



Karelia-ammattikorkeakoulu
Metsätalousinsinööri (AMK)

Kustannustehokkaimman kauko- kuljetusketjun selvitys eri polttoai- neen hinnoilla

Eetu Tarvainen
Nelli Kankainen

Opinnäytetyö, kesäkuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2023
Metsätalouden koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijät
Nelli Kankainen, Eetu Tarvainen

Nimeke
Kustannustehokkaimman kaukokuljetusketjun selvitys eri polttoaineen hinnoilla

Suomen metsäteollisuuteen hankitaan vuosittain yli 50 milj. m³ raakapuuta, ja tästä määrästä 80 % kuljetetaan autokuljetuksena. Puutavaran kaukokuljetukseen liittyvät haasteet pakottavat tarkastelemaan vaihtoehtoisia kuljetusmenetelmiä, jotta toiminta säilyisi mahdollisimman kannattavana ja tehokkaana niin yrittäjille kuin koko metsäteollisuudelle.

Opinnäytetyössä selvitettiin kustannustehokkainta raakapuun kaukokuljetusketjua eri polttoaineen hinnoilla (2 €/l, 2,5 €/l, 3 €/l). Työssä tarkasteltavat kaukokuljetusketjut olivat 76 t puutavara-auto (nosturin kanssa), 76 t puutavara-auto (ilman nosturia), 76 t terminaaliauto ja 92 t HCT-terminaaliauto. Käytettävä kuljetusmatka oli 50–300 km, joka on tyypillinen puutavara-autokuljetusmatkan pituus.

Tutkimus toteutettiin perehtymällä aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen ja tieteellisiin julkaisuihin sekä toteuttamalla kustannuslaskelmia, joiden avulla pystyttiin tutkimaan eri kuljetusketjujen kannattavuutta. Kustannuslaskelmien avulla tutkimuksesta saatiin ajankohtainen, eikä tähän olisi päästy pelkän kirjallisuuden avulla.

Tutkimus osoitti, että simuloituilla polttoaineen hinnoilla suora 76 t puutavara-auto on edelleen kustannustehokkain ja käyttökelpoisin kuljetusratkaisu autopuun keskimääräisillä kokonaiskuljetusmatkoilla. Kustannustehokkuus 76 t puutavara-autolla pysyy vertailuissa aina 170 km:n kuljetusmatkoille, minkä jälkeen terminaaliketjut alkavat tuottamaan kustannussäästöjä. Eri kuljetusketjuilla on kuitenkin omat etunsa ja vaikeutensa, joten sopiva kuljetusratkaisu tulee aina kuljetusetäisyyden ja kaluston saatavuuden mukaan. Tulevaisuudessa HCT-puutavarayhdistelmät tulevat olemaan avainasemassa kaukokuljetuksen kustannustehokkuuden parantamisessa.

Kieli
Suomi

Sivuja 52
Liitteet 2
Liitesivumäärä 2

Asiasanat
kaukokuljetus, raakapuu, kustannustehokkuus, kustannuslaskenta



THESIS
June 2023
Degree Programme in Forestry

Tikkarinne 9
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +350 13 260 600

Authors
Nelli Kankainen, Eetu Tarvainen

Title
Analysis of the Most Cost-Effective Long-Distance Transport Chain at Different Fuel Prices

More than 50 million m³ of raw wood is procured annually for the Finnish forest industry, of which 80% is transported by timber trucks. The challenges associated with the long-distance transport of timber force the examination of alternative transport methods to maintain the maximum profitability and efficiency both for entrepreneurs and for the entire forest industry.

The thesis examined the most cost-effective raw wood long distance transport chain at different fuel prices (2 €/l, 2.5 €/l, 3 €/l). The long-distance transport chains considered in the work were 76 t timber truck (with crane), 76 t timber truck (without crane), 76 t terminal truck and 92 t HCT terminal truck. The used transport distance was between 50–300 km, which is the typical length for a timber truck transportation.

The study was carried out by reviewing related literature and scientific publications and by carrying out cost calculations to investigate the profitability of different transport chains. The cost calculations enabled the study to be current research, and this would not have been achieved with literature alone.

The study showed that at simulated fuel prices, a direct 76 t timber truck is the most cost-effective and usable transport solution for the average distance transported by a timber truck. Cost efficiency with the 76-t timber truck remained the most cost efficient up until 170 km, after which the terminal transport chains began to generate cost savings. However, the various transport chains have their own advantages and difficulties, so the appropriate transport solution always depends on transport distances and the availability of equipment. In the future, the HCT timber trucks will play a more important role.

Language
Finnish

Pages 52
Appendices 2
Pages of Appendices 2

Keywords
long-distance transport, roundwood, cost efficiency, cost accounting

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Raakapuun kaukokuljetus Suomessa	6
2.1	Vesitiekuljetus	7
2.2	Rautatiekuljetus.....	9
2.3	Aikaisemmat tutkimukset	10
3	Autokuljetus	11
3.1	Puutavarayhdistelmä.....	12
3.2	Vetoautot.....	13
3.3	Perävaunut ja päällisrakenteet	15
3.4	Puutavaranosturit	16
3.5	HCT-yhdistelmät	17
3.6	Siirtoauto	19
3.7	Terminaalitoiminta.....	20
3.8	Autokuljetusten tehostaminen	21
4	Raakapuun kaukokuljetusten toimintaympäristö ja sen pullonkaulat	22
4.1	Toimintaympäristö ja kustannusrakenne	22
4.2	Kaukokuljetuksen suunnittelu ja ohjaus	23
4.3	Pullonkaulat.....	25
5	Tutkimuksen tavoitteet.....	27
6	Aineisto ja menetelmät.....	28
6.1	Määrällinen tapaustutkimus.....	28
6.2	Kustannuslaskenta.....	28
6.3	Vertailtavat kuljetusketjut	30
6.4	Kustannuslaskemissa käytetyt kustannukset ja arvot	31
7	Tulokset	34
8	Pohdinta.....	41
8.1	Tulosten tarkastelu.....	41
8.2	Tulosten luotettavuus	44
8.3	Jatkotutkimustarve	45
	Lähteet.....	46

Liitteet

- Liite 1 Malliesimerkki metsäalan kuljetusyrittäjät ry:ltä saadusta
 kustannuslaskelma pohjasta
- Liite 2 Malliesimerkki NB-Nordin: Costing models for road, rail and sea
 transport of roundwood Excel laskupohjasta

1 Johdanto

Raakapuun kaukokuljetuksella tarkoitetaan puutavaran kuljettamista kannolta aina tehtaallesi asti, ja sillä on merkittävä rooli tarkastellessa koko puunhankintaketjua. Raakapuun kaukokuljetus voidaan tehdä joko maantie-, vesitie-, tai rautatiekuljetuksena. Suomessa autokuljetus on tärkein kuljetusmuoto. Etenkin lyhyillä, alle sadan kilometrin kuljetusmatkoilla, raakapuun kuljettaminen puutavara-autoilla on kustannustehokkainta ja kilpailukykyisintä.

Raakapuun kaukokuljetuksen kustannukset ovat viime vuosien aikana lähteneet jyrkkään nousuun, ja näin ollen puunhankintaorganisaatiot ovat joutuneet tarkastelemaan vaihtoehtoisia kaukokuljetusratkaisuja. Tämän lisäksi hankinta-alueet ovat laajentuneet ja raakapuuta joudutaan kaukokuljettamaan pidemmiltä etäisyyksiltä tuotantolaitoksille. Puutavaran kaukokuljetuksen uhkana on jo nyt näkyvä työvoimapula, minkä vuoksi kaikki kuljetusta tehostavat menetelmät ovat tärkeitä. Myös puutavarankuljetuskaluston kapasiteetti on täydessä käytössä, ja Venäjän tuontipuun vähentyminen on vaikeuttanut tilannetta entisestään.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin 76 t puutavara-auton (nosturin kanssa), 76 t puutavara-auton (ilman nosturia), 76 t terminaaliauton ja 92 t HCT-terminaaliauton kannattavuutta kustannuslaskelmien avulla. Kustannuslaskelmissa simuloitiin eri polttoaineen hintoja (2 €/L, 2,5 €/L, 3 €/L). Laskelmissa käytettiin kuljetusmatkana 50–300 km, mihin puutavara-autokuljetuksen matkat pääasiassa sijoittuvat. Tätä pidemmät matkat kuljetetaan pääasiassa rautateitse, uittamalla tai aluskuljetuksella.

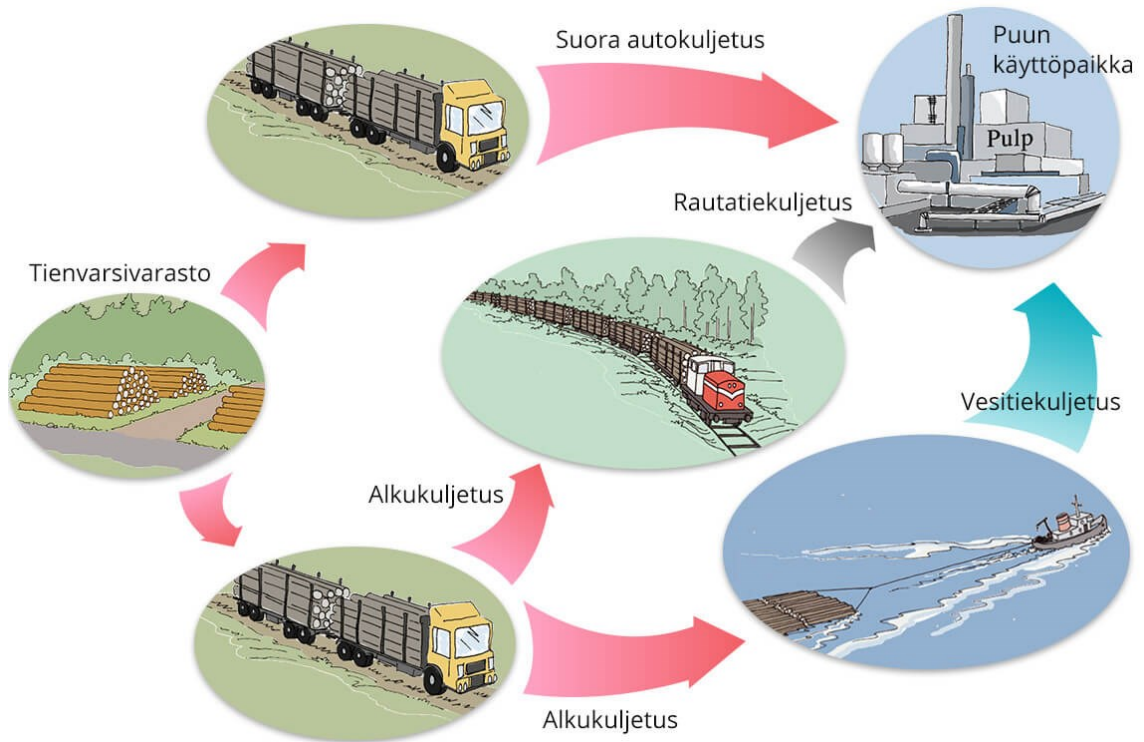
Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kustannustehokkain ja toteutuskelpoisin kaukokuljetusmenetelmä eri polttoaineen hinnoilla ja kuljetusetäisyyksillä. Kustannuslaskelmissa käytetyt kustannukset perustuvat kesä-syyskuun 2022 kustannustasoon. Opinnäytetyö on työelämän kannalta hyödyllinen ja ajankohtainen metsäteknologinen tutkimus.

2 Raakapuun kaukokuljetus Suomessa

Raakapuun kaukokuljetuksella tarkoitetaan kuljetusta tienvarsivarastolta tai terminaalista aina puun loppukäyttöpaikalle saakka. Väätäinen ym. (2021, 52–54) luonnehtii raakapuun kaukokuljetuksen toimitusketjua monimutkaiseksi järjestelmäympäristöksi, joka vaihtelee raaka-aineominaisuuksiltaan, kuljetusinfrastruktuurilta ja käytettävän teknologian osalta. Suomessa kaukokuljetus tehdään auto-, rautatie-, tai vesitiekuljetuksena (Venäläinen 2016). Kuvassa 1 on avattu auki erilaiset kuljetusketjut, joita Suomessa käytetään. Rautatiekuljetus ja vesitiekuljetus vaativat aina alkukuljetuksen puutavara-autolla. Vuonna 2021 keskimääräinen matka autokuljetuksessa oli 101 km, rautatiekuljetuksessa 341 km ja vesitiekuljetuksessa 304 km. Rautatie- ja vesitiekuljetuksien keskimääräisiin matkoihin sisältyy myös 50 km alkukuljetus. (Strandström 2021.)

Terminaalilla tarkoitetaan kuormauspaikkaa tai varastointialuetta isompaa aluetta, joissa puutavaraa voidaan välivarastoida tai lastata jatkokuljetusta varten. Terminaalit toimivat myös puskurivarastoina, joiden avulla voidaan varastoida kelirikkopuut pois tienvarsivarastoista ennen kelirikkoajan alkamista. (Venäläinen, Melkas, Ovaskainen & Strandström 2021.)

Metsäteollisuudessa hankitaan vuosittain yli 50 milj. kuutiometriä raakapuuta, ja siitä 80 % kuljetetaan suoraan puun käyttöpaikalle puutavara-autoilla. Loput puusta kuljetetaan rauta- ja vesiteitse, joka sisältää alkukuljetuksen puutavara-autolla. (Venäläinen 2016.)



Kuva 1. Puun kuljetusketjut kuljetusmuodoittain. (Venäläinen 2016.)

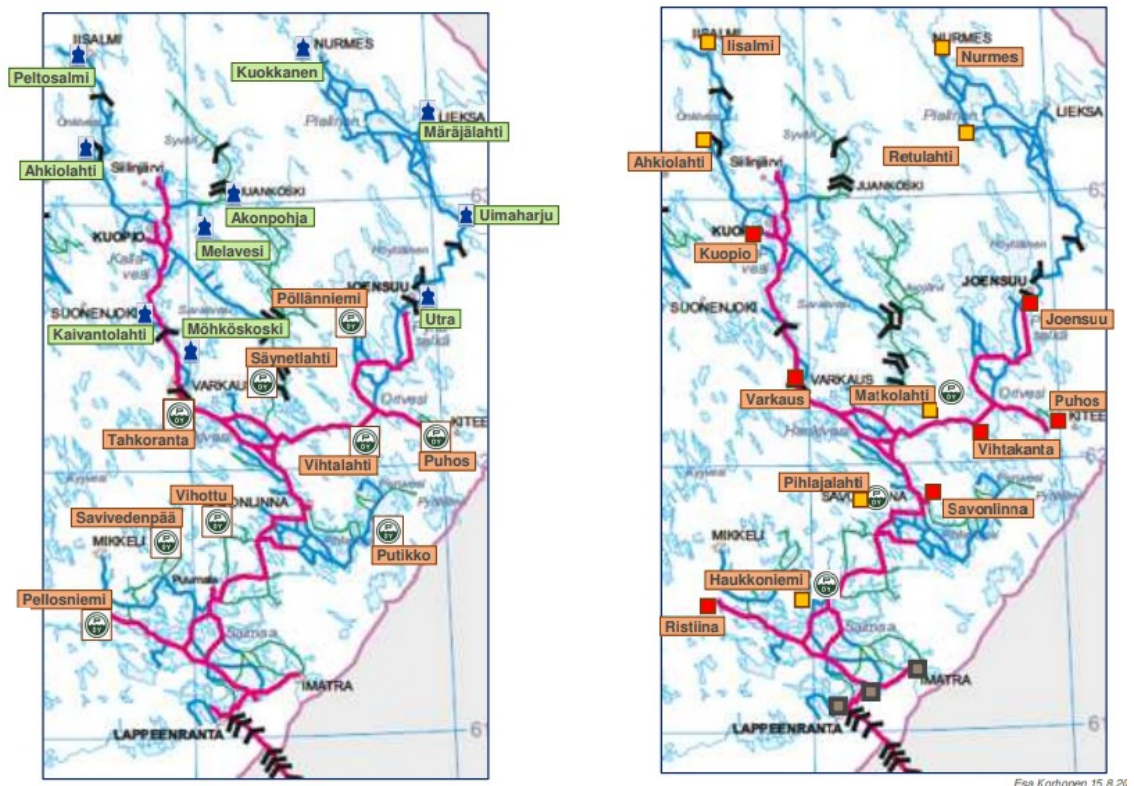
2.1 Vesitiekuljetus

Puuta pystytään kuljettamaan vesiteitse uittaen ja aluksilla (Venäläinen 2016). Uitto on ollut merkittävässä roolissa 1960-luvulle asti. Tänä päivänä vuotuinen uittomäärä on alle 0,5 milj. m³. Suomessa uittoa suorittavia uittoyhtiöitä ovat Järvi-Suomen Uittoyhdistys ja Perkaus Oy (Purhonen 2010). Merkittävimpiä uittoalueita ovat olleet Kymijoki, Saimaa, Pielinen, Kokemäenjoki, Oulujoki, Iijoki, Tornionjoki ja Kemijoki (Peltonen 1991, 94–97). Kuvassa 2 on esitettyä uiton ja aluskuljetuksen liikenneinfra Saimaalla.

Havusellupuu ja vaneritukit ovat puutavaralajeja, jotka soveltuvat uittoon. Uitto sopii etenkin pitkien matkojen kuljetusmuodoksi suurten terminaalikustannusten vuoksi. Keskimääräinen uittomatka on n. 270 km. Uiton vahvuuksiin kuuluu se, ettei erillistä varastointia tarvita ja uittamalla saadaan kuljetettua suuria määriä edullisesti. Vesitiet eivät vaadi myöskään suuria ylläpito- ja investointitoimenpiteitä, kuten autokuljetus. Lisäksi uitto on ympäristöystävällistä. Puolestaan uiton heikkouksia ovat esimerkiksi kausiluonteisuus ja osajien rajallisuus. (Purhonen

2010.) UPM Metsä, Stora Enso ja Metsähallitus ovat uittoa hyödyntäviä metsäyhtiöitä Suomessa (Metsähallitus 2023; Stora Enso 2023; UPM METSÄ 2023).

Suomessa on yhteensä 68 aluskuljetuspaikkaa, joista Vuoksen vesistön lastauspaikat ovat kaikista merkittävimpiä. Lastauspaikkojen ja infrastruktuurin kehitystoimet ovat avainasemassa ajatellessa aluskuljetuksen tehokkuutta ja kilpailukykyä. Aluskuljetuksia voidaan toteuttaa erilaisilla toimintamalleilla. Proomutyyppejä on kansilasti-, ruuma- ja moottoriproomu. Kansilasti- ja ruuma- proomu vaativat hinaus- tai työntöaluksen avukseen, koska niissä ei ole omaa moottoria. Tyypillinen aluskuljetus on proomun ja työntöaluksen yhdistelmä, jossa työntöalus liitetään proomuun joko jäykällä tai joustavalla liitoksella. (Sepelä 2019; Sorsa 2013, 10–14; Venäläinen 2018.)



Kuva 2. Uiton ja aluskuljetuksen liikenneinfra Saimaalla. (Korhonen 2023.)

2.2 Rautatiekuljetus

Suomessa puutavaraa kuljetetaan autokuljetuksen jälkeen toiseksi eniten rautateitä pitkin. Vuonna 2021 kuljetetusta kotimaisesta raakapuusta 22,9 % kuljetettiin rautateitse (Strandström 2022). Rautatiekuljetus vaatii aina autokuljetuksen asemalle, joka on noin 50 km (Venäläinen 2016). Vuonna 2021 rautatiekuljetuksen keskimääräinen kuljetusmatka oli 292 km (Strandström 2022). Yleisimmät puutavaralajit, joita kuljetetaan rautateitse, ovat raakapuu ja hake (Palander 2023). Raakapuun kuljetus rautateitä pitkin onnistuu melkein kaikilla Suomen junaradoilla, poikkeuksena Etelä-Suomen henkilöliikenne- ja raatatiekadat. Vuonna 2021 rautatiekuljetuksen keskimääräiset kustannukset olivat 2,0 snt/m³/km. (Silvennoinen 2023.) Lisäksi Suomen rataverkolla on raideyhteys sekä Venäjälle että Ruotsiin (Väylävirasto 2021).

Venäläisen ym. (2021) mukaan puutavaran lastaus juniin tapahtuu terminaalissa erillisillä lastauskalustoilla, kun taas kuormauspaikoissa lastaus toteutetaan puutavara-autojen omilla kuormaimilla. Suomessa terminaali ja kuormauspaikkoja on yhteensä 80, joista Väyläviraston omistamia on 75 ja VR-yhtymän omistamia neljä. Lisäksi yksi on yhteisomistuksessa. (Lapp, Ilikkanen, Weckström & Mäkinen 2022, 15–16.) Esimerkiksi kuvassa 3 on kuormauspaikkoja vuodelta 2016. Silvennoisen (2022, 8) mukaan raakapuujuunavaunu painaa tyhjänä n. 22,0–24,5 t ja vaunu on pituudeltaan n. 20 m pitkä.



Kuva 3. Vuonna 2016 käytössä olleet raakapuun kuormauspaikat. (Ilikkanen 2018.)

2.3 Aikaisemmat tutkimukset

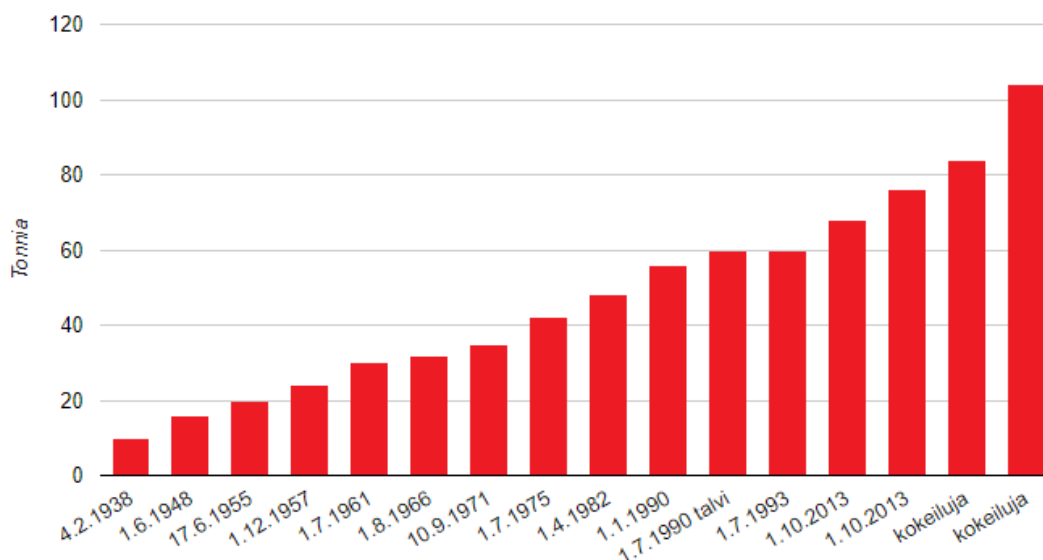
Raakapuun kaukokuljetusta on tutkittu hyvin kattavasti. Aiheesta löytyy tuoreita tutkimuksia liittyen kuljetuskaluston valintaan, toiminnan kannattavuuteen, polttoainekulutuksen vertailua eri yhdistelmillä, tiestön ominaisuuksien vaikutusta ajonopeuteen ja polttoaineenkulutukseen. Viime vuosina on myös tutkittu mm. sekä painavampien HCT-kuljetusten ympäristövaikutuksia että niiden vaikutusta tiestöön ja siltoihin.

Venäläinen ja Poikela (2022, 68) esittävät Metsätehon väliraportissa puutavara-ajoneuvojen massojen nostoa. Raportissa todettiin, että massojen nostolla voitaisiin alentaa kuljetuskustannuksia parhaimmillaan 7,5–11,9 % m³:ltä 100–300

km:n kuljetusetäisyyksillä. Puolestaan polttoaineen kulutusta voitaisiin vähentää 3,5–10,5 % tuoretonnilta 100–300 km:n kuljetusetäisyyksillä. Liimatainen, Pöllönen ja Nykänen (2020, 10–11) kirjoittavat tutkimuksessaan, että painavimpien yhdistelmien vaikutus liikenneturvallisuuteen on mitätön ja niillä voi olla jopa parantava vaikutus.

3 Autokuljetus

Autokuljetus on tärkein puutavaran kuljetusmuoto, ja ennen kaikkea sen ehdottomia hyötyjä ovat nopeus ja joustavuus. Useimmiten puutavara kuljetetaan joko loppuun asti tehtaalle tai kuljetusmuoto vaihtuu autokuljetuksesta johonkin toiseen kuljetusmuotoon. Puutavara-autokuljetusta on tehty Suomessa 1940-luvulta alkaen (Strandström 2021, 26). Vuosien saatossa puutavara-autokuljetukset ovat yleistyneet ja kehittyneet merkittävästi, esimerkiksi autojen rakenne ja kokonaisuusmassat ovat muuttuneet (kuvio 1). Koska tieverkko on parantunut ja jatkuvasti kehittyvä tekniikka on mahdollistanut myös itse puutavara-autojen kehityksen, autojen kokonaispainoja on pystytty nostamaan monia kertoja (Korpilahti & Koskinen 2012, 3; Strandström 2021). Autokuljetuksen työvaiheita ovat tyhjänä ja kuormattuna ajo, kuormaus sekä kuorman mittaus ja purkaminen. Lisäksi odotukset, tauot ja muut keskeytykset kuuluvat autokuljetuksen vaiheisiin. (Rantala 2022, 5–6.)



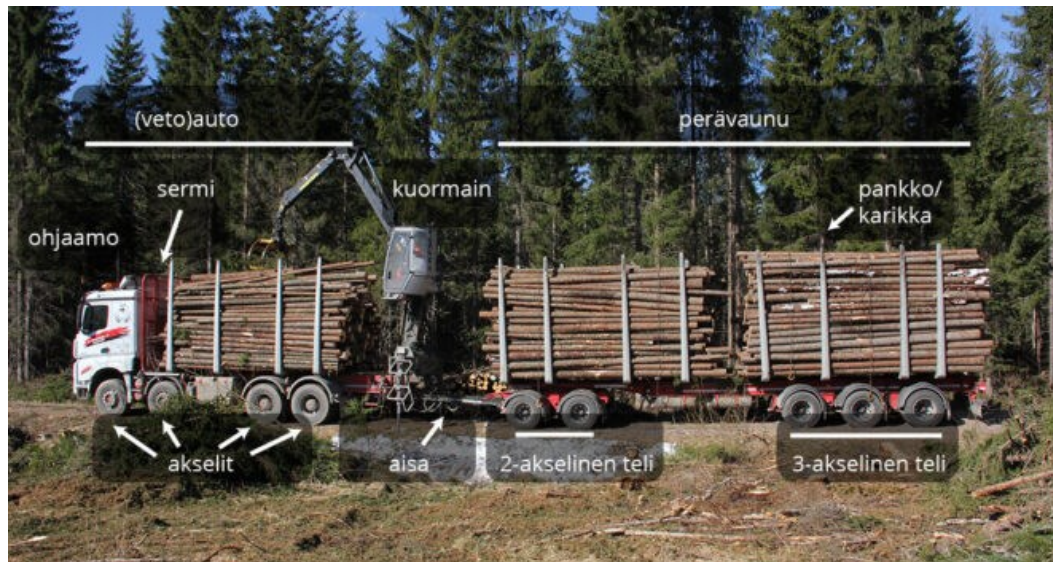
Kuvio 1. Ajoneuvoyhdistelmien maksimikokonaispainot. (Venäläinen 2016.)

3.1 Puutavarayhdistelmä

Puutavarayhdistelmät luokitellaan erikoiskalustoksi, joihin on asennettu perävaunun lisäksi puutavaran kuljetukseen tarkoitettu päällisrakenne ja puutavara-kuormain. Puutavarayhdistelmä koostuu vähintään vetoautosta ja perävau-nusta. (Venäläinen 2016). Kuvassa 4 on esitettyä hyvin yleinen puutavara-au-toyhdistelmä.

Useimmiten puutavarayhdistelmän käyttövoimana käytetään dieselöljyä. Muita vaihtoehtoisia käyttövoimia ovat sähkö, vety, kaasu ja biodiesel. Viime vuosien aikana sähkö on kasvattanut markkinaosuuttaan, etenkin henkilöautoissa. Venäläisen ym. (2021, 31) mukaan täyssähkökuorma-autojen yleistyminen edellyttää suurta kehitystä akkuteknologian osalta. Kuitenkin tällä hetkellä markkinoilta löytyy kaksi- ja kolmeakselisia täyssähkökuorma-autoja, ja lisäksi SCA on kehittänyt maailman ensimmäisen sähköisen puutavara-auton (Nurmi 2022). Myös Stora Enso on suorittanut käytännön kokeiluja sähköavusteisella puutavara-autilla, mutta kokeilusta ei ole tullut enempää tietoa julki (Ylä-Pöntinen 2022, 5.)

Metsähallitus on aloittanut puun kuljettamisen biokaasuautolla vuonna 2022. Kyseinen auto saa energiansa kotimaisista jätteistä. (Metsähallitus 2022.) Kuitenkin biokaasuautojen yleistymistä on hidastanut vähäiset tankkausasemat.



Kuva 4. Puutavarayhdistelmä, jossa on 4-akselinen vetoauto ja 5-akselinen-perävaunu. (Venäläinen 2016.)

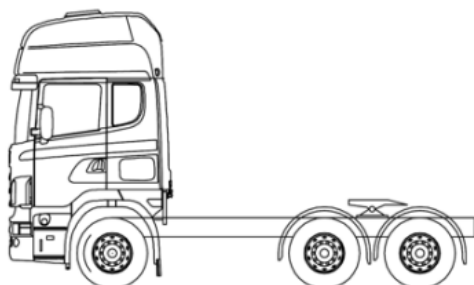
3.2 Vetoautot

Puutavara-auton vetoauto on tyypillisesti neliakselinen, mutta käytössä on myös kolme- ja viisiakselisia vetoautoja. Vuonna 2023 vetoautojen vetotavoista selkeästi suosituin on 8x4 eli neliakselinen vetoauto, jossa on neljä vetävää akselia (Metsätrans 2023). Taulukossa 1 on kuvattu vetotavat autokannassa 2016–2023. Sen mukaan voidaan havaita, että vetoautokanta on muuttunut kolmeakselisesta neliakseliseksi. Kuvissa 5, 6 ja 7 on havainnollistettu sitä, miltä eri vetotavan vetoautot näyttävät. Viisiakselisten vetoautojen määrä on säilynyt tasaisena, ja niitä on pitkälti käytetty HCT-yhdistelmien vetoautoina. Vetoauton massa ei saa ylittää kolmeakselisena 26 t, neliakselisena 35 t ja viisiakselisena 42 t (Valtioneuvoston asetus 31/2019).

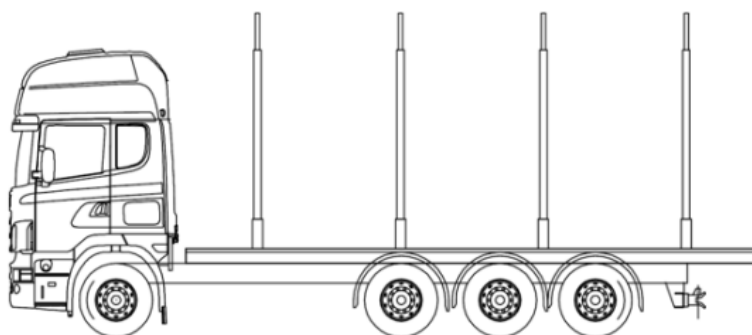
Tammikuussa 2019 astui voimaan lainsäädäntömuutos, jonka seurauksena esimerkiksi ajoneuvoyhdistelmien kokonaispituus nousi 34,5 m:iin ja vetoauton pituus nousi 13 m:iin. Tämä on mahdollistanut kuitupuunipun ottamisen vetoautoon. (Tieliikennelaki 729/2018, TLL.)

	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016
6x2	23	30	44	55	76	85	109	127
6x4	102	146	189	293	443	534	718	875
6x6	0	0	1	2	1	1	3	3
8x2	3	5	6	9	7	5	7	10
8x4	1397	1330	1275	1199	1088	908	708	513
8x6	1	1	0	0	0	0	0	0
10x4	6	6	6	9	8	8	3	1
yhteensä	1532	1518	1521	1561	1623	1541	1548	1529

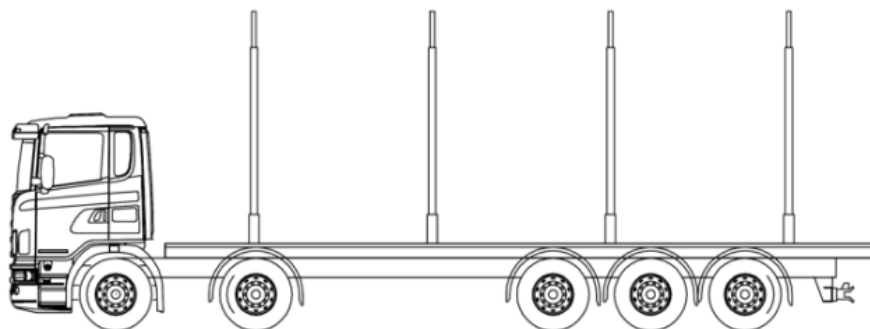
Taulukko 1. Vetotavat autokannassa 1.1.2023. (Metsätrens 2023.)



Kuva 5. Havainnekuva kolmeakselisesta vetoautosta. (Tuutijärvi 2018.)



Kuva 6. Havainnekuva neliakselisestä vetoautosta. (Tuutijärvi 2018.)



Kuva 7. Havainnekuva viisiakselisesta vetoautosta. (Tuutijärvi 2018.)

3.3 Perävaunut ja päällisrakenteet

Perävaunuja on olemassa kahdenlaisia, jos niitä verrataan rakenteellisesti. Toisessa pystytään siirtämään pankkoja tai sitten perävaunun runko on teleskoopipinen. Perävaunut on myös varustettu teliakseleiden nostolla, jotta kääntäminen olisi helpompaa. Yleisimmät kotimaiset puutavaraperävaunut ovat Jyki, Kome, Weckman ja Närko. (Venäläinen 2016.) Kuvassa 8 voidaan nähdä yleinen viisiakselinen perävaunu.

Puutavaraperävaunujen ominaisuudet ovat mukautettavissa käyttötarpeen mukaan, ja niiden rakenteet ovat mittatilaustyötä. Tilatessa uutta perävaunua voidaan vaikuttaa sen mittoihin, pankkojen ja kiristimien sijoitteluun, jarruihin, jousitukseen sekä rengaskokoon. (Jyki 2023.)

Puutavara-autot tulevat tehtailta ilman päällisrakenteita. Päällisrakenteet suunnitellaan ja rakennetaan yksilöllisesti asiakkaan toiveiden ja auton käyttötarkoituksen mukaisesti. Vetoautoon rakennetaan apurunko, jonka päälle kiinnitetään pankot ja kytkennät puutavaranosturille. Lisäksi runkoon lisätään tarvittavat hydraulikat. Rakenteet ovat pääaisassa terästä tai alumiinia. (Keränen, Laitila & Malinen 2017, 7–10.)



Kuva 8. Jyki viisiakselinen puutavaraperävaunu. (Jyki.fi.)

3.4 Puutavaranosturit

Suomessa lähes kaikki puutavara-autot on varustettu puutavaranosturilla. Nosturi voi olla hytillinen (kuva 9) tai hytitön (kuva 10). Kuormaimen oma massa on tyypillisesti n. 3 t. Kuormain pyritään jättämään lastauspaikalle tai sopivalle säilytyspaikalle, mikäli kuljetusmatka kasvaa riittävän pitkäksi. Kuormaimen poistaminen lisää kuormakokoa 3,5–4 m³. Kuormainta kuitenkin joudutaan kuljettamaan, jos pyritään ajamaan meno-paluu kuormia, monipisteajoa (keräilyajo) tai, jos vastaanotossa ei ole purkua ja purku joudutaan suorittamaan omalla kuormaimella. Monipisteajolla tarkoitetaan sitä, että puutavarakuorma kerätään useammasta varastopaikasta yhteen kuormaan. Yleisimpiä kuormaimia on Loglift, Kesla ja Epsilon Palfinger. (Alatalo ym. 1997, 15–19; Venäläinen 2016.)

Nosturin valintaan vaikuttavat monet eri tekijät, kuten hinta, nosturin paino, käyttötarkoitus ja laatu. Esimerkiksi Marttilan (2010, 8) mukaan ajotehtävän luonne voi vaihdella, koska osa liikennöitsijöistä toimii alle sadan kilometrin säteellä, kun taas toiset ajavat puuta monien satojen kilometrien päähän, ja tämä vaikuttaa nosturin valintaan. Nosturi asennetaan autoon sähkökaapelin avulla.



Kuva 9. Hiab loglift 125Z puutavarankuormain hytillä. (Hiab.fi.)



Kuva 10. KESLA 2109Z-nosturi ilman hyttiä. (Närhi.com.)

3.5 HCT-yhdistelmät

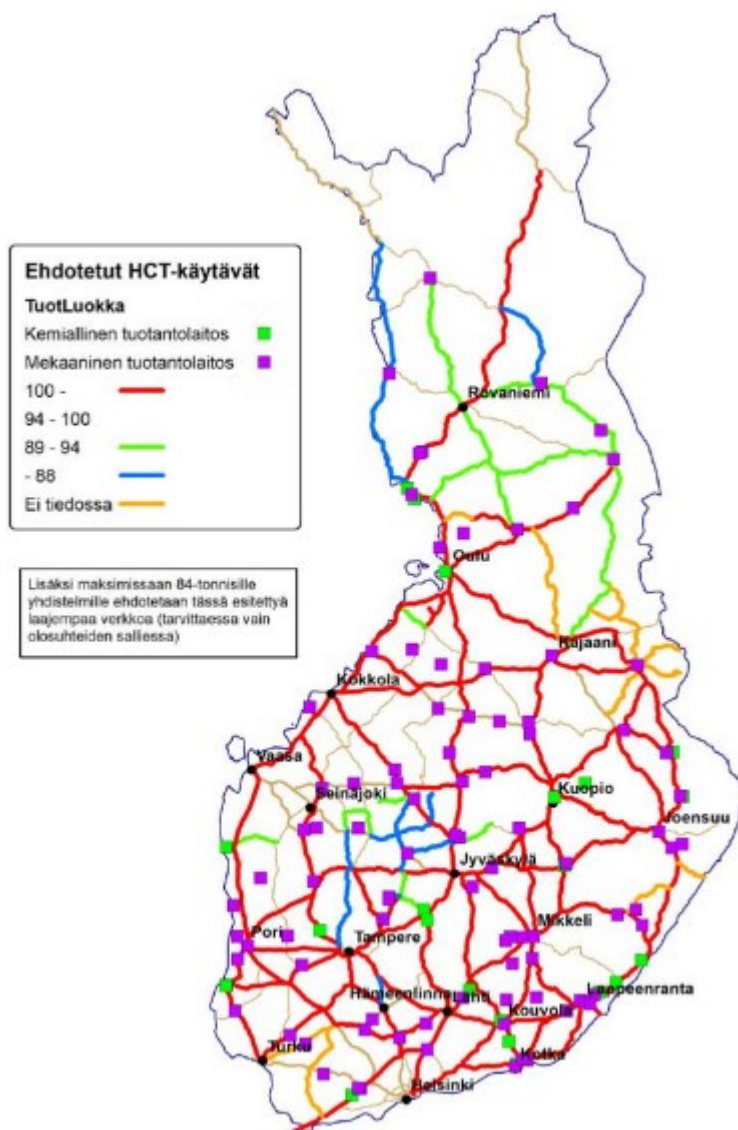
HCT-ajoneuvoilla (High Capacity Transport) tarkoitetaan yli 76 t painavia ja yli 25,25 m pitkiä ajoneuvoyhdistelmiä. HCT-kuljetuksien suurempi pituus tai paino johtuu kuorman suuremmasta määrästä. (Venäläinen & Poikela 2022, 4–5.) Vuodesta 2013 lähtien Suomen teillä on sallittu pitempiä ja raskaampia HCT-

kuljetuksia poikkeusluvilla. Poikkeusluvut myöntää Traficom. Tällä hetkellä ras-
kaampia yli 76 t yhdistelmiä liikennöi liikenteessä 21 kpl. (Traficom 2020.)

Kuvassa 11 on Kari Malmstedt Oy:n 92-tonninen puutavarayhdistelmä. Kärhän,
Kortelaisen, Karjalaisen, Haavikon ja Palanderin (2023, 6–8) julkaisemassa ar-
tikelissa todetaan, että HCT puutavara-autoilla on merkittävä vaikutus raaka-
puun kaukokuljetuksessa, koska kuormakoko on suurempi ja täten kuormamää-
rät vähenevät. HCT puutavara-autoilla on myös merkittävä vaikutus raakapuun
kaukokuljetuksen ympäristövaikutuksiin, vähentämällä polttoaineen kulutusta ja
kasvihuonekaasupäästöjä, jotka pienentävät hiilijalanjälkeä. (Kärhä ym. 2023,
6–8; Venäläinen & Poikela 2022, 43–44; Venäläinen 2023.) Suurin pullonkaula
HCT-yhdistelmien yleistymisessä on poikkeuslupakäytäntö sekä tieverkon käy-
tön rajallisuus yli 76 t yhdistelmillä (kuva 12).



Kuva 11. Kuvassa Kari Malmstedt Oy:n 92-tonninen puutavarayhdistelmä.
(Metsätrans 2018.)



Kuva 12. Ehdotetut HCT-käytävät raakapuun, sivutuotehakkeen ja sahatavaran kuljettamiseen. (Venäläinen & Poikela 2022.)

3.6 Siirtoauto

Siirtoautolla tarkoitetaan puutavarayhdistelmää, joka on räätälöity käytettäväksi maantiekuljetuksissa. Yhdistelmässä ei ole nosturia, eikä nosturiin vaadittavaa varustusta. Siirtoauto joudutaan lastaamaan ja purkamaan erilliskaluston avulla, esimerkiksi erillisellä puutavara-autolla tai erilliskuormaimella. (Ammattilehti, 2011).

Siirtoauton etuja ovat suurempi kantavuus, kun ylimääräinen paino on karsittu pois, ja lisääntynyt kuormatila. Lisäksi merkittävä etu on säästö polttoainetaloudessa, joka voi olla jopa 5 l/ 100 km – 15 l/ 100 km. Siirtoautojen hankintahinta on lähes puolet perinteisen metsävarustuksella varustetun puutavara-auton hankintahinnasta. (Ammattilehti 2011). Kuvassa 13 on siirtoauton yhdistelmä.



Kuva 13. Siirtoauton yhdistelmänä 8x4 akselinen vetoauto ja 5-akselinen perävaunu. (Vilkuna 2021.)

3.7 Terminaalitoiminta

Suurin osa puutavarasta kuljetetaan suoraan metsävarastoista teollisuuden ja energian tuotantolaitoksien tarpeisiin, mutta käyttöpaikkojen ulkopuolisille terminaalille on useita tärkeitä käyttötarkoituksia. Yleisimpiä syitä käyttää terminaalileja on kelirikkokausien puunhuolto, hyönteistuholain asettamat vaatimukset ja energiapuussa haketuksen ja sen laadunhallinta. (Venäläinen 2017.)

Terminaalit toimivat toimitusvarmuusvarastoina, joiden avulla voidaan hallita puunkäytön piikkejä. Ne myös tasaavat henkilöstö- ja kuljetuskalustoresursseja, joilla on vaikutusta toimitusvarmuuteen. Terminaalileja tarvitaan myös, koska

tuotanto ja voimalaitosten omat tehtaan alueen terminaalien koot ovat rajalliset. (Venäläinen 2017.)

3.8 Autokuljetusten tehostaminen

Palanderin (2023) mukaan puutavaran autokuljetuksia pystytään tehostamaan organisointimallilla, joka keskittää kuljetuksia harvempien ohjaajien käsiin, mahdollistaa tehokkaan digitalisaation käytön ja perustuu ulkoistettuun toimintaan sekä alan verkostoitumiseen. Autokuljetuksia pystytään myös tehostamaan asiakasorganisaatiosta käsin, jolloin huomio siirtyy kuljetusmatkan lyhentämiseen ja tyhjänä ajamisen vähentämiseen. Tällöin tehostamiskeinoina voidaan käyttää meno-paluukuljetuksia, kuljetusvaihtoja, puutavaranvaihtoa sekä varastotasoja. Ennen Ukrainan sotaa myös Venäjän tuontipuuta pystyttiin käyttämään tehostamiskeinona. (Palander 2023.)

Tehostamiskeinojen avulla pystytään vähentämään polttoaineen kulutusta, lisäämään kuljetustoimintojen tuottavuutta ja kustannustehokkuutta. Lisäksi niiden avulla pystytään huomioimaan luontoa esimerkiksi ympäristöhaittojen vähentämisellä. (Palander 2023.) Hyödyntämällä autokuljetuksissa HCT-yhdistelmiä, toiminnasta pystytään tekemään kustannustehokkaampaa. HCT-yhdistelmien käyttöpotentiaali on sitä suurempi mitä pidempi kuljetusmatka on. (Lapp & Ilikkanen 2017, 3.)

Meno-paluukuljetuksilla tarkoitetaan kuljetuksia, missä puutavara-auto kuljettaa kuorman myös menoreitiltä palatessaan. Meno-paluukuljetusten avulla pystytään saavuttamaan kuljetustoiminnon kustannussäästöksi 2–3 %. (Väätäinen, Palander & Harstela 2002, 15–16.) Palanderin (2023) mukaan suurimmillaan kustannussäästöt voisivat olla jopa 17 %. Myös kuljetusvaihoilla pystytään lisäämään meno-paluukuljetuksia. Puutavaravaihto on kauppaa, jossa omistus vaihtuu yhtiöltä toiselle. Vaihtopaikkana voi olla sekä tienvarsivarasto että tehdas. Tällä keinolla puunhankintaorganisaatio pystyy säätelemään ei-toivottuja puutavaralajeja. (Palander 2023.)

4 Raakapuun kaukokuljetuksen toimintaympäristö ja sen pulonkaulat

4.1 Toimintaympäristö ja kustannusrakenne

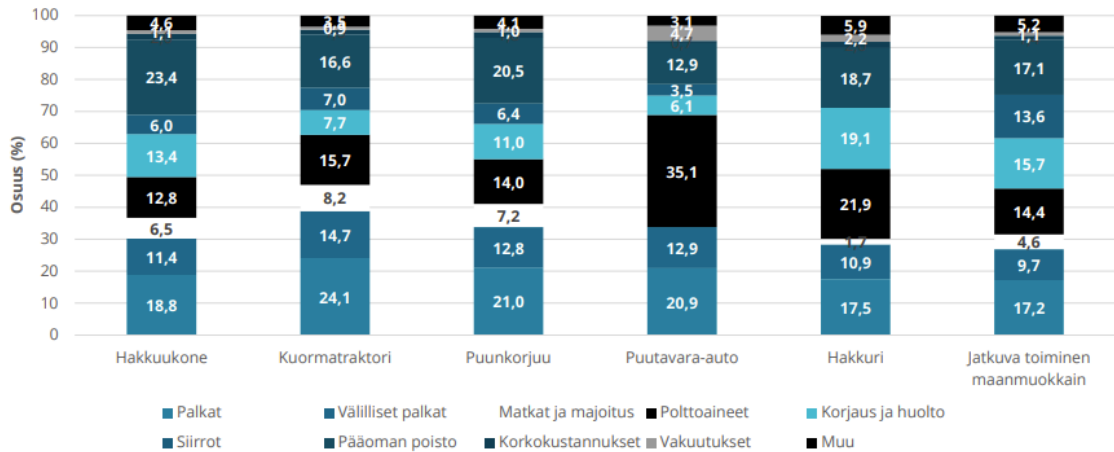
Viitamäen (2022, 8–11) mukaan raakapuun kaukokuljetuksen toimintaympäristöllä tarkoitetaan operatiivista työympäristöä, joka mahdollistaa kuljetusyritysten ulkopuolisten toimijoiden vaikuttamisen kannattavuuteen. Raakapuun kaukokuljetuksen sääntely ja tukitoimenpiteet ovat kuljetusyrityksen ulkopuolisten toimijoiden toimenpiteitä. Näiden avulla pystytään kehittämään sekä puutavaran autokuljetusta että tekemään yrityksen toiminnasta monin tavoin kannattavampaa ja kustannustehokkaampaa. (Venäläinen 2016; Viitamäki 2022, 8–11.)

Raakapuun kaukokuljetusta säätelevät eri säädökset, jotka koskettavat mm. kalustoa, tiestöä, polttoaineita, kuorman sijoittamista ja sen sitomista, liiketoimintaa, verotusta, työehtoja, liikennöintiä, varastointia, koulutusta sekä ajo- ja lepoaikoja. Myös monet eri lainsäädännöt on otettava huomioon puutavarankuljetuksessa. (Venäläinen 2016.) Tieliikennelaki määrittelee ajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien suurimmat sallitut mitat ja massat. Lisäksi puutavara-autojen tekniset vaatimukset ovat suurimmaksi osaksi peräisin EU-lainsäädännöstä. (Tieliikennelaki 729/2018.)

Suomessa on laaja tieverkosto, mutta sen kunto on vaihteleva. Maanteitä on yhteensä 78 200 km, joista 700 km on moottoriteitä ja 8 600 km on valtateitä. Suomen tieverkosto koostuu suurimmaksi osaksi yksityisistä teistä, joita on peräti 350 000 km. Lisäksi Suomessa on n. 120 000 km rakennettuja metsäautoiteitä ja siltoja 15 000 kpl. Vuonna 2022 maanteiden korjausvelka oli noin 1,65 mrd.€. (Puuhuolto 2016; Traficom 2023.) Traficom (2023) mukaan sorateistä 10 % on huonokuntoisia ja päällystetyistä teistä 14 %.

Kaukokuljetuksen kustannusrakenne koostuu työvoimakustannuksista, polttoainekustannuksista, kalustosta, kunnossapidosta, poistoista, vakuutuksista sekä muista kuluista (Venäläinen 2016). Kuviossa 2 voidaan todeta, että merkittävin

kustannus puutavara-autossa on polttoaine, joka on yli kolmas osa kokonaiskustannuksista. Loput kustannuksista muodostuvat aiemmin mainituista tekijöistä.



Kuvio 2. Puunkorjuukoneiden, puutavara-autojen, hakkureiden ja maanmuokkaimen kustannusrakenne. (Kärhä 2023.)

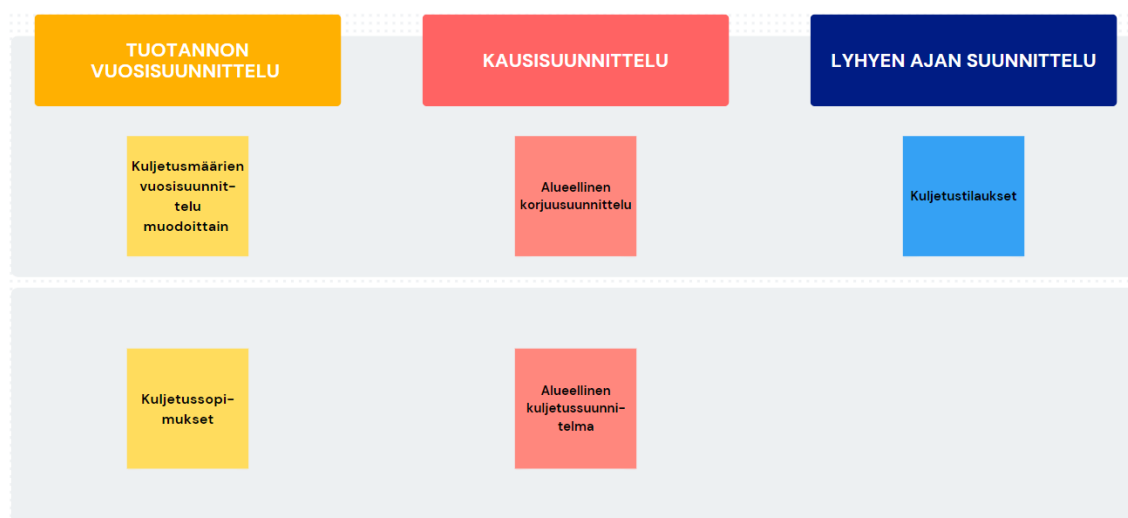
4.2 Kaukokuljetuksen suunnittelu ja ohjaus

Puunhankintaprosessissa keskeisenä vaiheena on puutavaran kuljetus, joka voi Venäläisen (2016) mukaan kestää pisimmillään jopa 4 vuotta. Puutavaran kaukokuljetus on luonteeltaan systemaattista ja pitkäjänteistä. Kuvassa 14 on esitettyä puutavaran kaukokuljetuksen suunnitteluprosessia eri suunnittelutasoilla. Suunnittelu voidaan jakaa strategiseen, taktiseen ja operatiivisen tason suunnitteluun, joista voidaan käyttää myös nimityksiä vuosi-, kuukausi- ja viikkotason suunnittelu. Strateginen eli vuosisuunnittelu sisältää kuljetusmäärien vuosisuunnittelua ja kuljetussopimuksen tekemistä. Taktinen eli kuukausisuunnittelu sisältää alueellista korjuun- ja kuljetuksensuunnittelua. Taktisen tason prosessit eivät aina kuitenkaan toteudu suunnitellulla tavalla, vaan tehtaavat muuttavat tilauksiaan. Operatiivinen eli viikko- tai päiväkohtainen suunnittelu on todellisten kuljetusoperaatioiden toteuttamista, kuten kuljetustilausten hoitamista. Kuljetusohjelmat ovat työvälineitä, joita käytetään operatiivisen tason johtamisessa. (Ovaskainen & Schildt 2022; Palander 2023; Venäläinen 2016.)

Puutavaran kaukokuljetuksen lähtökohtana on kuljetusyrittäjän ja tilaajan välinen sopimus. Sopimuksen kesto on yleensä 1–3 vuotta, ja se sisältää useimmissa tapauksissa polttoaineklausuulin eli polttoaineindeksiin perustuvan tarkistusehdon (Venäläinen 2016). Sen mukaan kuljetuksien hinta tarkastetaan tietyin aikavälein polttoaineen hintakehityksen perusteella (SKAL 2023).

Puutavaran kuljetuksen suunnittelussa käytetään pääsääntöisesti suunniteluohjelmistoja, kuten LogForcea. LogForce on kuljetuksiin suunnattu ohjelmistopalvelu, jonka tarkoituksena on tehostaa niin kuljetusyrittäjien kuin metsäyhtiöiden liiketoimintaa. Sen avulla kuljetusyrittäjät pystyvät ohjaamaan ja suunnittelemaan pyöreän puun, hakkeen ja metsäenergian toimitusketjua lähtövarastolta käyttöpaikalle. LogForcen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat mm. resurssitietojen ja kokonaiskapasiteetin hallinta, kuljetustilausten vastaanotto metsäyhtiöltä, varastojen hallinta ja erilaiset viestitoiminnot. (Aalto 2015, 4–6.)

Kuljetuksen tilaajana on useimmiten metsäyhtiö, jonka tehtävänä on lähettää LogForcen kautta tiedot kuljetustilauksesta ja lähtövarastoista. Tilaukset voivat olla joko avoimia tilauksia tai ajoneuvo- ja kuormakohtaisia määräyksiä. (Venäläinen 2016.) Palander, Säynäjoki ja Hägnäs (2006, 6–7) kirjoittavat tutkimuksessaan, että kehittyneet reititys- ja ohjausjärjestelmät lisäävät kuljetusten kustannustehokkuutta merkittävästi.



Kuva 14. Kaukokuljetuksen suunnitteluprosessi eri suunnittelutasoilla. (Venäläinen 2016.)

4.3 Pullonkaulat

Raakapuun kaukokuljetuksen ja toimintaympäristön selkeitä haasteita ovat polttoaineen hinta, työvoiman saatavuus, kausivaihtelu sekä tiestön kunto. Rantalan (2022, 2) ja Väätäisen ym. (2014, 10–16) mukaan toimijoiden suurimmat huolet liittyvät tiestön kuntoon, kustannusten voimakkaaseen nousuun sekä riittävän ammattitaitoisen työvoiman saatavuuteen.

Puutavara-autoyritysten kannattavuus on tullut esiin yhtenä puutavarakuljetusalan haasteena. Kustannusten nousua voidaan pitää syynä heikkoon kannattavuuteen. Esimerkiksi polttoaineen osuus puutavara-autokuljetusyrityksen kustannusrakenteesta on jopa 35 % (Rantala 2022, 8). Vuoden 2020 mediaaniliikevoitto oli 3,9 % niillä yli viisi puutavara-autoa omistavilla yrityksillä, jotka suorittivat pelkkää puutavaran ajoa (Ala-Kutsu 2021). Palanderin (2023) mukaan nykypäivänä puutavarakuljettajalta vaaditaan mittavaa liiketoimintaosaamista, jotta kannattavuus saadaan säilymään hyvällä tasolla. Näin ollen yrittäjät ovat joutuneet laajentamaan toimikenttäänsä sekä ottamaan enemmän vastuuta. Puutavara-autoyritysten kannattavuuteen vaikuttaa huomattavasti kuljettajapula ja sen seurauksena syntynyt palkkakeskustelu palkkojen nostamisesta (Nousiainen 2012).

Tuottavuutta on pyritty parantamaan laajavastuisella yrittäjyydellä perinteisen yrittäjyyden sijaan. Laajavastaisuudella tarkoitetaan moniasiakkuuteen perustuvaa yrittäjyyttä. Sen perusideana on yrittäjäverkosto, joka pystyy sekä palvelemaan parhaiden mahdollisuuksien mukaan asiakkaita että hoitamaan töiden suunnittelua ja seurantaa. Moniasiakkuuden takia yritykset pystyvät tasaamaan työmääriä ja toisaalta myös vähentämään kausivaihteluita. Laajavastuinen urakointi on huomattavasti suositumpaa puunkorjuu- kuin kuljetusyrityksissä. Palanderin (2023) mukaan ne kuljetusyrittäjät, jotka ovat solmineet laajavastuisen urakointisopimuksen, nostavat aika ajoin esille laajavastuisen urakoinnin puutteita. (Palander 2023; Rekilä & Räsänen 2008, 2; Tolppa 2014.)

Koko puunhankintaketjua vaikeuttava tekijä on voimakas kausivaihtelu, jonka merkittävin syy lienee sääilmiöt. Keväisin huhti-toukokuun aikana vallitseva

kelirikko keskeyttää puutavaran korjuun ja kuljetukset usein muutaman viikon ajaksi. (Palander 2023.)

Myös kysynnän vaihtelu aiheuttaa kausivaihtelua. Esimerkiksi tehtaiden kysynnän vaihtelu on seurausta kesälomista ja vuosihuolloista. Koska työ jakautuu epätasaisesti, kuljetusyrietykset joutuvat nostamaan autojen käyttöasteet äärimilleen kiireisimpinä aikoina. Toisaalta hiljaisina aikoina voi olla aikoja, jolloin puuta ei ajeta lainkaan. Tuolloin ylimääräinen kalusto ei tuota mitään, mutta aiheuttaa kuitenkin kustannuksia. (Kärhä, Tamminen, Leinonen & Suvinen 2017; Venäläinen, Alanne, Ovaskainen, Poikela & Strandström 2018, 15–23). Esimerkiksi vuoden 2017 helmikuussa puunkuljetuksessa työskenteli 1 600 puutavara-autoa, kun taas vastaava luku saman vuoden heinäkuussa oli 1 100 puutavara-autoa (Koneviesti 2017).

Ammattitaitoisen työvoiman saatavuus on jo nyt haastavaa eikä asia tule helpottumaan tulevaisuudessa. Nurmen (2022) mukaan monet puutavara-autokuljettajat pitävät työstään, mutta palkka ja työn vaativuustaso eivät kohtaa. Lisäksi kuljettajat nostavat esille työpäivien pituuden sekä haastavat työolosuhteet (Nurmi 2022). Rantalan (2022, 10–11) mukaan alalle tarvitaan vuosittain uusia puutavara-autonkuljettajia n. 300–340, mutta valmistuvien määrä on vain noin 80 kuljettajaa vuodessa. Viime vuosina myös kuljetusyrittäjien määrä on vähentynyt. Esimerkiksi vuoden 2022 alussa kuljetusyrittäjiä oli yhteensä 579, kun kymmenen vuotta aiemmin heitä oli 757. (Ala-Kutsi 2022.)

Suomen tieverkoston kunto ja kunnossapito ovat huolta herättäviä tekijöitä, sillä ne vaikuttavat kaukokuljetukseen monin eri tavoin. Siltoihin ja teihin kohdistuvat painorajoitukset voivat muuttaa kuljetusreittejä tai pahimpana kelirikkoaikana kuljetukset estyvät täysin. Painorajoitetut tiet ja sillat kuljetusreitillä vaikuttavat suunnitteluprosessiin useimmissa tapauksissa siten, ettei optimaalisinta kuljetusreittiä pystytä valitsemaan. Tämä taas vaikuttaa suoraan kuljetuskustannuksiin. (Holm, Hietala & Rantala 2015, 49–52.)

Kuitenkin tällä hetkellä on menossa TIESIT-hanke, jonka tavoitteena on kartoittaa yksityisteiden ja niillä olevien siltojen kuntoa vuoteen 2026 mennessä

(Metsäkeskus 2023). Lisäksi Luonnonvarakeskuksella on meneillään Take me home, country road -hanke. Sen tavoitteena on muodostaa asiantuntijaryhmä, joka pystyy ideoimaan ja muodostamaan metsätietiedon ja kulkukelpoisuutta ennustavan järjestelmän sisällöstä ja toteutuksesta. (Luonnonvarakeskus 2023.)

5 Tutkimuksen tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, mikä tarkasteltavista puutavaran kuljetusketjuista on kustannustehokkain eri polttoaineen hinnoilla. Vertailtavat kuljetusketjut olivat: 76 t puutavara-auto (nosturin kanssa), 76 t puutavara-auto (ilman nosturia), 76 t terminaaliauto ja 92 t HCT-terminaaliauto. Simuloidut polttoaineen hinnat olivat (2 €/L, 2,5 €/L, 3 €/L). Työn tavoitteena oli löytää kustannustehokkain ja toteutuskelpoisin kaukokuljetusmenetelmä kuljetusmatkan ollessa 50–300 km. Tässä opinnäytetyössä haluttiin saada vastaus seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mikä kuljetusketjuista on kustannustehokkain?
2. Mikä kuljetusketjuista on toteutuskelpoisin käytännön tasolla?

Opinnäytetyössä tarkastellaan puutavaran kaukokuljetusta yleisellä tasolla, avaamalla siihen liittyviä termejä ja toimintatapoja. Tavoitteena on antaa lukijalle käsitys siitä, miten eri kuljetusketjuja pystytään vertailemaan ja mitkä eri tekijät siihen vaikuttavat.

6 Aineisto ja menetelmät

6.1 Määrällinen tapaustutkimus

Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelmänä käytettiin määrällistä tapaustutkimusta. Tapaustutkimuksella tarkoitetaan tutkimusstrategiaa, jonka tarkoitus on tutkia syvällisesti yhtä tai muutamaa asiaa tai ilmiökokonaisuutta. Sen tavoitteena on tuottaa tietoa valitusta tapauksesta mahdollisimman intensiivisesti ja yksityiskohtaisesti. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2015, 36.)

Määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus on tieteellinen tutkimusmenetelmä, joka perustuu numeeriseen dataan ja tilastolliseen analyysiin ilmiöiden mittaamiseksi ja selittämiseksi. Määrälliselle tutkimukselle on tyypillistä käsitellä tutkittavia asioita numeroiden avulla. Tutkittava tieto saadaan joko suoraan numeroina tai se jaotellaan numeeriseen muotoon. Numerotiedot voidaan tulkita ja selittää sanallisesti. Kvantitatiivinen tutkimus mahdollistaa hypoteesien testaamisen ja syy-seuraus-suhteiden muodostamisen. (Vilkkä 2007, 14–16.)

6.2 Kustannuslaskenta

Lepistön (2022, 9) mukaan kustannuslaskenta (cost accounting) on tärkeä osa liiketoimintaa, jonka tarkoituksena on taloudellisten ja ei-taloudellisten tietojen mittaaminen, analysointi sekä raportoiminen. Erilaiset laskentamenetelmät ovat kustannuslaskennan keskiössä. Kustannuslaskennassa keskeistä on määrittää tulosyksiköt, joilla on omat resurssit, ja tunnistaa yrityksen tuki- ja ydintoiminnot. Olennaista on myös tunnistaa yrityksen palveluita ja suoritteita. (Bhimani, Horngren, Datar & Rajan 2019, 3; Lepistö 2022, 9–11.) Kustannuslaskenta voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri osa-alueeseen: kustannuslaji-, kustannuspaikka- ja suoritekohtainen kustannuslaskenta, kuten Itämies (2019, 10) on todennut.

Kiinteillä kustannuksilla tarkoitetaan osakustannuksia, kuten Viitala (2019, 13) kirjoittaa. Nämä kustannukset ovat riippumattomia ajosuoritteesta. Kiinteät

kustannukset säilyvät muuttumattomina tietyn ajanjakson ajan (Itämies 2019, 10). Pääomakustannukset muodostuvat vuotuisista poistoista sekä oman ja vieraan pääoman koroista. Ajoneuvon kustannuslaskennan kiinteitä kustannuksia ovat vakuutus, liikennöimis-, ylläpito- ja hallintokustannukset. (Viitala 2019, 13–15.)

Muuttuvat kustannukset nimensä mukaisesti muuttuvia eli ne voivat vaihdella kuukaudesta toiseen. Ne elävät myynnin ja tuotannon tahdin mukaisesti. (Neilimo & Uusi-Rauva 2001, 51–52.) Ajoneuvon kustannuslaskennan muuttuvia kustannuksia ovat rengaskustannukset, huolto- ja korjauskustannukset sekä polttoainekustannukset (Viitala 2019, 16–18). Taulukossa 2 on esitettyinä puutavaran kaukokuljetuksen keskeisimpiä kustannustekijöitä, jotka muodostuvat neljästä eri kokonaisuudesta.

<p>Auton kustannustekijät:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kaluston hankintahinta. • Renkaat. • Kaluston pitoaika. • Vaihtoarvo. • Korot, vakuutukset, hallinto-, korjaus- ja ylläpitokulut. • Työkustannukset. • Peruspalkka, palkan lisät. • Polttoaine. • Adblue. 	<p>Suoritetiedot:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kuljetusmäärä. • Ajomatka. • Ajosuorite. • Kuormakoko.
<p>Ajankäyttö:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajonopeus. • Ajanmenekki: kuormattuna ajo, tyhjänä ajo, kuormaus ja purku. • Työaika. • Vuosityöaika: auton käyttötunnit, kuljettajan työtunnit. 	<p>Polttoaineen kulutus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajoneuvon massa. • Ajovaiheiden kulutus. • Kulutus kuormauksessa ja purussa.

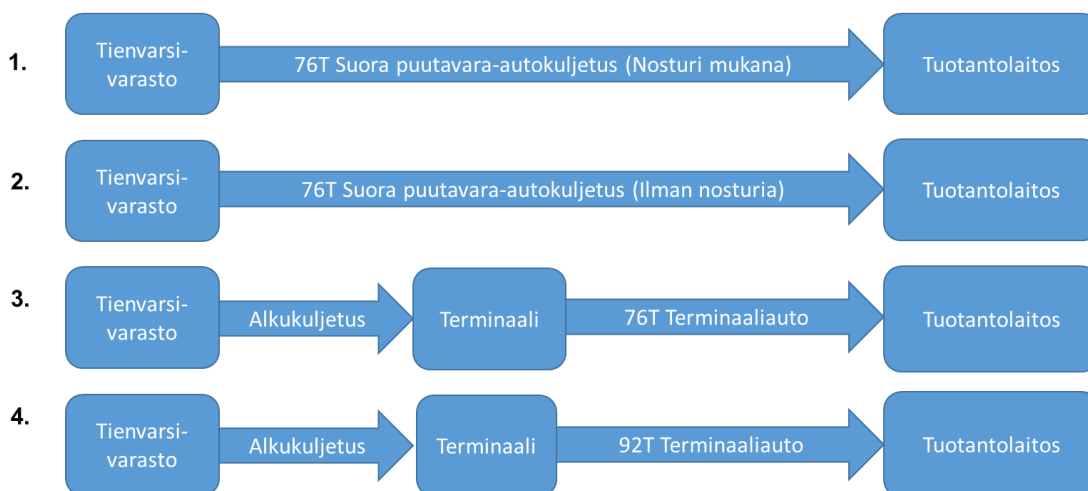
Taulukko 2. Keskeisimmät kustannustekijät kustannuslaskelmissa.

6.3 Vertailtavat kuljetusketjut

Kustannuslaskelmissa (kuva 15) vertailtiin neljää eri puutavara-autoketjua. Ensimmäinen ketju toimi vertailtavana ketjuna kolmelle muulle kuljetusketjulle. Tämä ketju oli suora 76-tonninen puutavara-auto, joka toimii suoraan tienvarsi-varastolta tuotantolaitokselle. Kyseinen yhdistelmä kuormaa ja purkaa oman kuormansa. Toinen vertailtava kuljetusketju oli vastaava 76-tonninen puutavara-auto, mutta ilman kuormainta. Tämä yhdistelmä kuormaa kuormansa omalla kuormaimella, jonka jälkeen jättää kuormaimen lähelle tienvarsi-varastoa. Kuorman purku tapahtuu tuotantolaitoksen omalla purkukalustolla.

Kolmas vertailtava kuljetusketju on 76-tonninen terminaaliauto, joka vaatii alkukuljetuksen terminaaliin, jossa kuorma lastataan terminaalissa olevalla lastauskalustolla. Kuorman purku tapahtuu tuotantolaitoksen omalla purkukalustolla. Vastaavasti neljäs vertailtava kuljetusketju on 92-tonninen HCT-terminaaliauto, jonka toimintavaiheet vastaavat 76-tonnista terminaaliautoa.

Kustannuslaskelmissa 76 t puutavara-autona käytettiin neliakselista vetoautoa ja viisiakselista perävaunua. Yhdistelmän kokonaispaino oli 76 t, jolloin hyötykuorma kyseisellä yhdistelmällä oli 50 t. Kun taas hyötykuorma samalla yhdistelmällä ilman nosturia oli 53 t. 76 t terminaaliautona käytettiin neliakselista vetoautoa, kolmeakselista puoliperävaunua ja viisiakselista perävaunua. Yhdistelmän kokonaispaino oli 76 t. Hyötykuorma tällä yhdistelmällä oli 55 t. Puolestaan 92 t HCT-terminaaliautona käytettiin neliakselista vetoautoa, viisiakselista puoliperävaunua ja kolmeakselista perävaunua. Yhdistelmän kokonaispaino oli 92 t. Hyötykuorma tällä yhdistelmällä oli 65 t. Taulukossa 3 esitellään tarkasteltujen puutavarayhdistelmien tiedot.



Kuva 15. Opinnäytetyössä tarkasteltavat kuljetusketjut.

Yhdistelmät	76 t Metsä	76 t Metsä (ilman kuormainta)	76 t terminaali	92 t terminaali
Kokonaispaino, t	76	76	76	92
Omapaino, t	26	23	21	27
Hyötykuorma, t	50	53	55	65
Akselit ja renkaiden lukumäärä, kpl	9/32	9/32	12/28	12/44

Taulukko 3. Tarkasteltujen puutavarayhdistelmien tiedot.

6.4 Kustannuslaskemissa käytetyt kustannukset ja arvot

Kustannuslaskelmissa käytetyt arvot on kerätty kesä-elokuun 2022 aikana. Kustannuksien arvioinnissa on hyödynnetty Savo-Karjalan alueella toimivien puutavarayrittäjien antamia arvioita sen hetkisistä kustannuksista. Lisäksi kaluston arvon määrittämisessä on hyödynnetty käytettyjen vetoautojen, perävaunujen ja puutavaranostimien hintatasoa kesällä 2022. On kuitenkin huomioitava, että kustannukset ovat suuntaa antavia, sillä ne elävät jatkuvasti ja mm. kaluston osalta on paljon saatavuusongelmia. Lisäksi kustannuksiin vaikuttavat myös kuljetusyrittäjien koko ja käytettävä kalusto.

Kustannuslaskemissa kuljetusetäisyys on rajattu 50–300 kilometriin. Autokuljetuksen keskimatka oli vuonna 2021 101 km. (Strandström 2021.)

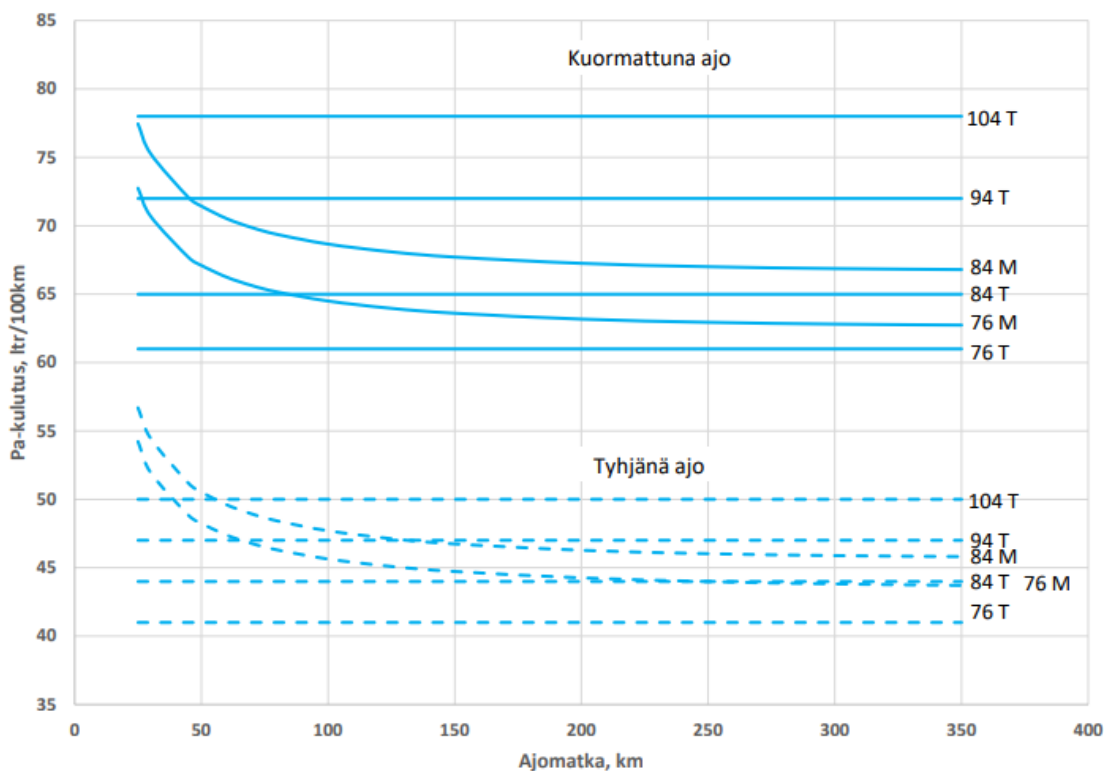
Kustannuslaskelmissa on käytetty Metsäalan kuljetusyrittäjät ry:ltä saatua kustannuslaskelma pohjaa (liite 1), jonka avulla kustannuslaskelmat suoritettiin. Metsäalan kuljetusyrittäjät ry on SKAL ry jäsenyhdistys, joka toimii raakapuutavaraa kuljettavien yrittäjien ja yrityksen edunvalvojana ja asiantuntijana Suomessa (SKAL 2023).

Puolestaan NB-Nordin: Costing models for road, rail and sea transport of roundwood Excel laskupohjan (liite 2) avulla laskettiin eri etäisyyksillä ajettavien kuormien ajallinen kesto. Kuormien keikka-ajoissa huomioitiin yhdistelmien keskinopeudet. Polttoaineenkulutus tarkasteltavilla yhdistelmillä perustuu Venäläisen ja Poikelan (2022) metsätehon raportin (kuvio 2) kulutusfunktioihin. Suorissa metsäkuljetusketjussa on huomioitu myös lastauksessa ja purussa kuluva polttoaine, joka on laskelmissa oletettu olevan 8 L/h. 92-tonnisen terminaliauton polttoaineen kulutuksena on kustannuslaskelmissa kuviossa 2 esitetyn 94-tonnisen yhdistelmän kulutusta.

Kustannuslaskelmissa käytettiin yhtenäisiä laskennallisia arvoja eri kuljetusketjujen osalta. Vertailussa simuloitiin kuljetuskustannuksia polttoaineen hinnan muutoksella. Tutkimuksessa simuloidut polttoaineen hinnat olivat 2 €/L, 2,5 €/L ja 3 €/L. Simuloinneissa käytettiin jokaisen eri kuljetusketjun keskimääräisiä polttoaineenkulutuksia. Työvuoron pituus oli vakio 9 h jokaisella kuljetusketjulla, ja päivässä oli kaksi vuoroa, jolloin vuorokaudessa työtunteja yhdelle autolle kertyi yhteensä 18 h. Näin ollen vuodessa työtunteja yhdelle autolle kertyisi keskimäärin 4 232 h. Taulukossa 4 esitellään kustannuslaskelmien keskeisimmät oletukset. Kustannuslaskelmissa on lisäksi huomioitu mm. oman pääoman määrä, vieraan pääoman korkokustannukset ja muita pakollisia kustannuksia, kuten vakuutus- ja liikennöintimaksuja.

<p>Kuormat: Ei vajaakuormia, ei keräilyajoa, Tyhjänä ajoa 50 % eli täysi meno ja tyhjä paluukuljetus.</p>	<p>Yhdistelmien käyttöaika: Ajo kahdessa 9 tunnin vuorossa. Ajopäiviä vuodessa 235. Käyttötunnin vuodessa noin. 4230 h.</p>
<p>Alkukuljetusmatka: 92 t HCT- ja 76 t terminaali ketjuilla on oletettu alkukuljetusmatkaksi metsästä terminaaliin 25 km</p>	<p>Korjaus- ja huoltokustannukset: Terminaalivetoautoilla kustannus korjaus ja huoltokustannukset 20 % matalampi ja renkaiden pitoaika 15 % pitempi, kun puutavara-autossa</p>
<p>Ajonopeus: Laskelmissa käytettyihin keskinopeuksiin vaikutti eri tieluokat. Terminaaliketjuilla keskinopeudet ovat hieman suuremmat.</p>	<p>Terminaalikustannus: Terminaalikustannuksen oletettiin olevan 0.25 €/t.</p>
<p>Kuormaus ja purku: Puutavara-autot kuormaavat ja purkavat kuorman omalla kuormaimella. Terminaaliautot kuormataan kokonaan maasta erillisellä lastaajalla.</p>	<p>Kuormaus- ja purkukustannukset: Kuorman purku ja lastaus terminaalissa kustantaa 0,40 €/t.</p>
<p>Kuljettajan palkkakustannukset: Palkka erosi terminaaliauton ja puutavara-auton välillä. Puutavara-autonkuljettajalla huomioitiin erikoislisä, koska kuljettaja käyttää kuormauslaitetta.</p>	<p>Kaluston pitoaika: vetoauton pitoaika oli 4 vuotta, perävaunun pitoaika oli 8 vuotta ja kuormainen pitoaika oli 5 vuotta.</p>

Taulukko 4. Keskeisimmät oletukset kustannuslaskelmissa



Kuvio 2. Polttoaineen kulutus (L/ 100 km) erilaisilla puutavarayhdistelmillä. (Venäläinen ja Poikela 2022).

7 Tulokset

Kustannuslaskelmien avulla saatiin laskettua jokaiselle tarkasteltavalle kuljetusketjulle kuljetuskustannukset (€/t) eri polttoaineen hinnoilla. Tarkasteltava kuljetusetäisyys oli 50–300 km. Laskelmien pohjalta saatuja kustannuksia verrattiin suoraan kuljetukseen 76-tonnisella puutavara-autolla.

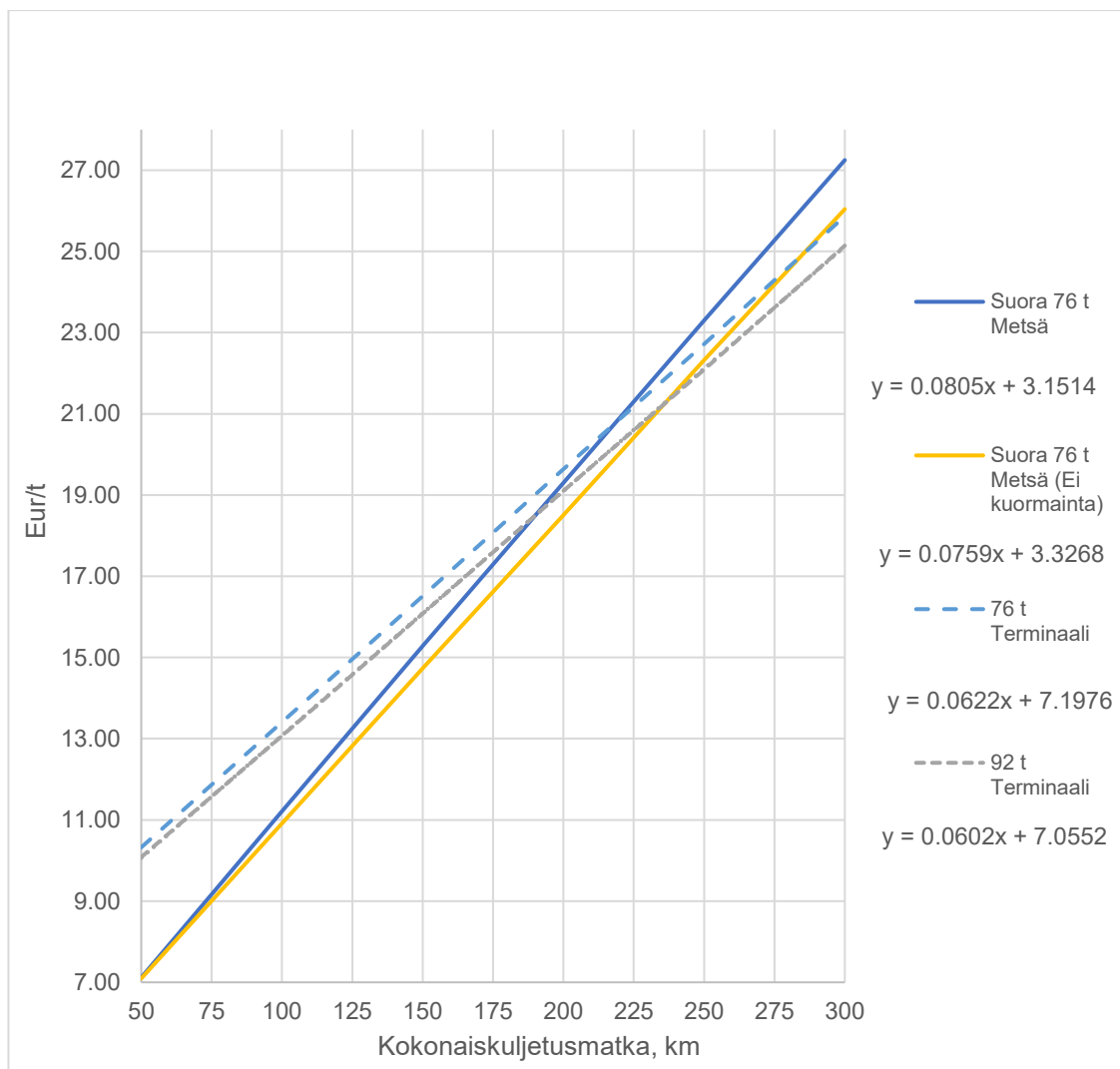
7.1 Tulokset polttoaineen hinnan ollessa (2 €/L)

Kuviossa 3 havainnollistetaan sitä, kuinka polttoaineen hinta 2 €/L vaikuttaa eri kuljetusketjuihin. Kustannuslaskelmien perusteella (taulukko 5) suoran 76-tonnisen puutavara-auton olisi järkevää jättää kuormain pois jo 50 km:n matkalla. 76-tonnisella puutavara-autolla ilman kuormainta (kuvio 4) 50–300 km:n matkalla voisi tulla säästöä 0,3–4,6 %.

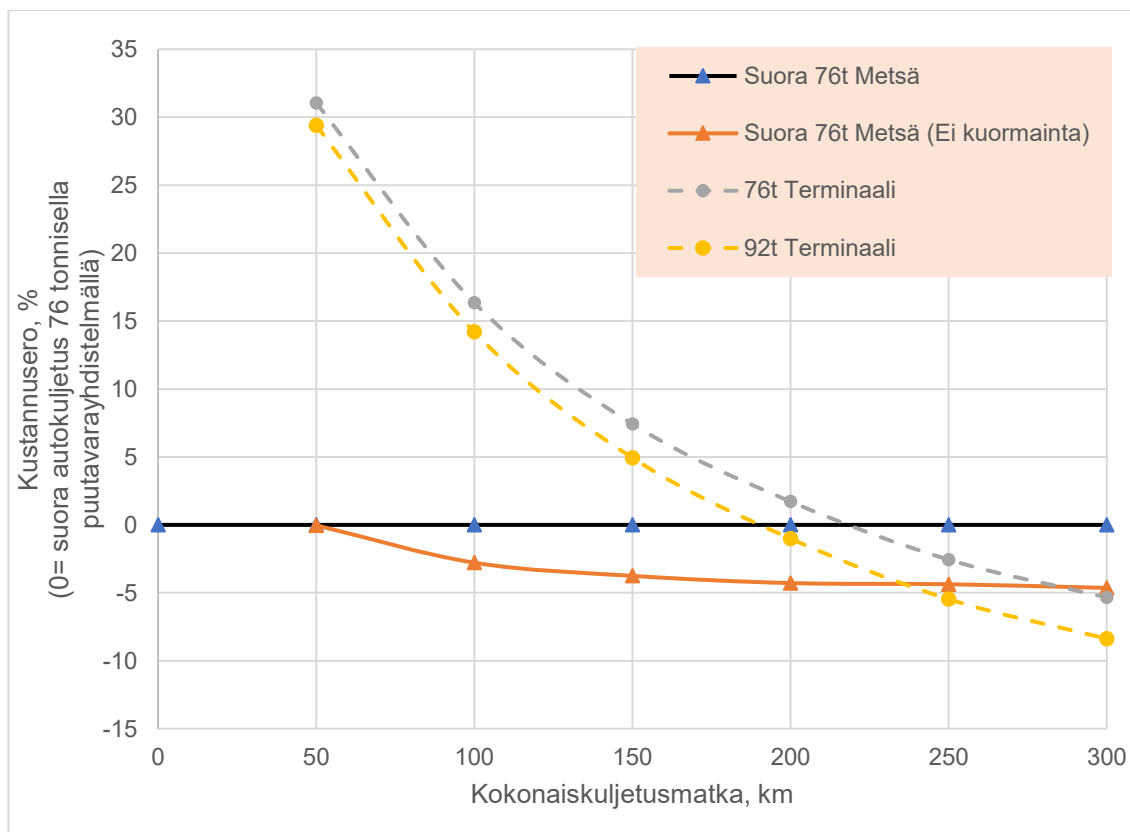
92-tonninen terminaaliauto toisi kustannussäästöjä noin 190 km:n jälkeen, ja vastaava luku 76-tonnisella terminaaliautolla olisi noin 220 km:n jälkeen. 92-tonnisella terminaaliautolla säästöä kertyisi 200–300 km:n matkalla 1–8,4 %. Vastaavasti 76-tonnisella terminaaliautolla 250–300 km matkalla kertyisi säästöä 2,6–5,3 %.

Suora 76 t Metsä (Ei kuormainta)		76 t Terminaali		92 t Terminaali	
Kuljetusetäisyys, km	Ero %	Kuljetusetäisyys, km	Ero %	Kuljetusetäisyys, km	Ero %
50	-0.3 %	50	31.0 %	50	29.4 %
100	-2.8 %	100	16.3 %	100	14.2 %
150	-3.8 %	150	7.4 %	150	4.9 %
200	-4.3 %	200	1.7 %	200	-1.0 %
250	-4.4 %	250	-2.6 %	250	-5.5 %
300	-4.6 %	300	-5.3 %	300	-8.4 %

Taulukko 5. Kuljetuskustannusvertailu (%/km) polttoaineen hinnan ollessa 2 €/L.



Kuvio 3. Kokonaiskustannusvertailu eri kuljetusketjujen välillä polttoaineen hinnan ollessa 2 €/L.



Kuvio 4. Kustannusvertailut eri kuljetusmatkoilla kuljetettua tonnia kohden. Erotus suoraan kuljetukseen 76-tonnisella yhdistelmällä Polttoaineen hinta 2 €/L.

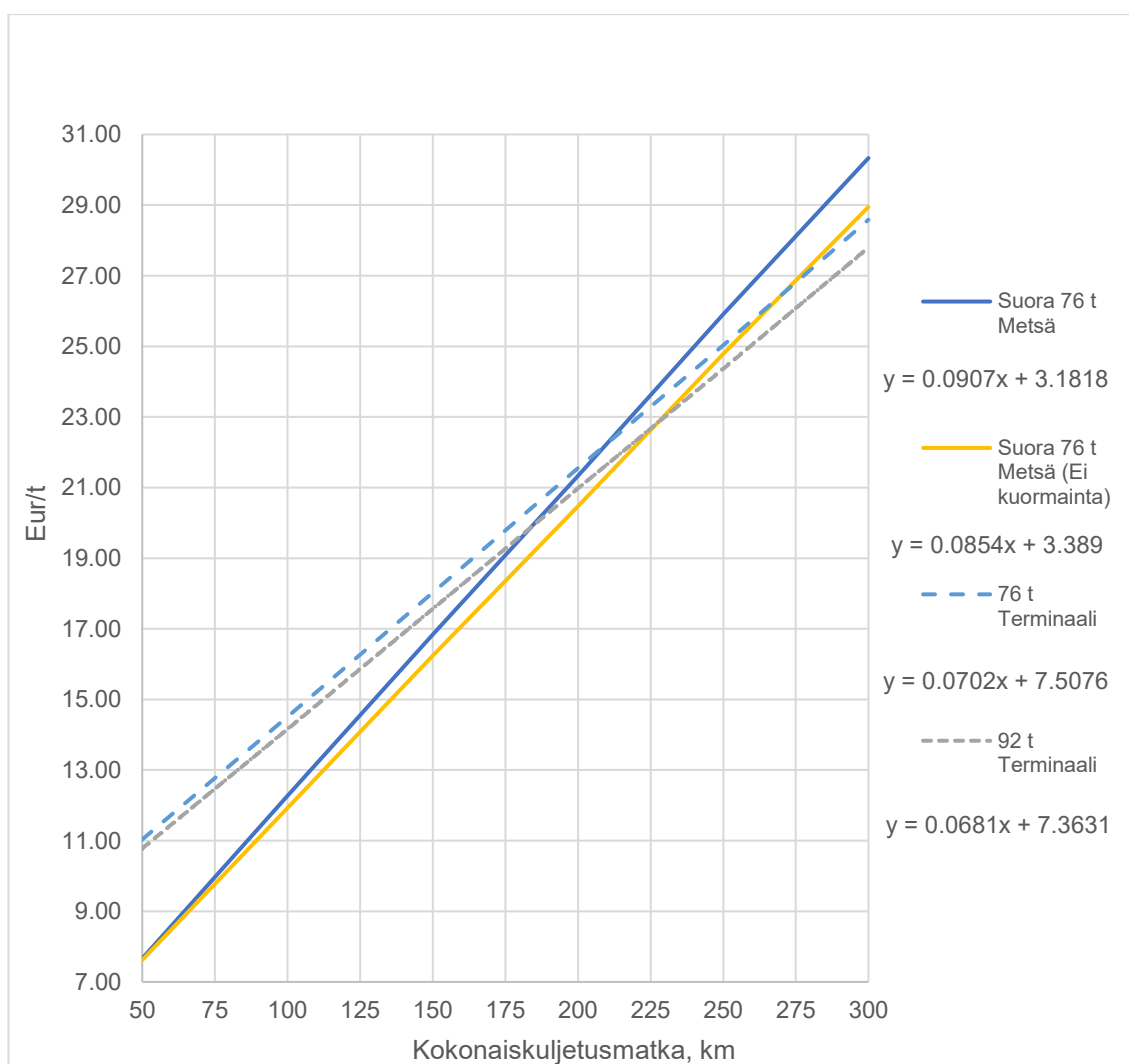
7.2 Tulokset polttoaineen hinnan ollessa (2,5 €/L)

Kuviossa 5 havainnollistetaan sitä, kuinka polttoaineen hinta 2,5 €/L vaikuttaa eri kuljetusketjuihin. Kustannuslaskelmien perusteella (taulukko 6) suoran 76-tonnisen puutavara-auton olisi myös järkevää jättää kuormain pois 50 km:n matkalla polttoaineen hinnan ollessa 2,5 €/L. 76-tonnisella puutavara-autolla (kuvio 6) ilman kuormainta 50–300 kilometrin matkalla voisi tulla säästöä 0,5–4,8 %.

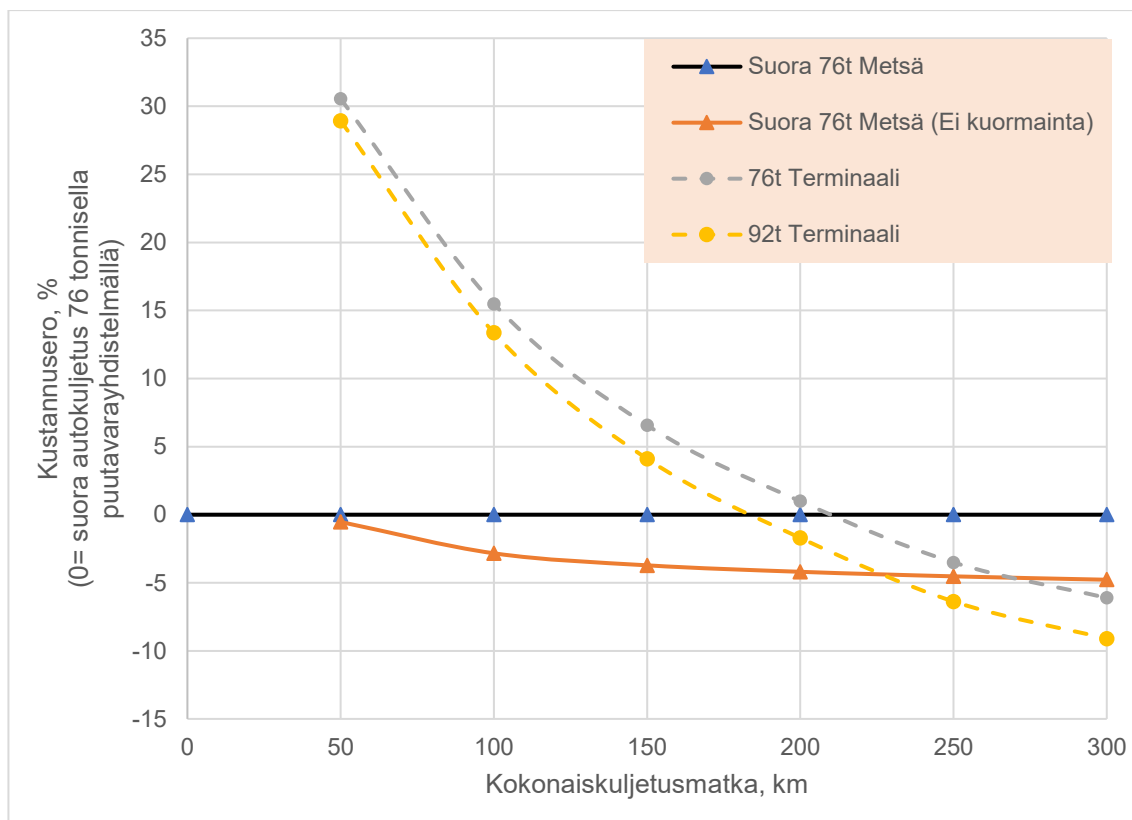
92-tonninen terminaaliauto toisi kustannussäästöjä 185 km:n jälkeen ja 76-tonninen terminaaliauto 210 km:n jälkeen. 92-tonnisella terminaaliautolla säästöä kertyisi 200–300 km:n matkalla 1,7–9,1 %. Vastaavasti 76-tonnisella terminaaliautolla 250–300 km matkalla kertyisi säästöä 3,5–6,1 %.

Suora 76 t Metsä (Ei kuormainta)		76 t Terminaali		92 t Terminaali	
Kuljetusetäisyys, km	Ero %	Kuljetusetäisyys, km	Ero %	Kuljetusetäisyys, km	Ero %
50	-0.5 %	50	30.6 %	50	28.9 %
100	-2.8 %	100	15.5 %	100	13.4 %
150	-3.7 %	150	6.6 %	150	4.1 %
200	-4.2 %	200	1.0 %	200	-1.7 %
250	-4.5 %	250	-3.5 %	250	-6.4 %
300	-4.8 %	300	-6.1 %	300	-9.1 %

Taulukko 6. Kuljetuskustannus vertailu (%/km) polttoaineen hinnan ollessa 2,5 €/L.



Kuvio 5. Kokonaiskustannusten vertailu eri kuljetusketjujen välillä polttoaineen hinnan ollessa 2,5 €/L



Kuvio 6. Kustannusvertailut eri kuljetusmatkoilla kuljetettua tonnia kohden. Erotus suoraan kuljetukseen 76-tonnisella yhdistelmällä. Polttoaineen hinta 2,5 €/L.

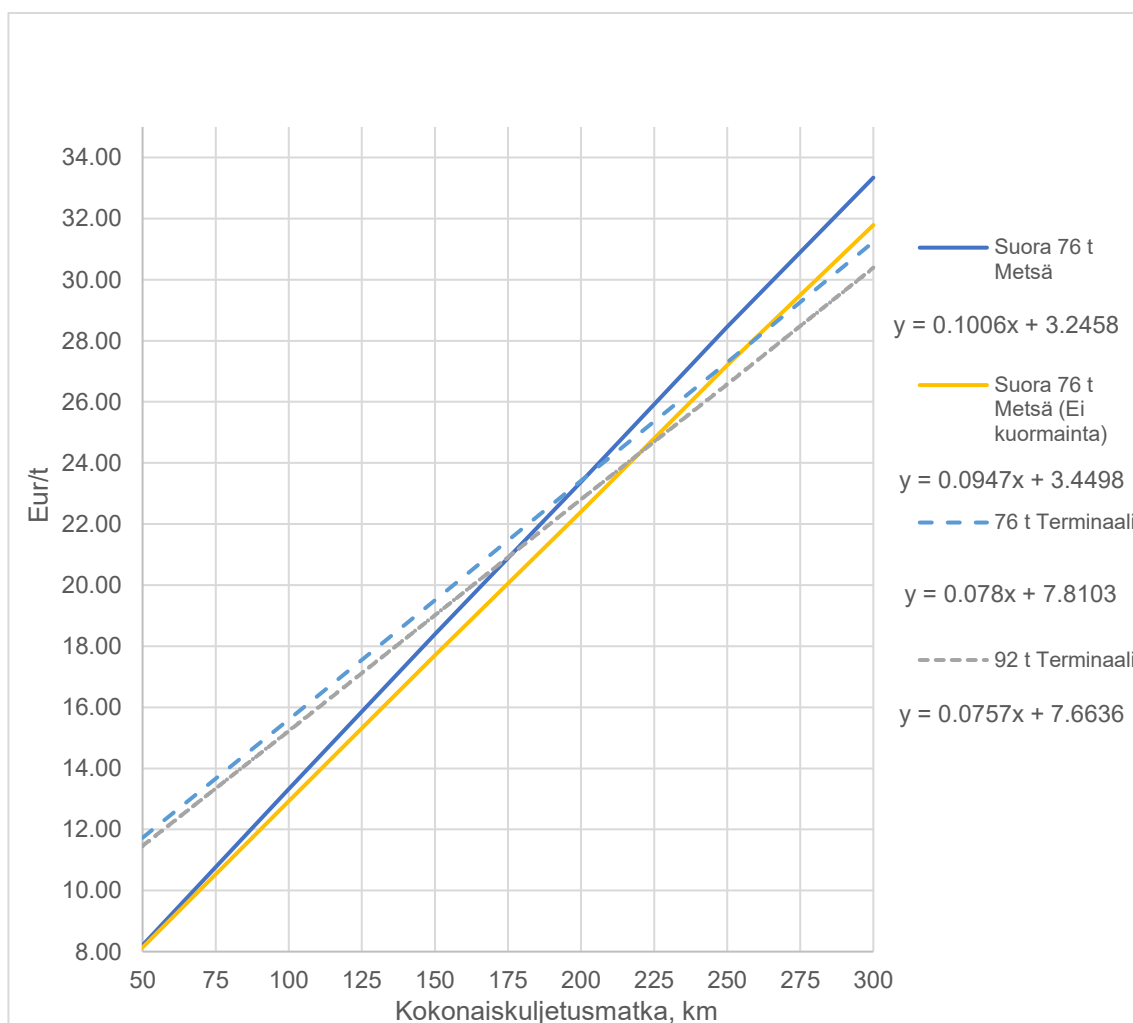
7.3 Tulokset polttoaineen hinnan ollessa (3 €/L)

Kuviossa 7 havainnollistetaan sitä, kuinka polttoaineen hinta 3 €/L vaikuttaa eri kuljetusketjuihin. Kustannuslaskelmien perusteella (taulukko 7) suoran 76-tonnisen puutavara-auton kannattaisi jättää kuormain pois jo 50 km:n matkalla. 76-tonnisella puutavara-autolla (kuvio 8) ilman kuormainta 50–300 km:n matkalla voisi tulla säästöä 0,9–4,9 %.

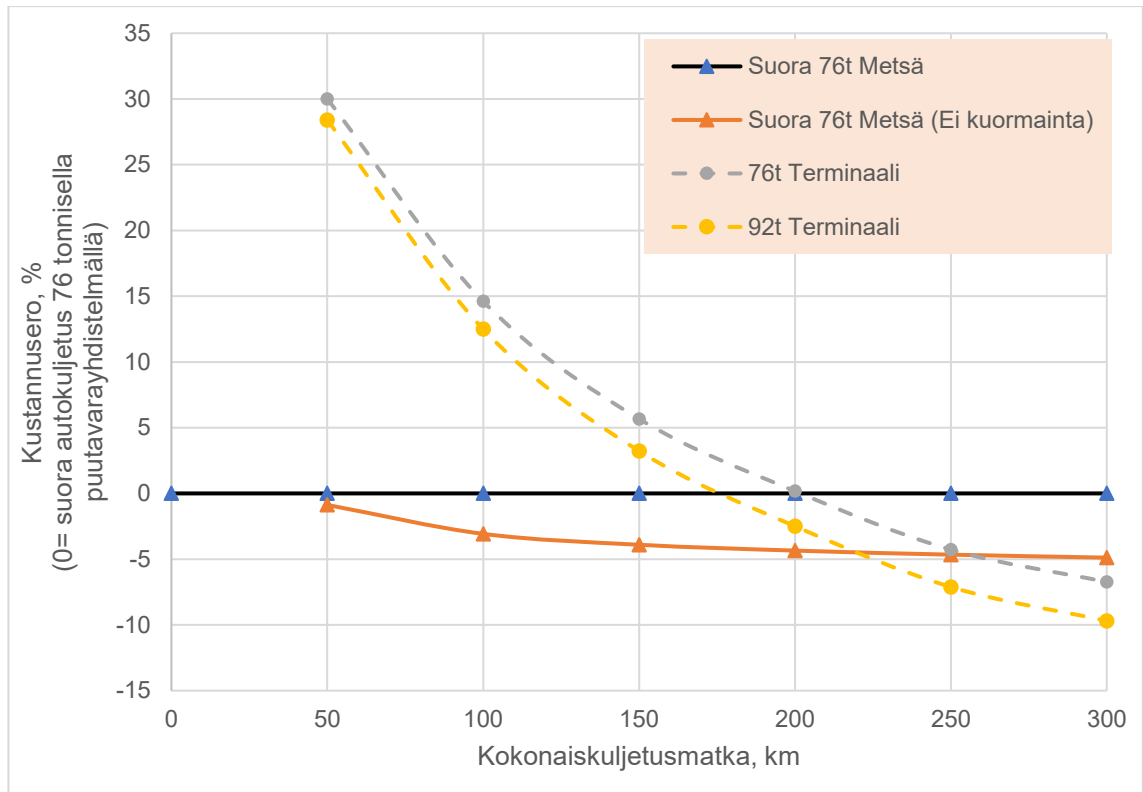
92-tonninen terminaaliauto toisi kustannussäästöjä n. 175 km:n jälkeen ja 76-tonninen terminaaliauto taas 200 km:n jälkeen. 92-tonnisella terminaaliautolla säästöä kertyisi 200–300 kilometrin matkalla 2,5–9,7 %, kun taas 76-tonnisella terminaaliautolla 250–300 km matkalla kertyisi säästöä 4,3–6,7 %.

Suora 76 t Metsä (Ei kuormainta)		76 t Terminaali		92 t Terminaali	
Kuljetusetäisyys, km	Ero %	Kuljetusetäisyys, km	Ero %	Kuljetusetäisyys, km	Ero %
50	-0.9 %	50	30.0 %	50	28.4 %
100	-3.1 %	100	14.6 %	100	12.5 %
150	-3.9 %	150	5.7 %	150	3.2 %
200	-4.3 %	200	0.2 %	200	-2.5 %
250	-4.7 %	250	-4.3 %	250	-7.1 %
300	-4.9 %	300	-6.7 %	300	-9.7 %

Taulukko 7. Kuljetuskustannus vertailu (%/km) polttoaineen hinnan ollessa 3 €/L.



Kuvio 7. Kokonaiskustannusten vertailu eri kuljetusketjujen välillä polttoaineen hinnan ollessa 3 €/L



Kuvio 8. Kustannusvertailut eri kuljetusmatkoilla kuljetettua tonnia kohden. Erotus suoraan kuljetukseen 76-tonnisella yhdistelmällä %, Polttoaineen hinta 3 €/L

8 Pohdinta

8.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella tarkasteltavista kuljetusketjuista kaikilla simuloituilla polttoainehinnoilla suora 76-tonninen puutavara-auto on kustannustehokkain ratkaisu keskimääräisellä autokuljetusmatkalla tehtaalle. Suora 76-tonninen puutavara-auto pysyy kustannustehokkaimpana aina 170 km:n kuljetusmatkoille vertailussa käytetyillä polttoainehinnoilla. Tämän jälkeen terminaaliketjut alkavat tuottamaan kustannussäästöjä.

Kun verrataan kustannuslaskelmien tuloksia suoraan 76-tonniseen puutavara-autoon, kuormaimen poisjättäminen 76-tonnisella puutavara-autolla olisi kannattavaa jo 50 km:n kuljetusmatkoilla. Kuitenkin kuormaimen poisjättäminen vaatii

aina tuotantolaitoksen oman purkupalvelun. Lisäksi se vaatii sille sopivan säilytyspaikan, ja puutavara-auton on myös tultava hakemaan kuormain samasta paikasta. Tämä estää monipisteajon ja meno-paluu kuljetusten toteuttamisen.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että hyötykuorman ja kokonaiskuljetusmatkan kasvaessa voidaan saavuttaa kustannussäästöjä. Myös polttoaineen hinnalla todettiin olevan vaikutusta eri kuljetusketjujen kannattavuuteen. Polttoaineen hinnan noustessa terminaaliratkaisujen (76 t ja 92 t) käyttämisen kannattavuus nousi. Venäläisen ja Poikelan (2022, 36) raportin mukaan 94-tonnisella HCT-yhdistelmällä voidaan saavuttaa 4–9 % säästöä polttoaineen kulutuksessa tuoretonnia kohden, kun yhdistelmää verrataan 76-tonniseen puutavara-autoon.

92-tonnisella puutavarayhdistelmällä voidaan saavuttaa säästöä polttoaineen kulutuksessa 8–11 % verrattaessa tätä 76-tonniseen puutavara-autoon, kuten Kärhä ym. (2023, 7) ovat tutkimuksessaan todenneet. Puutavarankuljetusalalla toimivat yrittäjät toivovat valtiolta tukea polttoaineiden hintojen nousun vuoksi (Rantala 2022, 31). Valtio voisi tukea kuljetusalaa ottamalla käyttöön ammattidieselin. Aiheesta on tehty SKALin toimesta esitys valtiovarainministerille vuonna 2022 (SKAL 2023). Ammattidieselin avulla pystyttäisiin alentamaan polttoaineen hintaa ja täten parantamaan kilpailukykyä.

Verrattaessa kuljetuskustannuksia suoraan 76 t puutavara-autoon, terminaaliyhdistelmät (92 t ja 72 t) toisivat kustannussäästöjä 200 km:n molemmin puolin. Polttoaineen hinnan kasvaessa kustannussäästöjä alkaa syntyään jo lyhyemmillä kuljetusmatkoilla. Venäläisen ja Poikelan (2022, 21) raportissa 94 t terminaalialauto olisi kustannustehokkaampi vaihtoehto vähintään kuljetusmatkan ollessa 125 km. Tällöin säästöä syntyisi 0,2–8,6 %. (Venäläinen & Poikela 2022, 21).

Hyödyntämällä terminaaliratkaisuja voidaan saavuttaa kustannussäästöjä. Tarastelussa on kuitenkin huomioitava terminaaliketjujen vaatimat vaatimukset. Tässä yhteydessä vaatimuksilla tarkoitetaan alkukuljetusta terminaaliin, terminaalien sijoittumista maantieteellisesti ja lastausmenetelmiä terminaalissa. Eritoten HCT yhdistelmien käyttömahdollisuuteen vaikuttavat merkittävästi

rajallinen tieverkosto ja poikkeuslupakäytännöt. Palanderin ja Kärhän (2017, 427) tutkimuksessa todetaan, että raskaamman kuljetuskaluston hyödyntäminen lähtee liikkeelle kuljetusyrittäjien halusta. Lisäksi tutkimustulokset osoittavat, että kuljetuskustannukset kehkeytyvät sitä suuremmiksi toimitettua yksikköä kohden, mitä pienempi toimitettu kuorma on ollut. Täten suuremmilla kuormakoilla pystytään vähentämään kuljetuksesta syntyviä kustannuksia. (Seuri 2022, 21.)

Terminaaliyhdistelmien vaatimat terminaalit voivat tarvittaessa toimia puskurivarastoina etenkin kelirikkoaikoina, ja tämä on selvä etu terminaaliyhdistelmien käytölle. Opinnäytetyössä mainittiin aiemmin kuljettajapula yhtenä kaukokuljetuksen pullonkaulana. Terminaalikuljetukset mahdollistaisivat muiden kuorma-autokuljettajien hyödyntämisen ajoissa, koska kuljettajalta ei vaadita osaamista kuormaimen kanssa toimimisesta ja metsäautoteillä ajamisesta. Toisaalta Rantalán (2022, 31) mukaan koko puutavarankuljetusalaa kohtaan täytyisi saada asenne muutos, jotta alaa saataisiin houkuttelevammaksi ja arvostetummaksi ja näin saataisiin myös uusia työntekijöitä.

Toinen tutkimuskysymyksistä keskittyi tarkasteltavien kuljetusketjujen toteutuskelpoisuuteen käytännön tasolla. Tutkimus osoitti, että toteutuskelpoisin kuljetusketju on vielä 76-tonninen puutavara-auto, joka on tällä hetkellä yleisin raakapuun kaukokuljetusmenetelmä Suomessa. Kuljetusmenetelmän toteutuskelpoisuutta puoltava tekijä on valmis ja yksinkertainen toimintamalli. Terminaaliratkaisut vaativat useimmissa tapauksissa hieman erilaisen kaluston ja toimintamallin. Esimerkiksi uuden kaluston saatavuus on tällä hetkellä heikkoa, ja yrittäjät voivat joutua odottamaan uutta kalustoa jopa vuosia. Puolestaan 76 t puutavara-autoja on saatavilla, mutta suurimpana tulevaisuuden haasteena on ammattitaitoisten metsäautokuljettajien saatavuus.

HCT-puutavarayhdistelmät tulevat olemaan avainasemassa puutavaran kaukokuljetuksen kustannustehokkuuteen. Kuitenkin tällä hetkellä poikkeuslupaprosessit vaikeuttavat niiden käytön yleistymistä. Tämän lisäksi Suomen tiestön kunto ja vanhat painorajoitettut sillat rajaavat niiden käyttömahdollisuuksia. Vastuullisuus- ja ympäristökysymykset korostuvat jatkuvasti enemmän, ja näihin

pystytään vastaamaan myös HCT-ajoneuvoyhdistelmillä. Tutkimusten perusteella päästötehokkuus kasvaa, kun siirrytään suurempiin ajoneuvoihin (Palander, Haavikko, Kortelainen, Kärhä & Borz 2020, 427). Seurin (2022, 21–22) mukaan raakapuun kaukokuljetus vaatii maailmanlaajuisesti alueellista tutkimusta siitä, onko enimmäispainojen nostamiselle mahdollisuutta. Näin kaukokuljetuksesta olisi mahdollista saada ekologisesti ja taloudellisesti kestävämpää. Lisäksi tutkimuksessa todetaan, että Suomi on kilpailukykyisessä asemassa puutavaran kaukokuljetuksessa moneen muuhun maahan verrattuna. (Seuri 2022, 21–22.)

8.2 Tulosten luotettavuus

Lähdeviittausten tulee olla selviä ja täsmällisiä sekä tiedonlähteet alkuperäisiä (Vilkkä & Airaksinen 2003, 78). Tässä opinnäytetyössä lähteiden käytössä on oltu täsmällisiä, ja noudatettu niihin liittyviä oppilaitoksen antamia ohjeita.

Työssä käytetyt lähteet ovat laadukkaita ja luotettavia. Lisäksi opinnäytetyön aihetta on tarkasteltu kattavasti usean eri teorialähteen avulla. Vilkkä ja Airaksinen (2003, 76–77) toteavat, että lähteiden käytössä keskeisintä on, että ne palvelevat juuri kyseisen työn tekemistä. Opinnäytetyöhön valitut lähteet ovat luonteeltaan sellaisia, että ne palvelevat juuri tämän työn tekemistä ja aihetta. Opinnäytetyössä on noudatettu akateemisen kirjoittamisen periaatteita.

Tämän tutkimuksen luotettavuuden arvioinnissa on otettava huomioon kustannuslaskelmiin vaikuttavat tekijät, koska käytetyt kustannusoletukset ja arvot vaikuttavat kustannuslaskelmista saataviin tuloksiin. Laskelmissa käytetyt arvot ovat kerätty kesän 2022 aikana, joten niihin tulee suhtautua kriittisesti. Kustannuslaskelmissa pitäisi käyttää aina mahdollisimman ajankohtaisia kustannuksia, jotta laskelmat olisivat mahdollisimman tarkkoja.

Tutkimuksessa olisi voitu myös hyödyntää tilastollisia menetelmiä. Esimerkiksi Kruskal-Wallis H -testin avulla olisi pystytty tutkimaan kuljetuskustannuksen erojen merkitsevyyttä eri kuljetusketjujen välillä. Lisäksi tutkimuksessa olisi voitu tehdä myös herkkyyksianalyysyjä, joiden avulla olisi pystytty tutkimaan tekijän

arvon kasvun tai laskun vaikutusta taloudellisen analyysin lopputulokseen. Kuitenkin tutkimuksen pienen otoskoon vuoksi tilastollisia menetelmiä ei käytetty. Niiden ei koettu tuovan lisäarvoa juuri tälle tutkimukselle.

8.3 Jatkotutkimustarve

Jatkotutkimustarpeet ja kehitysideat kohdistuvat vielä tarkempiin kustannuslaskelmiin. Työtä voisi jatkojalostaa esimerkiksi tekemällä vertailua erilaisilla puutavara-autoyhdistelmillä tai kuljetusmetodeilla. Kuljetusmatkojen kasvaessa vertailussa voitaisiin huomioida myös mahdollisuudet käyttää rauta- tai vesitiekuljetusta. Kuitenkin näiden kahden kaukokuljetusmenetelmän luotettava vertailu on haastavaa, koska niiden käyttö on rajallista. Menetelmiä voidaan hyödyntää tällä hetkellä vain paikoilla, joihin pystytään toimittamaan raakapuuta alus- ja rautatiekuljetuksella.

Tutkimusta olisi mielenkiintoista tarkastella myös päästöjen näkökulmasta. Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Näin ollen olisi tärkeää tarkastella myös vaihtoehtoisia käyttövoimia, kuten sähkö, vety, kaasu ja biodiesel. Puutavaran kaukokuljetukseen liittyvien haasteiden ja pullonkaulojen vuoksi on olennaista tarkastella ja pohtia erilaisia kuljetusratkaisuja.

Lähteet

- Aalto, T. 2015. Haastattelututkimus LogForce-ohjelmistopalvelusta. Kuljetusyrittäjien liiketoimintamallit ja niiden kehitystarpeet ohjelmistopalvelulle. Tampereen ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/96986/Aato_Teemu.pdfsequence=2&isAllowed=y. 20.3.2023.
- Ala-Kutsi, S. 2022. Puutavara-autotilastot 2021 – Ruotsalaiset jylläävät. Metsätans. 13.04.2022. <https://metsatrans.com/artikkeli/2851/puutavara-autotilastot-2021-ruotsalaiset-jyllaavat>. 13.4.2023.
- Ala-Kutsi, S. 2023. Puuvara-autotilastot 2022 – Myynti piristyi. Metsätans. 21.02.2023. <https://metsatrans.com/artikkeli/3845/puutavara-autotilastot-2022-myynti-piristyi>. 13.4.2023.
- Alatalo, K., Heikkilä, S., Hirvonen, V., Kärki, E., Lahtela, V., Niemelä, H., Tapio, O-L., Parkkonen, H., Rummukainen, H., Saarentaus, T., Terävä, S., Oijala, T., Hänninen, E., Pennanen, O., Rajamäki, J. & Väkevä, J. 1997. Puutavaran autokuljetus. Metsätehon Opas.
- Ammattilehti. 2011. Mikä on "siirtoauto" ja missä sitä käytetään? Ammattilehti. 14.06.2011. <https://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?a100=2687>. 21.3.2023.
- Bhimani, A., Horngren, C.T, Datar, S.M. & Rajan, M.V. 2019. Management and Cost Accounting. Englanti: Pearson Education Limited.
- Hakkarainen, A. 1959. Varastot puutavaran autokuljetuksen kustannustekijänä. Metsätehon tiedoituksia 153. Helsinki.
- Holm, P., Hietala, J. & Härmälä, V. 2015. Liikenneverkko ja kansatalous: Suomi-Ruotsi vertailua. Pellervon taloustutkimus PTT. 97 s.
- Itämies, I. 2019. Eri kustannuslaskennan menetelmät pienissä ja keskisuurissa yrityksissä sekä niiden implementointiin liittyvät haasteet ja vaikutukset. Oulun yliopisto. Kandidaatintutkielma.
- Jyky.fi. 2023. Puutavaraperävaunu <https://jyky.fi/puutavaraperavaunu/>. 12.4.2023.
- Lapp, T. & Iikkanen, P. 2017. HCT-ajoneuvojen liikennejärjestelmävaikutukset. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä.
- Lapp, T., Iikkanen, P., Weckström, C. & Mäkinen, S. 2022. Rataverkon raaka-puun kuormauspaikkaverkon tilanne ja tulevaisuuskuva. Liikennevirasto, liikenne ja maankäyttö -osasto. Väyläviraston julkaisuja 29/2022. Helsinki 2022.
- Lepistö, O. 2022. Kustannuslaskenta nykypäivän liiketoimintaympäristössä – Menetelmät ja niiden kehittyminen suomalaisissa yrityksissä. Vaasan yliopisto. Laskentatoimen ja rahoituksen akateeminen yksikkö. pro gradu -tutkielma. Uwasa_2022_Lepistö_Oona(1).pdf. 15.4.2023.
- Liimatainen, H., Pöllänen, M. & Nykänen, L. 2020. Impacts of increasing maximum truck weight – case Finland. Eur. Transp.
- Luonnonvarakeskus. 2023. Metsätieteen kantavuuden uudet seurantamenetelmät – Take me home country road. <https://www.luke.fi/fi/projektit/take-me-home-country-road>. 31.5.2023.
- Keränen, S., Laitila, J., Malinen, J. 2017. Käytettyjen puutavara-autojen ja -nostureiden jälleenmyyntiarvo sekä ominaisuudet Euroopan eri osissa.

- Koneviesti. 2017. Kausivaihtelu ongelmana metsätaloudessa. 6.10.2017. <https://www.koneviesti.fi/uutiset/5fa05b37-9a2a-5403-b8b5-c12106c22a0c>. 7.5.2023.
- Korpilahti, A. & Koskinen, O.H. 2012. Puutavaran autokuljetus tehokkaamaksi. Metsätehon tulosalvosarja 1/2012. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiU2u-lx5_AhUMjos-KHWWhXDvIQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fmetsateho.fi%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F01%2FTulosalvosarja_2012_01_Puutavaran_autokuljetus_tehokkaamaksi_ak.pdf&usg=AOvVaw1mS0qFsp69SrrqnhXNFmOR. 31.5.2023
- Kärhä, K., Tamminen, T., Leinonen T. & Suvinen, A. 2017. Seasonal Variation of Production in Forest Industries and Wood Procurement in Finland. Puunkorjuun kausivaihtelu ja sen vähentäminen (metsateho.fi).
- Kärhä, K. 2023. Puutavaran kaukokuljetus. Luento Itä-Suomen yliopistossa 9.1.2023.
- Kärhä, K., Kortelainen, E., Karjalainen, A., Haavikko, H., Palander, T. 2023. Fuel consumption of a high-capacity transport (HCT) vehicle combination for industrial roundwood hauling: a case study of laden timber truck combinations in Finland. *International Journal of Forest Engineering* (Volume 32, Issue 2), 284–293.
- Marttila, J. 2010. Puutavaranosturin asennus puutavara-autoon. Tampereen ammattikorkeakoulu. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/handle/10024/16663>. 26.5.2023.
- Metsähallitus. 2022. Ilmasto-ohjelma kannusti Metsähallitusta jatkamaan uutta seitsemän vuoden jälkeen. Metsähallitus. <https://www.metsa.fi/tiedotteet/ilmasto-ohjelma-kannusti-metsahallitusta-jatkamaan-uittoa-seitsemän-vuoden-jalkeen/>. 10.3.2023.
- Metsähallitus. 2022. Metsähallituksen puuta kuljetaan nyt biokaasuautolla. Metsähallitus. <https://www.metsa.fi/tiedotteet/metsahallituksen-puuta-kuljetaan-nyt-biokaasuautolla/>. 23.5.2023.
- Metsäkeskus. 2023. TIESIT – Puu- ja energihuollon turvaaminen. <https://www.metsakeskus.fi/fi/hankkeet/tiesit-puu-ja-energiahuollon-turvaaminen>. 10.5.2023.
- Metsätrans. 2018. Upouusi HCT-rekka kuljettaa nyt puita Stora Enson tehtaille. Metsätrans. 21.12.2018. <https://metsatrans.com/artikkeli/1845/upouusi-hct-rekka-kuljettaa-nyt-puita-stora-enson-tehtaille>. 10.5.2023.
- Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2001. Johdon laskentatoimi. 3. uudistettu painos. Helsinki. Edira Oyj.
- Nousiainen, V. 2012. Puutavara autokuljetuksen pullonkaulat nykytoiminta ympäristössä. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Pro gradu -tutkielma. 92 s.
- Nurmi, T. 2022. Maailman ensimmäinen sähköinen puuauto Ruotsissa. Metsätrans. 25.07.2022. <https://metsatrans.com/artikkeli/3176/maailman-ensimmainen-sahkoinen-puuauto-ruotsissa>. 23.5.2023
- Nurmi, T. 2022. Miksi puutavara-autonkuljettajat vaihtavat alaa, osa 3: ”Saman rahan saa helpommallakin.”. Metsätrans 06.05.2022. <https://metsatrans.com/artikkeli/2934/miksi-puutavara->

- autonkuljettajat-vaihtavat-alaa,-osa-3:-saman-raham-saa-helpom-mallakin. 30.4.2023.
- Närhi. 2023. KESLA 2109Z. <https://narhi.com/forest/kesla/z-nostrit/kesla2109z>. 14.4.2023.
- Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2015. Kehittämistyön menetelmät – Uudenlaista osaamista liiketoimintaa. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Opas: Raakapuun kuormaaminen raakapuuvaunuun. 2020. VR Transpoint. https://vrgroup.studio.crasman.fi/file/dl/i/5ra08w/6lvP2A0mXsc3sjK01qYWA/VRTranspoint_raakapuu_lastausopas_A4_2020.pdf. 26.3.2023.
- Ovaskainen, H. & Schildt, V. 2022. Suunnittelun tasot. Metsätehon opas. <https://puuhuolto.fi/korjuun-suunnittelu/johdanto/suunnittelun-tasot/>. 23.4.2023.
- Palander, T., Säynäjoki, T., & Högnäs, T. 2006. Puutavaran autokuljetuksen uudet organisointimallit. Metsätieteen aikakauskirja 1/2006.
- Palander, T. & Kärhä, K. 2017. Potential Traffic Levels after Increasing the Maximum Vehicle Weight in Environmentally Efficient Transportation System: The case of Finland. Journal of sustainable Development of Energy, Water and Environments Systems.
- Palander, T. Haavikko, H. Kortelainen, E. Kärhä, K. & Borz, S.A. 2020. Improving Environment and Energy Efficiency in Wood Transportation for a Carbon-Neutral Forest Industry.
- Palander, T. 2023. Puunhankinnan johtamisen perusteet. Luento Itä-Suomen yliopistossa. 6.3.2023.
- Peltonen, M. 1991. Uiton historia -Tukinuitosta Suomessa 1800-luvun puolivälistä 1980-luvulle. Helsinki: Tekniikan museo.
- Purhonen, I. 2019. Puuhuolto – uitto-opas. Päivitetty 6.11.2019. WWW-dokumentti. <https://puuhuolto.fi/uitto-opas/johdatus-uittoon/>. 8.4.2023
- Puuhuolto. 2016 c. Kuljetusten infrastruktuuriverkko. <http://puuhuolto.fi/autokuljetusopas/kaukokuljetus/kuljetusten-infrastruktuuriverkko/>. 8.4.2023.
- Puuhuolto. 2023. Auto, juna ja vesitiet. <https://puuhuolto.fi/woodforce-logforce/logforce/suunnittelu-ja-kuljetusten-ohjaus/auto-juna-vesitiet/>. 6.5.2023.
- Rantala, T. 2022. Pullonkaulat ja tehostamismahdollisuudet puutavaran kaukokuljetuksessa Suomessa vuonna 2022. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Kandidaatintutkielma.
- Raudasoja, K. & Johansson, M-L. 2009. Esimies talouden johtajana julkishallinnossa. Helsinki: WSOY pro Oy.
- Rekilä, M. & Räsänen, T. 2008. Metsätehon katsaus 33. Laajavastuinen yrittäjyys puunhankinnassa. Metsäteho Oy.
- Seppälä, P. 2019. Metsätehon tulosalvosarja 10/2019. Puun kotimaan vesikuljetuksen lastauspaikat. Metsäteho Oy.
- Seuri, M. 2022. Puutavara-autojen maksimipainot raakapuun kuljetuksessa Euroopassa sekä muualla maailmassa tärkeimmissä metsätalouksissa. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Kandidaatintutkielma.
- Silvennoinen, S. 2022. Puutavaran rautatiekuljetusten toimintamallit. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Kandidaatin_tutkielma_SilvennoinenSanteri.pdf. 30.5.2023.
- Silvennoinen, S. 2023. Puutavaran rautatiekuljetusten toimintamallit. Metsätehon tulosalvosarja 2/2023. Metsäteho Oy.


- SKAL. 2023. Metsäalan Kuljetusyrittäjät ry. <https://skal.fi/jasenyhdistykset/metsaalan-kuljetusyrittajat-ry/>. 6.5.2023.
- SKAL. 2023. Maanteiden tavaraliikenteen ja logistiikan keskeiset käsitteet, lyhenteet ja suureet. <https://skal.fi/kuljetusala/keskeiset-kasitteet/>. 30.4.2023.
- SKAL. 2023. Ammattidiesel. <https://skal.fi/vaikuttaminen/energia-ja-verotus/ammattidiesel/>. SKAL. 1.6.2023
- Sorsa, J. 2013. Raakapuun aluskuljetuksen käyttömahdollisuudet Pielisellä. Karelia-ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/handle/10024/55395>.
- Stora Enso 2023. Stora Enso pienentää hiilijalanjälkeään aloittamalla puun uiton. <https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/press-releases/2022/11/stora-enso-pienentaa-hiilijalanjalkeaan-aloittamalla-puun-uiton>. 14.3.2023.
- Strandström, M. 2022. Puunkorjuun ja kaukokuljetus vuonna 2021. Metsäteho Oy.
- Traficom. 2020. Pidemmät ja raskaammat HCT-rekat. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/pidemmat-ja-raskaammat-hct-rekat>. 10.4.2023.
- Traficom. 2023. Maantieverkon kunto. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/maantieverkon-kunto>. 11.4.2023.
- Tieliikennelaki 10.8.2018/729. 14.3.2023.
- Tolppa, T. 2014. Laajavastuinen yrittäjyys. Metsähyvinvointi-blogi. <http://metsahyvinvointi.fi/blog/laajavastuinen-yrittajyys/>. 13.4.2023.
- Tuutijärvi, M. 2018. Puutavara-ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu, mitoitustarkastelut ja mittaustulokset.
- UPM METSÄ 2023. Uitto on ympäristöystävällinen puun kuljetusmuoto. <https://www.upmmetsa.fi/tietoa-ja-tapahtumia/artikkelit/uitto-on-ymparistoystavallinen-puun-kuljetusmuoto/>. 14.3.2023.
- Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä annetun asetuksen muuttamisesta 31/2019. 14.3.2023
- Venäläinen, P. 2016. Autokuljetusopas. Metsäteho Oy. Saatavissa: <https://puuhuolto.fi/autokuljetusopas/>. 11.1.2023.
- Venäläinen, P. 2017 Terminaalit tärkeä osa puulogistiikkaa. Metsäteho. <https://www.metsateho.fi/terminaalit-tarkea-osa-puulogistiikkaa/>. 12.4.2023.
- Venäläinen, P., Alanne, H., Ovaskainen, H., Poikela, A. & Strandström, M. 2018. Kausivaihtelun kustannukset ja vähentämiskeinot puun toimitusketjussa. Metsäteho Oy.
- Venäläinen, P. 2018. Kotimaisen puun aluskuljetukset. Metsätehon tuloskalvosarja 9/2018. Metsäteho Oy.
- Venäläinen, P., Strandström, M. & Poikela, A. 2021. Puun korjuun ja kuljetusten päästöjen nykytila ja vähennyskeinot. Metsätehon tuloskalvosarja. Metsäteho Oy.
- Venäläinen, P., Melkas, T., Ovaskainen, H. & Strandström, M. 2021. Varastointiopas. Metsäteho Oy. <https://puuhuolto.fi/varastointiopas/>. 8.3.2023.
- Venäläinen, P. & Poikela, A. 2022. Puutavara- ja hakeajoneuvojen massojen noston vaikutukset. Metsätehon raportti 265.
- Venäläinen, P. 2023. Puutavaran HCT-yhdistelmien kokeilut. <https://www.metsateho.fi/hct/>. 10.4.2023.

- Viitamäki, K. 2022. Kuljetuskaluston ja toimintaympäristön vaikutus puutavaran autokuljetuksen operaatioihin ja kannattavuuteen: yrittäjien kokemuksia ja mielipiteiden analyysi. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Pro gradu -tutkielma. <https://erepo.uef.fi/handle/123456789/27883>. 13.4.2023
- Vilka, H. & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Vilka, H. 2007. Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet. Helsinki: Kustanneosakeyhtiö Tammi
- Vilkuna, V. 2021. Siirtoauton ja metsäauton saumaton yhteistyö. <https://met-satrans.com/artikkeli/1689/siirtoauton-ja-metsaauton-saumaton-yhteistyo>. 10.4.2023.
- Väylävirasto. 2021. Rataverkko. <https://vayla.fi/vaylista/rataverkko>. 30.5.2023.
- Väätäinen, J., Palander, T. & Harstela, P. 2002. Puunhankinnan meno-paluu-kuljetusten optimointimalli. Metsätieteen aikakauskirja 1/2002: 5–17.
- Väätäinen, K., Anttila, P., Laitila, J., Nuutinen, Y. & Asikainen, A. 2014. Aines- ja energiapuun kaukokuljetuksen tulevaisuuden haasteet ja teknologiat. Metlan työraportteja. Metsäntutkimuslaitos.
- Väätäinen, K., Anttila, P., Eliasson, L., Enström, J., Laitila, J., Prinz, R. & Routa, J. 2021. Rounwood and Biomass Logistics in Finland and Sweden. Croatian Journal of Forest Engineering. Volume 43 No.1.
- Ylä-Pöntinen, J. 2022. Vaihtoehtoiset energialähteet kuorma-autossa ja niiden mahdollisuudet puutavara-autoissa Suomessa tulevina vuosikymmeninä. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Kandidaatintutkielma.

Kustannuslaskelma pohja

					KUSTANNUSLASKELMA n:o	1	
					6.5.2023		
YRITTÄJÄ	9-akselinen						
KULJETUSLAJI:	Puutavara-auto		AUTON ALUSTA		€	205 000	
AJONEUVO:	4-aks.k-auto+5-aks.pv		AUTON VARUSTEET		€	45 000	
KOKONAISPAINO	76 T		PERÄVAUNU		€	107 000	
HYÖTYKUORMA	50 T		RENKAAT A	12	750	-9 000	
AJOPÄIVIÄ	260 D/VUOSI		RENKAAT	20	400	-8 000	
KUORMAMÄÄRÄ	3.0 KPL/PÄIVÄ		HINTA RENKAITTA		€	340 000	
KEIKKA-AIKA	4.5 H/KUORMA		KUORMAIN		€	95 000	
KULJETUSETÄISYYS			100 KM		100 KM		
KUORMAMÄÄRÄ VUODESSA					780 KPL/A		
AJOSUORITE					156 000 KM/A		
AUTON KÄYTTÖMATKA			JÄÄNNÖSARVO		624 000 KM		
AUTON PITOAIKA	4.0 VUOTTA		25 000	4.0 A			
PERÄVAUNUN PITOAIKA	8.0 VUOTTA		7 000	8.0 A			
KUORMAIMEN PITOAIKA	5.0 VUOTTA		5 000	5.0 A			
POLTTOAINEEN KULUTUS	59.5 L/100 KM				59.5 L/100 KM		
RENKAIDEN KESTOMATKA	120 000 KM				120 000 KM		
KULJETUSSUORITE					39 000 YKS/A		
KÄYTTÖTUNNIT					3 510 H/A		
PALKKATUNNIT ED.TUNN.			+3 %		3 615 H/A		
KULJETAJAN PALKKA	18.18 €/H				65 730 €/A		
VÄLILL. PALKKAKUSTANN	67 %				44 039 €/A		
PÄIVÄRAHAT					5 135 €/A		
TYÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ					114 905 €/A		
POLTTOAINE	199 snt/L				118.4 snt/KM		
VOITELUAINE	2 000 €/VUOSI				1.3 snt/KM		
KORJAUS/HUOLTO	42 000 €/VUOSI				26.9 snt/KM	(sis. AdBlue)	
RENKAAT	PINN.	300 €/PINNOITUS			10.8 snt/KM		
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET					157.4 snt/KM		
YHTEENSÄ					245 519 €/A		
PÄÄOMAN POISTO					83 500 €/A		
OPO:N MÄÄRÄ	60 000 €						
OPO:N TUOTTO	3 %				1 800		
VIERAAN PO:N KORKO	3 %				9 800 €/A		
VAKUUTUSMAKSUT	11 000 €/A				11 000 €/A		
LIIKENNÖMISMAKSUT	1 660 €/A				1 660 €/A		
HALLINTOKUSTANNUKSE	7 000 €/A				7 000 €/A		
YLLÄPITOKUSTANNUKSET	4 000 €/A				4 000 €/A		
KORVAUKSETON AJO	2 000 KM/A				1 889 €/A		
KIINTEÄT KUSTANN. YHTEENSÄ					120 649 €/A		
AJONEUVON KUSTANNUKSET					481 072 €/A		
TOIMINTA YLIJÄÄMÄ	3.0 %				14 879 €/A		
YHTEENSÄ					495 950 €/A		
KILOMETRIKUSTANNUS					3.18 €/KM		
TONNIKUSTANNUS					12.72 €/T		
KUORMAKUSTANNUS					636 €/KUORMA		
					141 €/tunti		

NB-Nordin: Costing models for road, rail and sea transport of roundwood

B2. Cost calculation model for road transport of roundwood by timber truck - distance distribution model					
					
Case-area	AREAS COLOURED BY BLUE ARE USER DEFINED				
test environment	AREAS COLOURED BY GREEN INCLUDE FORMULAS				
	AREAS COLOURED BY DARK GREEN ARE SUM/AVERAGE VALUES				
	Transport distance distribution, km				
Distribution classes, km	-75	76-125	126-175	176-225	226-
Average transport distance of each class, km	25	75	125	175	275
Driving between decks, km	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Driving fully loaded, km	25.0	75	125	175	275
Share of driving unloaded from transp. dist. (back-hauling effect), %	100	100	100	100	100
Driving unloaded, km	25	75	125	175	275
Load cycle distance, km	50	150	250	350	550
Time proportion of operating hours per year, %	100	100	100	100	100
Operating hours, h	4 230	4 230	4 230	4 230	4 230
Number of load cycles per year	1895.8	1187.3	867.8	684.5	481.6
Transported tons, ton	123 227	77 175	56 404	44 492	31 304
c. Shares and distances of road classes					
c1. Distance of public gravel roads, km	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c2. Distance of private roads (e.g. forest roads), km	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c3. Distance of public paved roads, km	50.0	150.0	250.0	350.0	550.0
d. Average speeds					
d1. private roads, km/h	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8
d2. public gravel roads, km/h	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
d3. public paved roads, km/h	64.0	71.0	73.0	74.0	75.0
e. Duration of time element per load cycle					
e1. Loading, h	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
e2. Unloading, h	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
e3. Other time, h	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
e4. Driving fully loaded, h	0.39	1.06	1.71	2.36	3.67
e5. Driving unloaded, h	0.39	1.06	1.71	2.36	3.67
e6. Driving between decks, h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
e7. Load cycle time, h	2.231	3.56	4.87	6.18	8.78
e8. Additional work time for drivers, % of the load cycle time	3	3	3	3	3
f. Average fuel consumption, l/100km					
f1. During fully loaded, l/100km	72.0	69.0	68.0	67.0	66.0
f2. During between decks, l/100km	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
f3. During unloaded, l/100km	48.0	46.0	45.0	44.0	43.0
f4. During crane work (and idle running), l/h	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0