

Juulia Ketola

# TEKOÄLYN HYÖDYNTÄMINEN KULJETUSAJONEUVOJEN REITTISUUNNITTELUSSA

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta  
Kandidaattitutkielma  
Joulukuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Juulia Ketola: Tekoälyn hyödyntäminen kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa  
Kandidaattitutkielma  
Tampereen yliopisto  
Tietojenkäsittelytieteiden tutkinto-ohjelma  
Joulukuu 2023

---

Logistiikka on osa toimitusketjuprosessia, jossa pyritään ohjaamaan mahdollisimman tehokkaasti tavaravirta loppukäyttäjille. Kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelu on yksi logistiikan avaintekijöistä, koska kuljetuksista aiheutuu kuluja ja niihin kohdistuu erilaisia vaatimuksia, kuten toimitusten oikea-aikaisuus ja luotettavuus. Reittisuunnittelun tavoitteena on järjestää kuljetukset mahdollisimman tehokkaasti ja luotettavasti. Tekoälyllä on merkittävä rooli tässä prosessissa, sillä sen eri tekniikoita voidaan hyödyntää laskemaan mahdollisimman optimaalisia reittejä kuljetusajoneuvoille. Tässä tutkielmassa tarkastellaan kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelua ja, miten sitä voidaan parantaa erilaisilla tekoälytekniikoilla.

Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, joka perustuu aiempiin julkaisuihin. Tutkielma tarjoaa lyhyen yleiskatsauksen tekoälyyn ja sen eri tekniikoihin, jotka liittyvät reittisuunnitteluun. Lisäksi työ pyrkii esittelemään kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelua ja siinä esiintyviä haasteita, samalla tuoden esille mahdollisia kehityssuuntia tulevaisuudessa.

Tutkielma pyrkii vastaamaan kysymykseen ”Miten tekoälyä voidaan hyödyntää kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa?”. Tehokkaan reittisuunnittelun keskeisenä tavoitteena on optimoida kuljetusajoneuvojen reitit ja jakeluverkot. Tekoäly on viime vuosina kehittynyt voimakkaasti, ja se vaikuttaa myös kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelun ja logistiikan kehitykseen. Tekoälyn avulla reittisuunnittelua voidaan vielä kehittää monella tapaa. Tekoälyllä kuljetusreittien laskenta ja optimointi on nopeaa ja tehokasta ja sillä voidaan luoda entistä laadukkaampi reittejä. Kuljetusreittien optimoinnilla ei vain kasvateta kuljetusten tehokkuutta ja vähennetä kustannuksia, vaan se myös parantaa toimitusten tarkkuutta ja asiakastytyväisyyttä. Tekoälyn kehitys mahdollistaa myös entistä monimutkaisempien reititysongelmien ratkaisemisen. Historiadataa kuljettajista ja liikenteestä voidaan myös hyödyntää optimaalisempien ja paremmin personoitujen reittien suunnitteluun, esimerkiksi ennakoimaan liikennetilannetta ja näin välttämään ruuhkia.

Avainsanat: reittisuunnittelu, tekoäly, kuljetukset

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Tekoäly .....</b>	<b>2</b>
2.1	Heuristiikat ja heuristiset hakualgoritmit	3
2.2	Koneoppiminen	4
2.3	Neuroverkot	5
<b>3</b>	<b>Kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelu .....</b>	<b>5</b>
3.1	Reittien optimointi	6
3.2	Viimeisen kilometrin toimitus	8
<b>4</b>	<b>Tekoälyn hyödyt kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa .....</b>	<b>8</b>
4.1	Nopeampi ja tehokkaampi reittisuunnittelu	9
4.2	Ennustaminen ja automatisointi	10
4.3	Yhteenveto hyödyistä	11
<b>5</b>	<b>Yhteenveto .....</b>	<b>12</b>
	<b>Lähdeluettelo .....</b>	<b>13</b>

## 1 Johdanto

Tekoäly on kehittynyt viime vuosina suuresti, ja se on kasvattanut merkitystään eri aloilla. Sitä voidaan soveltaa monipuolisesti useilla eri elämän osa-alueilla, mukaan lukien kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelu. Tämä tutkielma pyrkii tarkastelemaan lyhyesti tekoälyä, ja tapoja hyödyntää sitä kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa.

Tutkielman tavoitteena on esitellä tekoäly lyhyesti ja tarkastella sen potentiaalia kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa. Tutkielma pyrkii vastaamaan kysymykseen ”Miten tekoälyä voidaan hyödyntää kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa?”. Tutkimuksen tarkoituksena ei ole syventyä teknisiin yksityiskohtiin siitä, miten tekoäly toimii. Tutkimuksessa ei myöskään syvennyt tarkemmin reittisuunnittelun tekniseen toteutukseen. Kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa käsitellään erityisesti toimitusketjun loppuosaa, jossa lähetyksillä on vähintään eri toimitusosoitteet.

Tutkielma on kirjallisuuskatsaus, joten se perustuu aiempiin julkaisuihin. Lähteiden hakuun on käytetty eri tietokantoja: Tampereen yliopiston Andor -tietokantaa, ProQuestia sekä ACM Digital Librarya. Tutkielmaan on yritetty löytää mahdollisimman uusia lähteitä, etenkin reittisuunnitteluun liittyen. Kaikki lähteet ovat julkaistu vuoden 2012 jälkeen.

Lähteitä on haettu eri hakusanoilla ja yhdistelemällä eri hakusanoja. Osa käytetyistä lähteistä on löytynyt muiden lähteiden lähdeluetteloista. Alle on listattu muutama esimerkki käytetyistä hakusanoista:

- AI in route planning
- Tekoäly
- AI AND route planning
- AI AND logistics
- Route Planning AND Neural Network

Hakutuloksista on valittu lähteitä otsikon perusteella ja sen jälkeen luettu vielä abstrakti, jotta selviää paremmin, mitä teksti käsittelee. Abstraktista on viimeistään selvinnyt, koskeeko teksti ajoneuvojen reittisuunnittelua. Reittisuunnitteluun liittyen löytyy paljon lähteitä ja niistä on pyritty valitsemaan sellaisia, jotka liittyvät logistiikkaan, erityisesti ajoneuvojen reittisuunnitteluun, ja niissä käsitellään myös tekoälyn hyödyntämistä.

Tämän tutkielman ensimmäinen luku on johdanto. Toisessa luvussa käsitellään tekoälyä yleisellä tasolla ja esitellään muutama tekoälytekniikka, joita hyödynnetään

reittisuunnittelussa. Kolmannessa luvussa käsitellään logistiikkaa, erityisesti tavaroiden toimitusta ja kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelua. Neljännessä luvussa esitellään tekoälyn hyötyjä kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa. Luvussa viisi on tutkielman yhteenveto.

## **2 Tekoäly**

Tekoälylle ei ole tarkkaa yleistä määritelmää, mutta sillä viitataan yleensä koneisiin tai laitteisiin, jotka kykenevät oppimaan (Tuominen et al., 2019). Tekoälyllä voidaan esimerkiksi pyrkiä saamaan koneet tekemään sellaisia asioita, jotka aikaisemmin edellyttivät ihmistä. Tekoäly koostuu erilaisista tekniikoista ja menetelmistä, joista valitaan sopiva käyttökohteesta riippuen. Sitä voidaan hyödyntää tehokkaasti sekä lineaaristen että epälineaaristen ilmiöiden käsittelyyn. (Kananen & Puolitaival, 2019)

Tekoäly on kehittynyt viime vuosina hyvin nopeaan vauhtiin. Tämä selittyy muun muassa laskentatehon kasvulla ja laskentakapasiteetin hinnan voimakkaalla laskulla (Kananen & Puolitaival, 2019). Nykyään myös dataa on valtavasti kaikkien saatavilla, mikä on osaltaan vaikuttanut tekoälyn kehitykseen (Tuominen et al., 2019).

Tekoälyn avulla voidaan automatisoida prosesseja, jotka liittyvät ihmisten käsittelemään tietoon ja se pystyy myös käsittelemään valtavan määrän dataa nopeasti (Kananen & Puolitaival, 2019). Tekoäly ei tee inhimillisiä virheitä, mutta se ei ole samalla tavalla älykäs kuin ihmiset. Tekoälyllä on lukuisia sovellusmahdollisuuksia, kuten esimerkiksi kuvatuunnistus ja koneoppiminen (Tuominen et al., 2019).

Tekoälyn hyödyntäminen vaatii dataa ja käytetty data vaikuttaa tekoälyn laatuun ja kattavuuteen (Tuominen et al., 2019). Tekoälyn opettamisessa käytettävä data täytyy käsitellä etukäteen, jotta se on oikeassa muodossa koneen käyttöön. Datan esikäsitely voi olla hyvinkin työlästä ja aikaa vievää. Esikäsitellyn datan avulla voidaan kouluttaa tekoäly ja jatkossa se pystyy tarjoamaan vastauksia tai ennusteita saamastaan datasta. Tekoälyn ennusteista saadaan sitä tarkempia, mitä enemmän dataa sillä on käytettävissään. (Kananen & Puolitaival, 2019)

Tekoälytekniikat pelaavat merkittävää roolia kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa hyödyntämällä erilaisia algoritmeja ja malleja. Tekniikan valinta riippuu usein reittisuunnitteluongelman vaatimuksista. Eri tekoälytekniikoiden yhdistäminen keskenään, kuten metaheurististen menetelmien yhdistäminen koneoppimiseen, voi

johtaa tehokkaampiin reittisuunnitteluratkaisuihin ja sitä kautta kustannussäästöihin, pienempiin matka-aikoihin ja parempaan asiakaspalveluun (Mukherjee et al., 2023).

Tekoälytekniikat edistävät älykkäiden reittisuunnittelujärjestelmien kehittämistä. Sellaisten, jotka voivat sopeutua muuttuviin olosuhteisiin, optimoida reittejä eri tavoitteisiin sekä tarjota tehokkaita ja nopeita ratkaisuja reaaliajassa. Seuraavaksi käydään läpi joitakin yleisiä tekoälytekniikoita kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa.

## **2.1 Heuristiikat ja heuristiset hakualgoritmit**

Edelkamp ja Schrödl (2012) esittävät haun olevan tärkeä tekniikka tekoälyn ongelma ratkaisussa. Haussa käytettävät heuristiikat ovat arvioita jäljellä olevasta etäisyydestä solmusta tavoitteeseen. Tätä tietoa voidaan käyttää hakualgoritmeissa arvioimaan lupaavin tila ja siten ohjaamaan algoritmia. Heuristiikat ovat keskeisiä hakualgoritmeissa, koska ne suuntaavat hakua kohti tavoitetta ja vähentävät laskennallista hakutaakkaa. Tämä tekee hakuprosessista tehokkaamman ja nopeamman.

Edelkampin ja Schrödlin (2012) mukaan yksi heurististen hakualgoritmien tärkeimmistä sovellusalueista on reittien etsintä. Erityyppisillä hakualgoritmeilla pyritään löytämään mahdollisimman optimaalinen reitti annettujen ehtojen mukaisesti. Reitityksessä heuristiikat voivat olla erityisen hyödyllisiä suurien ongelmien ratkaisemisessa, missä reitin täydellinen optimointi on laskennallisesti vaativaa. Toth ja Vigo (2014) tuovat esille, että käytännön tilanteissa suuretkin reittisuunnitteluongelmat on ratkaistava nopeasti, joten tehokkaat heuristiikat ovat tarpeen. Lisäksi reititys tarpeet vaihtelevat tapauskohtaisesti, joten on tarpeen kehittää heuristiikkoja, jotka ovat riittävän joustavia käsittelemään erilaisia tavoitteita ja rajoitteita.

Hakualgoritmien suoritukselle voidaan määrittää erilaisia strategioita ja ehtoja. Edelkampin ja Schrödlin (2012) mukaan esimerkiksi aikaperusteinen reitin optimointi painottaa nopeinta reittiä, kun taas etäisyysperusteinen optimointi keskittyy lyhimpään reittiin. Näiden ehtojen ja kriteerien huolellinen määrittely antaa mahdollisuuden räätälöidä hakualgoritmeja. Heuristiikan tulisi olla helppo ymmärtää, toteuttaa ja hienosäätää, jotta se olisi hyödynnettävissä erilaisissa tilanteissa (Toth & Vigo, 2014).

Yleisimmin käytettyjä heuristiikkoja ja metaheuristiikkoja ovat lähimmän naapurin haku, paikallishaku ja geneettiset algoritmit (Mo et al., 2023). Paikallishaku voi olla tehokas tapa ratkaista reititysongelma, jossa on monimutkaisia rajoitteita. Heuristiset menetelmät eivät välttämättä aina tarjoa optimaalisinta mahdollista ratkaisua, mutta kuitenkin lähes optimaalisen ratkaisun kohtuullisessa ajassa. (Mukherjee et al., 2023)

Myös A\* on yleisesti käytetty algoritmi polun määrittelyyn, se etsii lyhimmän reitin kahden pisteen välillä, ja sitä käytetään reittisuunnittelussa esimerkiksi autojen navigointijärjestelmissä (Edelkamp & Schrödl, 2012). Xie ja Qiao (2022) esittävät toisen yleisen algoritmin, muurahaisyhdyskunta-algoritmin (Ant colony algorithm), joka simuloi reittien etsintää muurahaisten ruuan hakua matkien. Sen avulla pyritään luomaan mahdollisimman optimaalinen reitti kuljetusajoneuvoille siten, että se täyttää vaaditut ehdot samalla parantaen kuljetusten tehokkuutta ja laskien kuljetuksista aiheutuvia kustannuksia (Xie & Qiao, 2022). Algoritmeille asetettuja mahdollisia ehtoja voivat olla esimerkiksi kuljetusajoneuvon kapasiteetti ja lähetyksen toimitusaikaikkuna, joilla vaikutetaan algoritmin toimintaan ja sen tuottamiin ratkaisuihin.

## 2.2 Koneoppiminen

Tuomisen ja muiden (2019) mukaan ohjelmistojen suorituskykyä pyritään parantamaan koneoppimisella (Machine Learning), joka hyödyntää dataa ja mahdollisia tietoja käyttäjien toiminnasta. Koneoppimisen päämääränä on automatisoida tiedon tulkintaa ja laajentaa koneen havainnointikykyä monimutkaisilla algoritmeilla. Koneoppimisen avulla voidaan luoda järjestelmiä, jotka pystyvät oppimaan ja kehittymään automaattisesti (Sarker, 2021).

Tuominen ja muut (2019) esittävät, että koneoppiminen voidaan jaotella oppimistyylin perusteella ohjattuun oppimiseen, ohjaamattomaan oppimiseen sekä vahvistettuun oppimiseen. Ohjatussa oppimisessa (supervised learning) kone oppii syöte-tavoitepareista, ja tarkoituksena on, että kone pystyy itsenäisesti tekemään jaottelun vastaavalle aineistolle. Ohjaamattomassa oppimisessa (unsupervised learning) yritetään tunnistaa datasta eri syötteiden välisiä riippuvaisuuksia, suhteita ja samankaltaisuuksia, ja niiden avulla ryhmitellä syötteet. Vahvistetussa oppimisessa (reinforcement learning) kone oppii tekemään päätöksiä ja parantamaan suoritustaan ympäristöltä saamiensa palautteiden perusteella. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi itseohjautuvissa autoissa.

Kanasen ja Puolitaipaleen (2019) mukaan koneoppimisella voidaan tuottaa ennustemalleja, jotka jaetaan kahteen pääluokkaan: luokittelu- eli klassifikaatiomalleihin ja määrä- eli regressiomalleihin. Klassifikaatiomalleilla voidaan ennustaa asian todennäköisyyttä ja regressiomalleilla ennustetaan asian suuruusluokkaa. Asiantuntija-arvioita ja manuaalista päätöksentekoa voidaan pyrkiä korvaamaan ennustemalleihin perustuvilla koneoppimisen ohjelmilla (Kananen & Puolitaival, 2019). Ennustemalleilla voidaan myös esimerkiksi ennustaa paremmin ajoneuvojen todellisia matka-aikoja aiemman datan perusteella.

### **2.3 Neuroverkot**

Kanasen ja Puolitaipaleen (2019) mukaan yksinkertaistetusti syväoppimisella (Deep Learning) viitataan neuroverkkoihin, jotka ovat saaneet innoituksensa ihmisaivoista. Syväoppiminen vaatii suuren määrän dataa toimiakseen. 2010-luvulla neuroverkot ovat kokeneet suureen kehityksen kolmesta keskeisestä syystä: datan runsas saatavuus, korkea laskentateho ja kyky toteuttaa matemaattisia konsepteja tehokkaasti käytännössä. Myös Géron (2018) nostaa esille, että käytettävissä olevan datan kasvu on hyödyttänyt neuroverkkojen kehitystä, koska niiden opettamiseen on enemmän dataa käytössä. Koneiden laskentatehon kasvu taas on mahdollistanut suurien neuroverkkojen opettamisen kohtuullisessa ajassa.

Kananen ja Puolitaival (2019) esittävät, neuroverkkojen sopivan erinomaisesti epälineaaristen ilmiöiden analysointiin. Ne koostuvat toisiinsa kytkeytyneistä matemaattisista funktioista, joissa painokertoimen arvo kertoo, kuinka voimakkaasti kaksi asiaa ovat sidoksissa toisiinsa. Neuroverkot suoriutuvat yleensä paremmin kuin koneoppiminen isoista ja monimutkaisista ongelmista (Géron, 2018). Niitä voidaan hyödyntää reittisuunnittelussa esimerkiksi liikenneolosuhteiden ennakoinnissa.

## **3 Kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelu**

Logistiikka on osa toimitusketjuprosessia (supply chain process), jossa pyritään ohjaamaan mahdollisimman tehokkaasti tavaravirtaa, siihen liittyvää varastointia, palveluita ja tietoja valmistuslähteiltä lopullisille kuluttajille, varmistaen samalla, että loppukäyttäjien tarpeet täytetään. Logistiikka ei ole pelkkä yksittäinen toiminto vaan se sisältää useita tehtäviä, kuten esimerkiksi pakkaamisen, lastaamisen, kuljettamisen, purkamisen ja varastoinnin sekä erilaista suunnittelua, viestintää ja valvomista. Logistiset toiminnot, kuten kuljetus ja varastointi, ovat keskeisiä tekijöitä arvoketjun toteutumisessa. (Sakki, 2014)

Kuljetukset aiheuttavat kustannuksia ja niihin kohdistuu monenlaisia vaatimuksia, kuten esimerkiksi toimitusten täsmällisyys, oikea-aikaisuus, virheettömyys ja luotettavuus (Sakki, 2014). Mon ja muiden (2023) mukaan monille logistiikkapalvelujen tarjoajille on yhä tärkeämpää kiinnittää huomiota myös toimitusketjun loppuosaan, niin kutsuttuun viimeiseen kilometriin. Näiden toimitusten määrä on lisääntynyt, joten niiden toimitusreittien suunnittelu ja toteuttaminen tehokkaasti ja taloudellisesti on tärkeää. Kuljetusaikataulut usein vaihtelevat päivittäin ja ne ovat alttiita epävarmuuksille, mikä osaltaan tekee kuljetusten suunnittelusta ja ennakoinnista hankalaa ja vaikuttaa kustannuksiin (Chen & Shi, 2015).

Asiakkailla on odotuksia toimitusten suhteen, esimerkiksi halutaan toimitus saman päivän aikana tai itse määriteltyyn toimitusaikaan ja -paikkaan (Mo et al., 2023). Kuljetusyrietykset pyrkivät ylläpitämään korkeaa asiakaspalvelun tasoa samalla, kun vähentävät tarpeettomia kustannuksia, kuten esimerkiksi tyhjien kuljetusajoneuvojen siirtelyä. Tavoitteena voi olla myös kokonaisvoiton maksimointi suunnitteluhorisontin aikana. Tehokkaassa jakeluverkostossa pyritään toimittamaan tuotteet sekä edullisesti että oikea-aikaisesti. (Chen & Shi, 2015)

Pakettien toimitusvolyymit ovat kasvaneet maailman laajuisesti viime vuosien aikana ja niiden odotetaan kasvavan jatkossakin. Tämä lisää kuljetusreittien tehokkaan suunnittelun tärkeyttä entisestään. Kaupunkialueiden kasvava väestötiheys saattaa aiheuttaa lisääntyviä toiminnallisia epävarmuustekijöitä logistiikkapalvelujen tarjoajille, kun esimerkiksi kasvavat liikenneuhkat ja vaikeammin ennakoitavat matka-ajat tekevät tavaroiden tehokkaasta ja luotettavasta kuljettamisesta haastavampaa. (Mo et al., 2023)

Reittisuunnittelu on yksi logistiikan avaintekijöistä ja siinä huomioidaan yleensä vähintään reitin matka-aika ja etäisyys (Weise & Mostaghim, 2020). Kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa yksinkertaistaen suunnitellaan reitti lähetysten noutopaikasta sen toimituspaikkaan. Yleensä oikeat kuljetustarpeet eivät kuitenkaan ole näin yksinkertaisia, vaan kuljetuksiin vaikuttaa monet asiat, kuten esimerkiksi lähetysten toimitusaika ja koko. Tällöin kuljetusten reittisuunnittelussa täytyy ottaa huomioon useita tekijöitä, mikä tekee valmiiden mallien hyödyntämisestä haastavaa.

Reittisuunnittelussa tulee toisinaan myös huomioida lähetysten jakautuminen eri ajoneuvoille, koska usein kuljetusyrietyksillä on käytössään useita kuljetusajoneuvoja. Jotta reittistä saataisiin järkevä, ajoneuvolle asetettavien lähetysten tulisi olla mahdollisuuksien mukaan samalla alueella ja kuljettajien työkuormien tasapainossa (Boysen et al., 2021). Tämän lisäksi tulisi ottaa huomioon ainakin lähetysten mahdollisesti eroavat aikarajoitukset. Tekoälyä voidaan hyödyntää reitin suunnittelun lisäksi lähetysten ryhmittelyssä.

### **3.1 Reittien optimointi**

Ajoneuvojen reittisuunnittelu on prosessi, jossa määritetään mahdollisimman optimaaliset polut ajoneuvoille matkustaa lähtöpisteestä yhteen tai useampaan määränpäähen ottaen huomioon erilaiset rajoitteet ja tavoitteet. Tavoitteena on yleensä minimoida kustannuksia, kuten matka-aikaa ja polttoaineen kulutusta. Mahdollisimman optimaalisen reitin suunnitteluun käytetty tekniikka riippuu muun muassa määrittelystä ongelmasta sekä optimoinnin tavoitteista (Weise & Mostaghim, 2022).

Weise ja Mostaghim (2020) esittävät reittien optimoinnin olevan logistiikan sovellusten haastavimpia tehtäviä. Myös Pitzer ja Kronberger (2015) tuovat esille logistiikkaverkkojen optimoinnin haastavuuden. Ongelmaa voidaan kuvata muun muassa ajoneuvon reititysongelman (Vehicle Routing Problem, VRP) tai kauppamatkustajan ongelman (Traveling Salesman Problem, TSP) avulla. VRP, TSP ja niiden eri muunnelmat ovat hyvin tunnettuja ja laajasti tutkittuja, ja viime vuosina on saavutettu merkittävää kehitystä niiden laadun ja laskentakustannusten suhteen (Mo et al., 2023).

Ajoneuvon reititysongelmassa käytettävissä olevaa kalustoa käytetään toimittamaan tietty joukko solmuja ja optimoinnilla pyritään löytämään optimaalinen joukko reittejä (Loske & Klumpp, 2021). Kauppamatkustajan ongelman eli TSP:n perusasetelmassa yksi kauppias käy läpi jokaisen solmun kerran ja lopuksi palaa takaisin lähtöpisteeseen. Useimmiten perusasetelmaa ei kuitenkaan voida hyödyntää sellaisenaan tosielämän sovelluksissa, vaan sitä on muokattava. Tästä syystä siitä löytyy monenlaisia variaatioita, esimerkiksi joissain variaatioissa paketit ovat aikasidonnaisia. Eri variaatiot asettavat ratkaisuille eri rajoituksia. (Mo et al., 2023)

Perinteiset TSP- ja VRP-mallit pyrkivät minimoimaan reitin kokonaismatkan tai ajan, siten että reitti kulkee kaikkien toimituspisteiden kautta (Mo et al., 2023). Kuitenkin yleensä kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa täytyy ottaa huomioon useita tekijöitä, jotka vaikeuttavat reittien optimointia. Näitä ovat esimerkiksi lähetyksen koko, kuljetusajoneuvon kapasiteetti, nouto- ja toimituspaikka sekä aikaikkuna. Perinteisessä TSP- tai VRP-mallissa ei esimerkiksi oteta huomioon lähetyksen aikaikkunaa tai liikenteestä johtuvia matka-aikojen vaihteluita eri kellonaikoina (Boysen et al., 2021). Mallit siis olettavat matka-ajan olevan riippuvainen vain etäisyydestä, jolloin esimerkiksi liikennoruuhkia ei oteta huomioon reittisuunnittelussa (Loske & Klumpp, 2021).

Kuljetuksissa esiintyvät ongelmat voivat liittyä muun muassa ajoneuvojen reititykseen tai paikallisiin nouto- ja toimitustarpeisiin. Yleensä lähetyksen noudon ja toimituksen aikarajoitukset sekä kuljettajien kapasiteetti- ja työtuntirajoitukset tuottavat haasteita reittisuunnittelussa hyödynnettäville matemaattisille malleille. Ongelmien ratkaisemiseksi on esitetty erilaisia lähestymistapoja ja algoritmeja, kuten sarakkeiden generointi (column generation), heuristiikat, likimääräinen dynaaminen ohjelmointi ja tiedonlouhinta. (Chen & Shi, 2015)

Boysen ja muut (2021) nostavat esille ammattitaitoisten kuljettajien omaavan paljon kokemusperäistä tietoa kuljetuksiin liittyen, kuten esimerkiksi tieto sopivista pysäköintialueista ja ruuhka-ajoista, jotka vaikuttavat optimaaliseen reittiin, mutta ovat

haastavia huomioida reittisuunnittelussa. Loske ja Klumpp (2021) esittävät kuljetuksissa toisinaan tulevan vastaan ongelmia tai muutoksia, joiden ratkaiseminen edellyttää nopeaa ja intuitiivista päättelykykyä. Tämä on ihmisten vahvuuksia, ei tekoälyn.

Myös kestävä kehitys ja ympäristöasiat tuovat oman lisänsä kuljetusajoneuvojen reittisuunnitteluun. Sähköajoneuvojen käyttäminen kuljetuksissa vaatii reittisuunnittelun ottavan huomioon ajoneuvojen rajallisen toimintasäteen sekä latausmahdollisuudet (Boysen et al., 2021). Reittisuunnittelun avulla voidaan myös pyrkiä vähentämään kuljetusajoneuvojen polttoaineen kulutusta ja päästöjä, esimerkiksi lyhentämällä reittien kokonaismatkaa (Weise & Mostaghim, 2020).

Yleiset reittisuunnittelutyökalut, kuten Google Maps tai Bing Maps, mahdollistavat käyttäjille lähtö- ja määränpääpisteen määrittämisen ja laskee tehokkaasti parhaan reitin näiden välille. Parhaalla reitillä viitataan yleensä nopeimpaan tai lyhyimpään reittiin, eikä käyttäjällä ole mahdollisuutta itse määrittää omia toiveitaan reitille. Toisinaan esimerkiksi optimaalisin reitti kuluttaisi vähiten polttoainetta. (Funke & Storandt, 2015)

### **3.2 Viimeisen kilometrin toimitus**

Viimeisen kilometrin (last mile) toimituksilla tarkoitetaan toimitusketjun loppuosaa, jossa lähetys toimitetaan esimerkiksi keskusvarastolta tai terminaalista loppukäyttäjälle (Boysen et al., 2021). Viimeinen kilometri on yleensä kallein, saastuttavin ja haasteellisin osuus kuljetuksesta (Heikkinen, 2022). Kuljetukset esimerkiksi terminaalista toiseen ovat helpompia toteuttaa kustannustehokkaasti, vaikka matka olisi pitkä, koska samaan kuljetukseen saadaan useita lähetyksiä. Lähetykset terminaalista eteenpäin loppukäyttäjälle taas vaativat kuljetukset usein useaan erilliseen toimitusosoitteeseen. Kaupunkialueet ovat myös ruuhkaisempia ja hitaampia ajaa kuin suuremmat tiet kaupunkien välillä.

Viimeisen kilometrin reittisuunnittelun merkittävyyttä on lisännyt muun muassa toimitusten kasvanut volyyymi, kestävä kehitys sekä kuljetusten kustannukset ja aikapaineet (Boysen et al., 2021). Kuljetukset pyritään järjestämään mahdollisimman tehokkaasti säilyttäen silti hyvä asiakaspalvelun taso. Data ja teknologia tarjoavat uusia mahdollisuuksia pyrkiä kehittämään toimintaa kestäväillä ja kaupallisesti järkevillä ratkaisuilla (Heikkinen, 2022).

## **4 Tekoälyn hyödyt kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa**

Tekoälyä voidaan hyödyntää päätöksenteon tukena ja toimintojen automatisoinnissa. Tekoälyä hyödynnetään kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa monella tapaa, ja siitä

on erityisesti hyötyä pyrkimyksessä optimoida kuljetusajoneuvojen reittejä. Sen avulla voidaan muun muassa kasvattaa toiminnan tehokkuutta ja säästää kustannuksia sekä parantaa toimitusten tarkkuutta. Alla on esitetty muutama tapa kehittää logistiikkaa ja kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelua tekoälyn avulla.

#### **4.1 Nopeampi ja tehokkaampi reittisuunnittelu**

Reittien laskeminen ja optimointi on nopeampaa tekoälypohjaisilla järjestelmillä kuin ihmisten toteuttamana. Joissain tilanteissa voi myös olla tarpeen poiketa ennakkoon suunnitellusta reitistä, esimerkiksi liikenneonnettomuuden vuoksi. Fitzgerald ja Banaei-Kashani (2021) tutkivat ajonaikaista reittien uudelleensuunnittelua, jossa optimaalista reittiä päivitetään kuljettajalle matkan aikana, jotta keskimääräinen matka-aika paranisi. Paremmalla reittien optimoinnilla voidaan aikasäästöjen lisäksi esimerkiksi pienentää polttoaineen kulutusta ja sitä kautta vähentää hiilidioksidipäästöjä. Xie ja Qiao (2022) nostavat esille myös sen, että laadukkaat jakelujärjestelmät eivät pelkästään kasvata tehokkuutta ja vähennä kustannuksia, vaan ne voivat myös parantaa asiakastytyvääisyyttä.

Funke ja Stordandt (2015) tutkivat reittisuunnittelun reaaliaikaista personointia, jotta reitit voitaisiin optimoida entistä paremmin vastaamaan käyttäjien toiveita. Tämä kasvattaa käyttäjätytyvääisyyttä, mutta lisää reittisuunnitteluongelman monimutkaisuutta. Reitin laskenta tulee ratkaista niin, että siihen ei mene kohtuuttoman paljoa aikaa. Kehitys reittisuunnittelutekniikoissa mahdollistaa monimutkaisempienkin ongelmien ratkaisemisen kohtuullisessa ajassa. Reittisuunnittelun tavoite vaikuttaa myös lopputulokseen, esimerkiksi lyhyemmän reitin avulla voidaan säästää polttoainetta, mutta matka-aika saattaa olla pidempi (Weise & Mostaghim, 2020).

Yhdistelemällä eri tekoälytekniikoita voidaan saavuttaa parempia tuloksia monimutkaisten reititysongelmien ratkaisemisessa. Esimerkiksi kytkemällä koneoppiminen evoluutioalgoritmeihin, voidaan parantaa optimointialgoritmin tehokkuutta ja laatua. Evoluutioalgoritmit ovat luonnonvalinnan innoittamia metaheuristisia optimointialgoritmeja. Tätä yhdistelmää on ehdotettu ratkaisuksi reititysongelmaan, jossa täytyy ottaa ajoneuvojen kapasiteettien lisäksi huomioon erilaiset aikaikkunat. (Mukherjee et al., 2023)

Mon ja muiden (2023) mukaan kokeneiden kuljettajien valitsema optimaalinen reitti ei välttämättä vastaa perinteisten mallien optimaalista reittiä, jossa usein minimoidaan joko etäisyys tai matka-aika. Kuljettajilla on usein käytössään monenlaista kokemusperäistä tietoa, kuten esimerkiksi liikenneruuhkat, otolliset pysäköintipaikat ja asiakkaiden toiveet, jotka on vaikea suoraan koodata optimointimalliin. Kuljettajille voidaan tarjota

tukea päätöksentekoon matkasuunnittelua ja ajoneuvojen lastausta varten, mutta suurin osa nykyisistä ohjelmistoista ei pysty ottamaan huomioon kuljettajien kokemusperäistä tietoa (Boysen et al., 2021). Uusia ja parempia algoritmeja pyritään kehittämään, jotta tämä ongelma saataisiin ratkaistua. Keräämällä dataa ja seuraamalla tilanteita, joissa kuljettajat poikkeavat teoreettisesti optimaalisesta reitistä, voidaan pyrkiä oppimaan käytännöstä ja parantamaan algoritmeja. (Mo et al., 2023)

Tekoälyn avulla reittisuunnittelua voidaan parantaa entisestään, tekoäly tarjoaa tehokkaan tavan ennustaa ja optimoida kuljetusreittejä, mikä johtaa kokonaiskustannusten ja ajan säästöihin sekä parempaan suorituskykyyn. Mon ja muiden (2023) mukaan kuljettajista kerätyn datan avulla neuroverkoilla voidaan pyrkiä ennustamaan kuljettajan todellinen reittijärjestys. Tavoitteena on löytää pysäkkijärjestyksiä, jotka paremmin vastaisivat kokeneiden kuljettajien valitsemaa laadukkaita reittejä. Tämä lisää myös reittien tehokkuutta, pienentämällä reitin kokonaismatkaa tai kestoa. Koulutettua koneoppimismallia voidaan soveltaa reaaliaikaisesti reittien nopeaan uudelleenoptimointiin, kun kuljettajat joutuvat yllättäen poikkeamaan alkuperäisestä pysäkkijärjestyksestä ja tarvitsevat päivitetyn reitin. Reitin ennustettavuuteen vaikuttaa kuitenkin monet tekijät, kuten esimerkiksi reitin laatu, toimitusaikaikkunat ja pysähdysten kokonaismäärä.

#### **4.2 Ennustaminen ja automatisointi**

Tekoälyä voidaan hyödyntää älykkääseen kuljetusten aikataulutukseen. Esimerkiksi muurahaisyhdyskunta-algoritmeilla voidaan optimoida kuljetusten aikataulutusta siten, että se täyttää asetetut rajoitukset ja parantaa kuljetusten tehokkuutta ja laskee kustannuksia. Algoritmi etsii optimaalisen reitin, joka on rajoitusten mukainen ja vastaa parhaiten tavoitteisiin. Rajoituksena voi olla esimerkiksi kuljetusajoneuvojen kapasiteetti ja tavoitteina alhaiset kuljetusajat ja kuljetusajoneuvon matala polttoaineen kulutus. (Xie & Qiao, 2022)

Kone- ja syväoppimistekniikoilla voidaan ennustaa liikennettä ja sitä kautta voidaan pyrkiä välttämään ruuhkia ja toimitusten viivästymisiä sekä vähentämään polttoaineen kulutusta ja hiilidioksidipäästöjä (Sarker, 2021). Reittien historiatiedon pohjalta koneoppimista voidaan käyttää esimerkiksi ennustamaan tietyillä reiteillä esiintyviä ongelmia ja ehdottamaan vaihtoehtoisia reittejä. Lisäksi hyödyntämällä ajankohtaista dataa liikenteestä, on mahdollista arvioida tarkemmin reittien todellinen kesto (Loske & Klumpp, 2021).

Tekoälyä voidaan hyödyntää myös moniin kuljetuksiin liittyviin toimintoihin, jotka eivät välttämättä suoraan koske reittisuunnittelua. Toisinaan ennen kuljetusajoneuvojen

reittiensuunnittelua on määriteltävä, mitkä lähetykset asetetaan millekin ajoneuville. Xien ja Qiaon (2022) mukaan tekoälyä voidaan hyödyntää esimerkiksi lähetysten käsittelyn, lajittelun ja lastauksen automatisointiin. Lisäksi sitä voidaan käyttää erilaisissa tiedonkäsittelytehtävissä, kuten tarjonta- ja kysyntätilanteen ennakoimisessa sekä reaaliaikaisten tiedonjakopalveluiden tarjoamisessa.

Tulevaisuudessa on mahdollista saavuttaa täysin automaattiset ja älykkäät kuljetukset. Tämä tarkoittaisi esimerkiksi itseohjautuvia kuorma-autoja ja miehittämättömiä ilma-aluksia. Koneoppimisen ja syväoppimisen avulla täysin kuljettajaton logistiikka- ja jakelujärjestelmä on toteutettavissa. Se voisi tarjota ratkaisuja esimerkiksi pitkien matkojen kuljetuksissa esiintyviin haasteisiin. (Fitzgerald & Banaei-Kashani, 2021)

### 4.3 Yhteenveto hyödyistä

Tekoälyllä on merkittävä rooli kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa ja sen avulla voidaan optimoida ajoneuvojen reittejä entisestään. Taulukkoon 1 on koottu yhteen tekoälyn hyötyjä reittisuunnittelussa ja kuvaus siitä, miten ne saavutetaan.

Taulukko 1. Tekoälyllä saavutettavat hyödyt reittisuunnittelussa

Hyöty	Kuvaus
Parempi optimointi ja laadukkaammat reitit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tekoälyn reittien laskenta ja optimointi nopeaa ja tehokasta</li> <li>• Pienemmät kustannukset, lyhyempi reitti ja matka-aika sekä vähentynyt polttoaineen kulutus</li> <li>• Parempi toimitusten tarkkuus ja asiakastyytyväisyys</li> </ul>
Ennustaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Historiadatan hyödyntäminen, esimerkiksi liikennetilanteen ennustamiseen</li> <li>• Kuljettajien kokemusperäisen tiedon hyödyntäminen</li> </ul>
Mukautuminen ja personointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reittisuunnittelu määriteltyjen ehtojen mukaisesti, kuten esimerkiksi ajoneuvojen kapasiteetti ja lähetysten aikaikkunat</li> <li>• Ajonaikainen reittien uudelleen suunnittelu, esimerkiksi liikennetilanteeseen reagoiminen</li> </ul>
Skaalautuvuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entistä monimutkaisempien reititysongelmien ratkaiseminen järkevästi</li> </ul>
Kustannusten vähentäminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tehokkaampi reittien suunnittelu ja reitit</li> </ul>
Toimintojen automatisointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lähetysten lajittelun sekä lastauksen ja käsittelyn automatisointi</li> <li>• Päätöksenteon tukena</li> <li>• Täysin automaattiset ja älykkäät kuljetukset</li> </ul>

## 5 Yhteenveto

Tekoäly tarjoaa useita sovellusmahdollisuuksia, sen avulla pyritään esimerkiksi automatisoimaan prosesseja, jotka liittyvät ihmisten käsittelemään tietoon. Eri tekoälytekniikat ovat keskeisessä roolissa kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa, ja tekniikan valinta riippuu reittisuunnitteluongelman vaatimuksista. Heuristisilla hakualgoritmeilla pyritään löytämään mahdollisimman optimaalinen reitti, joka on annettujen ehtojen mukainen. Tiedon tulkinnan ja havainnointikyvyn tehostaminen on mahdollista koneoppimisen ja syväoppimisen avulla. Näitä tekniikoita voidaan soveltaa myös reittisuunnittelun parempaan optimointiin. Neuroverkot suoriutuvat yleensä paremmin kuin koneoppiminen isoista ja monimutkaisista ongelmista ja niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi liikenneolosuhteiden ennakkointiin.

Kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa pyritään optimoimaan reitit ja jakeluverkot mahdollisimman tehokkaasti. Hyödyntämällä tekoälyä voidaan kasvattaa toiminnan tehokkuutta, parantaa toimitusten tarkkuutta sekä pienentää kustannuksia. Tekoälyn avulla reittisuunnittelu on nopeampaa ja tehokkaampaa, mikä on erityisen tärkeää kuljetusalalla, missä nopeat toimitukset ja reittien optimointi ovat keskeisiä.

Kone- ja syväoppimistekniikoilla voidaan ennustaa liikennettä ja sitä kautta voidaan pyrkiä välttämään ruuhkia ja toimitusten viivästymisiä sekä vähentämään polttoaineen kulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Kuljetuksista kerätyn datan avulla voidaan kehittää laadukkaampia reittejä ja pyrkiä ennustamaan mahdollisia ongelmia ja ehdottaa vaihtoehtoisia reittejä.

Tekoälyn avulla kuljetusyrietykset voivat myös kehittää lähetysten automatisoitua lajittelua, lastausta ja käsittelyä sekä tarjota reaaliaikaista tietoa, jolla parannetaan hallinnollista tehokkuutta koko toimitusketjussa. Tulevaisuudessa älykkäät ja täysin automaattiset kuljetukset voivat olla mahdollisia.

Tekoäly mahdollistaa merkittäviä parannuksia logistiikassa ja kuljetusajoneuvojen reittisuunnittelussa. Ala kehittyy jatkuvasti ja olemassa olevia ratkaisuja korvataan tulevaisuudessa entistä paremmilla.

## Lähdeluettelo

- Boysen, N., Fedtke, S. & Schwerdfeger, S. (2021). Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective. *OR SPECTRUM*, 43(1), 1–58. <https://doi.org/10.1007/s00291-020-00607-8>
- Chen, W. & Shi, L. (2015). Nested Partitions for Large-Scale Optimization in Supply Chain Management. Luku 5 teoksessa W.A. Chaovalitwongse, Z. Liang & L. Shi. *Supply Chain Management and Logistics*. CRC Press, Boca Raton.
- Edelkamp, S. & Schrödl, S. (2012). *Heuristic search theory and applications*. Morgan Kaufmann, Waltham.
- Fitzgerald, R. & Banaei-Kashani, F. (2021). Online Route Replanning for Scalable System-Optimal Route Planning. *Proceedings of the 29th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, 588–591. <https://doi.org/10.1145/3474717.3484262>
- Funke, S & Storandt, S. (2015). Personalized route planning in road networks. *Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 3-06, 1–10 <https://doi.org/10.1145/2820783.2820830>
- Géron, A. (2018). *Neural networks and deep learning*. O'Reilly Media, Inc, Beijing.
- Heikkinen, H. (2022). Viimeisen kilometrin kestävyys – haasteita alustatalouden ja pikakuljetusten maailmassa. Logy. <https://www.logy.fi/hyodyllista/artikkelit-ja-blogipostaukset/blogi/blogiartikkeli/viimeisen-kilometrin-kestavyys-haasteita-alustatalouden-ja-pikakuljetusten-maailmassa>
- Kananen, H. & Puolitaival, H. (2019). *Tekoäly - Bisneksen uudet työkalut*. Alma Talent Oy, Helsinki.
- Loske, D. & Klumpp, M. (2021). Human-AI collaboration in route planning: An empirical efficiency-based analysis in retail logistics. *International Journal of Production Economics*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108236>
- Mo, B., Wang, Q., Guo, X., Winkenbach, M. & Zhao, J. (2023). Predicting drivers' route trajectories in last-mile delivery using a pair-wise attention-based pointer neural network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103168>
- Mukherjee, P., Ramanathan, A. & Dey, S. (2023). Efficient Vehicle Routing Problem: A Machine Learning and Evolutionary Computation Approach. *Proceedings of the 2023 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, 3–4. <https://doi.org/10.1145/3583133.3596425>
- Pitzer, E. & Kronberger, G. (2015). Concise Supply-Chain Simulation Optimization for Large Scale Logistic Networks. Sivut 429–442 teoksessa G. Borowik, Z. Chaczko, W. Jacak & T. Łuba. *Computational Intelligence and Efficiency in Engineering Systems*, 595. Springer International Publishing, Sveitsi.
- Sakki, J. (2014). *Tilaus-toimitusketjun hallinta - Digitalisoitumisen haasteet*. Jouni Sakki Oy, Vantaa.

- Sarker, I.H. (2021). Machine learning: Algorithms, Real-world Applications and Research Directions. *SN Computer Science*, 2(3), 160–160.  
<https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>
- Toth, P. & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing - Problems, Methods, and Applications (2nd Edition)*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.
- Tuominen, H., Neittaanmäki, P., Niinimäki, E., Pölonen, I., Rautiainen, I., Äyrämö, S., Ruohonen, T., Nyrhinen, R., Ojalainen, A., Vähäkainu, P. & Äyrämö, S.-M. (2019). *Tekoälyn perusteita ja sovelluksia*. Jyväskylän yliopisto. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-7796-2>
- Weise, J. & Mostaghim, S. (2022). A comparison of distance metrics for the multi-objective pathfinding problem. *Natural Computing*, 22(2), 315–328.  
<https://doi.org/10.1007/s11047-022-09908-z>
- Weise, J. & Mostaghim, S. (2020). A many-objective route planning benchmark problem for navigation. *Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, 183–184.  
<https://doi.org/10.1145/3377929.3389996>
- Xie, M. & Qiao, L. (2022). Exploring the Application of Computer Intelligence Algorithms in Logistics and Supply Chain Management. *Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Information Processing*, 1–7.  
<https://doi.org/10.1145/3570236.3570257>