luomisen lisäksi CADilla voidaan analysoida, dokumentoida ja arvioida malleja. CAD-ohjelmia käytetään laajasti eri aloilla konetekniikasta lääketieteeseen ja jopa elokuvien erikoistehosteisiin.

Ensimmäiset CAD-ohjelmat kehitettiin 1960-luvun vaihteessa, jonka jälkeen CAD on kehittynyt valtavasti tietokoneiden kehityksen ansiosta. 1960-luvun Sketchpadista on tultu 2000-luvun suoramallinteiseen 3D-mallinnukseen. (Vance 2022) Nyt CAD on jälleen uuden kehitysasteen äärellä, sillä sen tehokkuutta ja monipuolisuutta ollaan parantamassa integroimalla tekoäly CAD-ohjelmiin.

Tekoälyä eli AI:ta (engl. artificial intelligence) käytetään ratkaisemaan tehtäviä, joissa koneelta vaaditaan ihmisen älykkyyttä. Tämä voi tarkoittaa kykyä oppia uusia asioita itsenäisesti, neuvoa käyttäjää tai esitellä ja selittää haluttuja asioita. Koneensuunnittelussa CADiin integroidun tekoälyn vahvuuksia on sen kyky luoda monitarkoituksellisia malleja eli suunnitella kappaleita vastaamaan lukuisia annettuja parametreja ja rajoituksia. AI:n on esimerkiksi ihmistä helpompi käsitellä ja ymmärtää mallien ulottuvuuksia sekä kokoonpanojen sisäisiä yhteyksiä. (Jenis et al. 2023)

Mallien luomisen ja optimoinnin ohella AI:n suurimpia hyötyjä CADin käyttäjälle on käyttökokemuksen parantaminen. AI parantaa kommunikaatiota käyttäjän ja ohjelman välillä sekä tukee käyttäjää suunnitteluprosessin aikana. AI:lla voidaan tehostaa myös suunnitteluohjelmien toimintaa, esimerkiksi NVIDIA:n AI-tehosteinen denoiser käyttää tekoälyä kuvanlaadun nopeaan parantamiseen. (NVIDIA 2023) Tämä tekee mallien käsittelystä nopeampaa ja tarkempaa.

AI:n vaikutus suunnittelijoiden tuottavuuteen ja suunnittelun laatuun on ajanut yrityksiä panostamaan AI:n kehitykseen kilpailukyvyyn ylläpitämiseksi. Esimerkkejä CAD-valmistajien AI:sta ovat SolidWorksin Design Assistant (Dassault Systemes), Siemens NX:n

Xcelerator portfolio (Siemens Digital Industries Software Newsroom 2022) sekä AutoCAD 2024 (Tara 2023). AI voi myös luoda yrityksille lisätuottoa: vaikka osa valmistajista lisää AI-toiminnot suoraan CAD-ohjelmaansa, toiset myyvät AI-toimintoja lisäpaketinä sovellukseensa. AI itsessään on myös uusi osa CAD-valmistajien liiketoimintaa, sillä tekoälyn ohjelmointi ja kouluttaminen vaatii rahaa ja tietämystä aiheesta. Valmistajat voivat nyt ostaa ja myydä AI:n kouluttamiseen tarvittavaa dataa tai ostaa AI:n algoritmit ulkopuoliselta yrityksen. (Janiesch et al. 2021)

Tämän työn tavoitteena on tarkastella tekoälyn hyötyjä koneensuunnittelussa CAD-ohjelmilla. Työn 2. luku esittelee tekoälyn työn kannalta oleellisia toimintaperiaatteita ja termistöä. 3. luku käsittelee tekoälyn integroinnin hyötyjä sekä käyttäjäkokemuksen että suunnittelun tehokkuuden kannalta. 4. luku kertoo tekoälyn nykyisistä ja mahdollisista ongelmista sekä sen tulevaisuudennäkymistä. 5. luku toimii yhteenvetona tärkeimmistä huomioista.

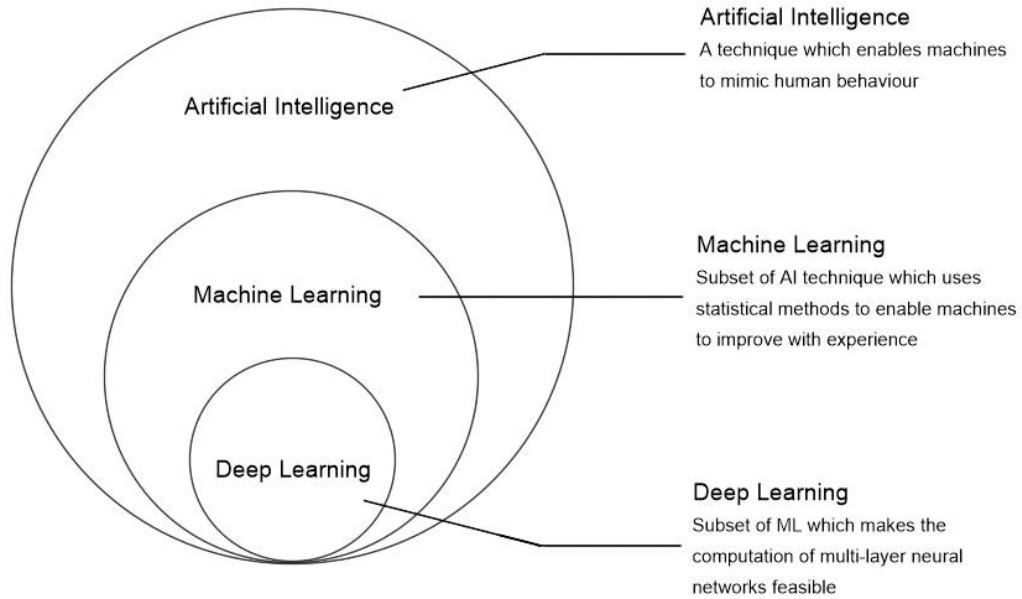
## 2. TEKOÄLYN TOIMINTA

Tekoäly tarkoittaa laajan määritelmän mukaan tietokonetta tai tietokoneohjelmaa, joka kykenee tekemään älykkäinä pidettäviä toimintoja. AI-tutkimusta ja AI-patentteja tehdään tällä hetkellä kasvavaa tahtia, ja sovellukset, kuten Amazonin Alexa tai Open AI:n ChatGPT, ovat tehneet AI:n käytöstä mahdollista laajalle asiakaskunnalle. AI:n yleistymisen ja kehittymisen on mahdollistanut yleinen kehitys laitteiden laskentatehossa ja muistissa, mutta ilmiön taustalla ovat myös uudet ohjelmointikehykset ja analyyttiset mallit sekä AI:n koulutukseen tarvittavan datan laajempi tarjonta (Janiesch et al. 2021).

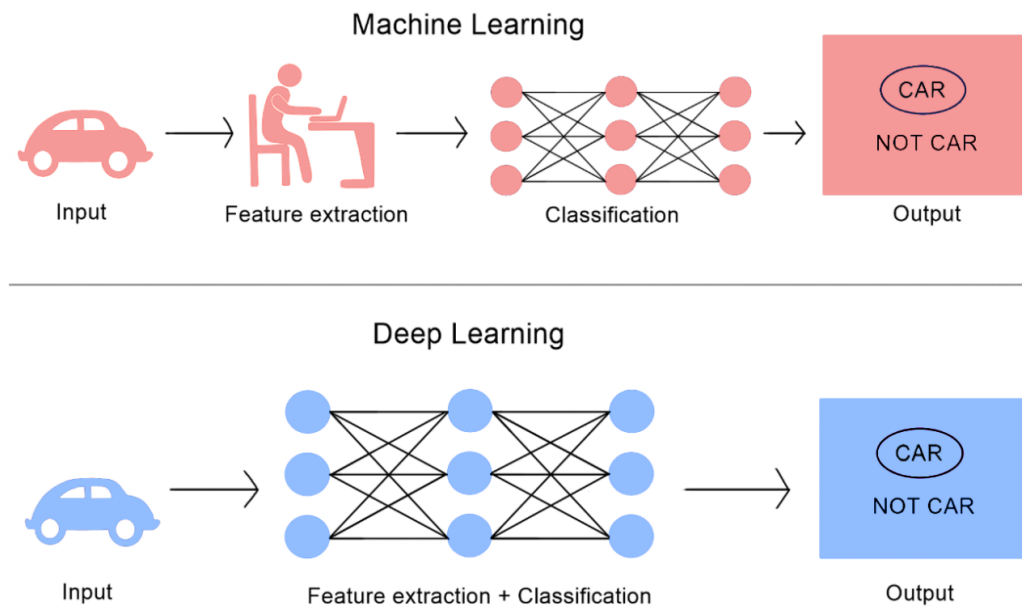
Termejä tekoäly ja koneoppiminen (engl. machine learning, ML) käytetään usein ristiin, mutta koneoppiminen ei sisällä kaikkia AI:n ominaisuuksia. IBM:n artikkeli *What is machine learning?* määrittelee koneoppimisen tarkoittavan tekoälyn haaraa, joka käyttää dataa ja algoritmeja imitoimaan ihmisen oppimista ja parantamaan omaa tarkkuuttaan. Ero termien välillä on siis se, että ML pyrkii oppimaan ja kehittymään, kun taas toisenlaiset AI:t pysyvät lähtötasollaan. CADissa käytettävät AI-toiminnot ovat pääasiallisesti koneoppimista.

Koneoppimisen haara taas on syväoppiminen (engl. deep learning, DL). Kuvassa 1 tiivistetään AI:n, ML:n ja DL:n käsitteet ja esitetään niiden väliset suhteet. Syväoppivan ohjelman rakenne perustuu ihmisen aivojen rakenteeseen ja käyttää neuroverkkoja (engl. neural networks, NN) oppiakseen tunnistamaan yhteyksiä datassa ja luokittelemaan sitä sen ominaisuuksien perusteella. (IBM) Ero syväoppimisen ja koneoppimisen välillä on datan käsittely: koneoppimisessa ihminen valikoi ja käsittelee algoritmilta annettavan syötteen, kun taas syväoppimisessa algoritmi osaa käsitellä saamansa datan itse. Tätä havainnollistaa kuva 2.





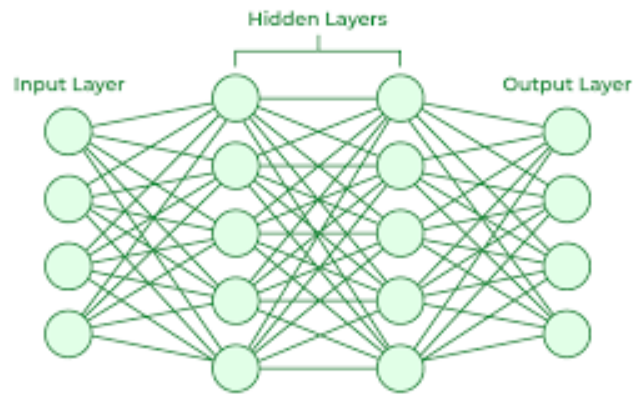
**Kuva 1.** Tekoälyn, koneoppimisen ja syväoppimisen suhde, perustuu lähteeseen (Tondak 2022).



**Kuva 2.** Koneoppimisen ja syväoppimisen ero, perustuu lähteeseen (Turing 2023).

Neuroverkot, joista käytetään myös termiä keinotekoiset neuroverkot (engl. artificial neural networks), koostuvat solmuja (engl. node) sisältävistä kerroksista. Kerroksia ovat sisäänmenokerros (engl. input layer), mahdollisesti yksi tai usea piilotettu kerros (engl. hidden layer) ja ulostulokerros (engl. output layer). Solmut ovat linkittyneitä toisiinsa vastaavasti kuin ihmisaivojen hermosolut ovat linkittyneitä synapsien avulla. (harkiran78 2023) Neuroverkkojen rakennetta havainnollistaa kuva 3. Kehittyneissä neuroverkoissa

linkeille on määritetty painot ja kynnsarvot (IBM). Kuljettaessa verkon läpi jokaisen linkin paino summautuu koko reitin painoksi, jonka perusteella määritellään paras reitti. Solmuilla voi myös olla kynnsarvoja, jolloin solmuun pääsee vain, jos tietty paino ylittyy tai alittuu. Tekoälyn toiminta määritetään ja optimoidaan näitä solmujen välisiä painoarvoja säätelemällä.



**Kuva 3.** Neuroverkon rakenne (harkiran78 2023).

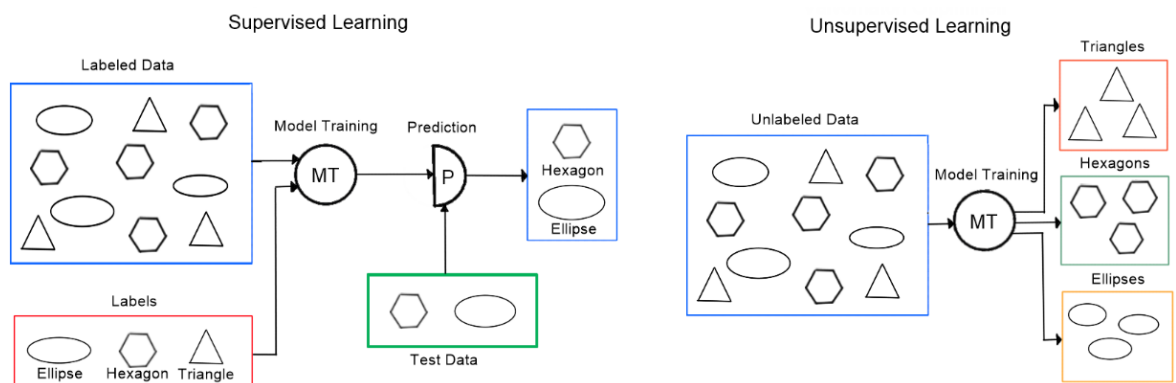
## 2.1 Tekoälyn opettaminen

Kun tekoälyä opetetaan luokittelemaan tietoa ja tekemään ennustuksia, koneoppivan algoritmin voi jakaa kolmeen osaan:

1. Päätösprosessi, jossa algoritmit tekevät päätöksen saamansa sisäänmenon perusteella.
2. Virhefunktio, eli tehdyn päätöksen vertaus samankaltaisiin aikaisempiin päätöksiin virheen arvioimiseksi.
3. Mallin optimointi, joka voi tarkoittaa esimerkiksi neuroverkon linkkien painojen muokkausta. Algoritmia optimoidaan, kunnes ulostulo vastaa haluttua ja on tarpeeksi tarkka. (datascience@berkeley 2020)

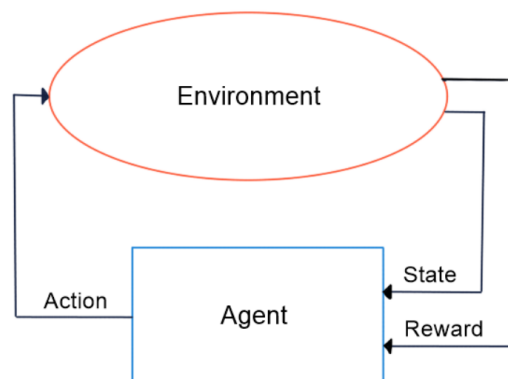
Algoritmin koulutus ja optimointi tapahtuvat syöttämällä sille kerättyä dataa. Tehtävästä ja käytetystä algoritmista riippuen datan tarve vaihtelee, mutta yleensä dataa tarvitaan sitä enemmän mitä vähemmän ihminen vaikuttaa oppimisprosessiin. Algoritmin ennustusten laatu paranee oppimiseen käytettävän datamäärän kasvaessa, vaikka malli on mahdollista myös ylisovittaa. Opetusdata sisältää esimerkkitalanteita, jotka vastaavat tekoälyn tulevaa tehtävää. Esimerkiksi jos tekoälyä koulutetaan kuvan 2 tavoin tunnistamaan onko kuvassa auto, sille annetaan kuvia autoista ja muista objekteista. Opetusmetodin mukaan algoritmille joko kerrotaan, mitkä kuvista sisältävät autoja, tai algoritmi oppii tunnistamaan auton piirteet itse.

Opetusmenetelmät voidaan luokitella käytettävien datasettien perusteella valvottuun ja valvomattomaan oppimiseen. Valvotun oppimisen tapauksessa data on jo luokiteltua, eli algoritmilta kerrotaan mikä syötettyä vastaava ulostulo on. Valvomattomassa oppimisessä algoritmilta syötetään käsittelemätöntä dataa, josta algoritmi etsii kuvioita ja yhteyksiä ilman ihmisen avustusta. Voidaan käyttää myös näiden yhdistelmää, jolloin algoritmilta annetaan sekä käsiteltyjä että käsittelemättömiä datasettejä. (IBM; Jenis et al. 2023) Valvotun ja valvomattoman oppimisen eroa havainnollistaa kuva 4.



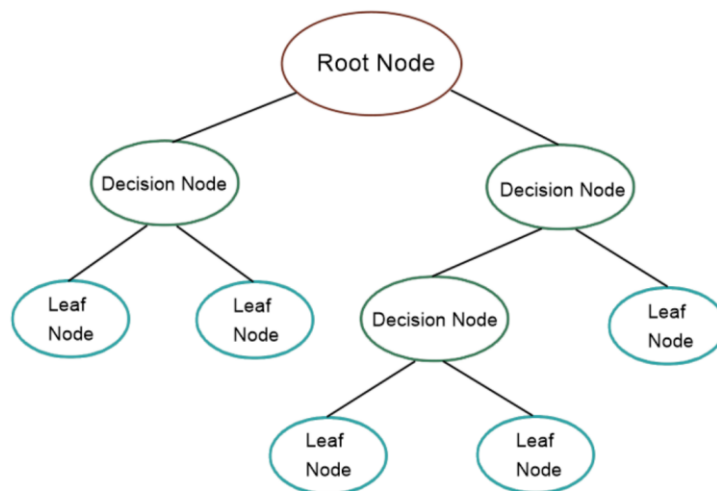
**Kuva 4.** Valvottu ja valvomaton koneoppiminen, perustuu lähteeseen (Jenis et al. 2023)

Opettamiseen voidaan myös käyttää vahvistettua opettamista (engl. reinforcement learning). Tässä oppiminen ei perustu itse opetusdataan, vaan ulostulosta saatuun palautteeseen. Metodi on käytännössä "yritystä ja erehdystä". Vahvistettua oppimista havainnollistaa kuva 5, jossa algoritmi on nimellä agent (agentti) ja kohde, johon ulostulo vaikuttaa ja joka antaa palautetta algoritmilta, on nimellä environment (ympäristö).



**Kuva 5.** Vahvistettu koneoppiminen, perustuu lähteeseen (Jenis et al. 2023)

Algoritmeja, jotka yleensä käyttävät valvottua oppimista, ovat esimerkiksi lineaarinen regressio, logistinen regressio ja satunnaismetsä. Neuroverkot hyödyntävät sekä valvottua että valvomatonta oppimista toiminnassaan. Lineaarinen regressio on analyysimenetelmä, jolla arvioidaan numeerisen datapisteen suhdetta toiseen datapisteeseen tai muihin datapisteisiin. (IBM) Datapisteisiin sovitetaan suora, jonka perusteella voidaan ennustaa ulostulo, esimerkiksi seuraavan matematiikan tentin arvosana aiempien kursien arvosanojen perusteella. Logistinen regressio soveltuu ennustamaan todennäköisyyttä tapauksissa, joissa muuttuja on binäärinen eli sillä on kaksi mahdollista arvoa (IBM). Satunnaismetsä (engl. random forest) on päätöspuista (engl. decision tree) koostuva malli, joka soveltuu hyvin datan luokitteluun. Päätöspuut koostuvat solmuista, jotka muodostavat puuta muistuttavan rakenteen. Kuva 6 havainnollistaa tätä rakennetta. Päätöspuut vertaavat syötettä solmujen arvoihin edeten puussa sen "oksia" pitkin kunnes ne kohtaavat solmun, josta syöte ei enää pääse eteenpäin. Satunnaismetsän ennustus on keskiarvo sen puiden antamista ulostuloista. (datascience@berkeley 2020)



**Kuva 6.** Esimerkki päätöspuusta

Valvomatonta oppimista käytetään klusteroinnissa. Klusterointi tarkoittaa luokittelemattomien datasettien lajittelua joukkoihin samankaltaisuuden perusteella. Algoritmi oppii tunnistamaan kuvioita datassa sen piirteiden ja esimerkiksi valintatiheyden perusteella. Näin algoritmi oppii tuntemaan käyttäjänsä preferenssit, joiden perusteella se voi tehdä ehdotuksia. (Kumar et al. 2021, s. 12) Tämä voi tarkoittaa seuraavan toiminnon ehdotusta tutussa toimintasarjassa tai uuden toiminnon ehdotusta samankaltaisten toimintojen perusteella. Arkielämän esimerkki klusteroinnista on Netflix, joka ehdottaa käyttäjälleen samankaltaista sisältöä katsottujen elokuvien ja sarjojen perusteella.

Kun neuroverkko on oppinut luokittelemaan datasettejä, on mahdollista soveltaa sen ke-  
räämää tietoa uusiin tehtäviin. Käytännössä neuroverkon solmujen väliset painot voi-  
daan kopioida uuteen tekoälyyn, jolloin uutta tekoälyä ei enää tarvitse opettaa luokitte-  
lemaan kyseisiä asioita. Tätä kutsutaan siirtovaikutukseksi (engl. transfer learning). (Ku-  
mar et al. 2021, s. 94) Siirtovaikutuksen avulla useita pienempiä tekoälyjä voidaan yh-  
distää laajemmaksi tekoälyksi. Esimerkiksi kolme tekoälyä, jotka on koulutettu tunnistaa-  
maan kuvista järjestyksessä kissa, koira ja hevonen, voidaan yhdistää yhdeksi teko-  
älyksi, joka osaa tunnistaa kaikki kolme eläintä.

## 2.2 Ongelmanratkaisutekniikat

On useita tapoja luoda algoritmi, joka ratkaisee ongelmia. Chenin, Jakemanin ja Nortonin  
vuonna 2008 kirjoittama artikkeli Artificial Intelligence techniques: An introduction to their  
use for modelling environmental systems nostaa näistä esiin kymmenen. Tässä kappa-  
leessa käsitellään tapauskohtainen päättely ja sääntöpohjaiset järjestelmät. Listaan si-  
sältyvät myös neuroverkot ja vahvistettu oppiminen, jotka käsiteltiin jo aiemmin.

Tapauskohtainen päättely (engl. case-based reasoning, CBR) ratkaisee kohtaamansa  
uuden ongelman vertaamalla sitä aiempiin samankaltaisiin ongelmiin. CBR:n idea pe-  
rustuu oletukseen, että samanlaisilla ongelmilla on samanlainen ratkaisu. Chenin, Jake-  
manin ja Nortonin artikkeli määrittelee CBR:lle neljä vaihetta: Hakuvaiheessa algoritmi  
etsii tietokannasta ongelmaa eniten muistuttavan aiemman tapauksen. Käyttövaiheessa  
tätä tapausta käytetään uuden ongelman ratkaisemiseen. Tarkastuksessa ratkaisua ar-  
vioidaan simuloimalla tai kokeilemalla. Jos ratkaisu on onnistunut, se lisätään tietokan-  
taan uudelleenkäyttöä varten. Näin CBR oppii jatkuvasti, ja silmukka toistuu uuden on-  
gelman kohdalla.

Nimensä mukaisesti sääntöpohjaiset järjestelmät (engl. rule-based systems, RBS) rat-  
kaisevat ongelmia soveltamalla niihin sääntöjä. Nämä säännöt perustuvat asiantuntijoi-  
den tietoon tekoälyn kohtaamasta tehtävästä, eikä RBS pysty luomaan uusia tai muok-  
kaamaan olemassa olevia sääntöjä. Säännöt ovat muotoa jos-niin, eli ne sisältävät eh-  
don ja toiminnon, joka toteutetaan, jos ehto täyttyy. Ongelmaan sovellettava sääntö va-  
litaan vertaamalla ongelmaa aiempiin tilanteisiin, ja niin-osan toteutuksen luoma uusi  
tieto lisätään tietokantaan. RBS käy tietokantaansa läpi, kunnes kaikki ongelmatilanteen  
kannalta oleelliset säännöt on käsitelty. RBS:n sääntöihin on mahdollista lisätä todennä-  
köisyysarvo käyttämällä jotakin tarpeeseen soveltuvaa todennäköisyysteoriaa.

Tapauskohtainen päättely ja neuroverkot ovat malleina niin kutsuttuja mustia laatikoita. Mustien laatikkojen ulostuloa on hankala ennustaa, sillä niiden toimintatapa ei ole selvä. Ne soveltuvat monimutkaisiin ongelmiin, joissa ratkaisuun johtanutta logiikkaa ei ole tarpeellista tai joskus edes mahdollista ymmärtää. Sääntöpohjaisten järjestelmien ulostulon ymmärtäminen on sen sijaan helppoa, sillä säännöt on kirjoitettu tiettyyn muotoon eikä algoritmi tee niihin lisäyksiä.

## 3. TEKOÄLYRATKAISUJA CAD-ONGELMIIN

Tekoäly tuo CAD-ohjelmiin useita lisätoimintoja, jotka parantavat ohjelman käyttäjäkokemusta ja suunniteltavan mallin laatua. Suunnittelusta voidaan myös tehdä tuottavampaa, sillä tekoälyllä on mahdollista ratkaista useita nykyisiä pullonkauloja. Tekoälyllä voidaan esimerkiksi tehostaa CADia käyttävän ihmisen toimintaa, sillä koneen on mahdollista ylittää osa ihmisen fyysisistä ja kognitiivisista rajoista. Tekoäly ei kuitenkaan vielä kykene itsenäiseen suunnitteluun, joten elokuvien antamista uhkakuvista huolimatta sitä voidaan ajatella enemmän työkaluna kuin ihmisen korvaajana.

### 3.1 Ihminen vastaan kone

Ihminen ei kykene jatkuvaan työntekoon. Työpäivät sisältävät taukoja ja kestävät kolmasosan vuorokaudesta, mutta työn laatu kärsii silti keskittymisen menetyksestä. Toistuvat ja helpot tehtävät sisältävät usein virheitä juuri keskittymisen puutteen vuoksi, kun taas monimutkaiset ja uudet tehtävät aiheuttavat virheitä ymmärryksen puutteen takia. CADin käyttäminen voi olla suunnittelijalle vaikeatajuista, ja joskus uusia ratkaisuja mallin ongelmien korjaamiseen on hankala keksiä. Tällaiset tilanteet aiheuttavat helposti negatiivisia tunteita CADin käyttäjässä, eikä työn laatu parane tämän seurauksena.

Tekoäly sen sijaan voi laitteen toiminnan rajoissa operoida jatkuvasti. Se ei väsy, tarvitse taukoja tai koe ärtymystä. Etenkin yksinkertaiset toistuvat tehtävät voidaan delegoida tekoälylle, jolloin suunnittelijalle jää enemmän aikaa keskittyä olennaisiin tehtäviin. Tekoäly prosessoi uutta tietoa nopeammin ja tarkemmin kuin ihminen vähentäen miettimiseen ja ohjeiden lukemiseen kuluvaan aikaan. Olennaiset suunnitteluohjeet voidaan opettaa tekoälyn algoritmille, jolloin tekoäly pystyy antamaan suunnittelijalle tukea ja ehdotuksia suunnitteluprosessin aikana. Tekoälyn laskelmat mallin optimointiin ovat myös usein nopeampia ja tarkempia kuin ihmisen suorittamat laskelmat. Kun tekoäly suorittaa ihmiselle epäluontevat tehtävät, suunnittelijan tuottavuus paranee ja CADin käytöstä tulee mielekkäämpää.

Toisaalta Jenisin et al. vuoden 2023 artikkeli *Engineering Applications of Artificial Intelligence in Mechanical Design and Optimization* nostaa näiden etujen lisäksi esiin huolen siitä, että tehtävien automatisointi tekee ihmisistä laiskoja. Jos jokin tehtävä on mahdollista automatisoida, ihminen alkaa etsiä tapoja automatisoida loputkin. Lisäksi ihminen tulee helposti riippuvaiseksi tekoälystä, eikä välttämättä osaa enää itse tehdä tekoälylle siirrettyjä tehtäviä. Tekoäly saattaa kyetä toimimaan jatkuvasti, mutta se on silti kone: se

osaa suorittaa vain tehtävät, jotka se on koulutettu ratkaisemaan, ja virheellinen sisäänmeno tai virhe ohjelman toiminnassa saattaa johtaa sen virhetilaan.

## 3.2 Ääni- ja tekstikomennot

Ihmisen korvaamisen sijaan nykyinen tekoäly soveltuu hyvin tehostamaan ihmisen toimintaa. CADin ulkopuolelta tuttuja tekoälyn ominaisuuksia voidaan integroida CADiin sen käyttäjäkokemuksen parantamiseksi: älypuhelimista löytyy lukuisia toimintoja, jotka parantavat kommunikaatiota käyttäjän ja laitteen välillä. Esimerkiksi Siemens NX:n Xcelerator-portfolioon kuuluva NX Voice Command Assist mahdollistaa CAD:in komentojen antamisen puhumalla (Siemens Digital Industries Software Newsroom 2022). Avustajalta voi myös kysyä neuvoja suunnitteluun, jolloin se joko ohjaa käyttäjän olennaiselle verkkosivulle tai tekee koosteen aiheeseen liittyvien artikkeleiden sisällöstä. NX:n avustajalle voi myös opettaa komentoja tai sanoja, jotka kuullessaan se suorittaa niihin sidotun komentosarjan. Näin jokapäiväiset toistuvat tehtävät saadaan automatisoitua tehokkaasti.

Äänikomentojen lisäksi muokkaukset voidaan tehdä tekstikomennoilla. AutoCAD 2023 lisäsi AutoCADiin Markup Assist -ominaisuuden, joka pystyy tulkitsemaan piirustuksiin piirrettyjä komentoja. Jos jokin sana piirustuksessa halutaan vaihtaa, se voidaan yliviivata ja sen viereen piirtää korvaava sana. Markup Assist tunnistaa, että sana halutaan korvata uudella sanalla, ja ehdottaa toimintoa. Myös yleiset komennot voidaan antaa piirtämällä. Esimerkiksi jos käyttäjä piirtää sanan remove ja ympyröi joukon yksityiskoh-  
tia, ohjelma ehdottaa näiden poistoa. (Tara 2023)

Ääni- ja tekstikomentojen taustalla on luonnollinen kielen käsittely (engl. natural language processing, NLP). NLP tarkoittaa tietokoneen kykyä ymmärtää kirjoitettua ja puhuttua kieltä ihmisen tavoin. Tekoäly rikkoo saamansa tekstin pienempiin, helpommin työstettäviin osiin. Tekstistä poistetaan yleiset sanat, jotta oleellisimmat, eniten tietoa sisältävät sanat voidaan käsitellä. Sanat muutetaan perusmuotoonsa ja luokitellaan. Tämän jälkeen sanat käydään läpi algoritmilla. Eniten NLP:hen käytettyjä algoritmeja ovat sääntöpohjaiset järjestelmät ja koneoppimiseen perustuvat järjestelmät kuten neuroverkot. (Lutkevich 2023)



### 3.3 Mallien generointi

Toinen tunnettu tekoälyn ominaisuus on sen kyky generoida sisältöä annettujen parametrien, kuten esimerkiksi taiteen tapauksessa sanojen, perusteella. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää myös CADissa: mallille annetaan parametrit, ja tekoäly luo halutun määrän vaihtoehtoisia malleja hetkessä. Käytettäviä parametreja voivat olla esimerkiksi kappaleeseen kohdistuva kuormitus, sen materiaali tai sen kiinnityspisteet muuhun kokoonpanoon. Myös alueet, jotka osan pitää täyttää tai joita sen pitää välttää, voidaan ilmoittaa. Tällaisesta työkalusta esimerkkinä on Autodeskin Generative Design Tool. Autodeskin suunnittelutyökalun AI kykenee määrittelemättömiä parametreja vaihtelemalla luomaan useita erilaisia vaihtoehtoja kappaleesta. (Rustici 2023) Sen on helppo luoda optimoituja ja ergonomisia malleja, joita ihminen ei olisi ajatellut. Työkalulla voidaan myös yhdistää moniosaisia kokoonpanoja yhdeksi malliksi. Kuvassa 7 on työkalun generoimia ehdotuksia perinteisen turvavyön lukkojärjestelmän tilalle.



**Kuva 7.** *Generative Design Toolin luomia vaihtoehtoja turvavyön lukolle (Danon 2018).*

Tekoälyllä ei kuitenkaan ole ihmisen luovuutta, eikä se pysty ajattelemaan saamiensa parametrien ulkopuolelta. Tekoäly ei kykene luomaan täysin uutta keksintöä, sillä sen ehdotukset perustuvat sen koulutukseen. Sillä ei myöskään ole kykyä ymmärtää, mitä se on tekemässä, vaan se pohjaa ehdotuksensa sille annettuun tietoon. Koneoppivan algoritmin on mahdollista oppia tekemään asia väärin, jos väärää ulostuloa ei korjata koulutuksen aikana. Väärien tulosten lisäksi tekoälyn antamat tulokset voivat olla syrjiviä: IBM:n artikkeli kertoo tapauksesta, jossa työnhakijoiden karsimiseen kehitetty AI alkoi

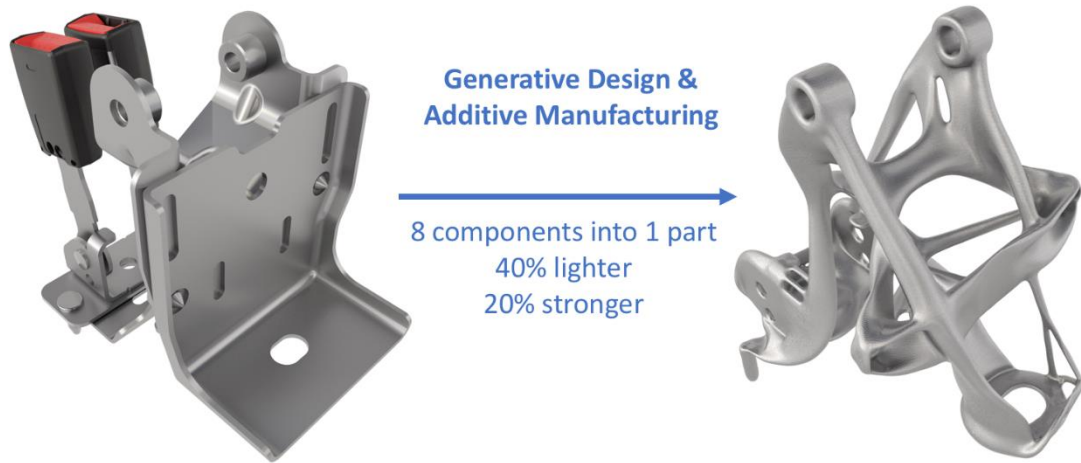
syryjä hakijoita näiden sukupuolen perusteella. Tekoälyn opetusdatana käytettiin aikaisemmissa hauissa valittujen henkilöiden tietoja, jolloin AI:n valinnat heijastivat hakijoita aiemmin käsiteltyjen ihmisten syrjiviä valintoja. CADin tapauksessa tekoäly saattaa suosia tietynlaisia malleja, koska ne vastaavat jo olemassa olevia tuotteita, vaikka toiset vaihtoehdot olisivat parametrien perusteella optimaalisempia.

### 3.4 Suunnittelun laatu

Olettaen algoritmin toimivan tarkoitettusti, tekoälyn käyttö parantaa CAD-mallien laatua. Se vähentää ihmisen tekemiä huolimattomuusvirheitä sekä ihmisille tyypillistä "yritys ja erehdys" -tyyppistä suunnittelua. Etenkin uusilta suunnittelijoilta puuttuu kokemus ja intuitio parhaan ratkaisun arvioimiseen, jolloin tekoälyn antamat suositukset ja automaattinen optimointi säästävät sekä aikaa että kustannuksia. (Jenis et al. 2023) AI pystyy automaattisesti säätämään mallin haluttuja arvoja vastaavaksi ja ylläpitämään sen tasoa saadun asiakaspalautteen sekä uusien tekniikoiden ja säädösten perusteella (Software Solutions Studio 2021).

Toisinaan suunnittelija voi tarvita apua myös mallin muokkauksessa: etenkin monimutkaisten ja -osaisten kokoonpanojen ymmärtäminen ja käsittely voi osoittautua hankalaksi. Monimutkaisia malleja muokattaessa on yleistä, että yhden parametrin muokkaus muuttaa koko mallia sen piirteiden välisten yhteyksien takia. (Software Solutions Studio 2021) Suunnittelija päätyy feedbacksilukkaan, jossa tarvittavan muutoksen kannalta oikean muokausparametrin löytäminen on mahdotonta. Tekoäly pystyy vertailemaan eri malleja ja tunnistamaan oikeat muokausparametrit ilman pitkää iterointiprosessia.

Virheiden ehkäisyn lisäksi tekoäly kykenee optimoimaan mallin annettujen parametrien perusteella. Parametreja voivat olla esimerkiksi mallin paino, kestävyys ja toiminnallisuus. Näin voidaan muun muassa vähentää suunnitteluun kuluva aikaa, suunnittelukustannuksia ja materiaalihukkaa. Myös osan valmistettavuus ja sen valmistusprosessi voidaan optimoida tekoälyn avustuksella. (Madan et al. 2023, s. 4397) Kuvassa 8 on Autodeskin Generative Design Toolin ehdottama turvavyön lukkojärjestelmä, joka on alkuperäistä ratkaisua 40 % kevyempi, 20 % vahvempi ja koostuu kahdeksan osan sijaan yhdestä osasta. Tekoäly voi myös huomioida kappaleen topologian. Esimerkiksi Siemens NX:n Topology Optimizer luo toiminnallisiin ja tilallisiin vaatimuksiin perustuvia kappaleita, joiden optimointi päivittyy automaattisesti suunnittelijan muokatessa kappaletta luonnin jälkeen (Siemens Digital Industries Software Newsroom 2022).



**Kuva 8.** *Generative Designin luoma turvavyön lukko verrattuna perinteiseen turvavyön lukkoon (Danon 2018).*

Tekoälyn tekemien päätösten taustalla on aina logiikka. Päätösten syyt selviävät tarkastelemalla sen algoritmia ja sääntöjä, ja päätösprosessi tallentuu sen muistikantaan. Näin tekoälyn luomat mallit ja sen päätökset ovat toistettavissa. Teoriassa samoilla parametreilla saadut tulokset ovat aina samanlaisia, sillä ne käyvät läpi saman käsittelyn. Monimutkaisiin ja epäselviin tilanteisiin liittyy kuitenkin niin monia muuttujia, ettei tämä ole aina varmaa. Lisäksi jotkin algoritmit kehittävät itseään jatkuvasti, mikä johtaa musta laatikko -luonteeseen ja päätösprosessin arvaamattomuuteen. (Janiesch et al. 2021)

### 3.5 Tekoälyn ehdotukset

Aiemmissä kappaleissa on mainittu tekoälyn poistavan toistuvia tehtäviä, tukevan CADin käyttäjää suunnittelussa ja parantavan laatua optimoimalla rakennetta. Tällaiset toiminnot toteutetaan CADissa tekoälyn antamien ehdotusten avulla. Arkielämän esimerkki tekoälyn ehdotuksista on ennustava tekstinsyöttö: algoritmi tarjoaa käyttäjälle sanoja, jotka sopisivat käyttäjän aloittamaan lauseeseen.

Ehdotukset perustuvat klusterointiin. Algoritmi kerää dataa käyttäjän toiminnasta, tai se on opetettu muualta saadulla tehtävään liittyvällä datalla. Tunnistaessaan käyttäjän toiminnassa kuvion se ehdottaa tämän kuvion seuraavaa toimintoa. (Kumar et al. 2021, s. 12–13) Ehdotus annetaan käyttäjälle esimerkiksi esittämällä mahdollinen toiminto ja kysymällä, haluaako käyttäjä toteuttaa sen. Tämä varmistaa, että tekoäly on tulkinut käyttäjän tarkoituksen oikein ja pitää ihmisen vastuussa suunnittelusta.

Eräs tapa hyödyntää ehdotuksia CADissa on valitse samanlaiset -toiminto. Tällaisia työkaluja ovat esimerkiksi SolidWorksin Selection Helper ja Sketch Helper sekä Siemens NX:n Selection Prediction ja Select Similar. Nämä toiminnot tunnistavat suunnittelijan

käsittämisen kappaleen tai piirteen parametrit ja ehdottavat suunnittelijalle samanlaisten piirteiden valintaa. Työkalu voi myös ehdottaa uuden geometrian lisäämistä samankaltaisiin kohtiin kappaleessa. (Dassault Systemes; Siemens Digital Industries Software Newsroom 2022) Jos suunnittelija esimerkiksi pyöristää yhden särmän kappaleen tietyllä pinnalta, työkalu ehdottaa pinnan muiden särmien pyöristämistä samoilla mitoilla. Jos suunnittelija hyväksyy ehdotuksen, työkalu pyöristää ne automaattisesti. Näin vältetään toistoa särmien valinnassa ja pyöristysten tekemisessä.

Ehdotuksia hyödynnetään myös kokoonpanoja luotaessa. SolidWorksin Mate Helper ehdottaa juuri lisätyn kappaleen lisäystä toisiin vastaaviin paikkoihin kokoonpanossa. Smart Mate -toiminto taas luo rajoitteet ja liitokset lisätyn kappaleen ja sen ympärillä olevien kappaleiden välille, kun käyttäjä vetää sen haluamalleen paikalle. (Dassault Systemes) Mate Helper soveltuu esimerkiksi tilanteisiin, jossa useita samanlaisia pultteja halutaan lisätä niille luotuihin reikiin, ja Smart Mate nopeuttaa kokoonpanojen luontia sekä varmistaa kappaleen olevan vapausasteeton.

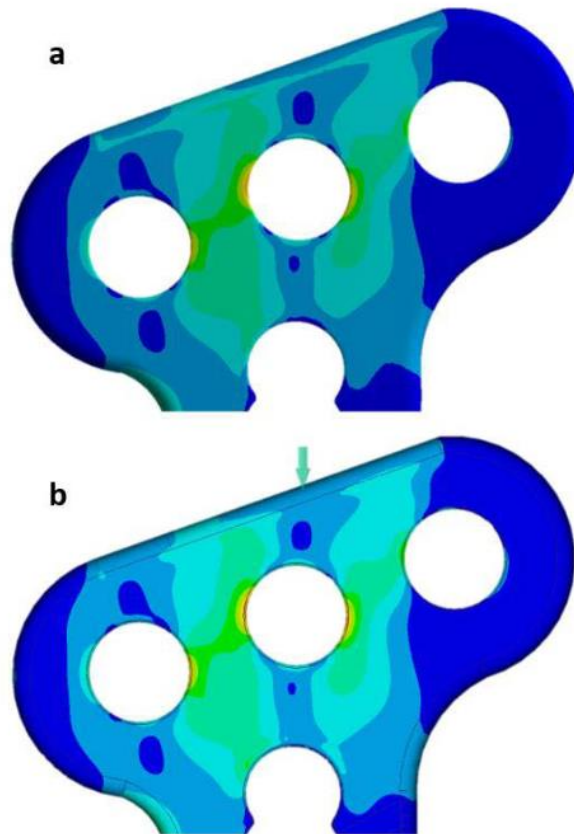
### 3.6 Simulointi

Kappaleen ominaisuuksia simuloitaessa ohjelma käsittelee mallia verkkona (engl. mesh). Verkko koostuu joukosta solmuja, jotka edustavat 3D-mallin geometriaa. Verkkoa luotaessa epäsäännöllisten muotojen tilalle sovitetaan joukkoja yleisiä muotoja, kuten kolmioita tai neliöitä. Tämä yksinkertaistaa simulaation suorittamia laskuja. Regassa ja Woldeyohannes toteavat kuitenkin vuoden 2022 artikkelissaan verkon luonnin olevan simuloinnin aikaa vievin ja epätarkin osuus. Verkko pitää luoda uudelleen jokaisen geometriaan tehtävän muutoksen jälkeen, ja etenkin hankalan muotoiset kappaleet vaativat paljon laskentatehoa.

Altairin SimSolidiin lisätty tekoäly poistaa tarpeen käyttää verkkoja simuloinnissa. SimSolidin algoritmit eivät laske 3D-mallin taipumia ja kuormituksia verkkojen tapaan yksinkertaisten muotojen kautta, vaan ne on koulutettu ennustamaan tulokset vanhan simulaatiodatan perusteella. Ratkaisu on huomattavasti verkkoja nopeampi ja lyhentää toistuvaa simulointia vaativien kappaleiden suunnittelu-aikaa. (Madan et al. 2023, s. 4399)

Samankaltaista verkotonta simulointitapaa hyödyntää myös ANSYSin Discovery Live. Discovery Live mahdollistaa simulaation muokkauksen reaaliajassa tehden suunnittelusta nopeampaa ja luontevampaa. Fleischmannin et al. vuonna 2019 kirjoittama artikkeli kertoo tutkimuksesta, jossa verrattiin ANSYS Discovery Liven ja perinteisen ANSYS Workbenchin simulaatitulosien eroja. Tutkimuksessa simuloitiin kahdella tavalla kappaleen siirtymää sekä niiden von Mises -kuormituksia. Tulosten havaittiin sisältävän pieniä

eroja, mutta olevan hyvin samanlaisia sekä suuruuden että korkeuskäyrien sijainnin kannalta. Artikkelin kuitenkin suosittelee Discovery Liven käyttöä suuntaa antavana työkaluna, jota voidaan hyödyntää kappaleen muodon alustavassa suunnittelussa. Kuva 9 esittää tutkimuksessa simuloituja von Mises -kuormituksia. Kuvassa a on ANSYS Workbenchillä tehty simulaatio ja kuvassa b on ANSYS Discovery Liven simulaatio.



**Kuva 9.** Von Mises -kuormitustestin korkeuskäyrät simuloituina a) ANSYS Workbenchillä ja b) ANSYS Discovery Livellä (Fleischmann et al. 2019)

## 4. TEKOÄLYN RAJOITTEET JA TULEVAISUUS

Tekoälyä hyödyntäviä työkaluja on alkanut ilmestyä CADiin kasvavaa tahtia. Tästä kertoo jo pelkästään se, että tässä työssä käytetyt lähteet on pääasiallisesti julkaistu viiden viime vuoden sisällä. Tekoälytoimintojen kehityksen ei myöskään odoteta hidastuvan, sillä sekä CAD-valmistajat että yksittäiset yritykset tunnistavat AI:n tarjoamat mahdollisuudet ja panostavat siihen. Kehityksen myötä yleistyvät kuitenkin myös tekoälyyn liittyvät uhkakuvat. Lisäksi tekoälyn ja CADin yhteistyössä on uniikkeja haasteita.

### 4.1 Yleisiä tekoälyn ongelmia

Tekoälystä puhuttaessa ihmisillä on taipumus ajatella robottia, joka on luotu korvaamaan ihminen. IBM:n artikkeli *What is machine learning?* toteaa kuitenkin, etteivät tutkijat näe tämän tapahtuvan lähiaikoina. Tällä hetkellä tekoälyyn liittyvät ongelmat koskevat sen sijaan AI:n väärinkäyttöä ja etiikkaa.

Eräs suurimmista keskustelunaiheista tekoälyyn liittyen on sen vaikutus työmarkkinoihin. Jenis et al. nostavat artikkelissaan esiin huolen siitä, että toistuvien ja yksinkertaisten tehtävien automatisointi tulee viemään työpaikkoja etenkin vähemmän koulutetuilta työntekijöiltä. Myös koneensuunnittelijoita saatetaan tulevaisuudessa palkata vähemmän, sillä yhdeltä suunnittelijalta kuluu vähemmän aikaa työtehtävän suorittamiseen. Lisäksi tekoäly kehittyy nopeasti: kuinka kauan kestää, ennen kuin se pystyy itse suorittamaan koko suunnitteluprosessin?

IBM:n artikkeli huomauttaa, että jokaista suurta uutta teknologista kehitysaskelta on seurannut muutos työmarkkinoilla. Kun jonkin alan työt vähenevät, toisten alojen työpaikat lisääntyvät tai syntyy kokonaan uusia aloja. Tämä ilmiö on toistunut läpi historian, ja eräs parhaimmista esimerkeistä on 1800-luvun vaihteessa tapahtunut teollinen vallankumous. Tekoälyn tapauksessa uusia työpaikkoja tulee syntymään esimerkiksi AI:n ylläpidossa. Lisäksi monimutkaisia tehtäviä ja ihmisten välistä kanssakäymistä sisältävät työt tulevat todennäköisesti säilymään. IBM toteaaakin, että suurin haaste tulee olemaan ihmisten sopeuttaminen heidän uusiin rooleihinsa.

Toinen huolenaihe tekoälyyn liittyen on sen aiheuttama uhka käyttäjien yksityisyydelle. Oppiva tekoäly kerää jatkuvasti dataa käyttäjän toiminnasta kehittyäkseen. CADin tapauksessa dataan saattaa sisältyä yritysten liikesalaisuuksia kuten uutta teknologiaa. Jos yritykseen tehdään tietomurto tai data vuotaa julkisuuteen muuta kautta, yritys voi

kokea valtavia taloudellisia menetyksiä. Datan keräys uhkaa myös ihmisten oikeutta yksityisyyteen.

Vaikka datan keräys on melko uusi huolenaihe, siihen liittyen on jo säädetty lakeja. IBM:n artikkeli mainitsee esimerkkeinä Euroopan unionissa ja Euroopan talousalueella voimassa olevan yleisen tietosuoja-asetuksen vuodelta 2016 sekä Yhdysvaltojen Kaliforniassa vuonna 2018 säädetyn California Consumer Privacy Actin. Nämä säädökset vahvistavat ihmisten oikeuksia omiin tietoihinsa ja velvoittavat yrityksiä ilmoittamaan, jos käyttäjien dataa kerätään. Lisäksi kyberturvallisuuteen panostetaan yrityksissä entistä enemmän, ja eräs työkalu turvallisuuden parantamiseen on itse tekoäly.

Vastuu tekoällyn toiminnasta on toinen vielä laillisesti epäselvä alue. Tunnetuimpia esimerkkejä tästä keskustelusta ovat itseajavat autot. Jos auto kolaroi, kenen vastuu on korvata vahingot? CADin tapauksessa voi esimerkiksi tulla tilanne, jossa tekoäly antaa virheellisen ehdotuksen, ja valmistetun laitteen käyttäjä loukkaantuu laitteen rikkoutumisen seurauksena. Tällä hetkellä suunnittelijan pitää hyväksyä tekoällyn antamat ehdotukset, joten vastuu on hänellä. Tulevaisuudessa tekoäly saattaa kuitenkin tehdä päätökset itsenäisesti, jolloin vastaus ei ole yhtä selvä.

Vastuun lisäksi eettisiä kysymyksiä tekoölyyn liittyen ovat sen väärinkäyttö ja oikeudet sen käyttämään dataan. Ihmiset eivät aina käytä suunnittelutyökaluja tehdäkseen hyvää, ja tekoäly helpottaa näiden työkalujen käyttöä sekä nopeuttaa pääsyä haitalliseen tietoon. Voidaan argumentoida, että pahantahtoiset ihmiset löytävät keinon tehdä pahaa myös ilman apua, mutta tekoällyn apu saattaa joissain tapauksissa madaltaa tätä kynnystä. Datan käytön etiikka taas viittaa kysymykseen siitä, mistä käytetty data tulee ja käytetäänkö sitä ilman tekijänoikeuksia.

Käytännön ongelmaksi etenkin pienemmille yrityksille tulevat tekoällyn korkeat kustannukset. Suurin kuluerä muodostuu tekoällyn luonnista, sillä algoritmien luonti ja koulutus vievät paljon työaika. Tekoälyä pitää myös päivittää ja ylläpitää sen elinkaaren aikana, mikä voi tulla kalliiksi sen rakenteen monimutkaisuuden vuoksi. (Jenis et al. 2023) Toisaalta AI-ominaisuudet voivat tuoda CAD-valmistajille lisätuottoa, sillä niiden olemassaolo voi kasvattaa tuotteen houkuttavuutta ja niitä voidaan myydä lisäominaisuuksina tuotteeseen. Esimerkiksi SolidWorks myy Design Assistant -ratkaisuaan osana vuodeksi ostettavaa Cloud-lisenssiä.

Lisäksi tekoällyn yleisiä ongelmia ovat mahdollisesti syrjivät algoritmit, ajattelun puute sekä musta laatikko -luonne, jotka mainittiin tarkemmin kappaleissa 3.3 ja 3.4. Yhteen vetona AI saattaa olla puolueellinen tiettyjä ratkaisuja kohtaan, jos sen käyttämä koulu-

tusdatakin on eikä ulostuloa korjata. Tämä voi johtaa ulostuloihin, jotka eivät ole optimaalisia ratkaisuja. Ajattelun puute taas merkitsee, ettei tekoäly ymmärrä, mitä se on tekemässä. Se ei itsenäisesti erota oikeaa ja väärää ratkaisua, vaan oikea ja väärä ovat käsitteitä, jotka sille on opetettu. Tällöin se saattaa tarjota käyttäjälle täysin virheellistä ulostuloa parhaana ratkaisuna. Musta laatikko -luonteen takia tekoälyn ehdotusten perusteluja voi olla hankalaa tai mahdotonta ymmärtää, mikä tekee virheellisten ulostulojen syiden löytämisestä työlästä. Luonne hankaloittaa myös ratkaisujen toistamista, mikä vähentää algoritmin luotettavuutta. Tekoälyn päätösprosessin ymmärrettävyyden parantaminen onkin eräs AI-tutkimuksen nykyisistä tavoitteista.

## 4.2 Nykyinen AI-tutkimus

Allisonin et al. tekemä pääkirjoitus Journal of Mechanical Designin helmikuun 2022 julkaisuun kertoo erään aiheen tutkimusta rajoittavan tekijän olevan tutkimuksen tekijät itse. Kirjoitus huomauttaa, että aiheen tutkijat ovat pääasiassa koneensuunnittelun, eivät AI:n, asiantuntijoita. Vaikka koneensuunnittelun asiantuntijat tietävät kokemuksesta, millaisia työkaluja CAD-suunnittelun tehostamiseen tarvitaan, AI:n asiantuntijat voisivat tarjota aiheeseen uusia näkökulmia ja tekniikoita. AI:n asiantuntijat tuntevat paremmin tekoälyn potentiaalin, ja työkalujen luonti CADia varten voisi tuottaa täysin uudenlaisia toimintoja, joista myös toiset alat hyötyisivät.

Uusien ominaisuuksien luontiin Allisonin et al. artikkeli tunnistaa kolme pääaihetta:

- 1) Toisten alojen tarpeisiin kehitettyjen AI-metodien integrointi koneensuunnitteluun
- 2) AI-metodien luonti suoraan koneensuunnittelun haasteita varten
- 3) Koneensuunnittelun metodien luonti AI:n käyttöä ajatellen

Tekoälyn tutkimus kehittää jatkuvasti toimintoja, joita ei ole tehty CADia varten, mutta jotka tehostavat CADin toimintaa sivuvaikutuksena. ChatGPT:n ja muiden vastauksia antavien tekoälyjen toimintaperiaatteita voidaan hyödyntää koneensuunnittelussa suunnittelijan suunnittelustandardeihin ja CAD-ohjelman toimintaan liittyviin kysymyksiin vastaamiseen. Myös tietokoneen laskentakykyä ja toimintaa tehostavat tekoälyt parantavat epäsuorasti CADin toimintaa. Esimerkiksi NVIDIAN tekoälyä käyttävä denoiser parantaa kuvanlaatua ja suorituskykyä mahdollistaen CAD-mallien tarkemman ja nopeamman tarkastelun (NVIDIA 2023). Suurin osa CADia tehostavista toiminnoista kuuluu ja tulee todennäköisesti tulevaisuudessakin kuulumaan tähän kategoriaan.

Suoraan koneensuunnittelua varten luotujen AI-metodien kehitystä hidastaa puute resursseista. Tekoälyn koulutus vaatii osaamista, aikaa ja koulutusdataa. Dataa tarvitaan



paljon, sen pitää olla laadukasta ja kuvata kattavasti algoritmin tehtävän aihepiiriä. Opetusdataa on vaikea saada etenkin uusia aloja ja uudenlaisia tehtäviä varten, minkä takia esimerkiksi uusien CAD-työkalujen luonti on hidasta.

Tällä hetkellä vaikuttaa, että siirtovaikutus voisi olla ratkaisu ongelmaan. Siirtovaikutuksen avulla jo koulutettuja algoritmeja voidaan kopioida ja soveltaa toisiin tehtäviin. Koulutettujen algoritmien tai algoritmin koulutukseen tarvittavan datan myynnistä onkin kasvamassa uusi bisnesmalli. AI-malleja voi ostaa esimerkiksi Microsoftilta tai Amazon Web Servicestä. Alan markkinat tunnetaan myös lyhenteellä AlaaS (AI as a service). Ostettujen algoritmien riskinä kuitenkin on, että ne sisältävät puolueellisia päätöksiä tekeviä toimintamalleja tai takaovia järjestelmään. (Janiesch et al. 2021)

Tekoälyn tulevaisuutta on vaikea ennustaa sen nopean kehityksen vuoksi, mutta se tulee olemaan suuri osa teollisuus 4.0:aa. Muita tähän kuuluvia teknologioita ovat esimerkiksi esineiden internet (engl. internet of things, IoT) ja lisätty todellisuus (engl. augmented reality, AR). Nämä teknologiat tulevat yhdessä muuttamaan koneensuunnittelun perusteita. IoT mahdollistaa paremman yhteyden suunnittelijoiden, valmistajien ja käyttäjien välillä. Sen avulla voidaan myös välittää reaaliaikaista dataa toiminnassa olevista laitteista CADin tekoälylle, jolloin laitteen suunnittelua voidaan jatkuvasti optimoida ja kehittää (Rustici 2023). AR:n avulla suunnittelija voi käsitellä muokattavaa mallia todellisuutta vastaavassa ympäristössä. Näin mallit voidaan suunnitella vastaamaan paremmin todellisen maailman olosuhteita, ja suunnittelijan käsitys kappaleen mittasuhteista paranee. (Regassa & Woldeyohannes 2022)

Mahdollisesti suurin edistysaskel CAD-tekoälyn kannalta tulee kuitenkin olemaan 3D-tulostuksen yleistyminen valmistusmenetelmänä. Vaikka tekoäly kykeneekin jo suunnittelemaan ergonomisia ja entistä kestävämpiä malleja, niiden valmistus perinteisillä valmistusmenetelmillä ei ole kannattavaa. 3D-tulostus mahdollistaa näiden topologisesti optimoitujen orgaanisten muotojen valmistuksen. Konetekniikan aloilla 3D-tulostuksen käyttö on tällä hetkellä kehitysvaiheessa, mutta sen edut muihin valmistusmenetelmiin verrattuna sekä sen yhteensopivuus tekoälyn suunnittelemissa mallien kanssa takaavat sen käytön yleistyvän vielä.

## 5. YHTEENVETO

Tämä kirjallisuuskatsaus syventyi tekoälyn toimintaan ja käyttökohteisiin CAD-mallinnuksessa. Tekoäly ei ole uusi käsite, mutta sen käyttö on yleistynyt vasta viime vuosina. Monet CAD-valmistajat ovat alkaneet lisätä AI-ominaisuuksia ohjelmiinsa, eikä trendin odoteta katoavan tulevaisuudessa. Valmistajille AI-toimintojen lisäys voi tuoda lisätuotoja, sillä toiminnot voidaan myydä sovellukseen lisäosina ja ne voivat kasvattaa sovelluksen arvoa kuluttajien näkökulmasta. Toisaalta tekoälyn luonti ja ylläpito luovat kustannuksia ja vaativat yrityksiltä uudenlaista osaamista. Tekoälystä onkin jo alkanut muodostua oma työmarkkinansa.

Tekoälyä käytetään CADissa vähentämään toistuvia tehtäviä, parantamaan suunnittelun laatua ja helpottamaan CAD-ohjelman käyttöä. Useat CADiin lisätystä AI-toiminnoista eivät kuitenkaan ole alun perin sitä varten luotuja, vaan ne ovat yleisiä AI-toimintoja, joista on tulossa vakio-ominaisuuksia teknologiassa. Tällainen ominaisuus on esimerkiksi luonnolliseen kielen käsittelyyn perustuva ääni- ja tekstikomentojen ymmärrys. Lisäksi AI-taiteen kautta julkisuuteen tullut tekoälyn kyky generoida sisältöä soveltuu erinomaisesti CADiin: syöttämällä tekoälylle halutut parametrit suunnittelija voi luoda useita vaihtoehtoisia malleja hetkessä. Malleja voidaan myös optimoida tekoälyn avulla esimerkiksi haluttujen parametrien tai kappaleen topologian suhteen.

CADin AI-toiminnot toteutetaan usein ehdotuksina. Tekoäly ehdottaa suunnittelijalle tehtyjen valintojen perusteella seuraavaa toimintoa tai mahdollista ratkaisua. Monista CAD-ohjelmista löytyy esimerkiksi toiminto, joka ehdottaa käyttäjän valitseman piirteen kanssa samanlaisten piirteiden valintaa. Suunnittelijan tehtäväksi jää päättää, hyväksyykö hän ehdotuksen. Näin laadunvalvonta ja vastuu suunnittelusta pysyy edelleen ihmisellä.

Ehdotukset perustuvat klusterointiin, joka on valvomatonta koneoppimista. Nykyään klusteroinnissa hyödynnetään laajalti keinotekoisia neuroverkkoja. Nämä neuroverkot imitoivat ihmisen aivojen rakennetta ja kykenevät itsenäisesti luokittelemaan uutta tietoa sekä tekemään päätöksiä vanhan datan perusteella. Neuroverkot koulutetaan syöttämällä niille tehtävään liittyvää dataa ja optimoimalla niiden solmujen välisiä painoja. Neuroverkkojen itsenäinen oppiminen voi kuitenkin johtaa musta laatikko -luonteeseen, jota ilmenee vähemmän algoritmeilla joiden koulutuksessa ihminen on ollut aktiivisemmin mukana.

Ihmisen ja tekoälyn suhde on eräs yleisistä huolenaiheista tekoälyyn liittyen. Tutkijat eivät kuitenkaan usko tekoälyn korvaavan ihmistä lähitulevaisuudessa. Sen sijaan erityisesti CADissa tekoälyyn liittyviä haasteita ovat sen aiheuttamat kustannukset sekä ero yleisen AI-tutkimuksen ja CADia varten tehdyn tutkimuksen välillä. Kummassakin tapauksessa ongelmaksi tulee muun muassa osaamisen ja koulutusdatan puute. Uuden AI-pohjaisen CAD-työkalun luominen on hankalaa, sillä opetukseen soveltuvaa dataa ei usein löydy riittävästi. Eräs ratkaisu tähän ongelmaan on siirtovaikutus, joka mahdollistaa koulutettujen AI-algoritmien siirtämisen uusiin tehtäviin. Tämä vähentää tarvittavan datan, ajan ja työn määrää.

Jotta AI:n täysi potentiaali saataisiin hyödynnettyä CADissa, pitää koneensuunnittelun ja AI:n asiantuntijoiden tehdä tulevaisuudessa tiiviimpää yhteistyötä. Koneensuunnittelijat tietävät, millaisten tehtävien siirtämisestä AI:lle olisi eniten hyötyä suunnitteluprosessin aikana, mutta eivät välttämättä osaa kuvitella täysin uusia AI-toimintoja. AI:n asiantuntijat taas tietävät tekoälyn mahdolliset käyttötavat paremmin, mutta eivät tiedä millaisia toimintoja käyttäjät toivovat CAD-ohjelmilta. Toisaalta uusia AI-toimintoja luodaan jatkuvasti, ja CAD hyötyy niistä muun teknologian ohella. Tekoälyä käytetään jo esimerkiksi parantamaan tietokoneiden laskentakykyä ja kuvanlaatua, mikä tekee mallien käsittelystä nopeampaa ja tarkempaa. AI tulee myös olemaan suuri osa teollisuus 4.0:aa, ja yhdessä muiden siihen kuuluvien teknologioiden kanssa se tulee laajentamaan CAD-mallinnuksen mahdollisuuksia.

# LÄHTEET

- Allison, J. T. et al. (2022). Special Issue: Artificial Intelligence and Engineering Design. ASME. Journal of mechanical design (1990). [Online] Vol. 144(2). Saatavissa (viitattu 20.9.2023): <https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.1115/1.4053111>
- Chen, S. H., Jakeman, A. J. & Norton, J. P. (2008). Artificial Intelligence techniques: An introduction to their use for modelling environmental systems, Mathematics and Computers in Simulation. ScienceDirect. [Online] Vol. 78(2–3), pp. 379–400. Saatavissa (viitattu 6.10.2023): <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2008.01.028>
- Danon, B. (2018). How GM and Autodesk are using generative design for vehicles of the future. Autodesk. Saatavissa (viitattu 28.11.2023): [How GM and Autodesk are using generative design for vehicles of the future](#)
- Dassault Systemes. Meet the Design Assistant. Saatavissa (viitattu 16.10.2023): [Meet the Design Assistant - SOLIDWORKS®](#)
- datascience@berkeley (2020). What is Machine Learning (ML)? UC Berkeley School of Information. Päivitetty 2.2022. Saatavissa (viitattu 2.11.2023): [What is Machine Learning \(ML\)? - I School Online \(berkeley.edu\)](#)
- Fleischmann, C., Leher, I., Hartwich, R., Hainke, M. & Sesselmann, S. (2019). A new approach to quickly edit geometries and estimate stresses and displacements of implants in real-time. Current Directions in Biomedical Engineering. 2019 Vol. 5(1), pp. 553-556. Saatavissa (viitattu 11.11.2023): [A new approach to quickly edit geometries and estimate stresses and displacements of implants in real-time \(degruyter.com\)](#)
- harkiran78 (2023). Artificial Neural Networks and its Applications. Geeksforgeeks. Päivitetty 2.6.2023. Saatavissa (viitattu 21.10.2023): [Artificial Neural Networks and its Applications - GeeksforGeeks](#)
- IBM. What is machine learning? Saatavissa (viitattu 6.10.2023): <https://www.ibm.com/topics/machine-learning>
- Janiesch, C., Zschech, P. & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. Electron Markets. [Online] Vol. 31, pp. 685–695. Saatavissa (viitattu 6.10.2023): <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2>
- Jenis, J., Ondriga, J., Hrcek, S., Brumerick, F., Cuchor, M. & Sadovsky, E. (2023). Engineering Applications of Artificial Intelligence in Mechanical Design and Optimization. Machines. [Online] Vol.11(6), pp. 577–. Saatavissa (viitattu 18.9.2023): <http://dx.doi.org/10.3390/machines11060577>
- Kumar, K., Zindani, D. & Davim, J. P. (2021). Artificial Intelligence in Mechanical and Industrial Engineering. [Online] Milton: CRC Press. Saatavissa (viitattu 27.9.2023): [Artificial Intelligence in Mechanical and Industrial Engineering | Kau \(tuni.fi\)](#)
- Lutkevich, B. (2023). What is Natural Language Processing? An Introduction to NLP. TechTarget. Päivitetty 1.2023. Saatavissa (viitattu 9.11.2023): [What is Natural Language Processing? An Introduction to NLP \(techtarget.com\)](#)

Madan, A. K., Kharbanda, P., Yadav, P. & Kumar, R. (2023). AI and Machine Learning Uses in CAD/CAM. International Journal of Research Publication and Reviews. [Online] Vol. 4, pp. 4397–4401. Saatavissa (viitattu 27.9.2023): [AI and Machine Learning Uses in CAD/CAM \(ijrpr.com\)](https://www.ijrpr.com)

NVIDIA developer (2023). NVIDIA OptiX™ AI-Accelerated Denoiser. Saatavissa (viitattu 20.10.2023): [NVIDIA OptiX™ AI-Accelerated Denoiser | NVIDIA Developer](https://www.nvidia.com)

Regassa, H. B. & Woldeyohannes, A. D. (2022). Future prospects of computer-aided design (CAD) – A review from the perspective of artificial intelligence (AI), extended reality, and 3D printing. Results in Engineering. [Online] 14100478–. Saatavissa (viitattu 20.9.2023): [Future prospects of computer-aided design \(CAD\) – A review from the perspective of artificial intelligence \(AI\), extended reality, and 3D printing - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Rustici, C. (2023). Autodesk's Generative Design: Optimizing Design through AI. Direct Industry. Päivitetty 15.3.2023. Saatavissa (viitattu 6.10.2023): [Autodesk's Generative Design: Optimizing Design through AI - DirectIndustry News](https://www.directindustry.com)

Siemens Digital Industries Software Newsroom (2022). Siemens adds intelligence-based design to Xcelerator portfolio with latest release of NX. Saatavissa (viitattu 27.9.2023): [Siemens adds intelligence-based design to Xcelerator portfol | Siemens Software](https://www.siemens.com)

Software Solutions Studio (2021). Relevance of AI in computer-aided design. Saatavissa (viitattu 20.9.2023): [Relevance of AI in computer-aided design | Software Solutions Studio \(softwaresim.com\)](https://www.softwaresim.com)

Tara, R. (2023). AutoCAD Got a Little Smarter in 2024. Engineering. Saatavissa (viitattu 20.10.2023): [AutoCAD Got a Little Smarter in 2024 | Engineering.com](https://www.engineering.com)

Tondak, A. (2022). Deep Learning Vs Machine Learning. K21academy. Saatavissa (viitattu 20.10.2023): [Deep Learning Vs Machine Learning | Know The Difference \(k21academy.com\)](https://www.k21academy.com)

Turing (2023). Deep Learning vs Machine Learning: The Ultimate Battle. Saatavissa (viitattu 21.10.2023): [Deep Learning vs Machine Learning: The Ultimate Battle. \(turing.com\)](https://www.turing.com)

Vance (2022). The Fascinating History of Computer-Aided Design. Logical Cad Solutions. Saatavissa (viitattu 20.10.2023): [The Fascinating History of CAD | Logical CAD Solutions](https://www.logicalcad.com)