



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

Autonomisten maantiekuljetusten vaikutus kuljetuskus- tannuksiin

Toimitusketjujen johtaminen, Markkinoinnin ja arvoketjujen johtamisen laitos
Kandidaatintutkielma

Laatija:
Lauri Heikkinen

Ohjaaja:
KTT Sini Laari

26.11.2025
Turku

Opiskelijan lausunto tekoölyn käytöstä tähän tutkielmaan liittyen:

En ole käyttänyt tekoölyä hyödyntäviä työkaluja tätä tutkielmaa kirjoittaessani.

Olen käyttänyt tekoölyä hyödyntäviä työkaluja tätä tutkielmaa kirjoittaessani. Tämä käyttö on dokumentoitu tutkielman liitteessä. Vakuutan, että tekoölyä käytettiin yliopiston ohjeistuksen mukaisella tavalla.

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidaatintutkielma

Oppiaine: Toimitusketjujen johtaminen

Tekijä: Lauri Heikkinen

Otsikko: Autonomisten maantiekuljetusten vaikutus kuljetuskustannuksiin

Ohjaaja: KTT Sini Laari

Sivumäärä: 41 sivua (+ liitteet 1 sivu)

Päivämäärä: 26.11.2025

Tiivistelmä

Tämä tutkielma tarkastelee autonomisten maantiekuljetusten vaikutusta kuljetuskustannuksiin.

Kuljetuskustannukset ovat merkittävä osa toimitusketjun kustannusrakennetta, jonka vuoksi ne vaikuttavat oleellisesti yrityksen kilpailukykyyn. Kuljetusten automatisoituminen voi tarjota yrityksille merkittäviä mahdollisuuksia kustannussäästöihin. Autonomiset maantiekuljetukset voivat yleistyessään, olla logistiikka-alaa merkittävästi muuttava innovaatio, jonka vuoksi aihe on kiinnostava sekä ajankohtainen. Autonomisten kuljetusten kehityksessä on myös edistytty viime vuosien aikana, mikä korostaa aihealueen ajankohtaisuutta. Kuljetusala on myös kärsinyt globaalisti työvoimapulasta, mikä on lisännyt painetta uusien ratkaisuiden kehittämiseen. Autonomiset kuljetukset ovat yksi vartenotettava vaihtoehto ongelmaan. Myös logistiikka-alan sisäinen kilpailu ajaa yrityksiä etsimään entistä kustannustehokkaampia ratkaisuja uutta teknologiaa hyödyntäen.

Tutkielman keskeisenä tarkoituksena on selvittää autonomisten maantiekuljetusten aiheuttamia kustannusvaihteluja. Tutkielmassa käydään läpi myös alan kehitystä sekä tulevaisuuden näkymiä. Tutkielman tutkimusmenetelmä on kirjallisuuskatsaus.

Tutkielman perusteella autonomiset maantiekuljetukset voivat vähentää perinteisten maantiekuljetusten kustannuksia selvästi. Arvioissa on kuitenkin vaihtelua, riippuen miten optimistiseksi kehityskulku arvioidaan. Ylivoimaisesti suurin osa kustannussäästöistä on saavutettavissa henkilöstökustannuksista. Tutkielmassa käsitellään kuitenkin myös muita kustannuseriä, joihin autonomiset maantiekuljetukset voivat vaikuttaa.

Avainsanat: Autonomisuus, autonominen maantiekuljetus, automaatiotasot, toimitusketjun kustannusrakenne, hub-to-hub

SISÄLLYS

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Johdanto | 6 |
| 1.1 | Tausta | 6 |
| 1.2 | Tutkielman tavoitteet ja tutkimuskysymys | 7 |
| 2 | Autonomiset maantiekuljetukset | 9 |
| 2.1 | Autonomisten maantiekuljetusten määritelmät | 9 |
| 2.2 | Autonomisten maantiekuljetusten yleisyys | 11 |
| 2.3 | Hub-to-hub & platooning | 12 |
| 2.4 | Syyt autonomisten maantiekuljetusten käyttöönottoon | 13 |
| 2.4.1 | Ympäristövaikutukset | 14 |
| 2.4.2 | Liikenneturvallisuus | 15 |
| 2.4.3 | Kuljettajapula | 15 |
| 2.5 | Autonomisten maantiekuljetusten lähitulevaisuuden kehitysnäkymät | 16 |
| 3 | Toimitusketjun kustannusrakenne | 19 |
| 3.1 | Kuljetuskustannusten osuus toimitusketjun kustannuksista | 19 |
| 3.2 | Maantiekuljetusten sisäinen kulurakenne | 20 |
| 4 | Autonomisten maantiekuljetusten vaikutus kuljetuskustannuksiin | 24 |
| 4.1 | Henkilöstökustannukset | 24 |
| 4.2 | Polttoainekustannukset | 25 |
| 4.3 | Pääoma- ja huoltokustannukset | 28 |
| 4.4 | Vakuutuskustannukset | 30 |
| 4.5 | Kokonaisvaikutus | 31 |
| 5 | Johtopäätökset ja yhteenveto | 34 |
| | Lähteet | 36 |
| | Liitteet | 41 |
| | Liite 1 Selvitys tekoälyn käytöstä | 41 |

KUVIOT

| | |
|--|----|
| Kuvio 1. SAE:n automaatiotasot | 10 |
| Kuvio 2. Kuljetusten rooli toimitusketjussa | 20 |
| Kuvio 3. Keskimääräinen maantiekuljetusten kustannusjakauma EU:ssa | 21 |
| Kuvio 4. Autonomisten maantiekuljetusten kustannusvaikutukset peruskennariossa | 32 |

TAULUKOT

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. Maantiekuljetusten kustannusrakenne Suomessa ajoneuvotyypeittäin | 22 |
|--|----|

1 Johdanto

1.1 Tausta

Maantiekuljetukset muodostavat merkittävän osan globaaleista rahtimääristä. Maantiekuljetukset vastaavat 75 % Euroopan Unionin sisällä suoritetusta rahdista. (Solakivi & Ojala, 2024) European Environment Agency EEA:n Annex 3 (2022) raportin mukaan maanteitse suoritetaan 52 % kuljetuista tonnikipometreistä EU:n alueella. Samaisessa raportissa todetaan myös, että maanteillä kuljetettujen tonnikipometrien määrän uskotaan kasvavan myös tulevaisuudessa. Maantiekuljetukset tuottivat noin 398 miljardia dollaria Yhdysvaltojen bruttokansantuotteeseen vuonna 2021. (Jones ym., 2025) Maantiekuljetukset ovat siis yksi merkittävistä taloutta pyörittävistä voimista, joissa tapahtuvat muutokset voivat ravistella koko logistiikan alaa sekä globaalia taloutta. Maantiekuljetusten saralla ei ole kuitenkaan tapahtunut merkittäviä mullistuksia viimeisten vuosikymmenien aikana. Kuljetukset tapahtuvat edelleen pääsääntöisesti dieselnkäyttöisillä ajoneuvoilla ihmiskuljettajan ajamina. Alati kiristyvässä globaalissa kilpailussa uusien innovaatioiden löytäminen ja käyttöön ottaminen on kuitenkin tärkeää. Maantiekuljetusten saralla autonomiset kuljetukset voisivat potentiaalisesti olla merkittävä, koko alaa muuttava innovaatio. Autonomisten ajoneuvojen on kuvailtu olevan yksi kahdestatoista mullistavasta (disruptive) teknologiasta, jotka tulevat muokkaamaan elämää, liiketoimintaa ja globaalia taloutta. (Manyika ym. 2013)

Yksi suurimmista kuljetusalaa viime vuosina kohdanneista haasteista Yhdysvalloissa on ollut pula kuljettajista. (Hasiri & Kermanshah, 2024) Samainen ongelma on ollut alan haasteena myös Euroopassa. (IRU, 2025). Ongelmaksi on muodostunut sekä uusien pätevien kuljettajien houkuttelemisen alalle, että kuljettajien pysyminen alalla. Vuonna 2021 Yhdysvalloissa on arvioitu olevan tarve yli 80 000 uudelle kuljettajalle ja tämän määrän on arvioitu nousevan yli 160 000 vuoteen 2030 mennessä. (Statista 2025) Yhtenä ratkaisuna ongelmaan voivat olla autonomiset maantiekuljetukset, jotka yleistyessään vähentäisivät ihmiskuljettajien tarvetta merkittävästi.

Työvoiman osuus on arvioitu olevan 42 % maantiekuljetusten kustannuksista. (Persyn ym., 2022) Lisäksi kuljettajien ajamista rajoittavat EU:ssa sekä Yhdysvalloissa tiukat ajo- sekä lepoa- ikamääräykset, jotka on laadittu liikenneturvallisuuden varmistamiseksi. Autonomiset ajoneuvot tarjoavat mahdollisuuden alentaa kuljetuskustannuksia, lieventää ajoaika- rajoituksia vaarantamatta liikenneturvallisuutta sekä samalla vastata työvoimapulaan. Nämä ovat keskeiset ajurit alan kehityksen taustalla (Annex 3, 2022).

1.2 Tutkielman tavoitteet ja tutkimuskysymys

Tutkielman keskeisenä tavoitteena on selvittää miten autonomiset maantiekuljetukset yleistyessään voivat vaikuttaa toimitusketjun kuljetuskustannuksiin. Esimerkiksi millä eri tavoilla autonomiset kuljetukset voivat vähentää toimitusketjun kustannuksia, ja kuinka suuria potentiaaliset kustannussäästöt voivat olla. Tutkielman tavoitteena on myös selvittää millaisia investointeja teknologian käyttöönotto vaatii.

Tutkielman tutkimusmenetelmä on kirjallisuuskatsaus. Tutkielmassa aihetta käsitellään siihen liittyvien tieteellisten lähteiden avulla. Maantieteellistä rajausta ei ole, vaan aiheita käsitellään globaalista näkökulmasta. Iso osa lähteistä painottuu kuitenkin Yhdysvaltoihin sekä Eurooppaan, mikä korostaa näiden alueiden painoarvoa tutkielmassa. Tutkielma käsittelee aihetta makrotasolla, eikä keskity esimerkiksi minkään tietyn yksittäisen toimijan näkökulmaan. Kuitenkin konkreettisten esimerkkien sekä havaintojen esiin tuomiseksi tutkielmassa käydään läpi joidenkin yksittäisten yritysten edistymistä aihealueen parissa. Tutkielma keskittyy pitkiin autonomisiin maantiekuljetuksiin, mikä rajaa esimerkiksi nykypäivänä yleistyneet autonomiset jakeluroborit pois tutkielman aihepiiristä. Tutkimus ei keskity käsittelemään suljetussa ympäristössä, kuten kaivoksilla tai satamissa tapahtuvia autonomisia kuljetusratkaisuja. Tutkielma ei keskity myöskään autonomisiin henkilökuljetuksiin. Tutkielma keskittyy käsittelemään autonomisten maantiekuljetusten vaikutusta toimitusketjun kustannuksiin. Esimerkiksi toimitusketjun nopeuteen, resilienssiin tai varastotasoihin liittyviä aiheita ei käsitellä, ellei niistä saada näkökulmaa toimitusketjun kustannuksiin liittyen. Tutkielmassa autonomisia kuljetuksia tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena, eikä teknisiin yksityiskohtiin syvennyttä tarkasti. Erottelua tai vertailua erilaisten automatisoitujen kuljetusten teknisten toteutusten välillä ei tehdä.

Tutkielma koostuu neljästä luvusta. Johdannon jälkeinen luku 2 keskittyy autonomisiin maantiekuljetuksiin yleisesti. Luvun tarkoituksena on määritellä käsite sekä tarkastella autonomisten maantiekuljetusten tilaa nykypäivänä. Luvussa käydään myös läpi teknologiaa kehittäviä yrityksiä, niiden tavoitteita, sekä sitä, millä aikataululla autonomiset maantiekuljetukset voisivat yleistyä laajempaan kaupalliseen käyttöön. Luvussa kuvataan myös teknologiaan keskeisesti liittyvät Society of Automotive Engineersin (SAE) määrittelemät automaatiotasot.

Luku 3 keskittyy toimitusketjun- ja maantiekuljetusten kustannuksiin. Luku tarkastelee kuljetuskustannusten osuutta koko toimitusketjun kustannusrakenteesta. Luvussa käsitellään myös maantiekuljetusten sisäistä kustannusjakaumaa. Luku 4 keskittyy kuvaamaan autonomisten maantiekuljetusten vaikutusta kuljetuskustannuksiin. Luvussa käsitellään millä eri tavoilla

autonomiset maantiekuljetukset voivat vaikuttaa toimitusketjun kustannuksiin. Luvussa arvioidaan myös kustannusvaikutusten suuruutta. Luvussa käydään läpi myös autonomisten kuljetusten käyttöönottoon vaadittavia investointeja, etenkin uusien ajoneuvojen hankintahintojen osalta.

Tutkielman lopussa on vielä yhteenveto, joka kokoaa tutkielman havainnot yhteen. Tutkielman lopussa on myös liite tekoälyn käytöstä tutkielmaa tehdessä.

2 Autonomiset maantiekuljetukset

2.1 Autonomisten maantiekuljetusten määritelmät

Autonomisella maantiekuljetuksella tarkoitetaan kuljetusta, jossa sitä suorittava ajoneuvo pystyy suorittamaan merkittävän osan, tai kaikki, toiminnoistaan itsenäisesti, ilman ihmisen tarvetta ohjata kuljetuksen vaiheita. (Engholm, 2021) Englanninkielisissä teksteissä käsitteissä on hieman eroavaisuuksia. Esimerkiksi Engholm (2021) määrittelee käsitteen ”automated truck”, ajoneuvoksi, joka pystyy suorittamaan kuljetuksia itsenäisesti ainakin tietyssä käyttöympäristössä, mutta tarvitsee koko ajalle ihmiskuljettajan fyysisen läsnäolon. Sen sijaan käsitteellä ”driverless truck” tarkoitetaan ajoneuvoa, joka kykenee suorittamaan kuljetuksen itsenäisesti ainakin tietyssä ympäristössä, eikä tarvitse ihmiskuljettajan läsnäoloa. Tässä tutkielmassa käsite ”autonominen maantiekuljetus” viittaa tilanteeseen, jossa ihmiskuljettajan läsnäoloa ei tarvita.

Idea itseohjautuvasta autosta ei suinkaan ole uusi. General Motors esitteli ensimmäisen konseptisuunnitelmansa autonomisesta ajoneuvosta jo vuonna 1939 (Shladover, 2018.) Vuonna 1980 Mercedes-Benz puolestaan esitteli yhdessä Bundeswehrin yliopiston kanssa kehittelemänsä maailman ensimmäisen autonomisen ajoneuvon. Tämän jälkeen monet muutkin autonvalmistajat sekä teknologiayritykset ovat alkaneet kehittämään omia ratkaisuitaan autonomisten ajoneuvojen suhteen (Othman, 2022). Kehitys ei kuitenkaan ole ollut järin suoraviivaista tai nopeaa, sillä kuten liikenteeseen katsoessamme pystymme havaitsemaan, ei autonomisista ajoneuvoista ole tullut vielä valtavirtaa. Sama tilanne pätee autonomisten maantiekuljetusten suhteen.

Eritasoisia autonomiseen ajamiseen liittyviä elementtejä, kuten adaptiivisia vakionopeudensäätimiä ja kaistallapitoavustimia löytyy nykypäivän ajoneuvoista jo varsin laajasti. (Andersson & Ivehamar, 2019.) autonomisuutta voidaan määritellä eri tasojen avulla. Yhdysvaltalainen autoalan standardointijärjestö SAE on määritellyt autonomisuudelle tasot nolasta viiteen (SAE, 2021.) Tasot 0–2 ovat jo laajassa käytössä, mutta siitä ylemmät tasot, joissa ihmiskuljettajan rooli alkaa vähentyä selkeästi eivät ole vielä edenneet laajaan käyttöön. (Robinson ym., 2017.)

| | SAE TASO 0™ | SAE TASO 1™ | SAE TASO 2™ | SAE TASO 3™ | SAE TASO 4™ | SAE TASO 5™ |
|---|---|---|--|---|---|---|
| Mitkä ovat kuljettajan paikalla istuvan ihmisen tehtävät? | Kuljettaja ajaa ajoneuvoa kun nämä kuljettajaa avustavat järjestelmät ovat päällä – vaikka kuljettajan jalat eivät olisi polkimilla eikä hän aktiivisesti ohjaisi | | | Kuljettaja ei aja ajoneuvoa kun nämä automaattiset ajojärjestelmät ovat päällä – vaikka hän istuisi "kuljettajan paikalla" | | |
| | Kuljettajan täytyy jatkuvasti valvoa näitä avustavia järjestelmiä; Kuljettajan täytyy ohjata, jarruttaa ja kiihdyttää tarvittaessa turvallisuuden säilyttämiseksi | | | Järjestelmän vaatiessa kuljettajan täytyy ajaa | Nämä automaattiset ajojärjestelmät eivät vaadi kuljettajaa ryhtymään ajamaan | |
| | Nämä ovat kuljettajaa tukevia järjestelmiä | | | Nämä ovat automaattisia ajojärjestelmiä | | |
| Mitä nämä järjestelmät tekevät? | Nämä järjestelmät tarjoavat vain varoituksia ja hetkellistä tukea | Nämä järjestelmät tarjoavat kuljettajalle tukea ohjaamiseen TAI jarruttamiseen/kiihdyttämiseen | Nämä järjestelmät tarjoavat kuljettajalle tukea ohjaamiseen JA jarruttamiseen/kiihdyttämiseen | Nämä järjestelmät voivat ajaa ajoneuvoa tietyissä, rajatuissa olosuhteissa eivätkä ne toimi, elleivät kaikki vaaditut ehdot täyty | | Tämä järjestelmä voi ajaa ajoneuvoa kaikissa olosuhteissa |
| Esimerkki-järjestelmiä | <ul style="list-style-type: none"> • automaattinen hätäjarrutus-järjestelmä • katvealueen valvonta-järjestelmä • kaistavahti | <ul style="list-style-type: none"> • kaistanpito-avustin TAI • mukautuva vakionopeuden-säädin | <ul style="list-style-type: none"> • kaistanpito-avustin JA • mukautuva vakionopeuden-säädin samanaikaisesti | <ul style="list-style-type: none"> • ruuhka-avustin | <ul style="list-style-type: none"> • paikallinen automaattitaksi • polkimet/ohjauspyörä on voitu asentaa, tai ne voivat puuttua | <ul style="list-style-type: none"> • sama kuin tasolla 4, mutta järjestelmä voi ajaa kaikissa olosuhteissa |

Copyright © 2021 SAE International.

Kuvio 1. SAE:n automaatiotasot (Traficom.fi, 2022)

Kuviossa 1 ovat näkyvillä SAE:n luokittelemat kuusi automaatiotasoa. Kuviossa havainnollistetaan myös, mikä on teknologian rooli milläkin tasolla, ja mikä taas kuljettajan. Tasoilla 0–2 kuljettaja hoitaa ajamisen siitään huolimatta, että kyseisten tasojen ominaisuudet ovat käytössä, ja mahdollistaisivat esimerkiksi käsien irrottamisen ratista kaistanpitoavustimen ansiosta. Kyseiset tasot siis avustavat kuljettajaa, mutta vaativat vastaavan tasoista valppautta, kuin autoa manuaalisesti ajettaessa. Tasot 3–5 ovat eroteltu kuvassa tasoista 0–2 omalla värillään, sillä tasoilla 3–5 kuljettaja ei vastaa ajamisesta kyseisten automaatiotasojen ollessa käytössä. Tasolla 3 kuljettajan on kuitenkin ajettava ajoneuvoa, jos järjestelmä sitä pyytää. Tasot 4 ja 5 eivät edellytä kuljettajalta mitään toimia ajon aikana, ja näin ollen mahdollistavat ratkaisut, joissa kuljettajan fyysiselle läsnäololle ei jää tarvetta.

Tässä tutkielmassa tarkastelussa ovat tasot 4 sekä 5, joissa kuljettajaa ei lähtökohtaisesti tarvita. Jotta kuljetus voidaan määritellä autonomiseksi, tulee sen teknologian olla automaatiotasolla 4 tai 5 (Annex 3, 2022.) Myös Engholm (2021) on määritellyt ilman kuljettajaa toimivat (driverless) rekat ajoneuvoiksi, jotka pystyvät toimimaan SAE tasoilla 4–5. Tasolla 4 ajoneuvo pystyy ajamaan täysin itsenäisesti tietyssä käyttöympäristössä, esimerkiksi valtateillä. Esimerkkinä tästä hub-to-hub-kuljetukset. Hub-to-hub kuljetuksilla tarkoitetaan pitkän matkan kuljetuksia kahden suuren keskittymän, kuten terminaalien sekä satamien välillä. (Annex 3, 2022). Hub-to-hub kuljetuksissa ajo tapahtuu pääasiallisesti isoilla teillä, jossa autonomisuuden käyttöönotto on helpompaa, kuin urbaanimmassa

ympäristössä. Tason 4 ajoneuvot vaativat toimiakseen selkeää käyttöympäristöä, kuten valtatietä. Käyttöympäristön selkeyteen kuuluvat esimerkiksi tien laatu, sekä merkkien ja kaistojen selkeys. (Tengilimoglu ym., 2023.) Tasolla 5 ajoneuvo pystyy operoimaan täysin itsenäisesti kaikissa ympäristöissä, missä myös ihmiskuljettaja olisi kykeneväinen toimimaan. Tämä on oleellinen ero tasojen 4 ja 5 välillä.

2.2 Autonomisten maantiekuljetusten yleisyys

Automaatiotasojen 1-2 käytöstä on tullut yleistä viimeisten vuosien aikana (Robinson ym., 2017.) Kyseisiin automaatiotasoihin kuuluvat muun muassa adaptiivinen vakionopeudensäädin sekä kais-tallapitoavustin. (SAE, 2021.) Kyseisen kaltaiset ominaisuudet avustavat kuljettajaa ja tekevät kul-jetuksista osittain autonomisoitujia, mutta isossa kuvassa ne eivät ole mullistavia autonomisten kul-jetusten saralla, sillä kuljettajan läsnäololle jää edelleen tarve. Automaatiotasolle 4 yltävät kuljetuk-set eivät ole vielä laajassa kaupallisessa käytössä (Engholm, 2021). Monet yritykset ovat kuitenkin tehneet varsin laajojakin kokeiluja niihin liittyen. (Jones ym. 2025.)

Vaikka vähintään tasolle 4 yltävät maantiekuljetukset eivät ole vielä laajassa kaupallisessa käytössä, on niiden eteen tehty varsin pitkälle meneviä kokeiluja. Esimerkiksi Scania on testannut automaa-tiotasolle 4 yltäviä rekkvoja Ruotissa, Södertäljen sekä Jönköpingin välillä. (European transport agency, 2022; Scania.com, 2022). Scania on käynnistänyt vuonna 2024 autonomisiin hub-to-hub kuljetuksiin keskittyvän “Autonomous Commercial Pilot Programme”- hankkeen, jonka tavoitteena on valmistella autonomisten kuljetusjärjestelmien kaupallista käyttöönottoa sekä kehittää integroi-tavia ratkaisuja asiakkailleen. Yhtiön oman tiedotteen mukaan testejä on suoritettu Euroopassa julkisilla teillä vuodesta 2024 alkaen. (Scania.com, 2024).

Toinen merkittävä toimija, joka on yksi johtavista yrityksistä autonomisten rekkvojen saralla on Daimler (Hasiri & Kermanshah, 2024.) Daimler on kehittänyt sekä testannut autonomisia rekkvoja Yhdysvalloissa yhdessä tytäryhtiönsä Torc Roboticsin kanssa. (Daimler Truck North America, 2025.) Yhtiön suunnitelmissa on tiedotteensa mukaan tuoda autonomiset SAE tason 4 hub-to-hub kuljetukset kaupalliseen käyttöön Yhdysvalloissa vuonna 2027. Volvo tiedotti vuoden 2024 lopulla aloittaneensa kuljettamaan DHL:n kuljetuksia Texasissa Dallasin ja Houstonin sekä Forth Worthin ja El Pason välillä. Kuljetukset suoritetaan Volvon sekä Auroran yhteistyössä kehittämällä Volvo VNL Autonomous ajoneuvoilla. (Volvoautonomoussolutins.com, 2024.) Vaikka kyseisen

ajoneuvon teknologia on SAE tasolla 4, suoritetaan kuljetukset vielä toistaiseksi kuljettajan (safety driver) ollen ajoneuvon kyydissä.

Kyseiset kokeilut sekä tavoitteet kaupallisen käytön suhteen vahvistavat käsitystä siitä, että autonomiset kuljetukset voivat yleistyä laajempaan kaupalliseen käyttöön jo lähivuosien aikana. Toki yhtiöiden omia tiedotteita lukiessa on syytä muistaa, että niissä voi olla mukana katteetonta optimismia sekä oman tuotteen markkinointia.

Edellä mainitut yritykset eivät suinkaan ole ainoita toimijoita autonomisten rekkujen kehityksen saralla. Muun muassa myös MAN, Kodiak sekä Waabi kehittävät omia ratkaisujaan (Jones ym., 2025). Usean toimijan mukanaolo kehitysvaiheessa olevassa markkinassa kertoo osaltaan siinä olevasta potentiaalista. Usean toimijan mukanaolo markkinalla kasvattaa myös todennäköisyyttä sille, että toimivia kaupallisesti skaalattavia ratkaisuita voidaan odottaa tulevaisuudessa, sillä yhden tai useamman toimijan mahdollinen konkurssi tai muusta syystä tapahtuva markkinalta vetäytyminen ei lakkauttaisi alan kaupallista kehitystä kokonaan.

2.3 Hub-to-hub & platooning

Ensimmäisenä kaupallisesti yleistyvänä automaatiotason 4 mallina nähdään yleensä Autonomous Transfers Hub Network (ATHN) ratkaisu, jossa ihmiskuljettajat hoitavat kuljetuksen haastavammat alku- sekä loppupään osuudet, kun taas pitkillä keskiosuksilla kuljetukset kulkevat ilman ihmiskuljettajaa. (Lee ym., 2023.) Autonomiset hub-to-hub kuljetukset voisivat yleistyä 2020-luvun lopussa tai 2030-luvun aikana (Engholm ym., 2021.) Autonomisten kuljetusten kaupalliseen yleistymiseen tarvitaan pääomia, infrastruktuuria sekä lupia. Näiden syiden vuoksi Yhdysvallat on todennäköinen paikka, jossa autonomiset maantiekuljetukset alkavat yleistymään ensimmäiseksi. Myös useat jo aiemmin mainitut alalla toimivat yritykset kuten Daimler, Kodiak, Volvo, Aurora sekä Waabi kehittävät tuotteitaan Yhdysvalloissa, jossa ne myös tavoittelevat ensimmäisiä laajempia kaupallisen käyttöönoton ratkaisujaan. (Jones ym., 2025).

Platooning on toinen autonomisten maantiekuljetusten tavoista, jota pidetään ensimmäisenä kaupallisesti toteuttamiskelpoisena ratkaisuna. Platooning eli ”saattueajo” tarkoittaa tilannetta, jossa johtavaa rekkua seuraa lähietäisyydellä yksi tai useampi ajoneuvo, jolloin ilmanvastus jää pienemmäksi. (World Economic Forum, 2021). Saattueajoa on mahdollista suorittaa erilaisilla automaatiotasoilla. Kaikissa saattueen rekoissa voi olla kuljettajat, jotka tarkkailevat ajoneuvonsa liikkeitä, sekä ovat vastuussa ottamaan ohjat tarvittaessa.

Saattueajo ei siis välttämättä itsessään sisällä työvoiman tarvetta vähentäviä autonomisia ratkaisuja, vaan sen hyödyt voivat liittyä puhtaasti ilmanvastuksen vähenemisen tuomaan polttoainesäästöön. Potentiaalisena lähitulevaisuuden tason 4 automaattioratkaisuna pidetään kuitenkin tilannetta, jossa johtoautoa kuljettaisi ihmiskuljettaja, mutta sitä seuraava ajoneuvo tai ajoneuvot toimisivat autonomisesti ilman tarvetta kuljettajalle hytissä. Jos esimerkiksi yhtä ihmiskuljettajan kuljettamaa ajoneuvoa kykenisi seuraamaan kaksi autonomisesti liikkuvaa ajoneuvoa, olisi tarve ihmistyövoimalle luonnollisesti selkeästi vähäisempi. World Economic Forumin raportissa kuljettajan sekä sitä seuraavan yksittäisen autonominen ajoneuvon on arvioitu tuottavan 10 % hyödyn kuljetuksen kokonaiskustannuksiin. Pidemmälle viedyissä saattueajoratkaisuissa ihmiskuljettajaa ei olisi edes johtoautossa. Kyseisen kaltaiselle täysin autonomiselle saattueajoratkaisulle World Economic Forumin raportissa kaavaillaan 25 % kokonaissäästöä. Saattueajo sekä hub-to-hub ratkaisut eivät kuitenkaan ole toisistaan erillään olevia tapoja suorittaa autonomisia kuljetuksia, vaan saattueajo on enemmänkin yksi tapa toteuttaa valtateillä tapahtuvaa autonomista hub-to-hub liikennettä.

Viidennen automaattiotason ratkaisut, joissa kuljettajaa ei tarvita missään olosuhteissa, ovat vielä kaukana tulevaisuudessa. Niiden yleistyminen ei ole realistista ennen kuin automaattiotason 4 hub-to-hub -mallit on otettu laajasti käyttöön. OECD:n julkaisema ITF Transport Outlook (2019) mukaan useimmat asiantuntijat uskovat autonomisten kuljetusten muuttuvan todellisuudeksi 10–20 vuoden ajanjaksolla, mutta aluksi vain tietyillä moottoritieosuuksilla, jotka yhdistävät suuria logistiikkakeskuksia, joilla kuljetuskysyntä on suurta. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että autonomisten maantiekuljetusten lähitulevaisuuden kehitysnäkymät painottuvat nimenomaan automaattiotason 4 hub-to-hub ratkaisuihin. McKinsey & Company (2024) esittää raportissaan, että tasolle 5 yltävät täysin autonomiset ratkaisut voisivat olla realistisia vuoden 2040 jälkeen. Yhtiön mukaan sitä ennen ratkaisut painottuisivat hub-to-hub malleihin.

2.4 Syyt autonomisten maantiekuljetusten käyttöönottoon

Autonomisten maantiekuljetusten yleistymistä ajavat useat eri tekijät. Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää niiden kustannusvaikutuksia, jotka ovat yksi selkeä ajuri alan kehityksen taustalla. Mahdolliset kustannussäästöt eivät ole kuitenkaan ainoa tekijä, vaan alan kehitystä ajavat myös liikenneturvallisuuden parantaminen sekä globaaliin kuljettajapulaan vastaaminen (Annex 3, 2022). Yleisesti autonomisten ajoneuvojen uskotaan myös säästävän energian kulutusta, vähentävän ajoneuvojen päästöjä, lisäävän tieverkoston kapasiteettia sekä vakauttavan liikennevirtaa (Yu ym., 2021.)

2.4.1 Ympäristövaikutukset

Päästövähennykset ovat tärkeä aspekti sillä esimerkiksi EU:n tavoitteena on vähentää päästöjä 55 % vuoteen 2030 mennessä ja olla hiilineutraali vuonna 2050 (European Council, 2025.) Raskaan liikenteen ajoneuvot, joihin lasketaan mukaan myös linja-autot, muodostavat yli 25 % kaikista tieliikenteen päästöistä EU:n alueella. (European Commission) Solakiven ja Ojalan (2024) mukaan maantiekuljetukset vastasivat 5–6 % kaikista globaaleista hiilidioksidipäästöistä. Euroopan Unionin tavoitteena on vähentää raskaan liikenteen hiilidioksidipäästöjä 90 % vuoteen 2040 mennessä. Autonomisten maantiekuljetusten tarjoamat päästövähennykset ovat siis tervetullut hyöty tavoitteiden saavuttamiseksi. Zhao ja Lee (2023) loivat tutkimuksessaan simulaation, jossa arvioitiin autonomisten ajoneuvojen vaikutusta toimitusketjun suorituskykyyn. Simulaation perusteella autonomisten rekkujen 100 % käyttöasteella toimitusketjussa, kuljetuksista olisi saavutettavissa jopa 18,77 % pienemmät päästöt verrattuna ihmiskuljettajan suorittamiin kuljetuksiin. Lukema pohjautuu arvioon autonomisten rekkujen 17,5 % paremmasta polttoainetehokkuudesta perinteisiin ajoneuvoihin verrattuna.

Toisaalta autonomisten kuljetusten mahdollisista positiivisista ympäristövaikutuksista on myös epävarmuutta. Ne voivat parantaa ajamisen energiatehokkuutta, mahdollistaa suurempia kuormia sekä välttää ruuhkissa ajamista hyödyntämällä hiljaisempia ajankohtia, mutta laskeneiden kustannusten vuoksi ne voivat lisätä kokonaiskysyntää kuljetuksille, joka voisi johtaa suurempiin päästöihin. (International Transport Forum, 2019). ITF:n julkaisussa myös mainitaan, että autonomisten maantiekuljetusten mahdollistavien alentuneiden kustannusten myötä, raide- sekä sisävesiliikenne menettäisivät suosiotaan maantiekuljetuksille. Kyseiset kuljetusmuodot ovat maantiekuljetuksia ympäristöystävällisempiä, joka osaltaan vaikuttaisi päästöihin. Maantiekuljetukset ovat lentorahdin jälkeen toiseksi vähiten ympäristöystävällinen kuljetusmuoto hiilidioksidipäästöissä mitattuna (Solakivi & Ojala, 2024).

Pohjois-Amerikan kontekstissa ITF arvioi päästöjen kasvavan autonomisten rekkujen yleistymisen myötä. ” Vaikka autonomiset ajoneuvot olisivat nykyisiä reikkoja tehokkaampia, ne ovat silti hiili-intensiivisempiä kuin rautatiekuljetukset. Tästä syystä päästöt kasvavat Pohjois-Amerikassa.” Yleisesti maantiekuljetusten kannalta autonomisuus itsessään ei välttämättä siis ole se tekijä, joka erityisesti vaikuttaisi päästöihin. Olennaisempaa on, minkälaisilla ajoneuvoilla, ja mitä energiamuotoa hyödyntäen kuljetukset suoritetaan.

2.4.2 Liikenneturvallisuus

Turvallisuuden suhteen autonomiset ajoneuvot voivat laajalti yleistyessään olla todella merkittävä tekijä. Ihmisen tekemä virhe on ylivoimaisesti yleisin onnettomuuteen johtanut syy. Kyseiset virheet aiheuttavat jopa 93,5 % onnettomuuksista (Winkle, 2016). Kuljetusala ei eroa tästä trendistä merkittävästi sillä Yhdysvalloissa suurien rekkojen onnettomuuksissa kuljettajien virheen osuudeksi arvioitiin 87 % (FMCSA, 2007). Autonomiset ajoneuvot voisivat siis vähentää onnettomuuksia dramaattisesti niin liikenteessä yleisesti, kuin myös raskaan liikenteen kontekstissa tarkasteltuna. Autonomisten ajoneuvojen 10 % käyttöasteella niiden on arvioitu olevan 50 % vähemmän alttiita onnettomuuksille, kuin ihmiskuljettajan ajamat ajoneuvot. 90 % käyttöasteella autonomisten ajoneuvojen on arvioitu olevan 90 % turvallisempia. (Fagnant & Kockelman, 2015). Kyseinen laskelma on tehty sillä oletuksella, että autonomiset ajoneuvot eivät aiheuttaisi mitään niistä yli 90 % onnettomuuksista, jotka aiheutuvat ihmisvirheen seurauksena. Väitteen realistisuutta on hankala arvioida, sillä myös kone on mahdollinen tekemään virheitä, mutta se antaa kuitenkin osviittaa siitä kuinka autonomiset ajoneuvot voivat parantaa liikenneturvallisuutta merkittävästi.

Kuten aiemmin todettua myös raskaassa liikenteessä kuljettajan virhe on ylivoimaisesti yleisin onnettomuuden syy, joten samankaltainen matematiikka on sovellettavissa myös rekoilla tapahtuvien maantiekuljetusten kontekstiin. Vuonna 2022 Yhdysvalloissa tapahtui yli 168 000 onnettomuutta, joissa rekka oli osallisena. Kyseisistä onnettomuuksista 32 % johti loukkaantumisiin ja reilu 3 % kuolemantapauksiin. (Hasiri & Kermanshah, 2024; Truck Accident Statistics, 2023). Kuolemien ja loukkaantumisten vähenemisen lisäksi parantuneella liikenneturvallisuudella olisi vaikutuksia myös kustannuksiin, joita käsitellään tutkielmassa myöhemmin.

2.4.3 Kuljettajapula

Myös pula kuljettajista on yksi syy autonomisten kuljetusten houkuttelevuuden taustalla (Annex 3, 2022) Vuonna 2023 yli kaksi miljoonaa ihmistä työskenteli raskaan liikenteen kuljettajina Yhdysvalloissa. (Bureau of Labour Statistics, 2024.) Autonomista maantiekuljetuksista lukiessa ei voi olla törmäämättä luonnehdintoihin alaa vaivaavasta kuljettajapulasta, joka mainitaan ajuriksi alan kehityksen taustalla. Kuljettajapula nousee esille sekä aihetta käsittelevissä tutkimuksissa, että teknologiaa kehittävien yritysten julkaistuissa teksteissä. Hasirin ja Kermanshahin (2024) mukaan vuonna 2021 Yhdysvalloissa oli tarve 80 500 uudelle kuljettajalle ja luvun on odotettu kasvavan yli 160 000 vuoteen 2030 mennessä. Lähteenä luvuille on käytetty tilastotietopalvelu Statistan selvitystä aiheesta. ATA:n (American Truckin Association) selvitys aiheesta tukee väitettä. ATA:n mukaan

vuonna 2018 kuljettajapula oli 60 800 suuruinen vuonna 2018 ja sen uskotaan kasvavan 160 000 vuoteen 2028 mennessä. ATA:n vuonna 2019 julkaiseman selvityksen mukaan Yhdysvalloissa tulisi palkata seuraavan vuosikymmenen aikana 1,1 miljoonaa uutta kuljettajaa.

Ongelma ei kosketa ainoastaan Yhdysvaltoja, vaan on läsnä myös Euroopassa. IRU:n (International Road Transport Union) selvityksen mukaan EU, Norja ja Iso-Britannia olisivat yhteensä 233 000 kuljettajan tarpeessa vuonna 2023 ja määrän on arvioitu kasvavan 745 000 vuoteen 2028 mennessä, jos merkittäviä toimia ei tehdä. Toki on huomioitava, että alan yrityksiä edustavat etujärjestöt, kuten ATA ja IRU ovat, saattavat haluta saada kuljettajapulan näyttämään mahdollisimman vakavalta esimerkiksi poliittisten helpotusten tai työvoiman rekrytointiin liittyvien säännösten höllentämiseksi. Selvää kuitenkin on, että kuljettajapula on todellinen ongelma sekä Yhdysvalloissa, että Euroopassa, mikä ajaa syitä kehittää autonomisia kuljetuksia.

Autonomiset ajoneuvot voivat yleistyessään paitsi vähentää tarvetta uusien kuljettajien palkkaamiselle, myös tehdä alasta kuljettajille mielekkäämmän ja näin ollen edesauttaa parempaa pysyvyyttä. (Jones ym., 2025) Kuljettajat voivat olla halukkaampia pysymään alalla, jos heidän työnkuvansa sisältää enemmän kodin lähellä suoritettavia lyhyempiä reittejä, joka vaikuttaisi positiivisesti heidän hyvinvointiinsa sekä terveyteensä.

2.5 Autonomisten maantiekuljetusten lähitulevaisuuden kehitysnäkymät

Oleellinen seikka autonomisten maantiekuljetusten kiinnostavuuden suhteen on se, millä aikataululla niiden kaupallinen käyttöönotto voi toteutua. Kuten aikaisemmin todettiin, tavoitteita kaupallisen käytön aloittamiselle on asetettu jo varsin lähitulevaisuuteen. Tie ensimmäisistä kaupallisista kokeiluista laajaan käyttöön on kuitenkin todennäköisesti pitkä. Kyseisten järjestelmien laajamittainen kaupallinen käyttöönotto ei tule tapahtumaan yhdessä yössä, vaan kehityskulku tulee kestämään pitkään. Andersonin & Ivehammarin (2019) mukaan kehityskulku, jossa autonomiset rekat korvaavat kuljettajien ajamat ajoneuvot tulee kestämään luultavasti vuosikymmeniä. Tietyissä tapauksissa autonomisten kuljetusten yleistyminen voi olla kuitenkin nopeaa, kunhan tarpeeksi kehittyneet autonomiset rekat tulevat saataville. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että ne pystyvät tarjoamaan kilpailuetua suhteessa perinteisiin kuljetuksiin (Engholm, 2021).

Muutoksen hitauteen on olemassa monia syitä. Vaikka teknologia alkaisikin olla tarpeeksi kehittyneellä tasolla, tarvitaan autonomisten kuljetusten yleistymiseen myös selkeyttä muun muassa liityen vakuutus- ja vastuukysymyksiin. Laajamittainen automatisoitujen maantiekuljetusten

käyttöönotto edellyttää yhteisiä standardeja koko alalle tai ainakin riittävän suurille markkinoille. Sääntelykehys on kriittisessä asemassa, sillä se määrittää missä määrin ala pystyy hyötymään autonomisista maantiekuljetuksista. (International Transport Forum, 2019). Myös infrastruktuuri voi vaatia investointeja, jotta autonomisten ajoneuvojen toimintaympäristö on niiden laajaan käyttöönnottoon mahdollinen. (Tengilimoglu ym., 2023.) Autonomisten kuljetusten yleistymisen hidasteena on siis muitakin kuin teknologiaan liittyviä asioita, joihin teknologiaa kehittävät yritykset eivät juurikaan voi vaikuttaa.

Myös yleisillä mielikuvilla voi olla vaikutusta autonomisten kuljetusten yleistymiseen. On mahdollista, että autonomisten ajoneuvojen täytyy olla huomattavasti tavallisia ajoneuvoja turvallisempia ennen kuin ne hyväksytään laajasti yleiseen liikenteeseen (Andersson & Ivehammar, 2019.) Manyika ym. (2013) nostavat esiin, ettei teknologia ole suurin autonomisten ajoneuvojen esteenä oleva asia. Heidän mukaansa alan regulaatio sekä yleisen hyväksynnän voittaminen muodostavat suuremmat hidasteet autonomisten ajoneuvojen yleistymiselle.

Myös lakitekniset sekä eettiset kysymykset ovat hidasteena kehitykselle. Esimerkiksi kysymykset sen suhteen, kuka on vastuussa, jos autonominen ajoneuvo aiheuttaa onnettomuuden vaativat ratkaisuja ennen kuin autonomiset ajoneuvot ovat valmiina liikenteeseen. (Jones ym., 2025). Kyseisen kaltaisissa kysymyksissä korostuu lakeja säätevien viranomaisten merkitys. Jos sääntelyä ei saada aikaan, on autonomisten ajoneuvojen käyttöönotto erittäin vaikeaa niin henkilö- kuin rahtiliikenteessä.

Vuonna 2013 julkaistu Manyikan ym. teksti osaltaan havainnollistaa autonomisten ajoneuvojen laajan käyttöönoton ajankohdan ennustamisen vaikeutta. Tekstissä kaavailaan autonomisten ajoneuvojen olevan laajassa käytössä vuonna 2025 niin henkilö- kuin tavaraliikenteessä. Tämän tutkielman kirjoitushetkellä vuonna 2025 voidaan kuitenkin nähdä, ettei kehityskulku ole yltänyt Manyika ym. (2013) kaavailemalle tasolle, jossa 10-30 % vuoden 2018 ja 2025 välillä myydyistä rekoista olisi ollut autonomisia, ja näistä 50% olisi toiminut täysin ilman kuljettajaa.

Fagnant & Kockelman (2015) nostavat esiin ammattiliittojen mahdollisen vastarinnan autonomisten maantiekuljetusten suhteen. Muutosvastarinnalla on siis myös oma roolinsa sen suhteen kuinka nopeasti tai laajasti teknologia voidaan ottaa käyttöön. Kyseisen vastustuksen voi liittää osaksi laajempaa keskustelua, jossa on kyse tekoälyn ja automatisaation väistämättä muokkaamista työmarkkinoista. Tilannetta voisi osaltaan verrata maatalouden läpikäymään kehityskulkuun, jossa koneet ovat vähentäneet ihmistyövoiman tarvetta radikaalisti viimeisen vuosisadan aikana.

Luultavasti kovin moni ihminen ei kuitenkaan olisi valmis vaihtamaan nykytilannetta sellaiseen, jossa iso osa ihmisistä työskentelisi maatalouden parissa, jotta ruoka saataisiin pöytään.

Yhteenvetona autonomisten maantiekuljetusten lähitulevaisuuden kehitysnäkymiin sekä yleistymiseen vaikuttavat siis monet asiat, ja niiden laajamittainen käyttöönotto vaatii ratkaisuja sekä teknologiaa kehittävilä yksityisiltä yrityksiltä, että sääntelystä vastaavilta julkisilta tahoilta.

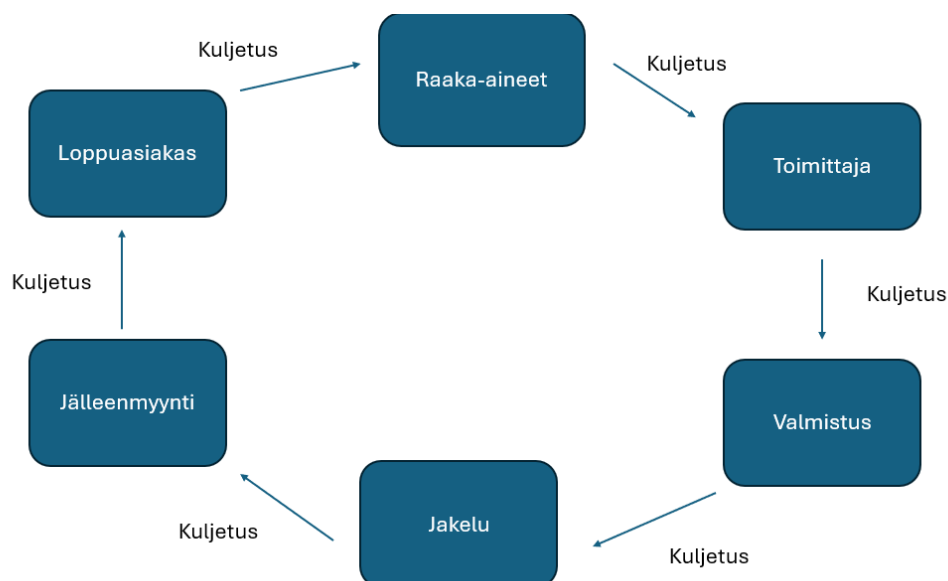
3 Toimitusketjun kustannusrakenne

3.1 Kuljetuskustannusten osuus toimitusketjun kustannuksista

Toimitusketju on käsitteenä varsin laaja. Chopran ja Meindlin (2016) mukaan toimitusketju on verkosto, joka koostuu kaikista osapuolista, jotka osallistuvat asiakkaan tarpeiden täyttämiseen. Toimitusketju ei kata ainoastaan valmistajia sekä toimittajia, vaan myös logistiikan, varastoinnin, jälleenyymyjät sekä asiakkaat itsensä. Toimitusketju on siis laaja kokonaisuus, josta tässä tutkielmassa käsitellyt kuljetuskustannukset ovat vaihtelevan suuruinen osa. Koska toimitusketjut voivat erota toisistaan merkittävästi esimerkiksi maantieteellisen sijainnin, toimialan sekä tuotteiden luonteen perusteella, vaihtelee myös kuljetuskustannusten rooli. Monissa toimitusketjuissa logistiikan ja siihen kuuluvien kuljetuskustannusten osuus on kuitenkin merkittävä, sillä arvoketju yleensä vaatii kuljetuksia sen monissa vaiheissa.

Maaailmanlaajuisen logistiikkamarkkinan kokoa on vaikea arvioida, sillä määritelmät vaihtelevat maittain. Joissakin määritelmässä niihin luetaan markkinoilta ostetut kuljetus- sekä varastointipalvelut, kun taas laajimmissa määritelmässä mukaan lasketaan myös logistiikkainfrastruktuuriin liittyviä toimintoja ja niiden oheispalveluja. (Solakivi ym., 2023). Yleisesti logistiikkakustannusten osuudeksi koko BKT:stä on arvioitu olevan Euroopassa 8,6 % ja Pohjois-Amerikassa 8,4 % vuonna 2020. (Armstrong & Associates, 2023; Solakivi ym., 2023). Pohjois-Amerikan tapauksessa tämä tarkoittaa yli 2000 miljardin dollarin arvoista osuutta. Maantiekuljetusten on arvioitu tuottaneen bruttokansantuotteeseen Yhdysvalloissa 389 miljardin dollarin kokoisen osuuden vuonna 2021. (Jones ym., 2025). Kyseiset luvut antavat osviittaa maantiekuljetusten suhteesta koko logistiikka-alan kustannuksiin. Ruotsissa yritysten on arvioitu käyttäneen maantiekuljetuksiin 135 miljardia kruunua vuonna 2013, mikä vastasi noin 2 % kaikista yritysten kulutuksesta. (Engholm, 2021). Maantiekuljetuksissa pyörivät siis globaalisti suuret rahavirrat, jotka osaltaan mahdollistavat alan houkuttelevuuden investointikohteena.

Kuviossa 2 yksinkertaisesti havainnollistettuna, miten monen kuljetusprosessin takana lopputuote voi olla. Kuvio korostaa sitä, kuinka kuljetuskustannusten taso heijastuu suoraan koko toimitusketjun kustannuksiin ja lopulta myös asiakkaan maksamaan hintaan. (Iamandii ym., 2025)



Kuvio 2. Kuljetusten rooli toimitusketjussa Iamandii ym. (2025) mukailten

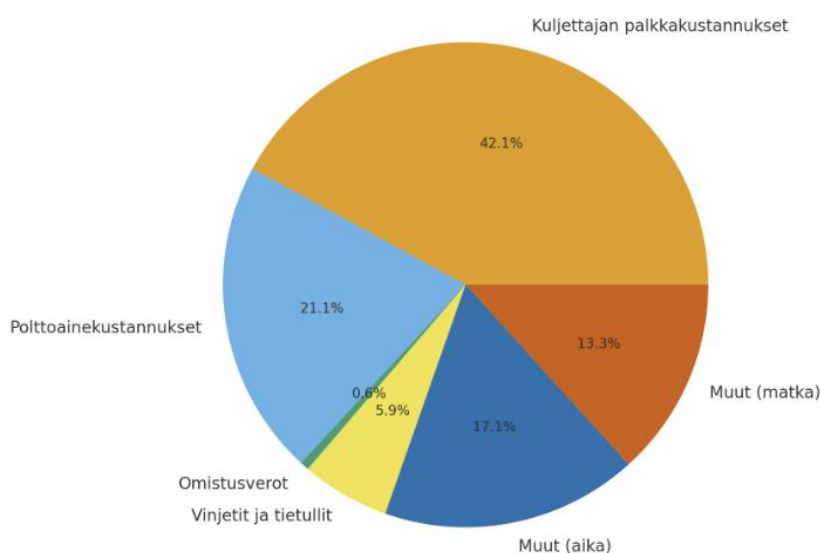
3.2 Maantiekuljetusten sisäinen kulurakenne

Olellainen asia tutkiessa autonomisten maantiekuljetusten tuomia kustannusvaikutuksia, on ymmärtää, miten maantiekuljetusten sisäinen kulurakenne keskimäärin muodostuu. Kulurakenteet vaihtelevat alueellisesti, mutta tietyt kustannuserät ovat kuitenkin kaikkialla hallitsevia.

EU:n alueella kuljettajien palkat ovat suurin yksittäinen kustannuserä. Persyn ym. (2022) arvioivat, että työvoimakustannukset muodostavat keskimäärin 42 % maantiekuljetusten kustannusrakenteesta. Ruotsissa kuljettajiin liittyvät kustannukset muodostavat noin 40% kokonaiskustannuksista (Engholm, 2021.) EU:n sisällä esiintyy kuitenkin merkittäviä alueellisia eroja. Esimerkiksi Itä-Euroopan maissa työvoimakustannusten suhteellinen osuus on pienempi matalamman palkkatason vuoksi, ja Länsi-Euroopassa taas päinvastoin suurempi (Persyn ym. 2022). Joka tapauksessa henkilöstökulut ovat maantiekuljetuksissa huomattavan suuria verrattuna meriliikenteeseen tai rautatiekuljetuksiin, joissa kuljetusvolyymit per kuljettaja ovat suurempia. Tämä tekee maantiekuljetuksista erityisen kiinnostavan kohteen autonomisuuden tuomille kustannussäästöille. Työvoimakustannukset ovat myös olleet viime vuosina nousussa, yhtenä syynä alan krooninen työvoimapula (Lee ym.

2023.) Kehitykselle ei ole myöskään odotettavissa helpotusta, päinvastoin kuljettajapulan on arvioitu pahenevan entisestään tulevaisuudessa. (Statista, 2025)

Polttoaine on toinen merkittävä kustannuserä. Persyn ym. (2022) arvioivat polttoaineen osuuden olevan EU:n alueella keskimäärin 21 % kuljetuksen kokonaiskustannuksista. Turun yliopiston vuoden 2023 logistiikkaselvityksessä polttoainekustannusten osuudeksi on arvioitu 20–25 %. Polttoainekustannusten vaihtelu on kuitenkin suurta riippuen esimerkiksi öljyn maailmanmarkkinahinnasta, energiapolitiikasta sekä ajoneuvojen energiatehokkuudesta. Esimerkkeinä polttoaineen hinnan volatiilisuudesta viime vuosien merkittävät kriisit, Covid-19 sekä Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan, jotka aiheuttivat epävarmuuksia energiamarkkinalla, ja nostivat polttoaineen hintaa. (Solakivi & Ojala, 2024). Myös liikenteen etenevä sähköistyminen tulee näyttämään omaa rooliaan polttoainekustannusten kustannusosuudessa tulevaisuudessa.



Kuvio 3. Keskimääräinen maantiekuljetusten kustannusjakauma EU:ssa (Persyn ym. 2022 mukailten)

Kuviossa 3 maantiekuljetusten kulurakenne jaoteltuna kustannuseriin. Henkilöstö- ja polttoainekustannukset muodostavat kaksi kolmasosaa kustannuksista. Tiemaksuihin ja tulleihin liittyvät kulut muodostavat keskimäärin 5,9 % osuuden. Tässä alueelliset erot tulevat esiin, sillä esimerkiksi Suomessa ei ole käytössä tietulleja. Muilla aikaan liittyvillä kustannuksilla tarkoitetaan vakuutus- sekä pääomakustannuksia. Kyseisten kustannusten osuus on 17,1 %. Muilla matkaan liittyvillä

kustannuksilla, jotka muodostavat 13,3 % osuuden tarkoitetaan huoltoihin sekä kuljettajan majoittamiseen liittyviä kustannuksia.

Taulukko 1. Maantiekuljetusten kustannusrakenne Suomessa ajoneuvotyypeittäin (Solakivi ja Ojala, 2024 mukaillen)

| Ajoneuvon pituus | 16.5 m | 25.25 m | 34 m |
|----------------------|--------|---------|-------|
| Kuljettajan palkka | 34.5% | 34.1% | 33.1% |
| Polttoaine | 31.7% | 29.4% | 27.9% |
| Korjaukset ja huolto | 9.0% | 9.1% | 8.8% |
| Renkaat | 5.0% | 5.5% | 6.3% |
| Vakuutukset | 5.2% | 4.8% | 5.7% |
| Pääoma | 9.1% | 10.3% | 10.6% |
| Hallinto | 5.5% | 6.7% | 7.6% |

Kuviossa 4 Solakiven ja Ojalan (2024) tutkimuksen tulos, joka on koottu suomalaisten kuljetusyri-tysten vastausten perusteella. Kustannukset ovat jaoteltu erikseen kolmelle eri kokoiselle ajoneuvo-tyypille, mutta kustannusjakaumat ovat jokaisella varsin samankaltaiset, ja voidaan käsitellä tässä kontekstissa yhtenä kokonaisuutena. Kyseisestäkin tutkimuksesta voidaan havaita, että kuljettajan palkan sekä polttoainekustannusten osuus on noin kaksi kolmasosaa. Huoltoon liittyvien kustannus-ten osuus on 9 % luokkaa. Vakuutus-, rengas sekä hallinnolliset kustannukset muodostavat kukin noin 5–7 % osuuden. Pääomakustannukset muodostavat noin 10 % kustannusosuuden.

Alueelliset erot tulevat esiin Iamandii ym. (2025) artikkelissa, jossa kuljetuskustannusten jakaumaa käsiteltiin Romanian kontekstissa. Polttoaine osoittautui suurimmaksi yksittäiseksi kustannuseräksi 48–52 % osuudella. Matalammat palkkatasot laskevat henkilöstökulujen suhteellista osuutta ja nos-tavat polttoaineen merkitystä toisena suurena kustannuseränä. Tutkimuksessa kuljettajien palkkojen ja kaluston poistojen osuus sisältyi kategoriaan ”muut suorat kustannukset”, jonka osuus oli 39–41 % kokonaiskustannuksista.

Alueellisten erojen hahmottaminen on tärkeää, sillä autonomisten kuljetusten tuomat hyödyt eivät jakaudu tasaisesti kaikille kustannuserille, mikä voi osaltaan vaikuttaa siihen, missä niiden käyt-töönotto on kaikista houkuttelevinta. Henkilöstökulut sekä polttoaine muodostavat kuitenkin

kustannusten ytimen alueesta riippumatta, ja ovat näin ollen houkuttelevimpia kohteita kustannussäästöjen tavoittelussa.

4 Autonomisten maantiekuljetusten vaikutus kuljetuskustannuksiin

Kun mietitään jonkin asian automatisoimista, ja sen tuomia kustannushyötyjä, tulee väistämättä mieleen ajatus siitä, ettei kyseisestä työstä tarvitse maksaa ihmistekijälle palkkaa. Tämä on myös selkein autonomisia maantiekuljetuksia käsiteltäessä mieleen tuleva kustannushyöty. Jos kuljetus, tai osa siitä pystytään hoitamaan ilman ihmiskuljettajaa, poistuu luonnollisesti myös tarve palkanmaksulle kyseiseltä ajalta. Kuten aikaisemmassa luvussa käsitelty, henkilöstökustannukset ovat tyypillisesti maantiekuljetusten merkittävin yksittäinen kustannuserä.

Autonomisten kuljetusten vaikutukset eivät kuitenkaan rajoitu vain henkilökustannuksiin, vaan niillä on vaikutuksia myös polttoaine-, pääoma-, huolto- sekä vakuutuskustannuksiin. (Engholm ym. 2020) Maantiekuljetukset ovat lentorahdin jälkeen toiseksi kallein kuljetusmuoto, joten paineita kustannusten alentamisen suhteen riittää. (Jones ym., 2025) Vaikka mahdolliset kustannussäästöt vaikuttavat alan näkökulmasta houkuttelevilta, oleellista on selvittää kuinka suuria säästöt oikeasti ovat, vai voivatko jotkin nousevat kustannukset kuten mahdollisesti kasvavat pääoma- tai huoltokulut syödä muista kustannuseristä saatavat hyödyt.

4.1 Henkilöstökustannukset

Henkilöstökustannusten osuus maantiekuljetusten kokonaiskustannuksista on siis noin 30 %-42 %. Vaikka itse kuljetus olisi kuljettajaton, eivät kaikki kuljettajaan liittyvät kustannukset poistuisi, sillä kuljettajat tyypillisesti hoitavat myös muita tehtäviä kuin itse ajamista, kuten lastaamista sekä purkamista ja dokumentaatiota. (Engholm ym., 2020). Kyseiset tehtävät tulisi edelleen hoitaa, vaikka itse ajo-osuus tai edes osa siitä pystyttäisiin hoitamaan ilman kuljettajaa. Henkilöstökustannusten lasku ei olisi siis yksi yhteen kuljettajan palkan suuruinen.

Ajaminen on kuitenkin itsessään selkeästi eniten kuljettajan aikaa vievä työsuorite, jonka vuoksi henkilöstökustannusten väheneminen tarjoaa merkittävimmän mahdollisuuden autonomisten maantiekuljetusten kustannussäästöihin. Engholmin (2021) mukaan autonomiset rekat mahdollistavat merkittävät säästöt maantiekuljetuksen kokonaiskustannukseen, kunhan ne saavuttavat teknologiansa osalta valmiin vaiheen. Mahdolliset säästöt ovat jaettu kolmeen eri skenaarioon: pessimistiseen, perus sekä optimistiseen. Säästöt ovat jaoteltu myös rekan koon mukaan, 16- 24-, 40- ja 60 tonnia vetävien rekkojen osalta. Pessimistisessä skenaariossa säästöt vaihtelevat 12 %-23 %, perusskenaariossa 29 %-45 % välillä ja optimistisessä skenaariossa 43 %-58 % välillä. Engholmin mukaan säästöt tulevat pääasiassa kuljettajaan liittyvien kustannusten poistumisesta. Säästöt ovat laskettu Ruotsin kontekstissa, mutta ovat Engholmin mukaan samankaltaisia muilla markkinoilla,

jossa kustannusrakenne on yhteneväinen Ruotsiin verrattuna. Sen sijaan markkinat, joissa henkilöstökustannukset ovat merkittävästi alhaisemmat eivät pysty hyötymään samansuuruisista hyödyistä.

Autonomiset kuljetukset vaatisivat ainakin ensivaiheessaan, tai ehkä jopa pysyvästi etäoperaattoreita (remote operators), jotka kykenisivät reagoimaan tarvittaessa mahdollisiin ongelmiin (Engholm ym., 2020). Myös kyseinen toimintamalli vaatisi työvoimaa, joskin Enghomin ym. (2020) mukaan yksi etäoperaattori voisi perusskenaariossa hoitaa 20 ajoneuvoa ja optimistisessa skenaariossa 40 ajoneuvoa. Autonomisten maantiekuljetusten henkilöstökustannusten väheneminen ei siis ole yhtä kuin kuljettajan palkan osuuden poistuminen. Engholm ym (2020) ovat arvioineet etäoperaattorien aiheuttavan 5% - 40% suuruisen kustannusosuuden, verrattuna ihmiskuljettajan palkkakustannuksiin. Pessimistisessä skenaariossa osuus olisi 40%, perusskenaariossa (base scenario) 5% ja optimistisessä 10 % kuljettajan palkasta Pessimistisessäkin skenaariossa henkilöstökulujen väheneminen olisi siis merkittävää, mutta selvästi pienempää kuin muissa skenaariossa.

Kuljettajakustannus on aikaan liittyvä kustannus, eikä ole käytännössä riippuvainen ajoneuvon koosta. Henkilöstökustannusten osuus kuljetettua tonnikilometriä kohden on suurempi pienemmissä rekoissa ja vastaavasti pienempi suuremmissa rekoissa. (Engholm, 2021.) Tämän vuoksi myös kuljettajaan liittyvät kustannussäästöt ovat suhteellisesti suurempia pienemmillä rekkatyypeillä. Autonomiset rekat voivat siis hieman vaikuttaa maantiekuljetuksissa vallitsevaan suuruuden ekonomiaan, jonka seurauksena suuret rekkatyypit ovat kasvattaneet suosiotaan. Pienempien rekkojen suuremmista suhteellisista kustannussäästöistä huolimatta, suuremmat rekat säilyttäisivät edelleen asemansa edullisimpina vaihtoehtoina kuljetettua tonnikilometriä kohden, joten radikaalia muutosta rekkojen kokojen suhteen ei todennäköisesti olisi tulossa. (Engholm, 2021.)

Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että autonomisten maantiekuljetusten käyttöönotto voisi johtaa merkittäviin säästöihin henkilöstökustannuksissa, jotka myös muodostavat suurimman yksittäisen kustannustekijän kokonaiskustannusten laskussa. Säästöjen laajuus on kuitenkin riippuvainen teknologian kypsyydestä, ja siitä kuinka suuri osa toiminnoista voidaan suorittaa täysin autonomisesti ilman tarvetta ihmisen läsnäololle. Kustannussäästöjen suuruus on myös riippuvainen millä markkinalla toimitaan, sillä henkilöstökustannukset vaihtelevat merkittävästi maailmanlaajuisesti.

4.2 Polttoainekustannukset

Autonomisten ajoneuvojen on arvioitu vähentävän polttoaineenkulutusta optimoimalla kiihdytys- sekä jarrutuskäyttäytymistä, ylläpitämällä tasaisempaa ajonopeutta sekä vähentämällä turhaa

tyhjäkäyntiä. (Zhao & Lee, 2023). Liikenteen etenevästä sähköistymisestä huolimatta, polttoainekulut ovat relevantti kuluerä myös autonomisten maantiekuljetuksen tulevaisuuden kustannusrakenteessa. Esimerkiksi Daimlerin tytäryhtiö Torc Roboticsin kehittämät ratkaisut autonomisten rekkojen suhteen keskittyvät tällä hetkellä diesel-käyttöisiin ajoneuvoihin, koska ne ovat nykyteknologialla paras ratkaisu pitkien matkojen kuljetuksiin. (Torc, 2023). Yhtiö ei kuitenkaan sulje pois etteivät heidän ajoneuvot kulkisi sähköllä jossakin vaiheessa. Myös Volvon VNL Autonomous rekat, jotka ovat olleet jo käytössä Texasissa, ovat diesel-käyttöisiä ajoneuvoja. (Volvoautonomous-solutins.com, 2024). Liikenteen sähköistyminen etenee vauhdilla, ja kehitystä on odotettavissa myös raskaassa liikenteessä. Sähköistymisestä aiheutuvat polttoainekustannussäästöt ovat kuitenkin oma aihepiirinsä, eivätkä ne varsinaisesti ole liitännäisiä autonomisuudesta saataviin hyötyihin, joten tässä luvussa polttoainekustannussäästöt käsitellään diesel-käyttöisten rekkojen kontekstissa.

Arviot, kuinka suuria vähennyksiä voi olla saavutettavissa vaihtelevat suuresti eri tutkimuksissa. Arviot hyödyistä polttoainetehokkuuden suhteen ovat vaihdelleet 4 ja 31 % välillä (Zhao & Lee, 2023). Suuria eroja arvioissa selittävät, että ne ovat herkkiä muutoksille esimerkiksi sen suhteen, minkä tyyppistä ja tasoista automaatiota käytetään, ketkä tutkimuksiin ovat osallistuneet ja mitkä ajo-olosuhteet ovat vallinneet. Engholm ym. (2020) ovat jaotelleet polttoainesäästöt kolmeen eri skenaarioon, jotka ovat riippuvaisia teknologian kehityksestä. Pessimistisessä skenaariossa polttoaineen kulutus ei muutu, perusskenaariossa se vähenee 10% ja optimistisessä skenaariossa 20%.

Myös tutkielmassa aiemmin käsitelty saattueajo vähentää polttoaineenkulutusta. Autonomisen saattueajon, jossa ajoneuvojen väliset erot voidaan jättää todella lyhyiksi, mahdollistamat polttoainesäästöt voivat olla jopa 20 % suuruisia. (Chen ym., 2023) Polttoainesäästöt eivät kuitenkaan jakaudu tasaisesti kaikille saattueen ajoneuvoille, sillä ensimmäisenä oleva johtoajoneuvo ei hyödy saattueajon tuomista säästöistä yhtä paljon kuin muut ajoneuvot. Bhoopalam ym. (2017) mukaan polttoainesäästöt johtoajoneuvolle olisivat 6 % luokkaa ja sitä seuraaville ajoneuvoille 10 % suuruisia.

Mitä enemmän saattueeseen taas saadaan reikkoja, sitä isompi osa saattueen rekoista pääsee höyryämään polttoainesäästöistä. Chen ym. (2023) ovat tutkimuksessaan luoneet mallin, jossa kuljetusyriyten muodostama allianssi optimoi rekkojen lähtöajat siten, että mahdollisimman suuri kokonaisyöty saavutettaisiin. Mallissa kustannuksia täytyy myös allokoida eri yritysten välillä, koska saattueen kaikki ajoneuvot, toisin sanottuna johtoajoneuvo, ei saavuta samassa mittakaavassa ilmanvastuksen vähenemisen tuomia polttoainesäästöjä ja näin ollen kyseistä ajoneuvoa ajattava yritys ei saavuttaisi yhtä suuria hyötyjä, kuin saattueen muut yritykset, eikä välttämättä olisi halukas

toimimaan johtoajoneuvona. Jotta yritykset todella sitoutuvat tutkimuksessa kaavailtuun yhteistyöhön, ja näin ollen saattueajon mahdolliset hyödyt saadaan täysimääräisesti irti, tulee järjestelyn olla kaikille osapuolille reilu ja kannustava. (Chen ym., 2023) Toisaalta, monilla kuljetusyrityksillä voi itsellään olla sen verran omaa kapasiteettia etteivät ne ole halukkaita lähtemään yhteistyöhön muiden yritysten kanssa ja näin ollen mahdollisesti avittamaan kilpailijoitaan, vaan ne pystyvät muodostamaan saattueensa itsenäisesti.

Autonomisten maantiekuljetusten tuomia polttoainesäästöjä arvioidessa tulee mieleen, etteivät säästöt, ainakaan osittain toteutuakseen välttämättä tarvitse vähintään SAE tason 4 teknologiaa, vaan voivat olla saavutettavissa myös alemmilla tasoilla. Zhaon & Leen (2023) mainitsevat syyt autonomisten ajoneuvojen polttoainesäästöille, kiihdytys ja jarrutuskäyttäytymisen optimointi, taasisen ajonopeuden ylläpito sekä turhan tyhjäkäynnin vähentäminen, kuulostavat jokainen itsessään asioilta, jotka voisivat olla saavutettavissa myös alemman SAE tason teknologialla esimerkiksi adaptiivisen vakionopeudensäätimen avulla. He ym. (2020) mukaan adaptiivisen vakionopeudensäätimen vaikutukset itsessään polttoainetehokkuuteen eivät kuitenkaan ole välttämättä positiivisia. Tutkimuksen mukaan adaptiivista vakionopeudensäädintä käyttävän ajoneuvon polttoaineenkulutus voi kasvaa jopa 20 % suuremmaksi ihmiskuljettajaan verrattuna, jos järjestelmä reagoi liian herkästi liikennevirrassa tapahtuviin muutoksiin. Tutkimus suoritettiin moottoriteillä henkilöautoilla. Myös Moawadin ym. (2024) tutkimuksessa havaittiin, että adaptiivinen vakionopeudensäädin itsessään ei vähennä polttoaineenkulutusta, vaan lisäsi sitä keskimäärin 2 %. Tutkimuksessa analysoitiin aineistoa yli miljoonan kilometrin matkalta, todellisesta ajosta, joka kerättiin General Motorin ajoneuvoista vuosien 2021 – 2022 aikana. Tutkimukset haastavat käsitystä siitä, että autonomia parantaisi automaattisesti ajoneuvojen polttoainetehokkuutta. Toisaalta tutkimukset myös alleviivaavat sitä, että automisen ajamisen tuomat hyödyt polttoainetehokkuuteen ovat saavutettavissa, mutta tarvitsevat toimiakseen lisää teknologiaa sekä kommunikaatiota ajoneuvojen välillä.

Aikaan liittyvät kustannukset, joista merkittävimpänä kuljettajan palkka ovat autonomisissa kuljetuksissa pienemmät, joka voi johtaa matalempiin ajonopeuksiin polttoaineen säästämiseksi. (Engholm ym., 2020). Polttoainesäästöjä voidaan saavuttaa myös tulevaisuuden rekoilla, jotka ovat suunniteltu ilman kuljettajan hyttiä aiempaa kevyimmiksi ja aerodynaamisemmiksi. Toisaalta autonomiset rekat tarvitsevat myös uudenlaista ajoneuvoon lisättävää teknologiaa, kuten sensoreita. Kyseinen teknologia voi lisätä ajoneuvon painoa sekä ilmanvastusta, jolla olisi negatiivisia vaikutuksia polttoainetehokkuuteen. (Engholm ym., 2020)

Laajemmin tarkasteltuna autonomisten kuljetusten vaikutukset polttoainekustannuksiin liittyvät myös kuljetusten energiatehokkuuteen ja päästövähennyksiin. Zhao & Lee (2023) osoittavat, että, kun polttoaineenkulutus vähenee, vähenevät myös kuljetusten hiilidioksidipäästöt lähes lineaarisesti. Tämä tekee autonomisista maantiekuljetuksista paitsi taloudellisesti houkuttelevampia, myös ympäristön kannalta kestävämpiä vaihtoehtoja. Alhaisemmat päästöt voivat kuitenkin olla itsessään hyödynnettävä asia myös taloudellisesti. Kuljetusyrietykset voivat hyödyntää asiaa esimerkiksi markkinoinnissaan. Alhaisemmista päästöistä voi olla myös EU:n päästökauppaan liittyviä positiivisia taloudellisia vaikutuksia, kun päästökauppa alkaa koskemaan myös kaupallista maantieliikennettä.

Zhao & Lee ovat käyttäneet tutkimuksessaan 17,5 % arviota autonomisten rekkojen vähäisemmästä polttoaineenkulutuksista ihmiskuljettajan ajamiin rekkoihin verrattuna. Samaa arvioita käyttämällä, ja olettamalla, että polttoainekustannukset laskisivat samassa suhteessa kuin polttoainekulutus vähenisi, autonomisten kuljetusten tuomat säästöt maantiekuljetusten kokonaiskustannuksiin olisivat noin 3,5 – 5,95 %, jos polttoaineen osuus kokonaiskustannuksista arvioidaan välille 20-34 % perustuen Persynin (2022) sekä Solakiven & Ojalan (2024) tutkimuksiin. Kovan kilpailun logistiikkamarkkinassa kyseisenkin kaltaiset pieniltäkin kuulostavat kustannusvähennykset voivat tarjota yritykselle ratkaisevan edun kilpailussa.

4.3 Pääoma- ja huoltokustannukset

Solakiven ja Ojalan (2024) mukaan pääomakustannukset muodostavat 10% osuuden maantiekuljetuksen kokonaiskustannuksista. Pääomakustannukset koostuvat ajoneuvon hankinnasta, poistosta, rahoituskustannuksista sekä pääoman sitoutumisesta kalustoon. Autonomiset rekat ovat hankintahinnaltaan jonkin verran kalliimpia perinteisiin verrattuna, mikä nostaa pääomakustannuksia. Scania on arvioinut, että autonomiset rekat maksaisivat 1,5 – 2 kertaista verrattuna nykypäivän ajoneuvoihin. (Scania.com) Yrityksen mukaan ajoneuvot tarvitsevat myös ohjelmistolisenssejä, jotka lisäävät operationaalisia kustannuksia. Engholm (2021) korostaa, että, jos kuljettajaan liittyvät kustannukset saadaan poistettua, eivät nousseet hankintakulut kumoa kovinkaan herkästi saavutettuja säästöjä. Engholmin (2021) mukaan hankintakustannukset voisivat nousta 230% ennen kuin ne kumoaisivat kuljettajaan liittyvistä kustannuksista saavutetut päästöt 40-tonnin kokoluokan rekan perusskenaariossa.

Toisaalta pidemmällä aikavälillä rekkojen rakenteellinen yksinkertaistuminen voi alentaa ajoneuvojen valmistuskustannuksia. Engholm ym. (2020) nostavat esiin, että kuljettajan hytin poistaminen mahdollistaa ajoneuvon suunnittelun uudistamisen. Ohjaamo on yksi ajoneuvon

monimutkaisimmista ja kalleimmista osista, etenkin sen sisältämien turvallisuusjärjestelmien myötä. Jos näitä ei mahdollisesti tulevaisuudessa tarvita, voitaisiin ajoneuvon tuotantoprosessia yksinkertaistaa. Lee ym. (2023) ovat arvioneet eri skenaarioissaan ajoneuvojen hankintakulut 25 % kasvun sekä 25 % vähenemisen välille. Mahdolliset alhaisemmat hankintakulut perustuvat juurikin mahdolliseen kehityskulkuun, jossa autonomiset rekat kyettäisiin suunnittelemaan tulevaisuudessa yksinkertaisimmiksi, ilman hytin vaatimia ominaisuuksia. Autonomiset ajoneuvot myös pystyvät teoriassa operoimaan ympäri vuorokauden ilman kuljettajien lepoaikoja, joka nostaa ajoneuvojen käyttöastetta ja mahdollistaa potentiaalisesti vähäisemmät pääomakustannukset pitkässä juoksussa.

Ajoneuvon suurempi käyttöaste voi kuitenkin johtaa kasvaviin huoltokustannuksiin. Huoltokustannusten muutoksiin liittyy kuitenkin epävarmuutta. Huoltokustannukset voivat nousta sillä ajoneuvojen vaatima monimutkainen teknologia voi lisätä huoltokustannuksia etenkin teknologian alkuvaiheessa. Toisaalta autonomisten ajoneuvojen tasaisempi ajotapa voi vähentää tarvetta huolliille. (Wadud, 2017). Myös autonomisten ajoneuvojen vähäisemmät onnettomuudet aiheuttavat vähemmän tarvetta huoltoihin. Lee ym. (2023) arvioivat eri skenaarioissaan huoltokustannusten muuttuvan 25 % vähenemisen ja 25 % kasvun välillä. Perusskenaariossa (basescenario) huoltokustannukset pysyisivät muuttumattomina.

Solakiven & Ojalan (2024) mukaan huollot sekä korjauskulut muodostavat suomalaisissa kuljetusyhtiöissä noin 9 % suuruisen osuuden. Huoltokustannuksissa tapahtuvat pienet muutokset eivät siis maantiekuljetuksen kokonaiskustannusten kannalta muodostaisi merkittävää lisäkulueraa tai säästöä. Myöskään rengaskulujen ei odoteta muuttuvan merkittävästi. Tasaisempi ajotapa voi kuluttaa vähemmän renkaita, toisaalta ajoneuvon lisääntynyt paino voi lisätä kulumaa. Renkaiisiin liittyvät kustannukset ovat kuitenkin pieni osa kokonaiskustannuksia, eivätkä myöskään niissä tapahtuvat pienet muutokset vaikuttaisi kokonaiskustannuksiin oleellisesti. (Wadud, 2017).

Pääoma- ja huoltokustannusten kehitys riippu siis useista seikoista, joilla voi olla käänteisiä vaikutuksia kustannuksien suuruuteen. Alkuvaiheessa pääomakustannukset voivat nousta, mutta pitkällä aikavälillä muiden hyötyjen on arvioitu kompensoivan nämä kustannusnousut selvästi (Andersson & Ivehammar, 2019). Anderson & Ivehammar ovat tarkastelleet autonomisten rekkojen taloudellisia hyötyjä yhteiskunnan näkökulmasta. Heidän mukaansa pääomakustannusten tulisi nousta yli 36 %, jotta ne ylittäisivät muista kustannuksista, eritoten henkilöstökustannuksista, säästettävät hyödyt. Kyseinen laskelma on tehty arvioituun vuoden 2025 kehityskulkuun, jossa 15 % pitkän matkan kuljetuksista suoritettaisiin ilman kuljettajaa. Vaikka nyt voidaan todeta, ettei kyseinen kehityskulku ole toteutunut, voidaan tulosta pitää kuitenkin relevanttina arviona siitä,

miten kustannusvaikutukset alkavat näkymään, kun autonomisten maantiekuljetukset alkavat yleistymään. Alkuvaiheessa kustannuksissa voi siis olla enemmän nousua korkeamman hankintahinnan sekä uuden teknologian monimutkaisuuden vuoksi, mutta pidemmällä aikavälillä parempi käyttöaste, vähäisemmät vahingot, sekä pienemmät seisonta-ajat voivat kompensoida alkuvaiheen lisäkustannuksia.

4.4 Vakuutuskustannukset

Liikenneturvallisuutta, ja sen avulla säästettyjä ihmishenkiä voi pitää itseisarvona ja tavoiteltavana asiana jo itsessään, mutta parantuneella turvallisuudella on vaikutusta myös kustannuksiin. Kuten luvussa 2.5.2 todettu, ihmisvirhe aiheuttaa noin 90 % liikenteessä tapahtuvista onnettomuuksista. Yleinen konsensus on, että autonomiset ajoneuvot parantavat turvallisuutta merkittävästi. Yhtenä syynä se, että liikenteen sekaan hyväksytyksi, niiden täytyy osoittaa olevansa merkittävästi ihmiskuljettajaa turvallisempia. Vakuutuskustannukset ovat keskeisesti onnettomuuksiin liittyvä kustannuserä, sillä niillä katetaan onnettomuuksista aiheutuneet kulut. Solakivi & Ojalan (2024) tutkimuksen kyselyssä vakuutuskustannusten suuruudeksi muodostui noin 5 % maantiekuljetusten kokonaiskustannuksista Suomessa. Persynin ym. (2022) tutkimuksessa vakuutus- ja pääomakustannukset muodostivat yhdessä 17,1 % suuruisen erän, joka indikoisi noin samankaltaista vakuutuskustannusten osuutta kuin Solakiven & Ojalan tutkimuksessa. Vakuutuskustannusten osuus ei siis ole järin suuri, eikä siinä tapahtuvat muutokset ravistelisi alan kustannusrakennetta radikaalisti. Onnettomuudet aiheuttavat kuitenkin hidastuksia toimituksiin, joilla voi olla suuriakin välillisiä kustannuksia koko toimitusketjuun. Yleisesti parantunut toimitusvarmuus on positiivinen asia toimitusketjun kustannusten hallinnan kannalta, johon vähäisemmät onnettomuudet vaikuttaisivat positiivisesti. Lee ym. (2023) nostavat erikseen esiin kuljettajan vakuutukseen liittyvän kustannuksen, joka luonnollisesti poistuisi, jos kuljetus voitaisiin hoitaa ilman kuljettajaa.

Yleisesti autonomisten ajoneuvojen aiheuttamassa vakuutuskustannusten laskussa volyyymiedut nousevat esiin. Kun pieni osa ajoneuvoista on autonomisia, eivät volyyymihyödyt toteudu, sillä liikenteessä on paljon ihmiskuljettajien ajamia ajoneuvoja, jotka ovat edelleen alttiita aiheuttamaan ihmisvirheestä johtuvia onnettomuuksia. Kun autonomisten ajoneuvojen osuus lisääntyy, tulevat myös volyyymihyödyt esiin, jolloin vakuutusyhtiöt voivat pystyä laskemaan preemioitaan. (Wadud, 2017). Kilpaillussa vakuutusmarkkinassa tällä olisi myös vaikutusta vakuutusten hintoihin.

Vakuutuksiin liittyvien kustannusten ei arvioida kuitenkaan ainoastaan laskevan. Ajoneuvojen kyberturvallisuus voi aiheuttaa niihin liittyviä lisäkustannuksia. (Kristoffersson & Brenden, 2018). Myös kalliimmat ajoneuvot voivat nostaa vakuutuskustannuksia, koska myös niiden korjaaminen on kalliimpaa. (Wadud, 2017). Engholm ym. (2020) ovat jakaneet vakuutuskustannukset kolmeen eri skenaarioon. Pessimistisessä skenaariossa muut kasvavat vakuutuskustannukset söisivät liikenneturvallisuuden tuomat hyödyt, jolloin kokonaisvaikutus olisi nolla, peruskenaariossa vakuutuskustannukset laskisivat 10 % ja optimistisessä 20 %. Mikään kyseisistä skenaarioista ei aiheuttaisi kovin merkittäviä muutoksia kuljetussuorituksen kokonaiskustannuksiin, jos vakuutuskustannusten tasoksi arvioidaan noin 5 % - 8 %.

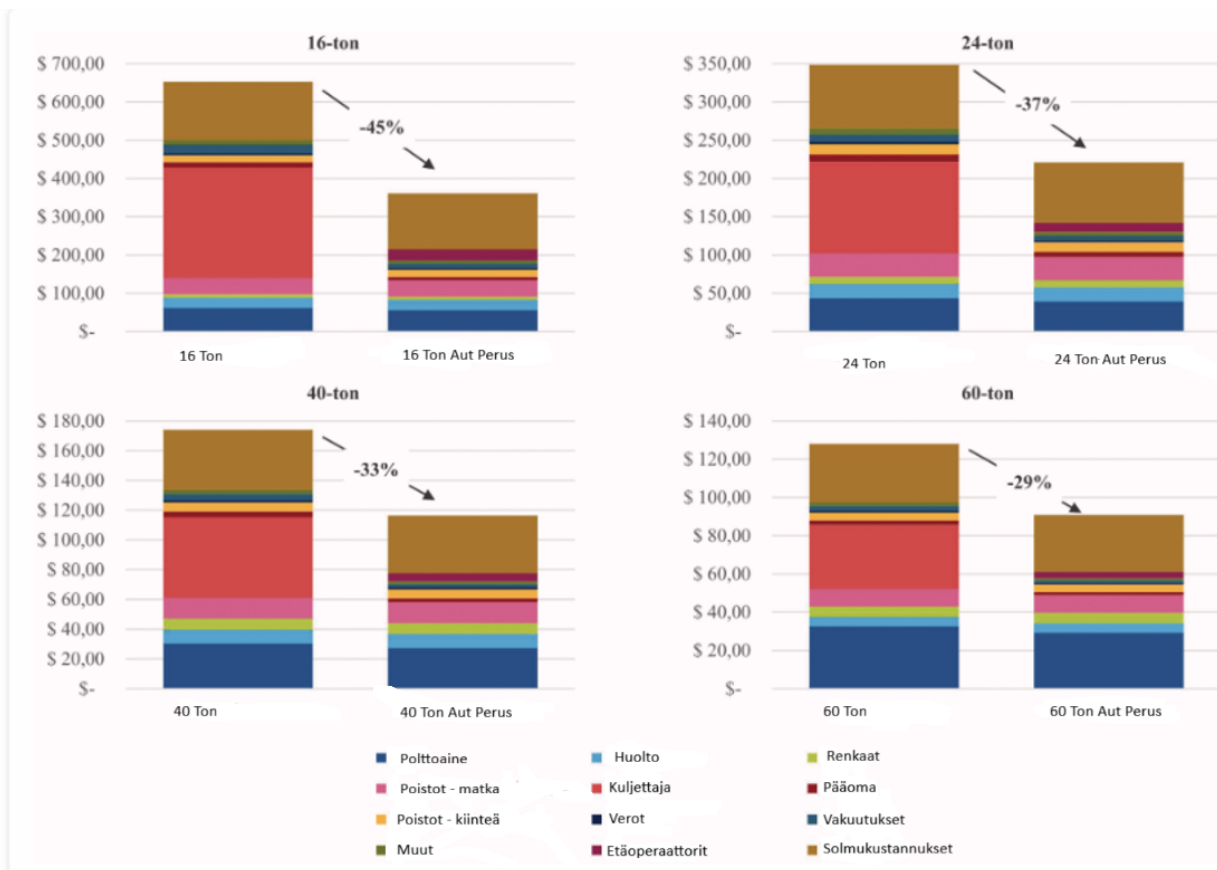
4.5 Kokonaisvaikutus

Kokonaisuudessaan kirjallisuudessa vallitsee konsensus sen suhteen, että autonomiset maantiekuljetukset voivat vähentää perinteisten maantiekuljetusten kustannuksia selvästi. Kustannusvaikutusten suuruuteen liittyy kuitenkin paljon epävarmuuksia. Kuten jo aikaisemmin todettua suurimmat ja ilmeisimmät kustannussäästöt ovat saavutettavissa henkilöstökustannuksista. Andersonin & Ivehammarin mukaan henkilöstökustannuksista saadut säästöt muodostaisivat yli 90 % autonomisten maantiekuljetusten tuottamista kokonaissäästöistä. Myös Engholm (2021) korostaa, että kustannussäästöt tulevat pääasiassa poistuvista kuljettajan palkkaan liittyvistä kustannuksista. Kustannusvaikutukset ulottuvat muihinkin kuin henkilökustannuksiin, mutta niiden toteutumisessa on enemmän epävarmuutta. Monissa kustannuksissa, kuten huolto- pääoma tai vakuutuskustannuksissa arviot vaihtelevat eri skenaarioissa kustannusten vähenemisen sekä kasvamisen välillä. Polttoainekustannuksissa konsensus on, että ne tulevat vähenemään, mutta niissäkin vaihteluvälit ovat varsin suuria. Muissa kustannuslajeissa on myös huomioitava, että säästöjä voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti saavuttaa muullakin kuin autonomisuuden liittyvällä teknologialla tai toimintamalleilla. Kuljettajakustannuksia taas on varsin vaikeaa alentaa merkittävästi ilman autonomian tuomaa mahdollisuutta kuljettajan poistamiselle.

Henkilöstökustannukset ovat siis selkein kustannussäästöjen ajuri, ja niiden toteutuessa täysimääräisesti muissa kustannuksissa tapahtuvat muutokset eivät vaikuta kokonaisuuteen valtavasti. Vastavasti taas, jos henkilöstökustannukset eivät toteutuisi odotetulla tavalla, esimerkiksi etäoperaattorien vaadittavan selkeästi odotettua suuremman määrän vuoksi, olisi kynnys investoida kyseiseen teknologiaan luultavasti varsin suuri.

Engholm ym. (2020) arvioivat kokonaiskustannusten laskun perusskenaariossaan rekan kokoluokasta riippuen 29 % ja 45 % välille (Kuvio 4). Lee ym. (2023) arvioivat perusskenaariossaan

kustannussäästöjen suuruudeksi 41,73% 25 tonnia vetävien rekkujen osalta. Tutkimuksessa käsiteltiin myös tätä pienempiä ajoneuvoja joissa kustannussäästöt olivat suhteellisesti suuremmat. Tutkimus tehtiin Etelä-Korean kontekstissa. Optimistisimmassa skenaariossa kustannussäästöt olivat reilu 50% ja pessimistisimmässä vajaa 24%, 25 tonnia vetävien rekkujen osalta. Lee ym. (2023) mainitsevat kuljettajaan liittyvien kustannusten olleen merkittävin ajuri kustannussäästöjen osalta. Etäoperaattoreihin liittyvät kulut olivat suurin kasvava kustannuserä.



Kuvio 4. Autonomisten maantiekuljetusten kustannusvaikutukset perusskenaariossa, Engholm ym. (2020) mukailten.

Kuviossa 4 kuvattuna autonomisten maantiekuljetusten tuottamat säästöt perustuen arvioituun perusskenaarioon (Engholm ym. 2020). Tulokset ovat jaettu neljälle, 16 tonnia, 24 tonnia, 40 tonnia ja 60 tonnia vetäville ajoneuvoluokalle. Suhteellisesti suuremmat säästöt ovat arvioitu pienemmille rekoille. Suuremmat ajoneuvot säilyvät kuitenkin kustannustehokkaimpina ratkaisuinä tonnikilometriä kohden. Kokonaisuudessaan voidaan nähdä, että kustannusten ennustetaan laskevan varsin merkittävästi jokaisessa ajoneuvoluokassa. Säästöt koostuvat lähinnä poistuvista kuljettajaan

liittyvistä kustannuksista, jotka ovat kuvattu kuviossa punaisella värillä. Kuljettajakustannuksen poistumisen myötä autonomisessa kuljetuksessa merkittävimmäksi kustannukseksi nousevat solmukustannukset (node costs), joilla viitataan kuljetuksen solmukohtiin, kuten lastaukseen ja purkamiseen liittyviin kustannuksiin, eli asioihin, jotka voivat olla osa kuljettajan työtehtäviä, mutta täytyisi hoitaa edelleen manuaalisesti, vaikka itse kuljetussuoritus automatisoitaisiin.

On varsin selvää, että jos ennustetut jopa yli 30 % kustannussäästöt toteutuisivat, olisi tällä suurilla vaikutuksilla maantiekuljetusten toimialaan. Jos autonomisia ajoneuvoja hyödyntävä yritys pystyisi hoitamaan kuljetussuoritteiden selkeällä marginaalilla edullisemmin kuin kilpailijansa, loisi se tällä huomattavan edun. Kilpaillussa markkinassa tämä ajaisi yrityksiä investoimaan teknologiaan. McKinsey & Company (2024) on arvioinut raportissaan, että autonomisten maantiekuljetusten markkina voisi olla globaalisti yli 600 miljardin dollarin arvoinen vuonna 2035.

5 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tässä tutkielmassa käsiteltiin autonomisten maantiekuljetusten vaikutusta kuljetuskustannuksiin. Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Tutkimuskysymyksenä oli:

Miten autonomiset maantiekuljetukset vaikuttavat kuljetuskustannuksiin?

Autonomisilla maantiekuljetuksilla voi olla selkeästi kuljetuskustannuksia vähentävä vaikutus. Arviot vaihtelevat tutkimusten sisällä varsin suuresti, riippuen siitä kuinka optimistista kehityskulkua teknologialle ennustetaan. Konsensus potentiaalisten kustannussäästöjen suhteen on kuitenkin selvä. Ylivoimainen osa kustannussäästöistä on saavutettavissa henkilöstökustannuksista. Tämä tulee esille muun muassa Anderssonin ja Ivehammarin (2019) sekä Engholmin (2021) teksteistä. Andersonin ja Ivehammarin mukaan henkilöstökustannusten, eli käytännössä poistuvan kuljettajan palkan sekä sivukulujen, muodostama osuus kustannussäästöistä olisi yli 90 %. Henkilöstökustannusten vähenemisen arvioiminen on siis ylivoimaisesti keskeisin autonomisten maantiekuljetusten kustannusvaikutuksiin liittyvä asia.

Muiden kustannusten arvioiminen on mielenkiintoista, mutta alaan liittyviä julkaisuja lukiessa päällimmäiseksi ajatukseksi jäi niihin liittyvä epävarmuus. Eri skenaarioissa kustannukset saattoivat alentua jonkin verran, pysyä muuttumattomina tai vastaavasti nousta hieman, esimerkkeinä Lee ym. (2023) sekä Engholm ym. (2020). Polttoainekustannukset olivat henkilöstökustannusten ohella ainoa kustannuslaji, jossa kirjallisuudessa vallitsi konsensus sen suhteen, että kustannukset vähenisivät, mutta arviot kulutuksen alenemisen suhteen polttoainekustannusten kohdalla vaihtelivat suuresti. Muiden kuin henkilöstö- sekä polttoainekustannusten osuus on kuitenkin yksittäisesti jaoteltuna korkeintaan noin kymmenen prosentin luokkaa, joten niissä tapahtuvat muutokset eivät heilauta kokonaisuutta suuresti. Toki kuljetusala on kilpailtu, ja jokaisella säästetyllä prosentilla kokonaiskustannuksista on merkitystä, mutta autonomisten maantiekuljetusten kustannusvaikutusten kohdalla selkeästi oleellisin kysymys on, kuinka suurelta osin henkilöstökustannuksia on mahdollista vähentää. On myös muistettava, että useita kustannuksia voi olla tulevaisuudessa mahdollista pienentää autonomiasta riippumatta, esimerkiksi kaluston sähköistymisen tai edistyneemmän reittisuunnittelun avulla. Kuljettajaan liittyvät kustannukset ovat kuitenkin kustannuslajina poikkeus, sillä niitä on lähes mahdoton vähentää ilman autonomian tuomaa mahdollisuutta kuljettajan poistamiselle. Tähän liittyy myös olennaisesti kuljettajapula, jonka uskotaan pahenevan sekä Euroopassa, että Yhdysvalloissa.

Jos autonomiset kuljetukset vaativat odotettua enemmän etäoperaattoreita, kuljettajakustannusten tuomien säästöjen mittakaava voi jäädä pienemmäksi, mikä jarruttaisi alan kaupallista kehitystä.

Vaikka ala on ollut jo varsin pitkään kehitysasteella, ei edistyminen ole ollut järin nopeaa tai suoraviivaista. Alaan liittyviä tekstejä lukiessa on tullut mielikuva ”maalitolppien siirtelystä”. 2010-luvun alkupuolella kirjoitetuissa teksteissä 2020-luvun alkua on saatettu pitää aikana, jolloin autonomiset ajoneuvot olisivat ottaneet jalansijaa. 2010-luvun loppupuolella taas vuotta 2025 on usein käytetty arviona, jolloin autonomiset ajoneuvot suorittaisivat tietyn osan rahdista. Voidaan sanoa, etteivät kehityskulut ole toteutuneet arvioiduilla tavoilla. Viimeisimmässä tutkimuksessa 2030-luvun alkua pidetään aikana, jolloin autonomiset maantiekuljetukset voisivat alkaa yleistymään. Tätä tukee alalla toimivien yritysten jo pitkällä olevat kokeilut kuljetusten suhteen. Arvioita lukiessa tulee kuitenkin mieleen ajatus, onko tämä ajankohta todella erilainen, kuin aiemmat, jolloin autonomisten kuljetusten oli ajateltu yleistyvän kaupalliseen käyttöön reilun viiden vuoden ajanjaksolla. Alan kaupallinen käyttöönotto on siis osoittanut haastavuutensa, eikä kaikki asiat, kuten alaan liittyvä sääntely ole alalla toimivien yritysten omissa käsissä. Varsin selvää kuitenkin on, että yhä enemmän automatisoituvassa maailmassa myös autonomisista maantiekuljetuksista, on tulossa valtavirtaa jollain aikavälillä, sillä kehitystä ajavia tekijöitä on monia.

Yhteenvedona voidaan todeta, että autonomisten maantiekuljetusten mahdollistamat kustannussäästöt muodostavat merkittävän kehityssuunnan maantiekuljetusten alalle. Vaikka sekä kustannussäästöihin, että alan kaupalliseen yleistymiseen liittyy epävarmuuksia, on odotettavissa, että autonomiaan pohjautuvat kuljetusratkaisut muodostavat keskeisen osan maantiekuljetuksista jollain aikavälillä. Autonomisten maantiekuljetusten käyttöönotto ei tule tapahtumaan kerralla, vaan vaiheittain pikkuhiljaa, alkaen luultavasti SAE tason 4 hub-to-hub kuljetuksista tietyillä reiteillä.

Lähteet

- Andersson, P., & Ivehammar, P. (2019a). Benefits and Costs of Autonomous Trucks and Cars. *Journal of Transportation Technologies*, 09(02), 121–145.
<https://doi.org/10.4236/jtts.2019.92008>
- Annex 3: Autonomous freight transport. (2023, toukokuuta 11). <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/transport-and-environment-report-2022/annex-3-autonomous-freight-transport>
- Armstrong & Associates, Inc. (2025). *Global 3PL Market Size Estimates*. 3PLogistics.
<https://www.3plogistics.com/3pl-market-info-resources/3pl-market-information/global-3pl-market-size-estimates/>
- Bhoopalam, A. K., Agatz, N., & Zuidwijk, R. (2018). *Planning of truck platoons: A literature review and directions for future research*. *Transportation Research Part B: Methodological*, 107, 212–228. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.10.016>
- U.S. Bureau of Labor Statistics. (2024). *Occupational Employment and Wages, May 2023: 53-3032 Heavy and Tractor-Trailer Truck Drivers*.
<https://www.bls.gov/oes/2023/may/oes533032.htm>
- Chen, S., Wang, H., & Meng, Q. (2023). Cost allocation of cooperative autonomous truck platooning: Efficiency and stability analysis. *Transportation Research Part B: Methodological*, 173, 119–141. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2023.04.008>
- Daimler North America, 2025 “Daimler Truck delivers latest iteration of autonomous-ready truck platform to Torc” <https://www.daimlertruck.com/en/newsroom/pressrelease/autonomous-driving-daimler-truck-delivers-latest-iteration-of-autonomous-ready-truck-platform-to-torc-53051127>
- Engholm, A. (2021). *Driverless trucks in the Swedish freight transport system*.
- Engholm, A., Kristoffersson, I., & Pernestal, A. (2021). Impacts of large-scale driverless truck adoption on the freight transport system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 154, 227–254. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.10.014>

- Engholm, A., Pernestål, A., & Kristoffersson, I. (2020). Cost Analysis of Driverless Truck Operations. *Transportation Research Record*, 2674(9), 511–524.
<https://doi.org/10.1177/0361198120930228>
- Global 3PL Market. (ei pvm.). *Armstrong & Associates*. Noudettu 7. lokakuuta 2025, osoitteesta <https://www.3plogistics.com/3pl-market-info-resources/3pl-market-information/global-3pl-market-size-estimates/>
- Half of European truck operators can't expand due to driver shortages*. (2025, lokakuuta 14).
<https://www.iru.org/news-resources/newsroom/half-european-truck-operators-cant-expand-due-driver-shortages>
- Hasiri, A., & Kermanshah, A. (2024). Exploring the Role of Autonomous Trucks in Addressing Challenges within the Trucking Industry: A Comprehensive Review. *Systems*, 12(9), 320.
<https://doi.org/10.3390/systems12090320>
- Heavy-duty vehicles—Climate Action—European Commission. (ei pvm.). Noudettu 10. lokakuuta 2025, osoitteesta https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-decarbonisation/road-transport/heavy-duty-vehicles_en
- He, Y., Makridis, M., Fontaras, G., Mattas, K., Xu, H., & Ciuffo, B. (2020). The energy impact of adaptive cruise control in real-world highway multiple-car-following scenarios. *European Transport Research Review*, 12(1), Article 17. <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00406-w>
- Iamandii, A. F., Țițu, A. M., & Stan, N. M. (2025). Cost Analysis in the Field of Road Freight Transport: A Specific Approach. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 19(1), 2243–2255. <https://doi.org/10.2478/picbe-2025-0173>
- International Transport Forum. (2019). *ITF Transport Outlook 2019*. OECD.
https://doi.org/10.1787/transp_outlook-en-2019-en
- Jones, R., Lu, P., & Tolliver, D. (2025). The Market Potential of Autonomous Trucks in the United States: An Industry Review. *Transportation Research Record*, 2679(9), 1–49.
<https://doi.org/10.1177/03611981251315683>
- Kristoffersson, I., & Brenden, A. P. (2018). *Scenarios for the development of self-driving vehicles in freight transport*.
- Lee, C., Boonbandansook, W., Akhlaghi, V. E., Dalmeijer, K., & Van Hentenryck, P. (2023). Constraint Programming to Improve Hub Utilization in Autonomous Transfer Hub Networks (Short Paper) [Application/pdf]. *LIPICs, Volume 280, CP 2023, 280*, 46:1-46:11.
<https://doi.org/10.4230/LIPICS.CP.2023.46>
- Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2013, May). *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. McKinsey

Global Institute. https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/disruptive%20technologies/mgi_disruptive_technologies_full_report_may2013.pdf

McKinsey & Company. (2024, September 25). *The business case for autonomous truck fleets: Will autonomy usher in the future of truck freight transportation?* <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/will-autonomy-usher-in-the-future-of-truck-freight-transportation>

Moawad, A., Zebiak, M., Han, J., Karbowski, D., Zhang, Y., & Rousseau, A. (2024). *Effect of adaptive cruise control on fuel consumption in real-world driving conditions*. *Nature Communications*, 15, Article 10016. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54066-8>

Othman, K. (2022). Exploring the implications of autonomous vehicles: A comprehensive review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(2), 165. <https://doi.org/10.1007/s41062-022-00763-6>

Persyn, D., Díaz-Lanchas, J., & Barbero, J. (2022). Estimating road transport costs between and within European Union regions. *Transport Policy*, 124, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.04.006>

Robinson, T. L., Wallbank, C., & Baig, A. (ei pvm.). *Automated Driving Systems: Understanding Future Collision Patterns*.

SAE International. (2021). *SAE Levels of Driving Automation™ refined for clarity and international audience*. <https://www.sae.org/news/blog/sae-levels-driving-automation-clarity-refinements>

Scania.com, 2022, “Scania wins approval to expand route tests of autonomous trucks” <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2022/scania-wins-approval-to-expand-route-tests-of-autonomous-trucks.html>

Scania.com, 2024, “Scania accelerates deployment of autonomous hub-to-hub transport” <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/press-releases/press-release-detail-page.html/4772046-scania-accelerates-deployment-of-autonomous-hub-to-hub-transport>

Shladover, S. E. (2018). Connected and automated vehicle systems: Introduction and overview. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 190–200. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1336053>

Solakivi, T., & Ojala, L. (2024). Environmental and economic potential of high-capacity trucks. *Case Studies on Transport Policy*, 18, 101284. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101284>

Solakivi, T., Ojala, L., Laari, S., & Töyli, J. (2023.). *Logistiikkaselvitys 2023*.

- Statista, 2025, "Truck driver shortage in the United States from 2011 to 2030." <https://www.statista.com/statistics/1287929/truck-driver-shortage-united-states/>
- Tengilimoglu, O., Carsten, O., & Wadud, Z. (2023). Infrastructure requirements for the safe operation of automated vehicles: Opinions from experts and stakeholders. *Transport Policy*, 133, 209–222. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.02.001>
- Tieliikenteen automaatiotasot ja toimintaympäristön vaatimukset. (2022, marraskuuta 21). Tieto Traficom. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/tieliikenteen-automatiotasot-ja-toimintaympariston-vaatimukset>
- Torc. (2023, heinäkuuta 20). Will Self-Driving Trucks Be Electric? - Torc Robotics. <https://torc.ai/will-self-driving-trucks-be-electric/>
- Truck Accident Statistics – 2023 Edition. (ei pvm.). Noudettu 14. lokakuuta 2025, osoitteesta <https://www.truckinfo.net/research/truck-accident-statistics>
- Volvo Begins Autonomous Operations for DHL Supply Chain in Texas. (ei pvm.). Noudettu 16. lokakuuta 2025, osoitteesta <https://www.volvoautonomoussolutions.com/en-en/news-and-insights/press-releases/2024/dec/volvo-begins-autonomous-operations-for-dhl-supply-chain-in-texas.html>
- Wadud, Z. (2017). Fully automated vehicles: A cost of ownership analysis to inform early adoption. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 101, 163–176. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.005>
- Winkle, T. (2016). Safety Benefits of Automated Vehicles: Extended Findings from Accident Research for Development, Validation and Testing. Teoksessa M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, & H. Winner (Toim.), *Autonomous Driving* (s. 335–364). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_17
- World Economic Forum, 2021, "Autonomous Trucks: An Opportunity to Make Road Freight Safer, Cleaner and More Efficient" https://www3.weforum.org/docs/WEF_Autonomous_Vehicle_Movement_Goods_2021.pdf
- Yu, H., Jiang, R., He, Z., Zheng, Z., Li, L., Liu, R., & Chen, X. (2021). Automated vehicle-involved traffic flow studies: A survey of assumptions, models, speculations, and perspectives. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 127, 103101. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103101>

Zhao, J., & Lee, J. Y. (2023). Effect of Connected and Autonomous Vehicles on Supply Chain Performance. *Transportation Research Record*, 2677(3), 402–424.

<https://doi.org/10.1177/03611981221115425>

Liitteet

Liite 1 Selvitys tekoälyn käytöstä

Tekoälyä (ChatGPT 5.1) on käytetty tutkielmassa lähteiden etsimiseen. Kaikki lähteet on kuitenkin luettu itse läpi. Tekoälyn avulla on piirretty kuvio 3 sekä taulukko 1. Osa lähdeviitteistä on muotoiltu tekoälyn avulla. Otan kirjoittajana täyden vastuun tutkielman sisällöstä.