

Metsätehon raportti 279
(aiheen 5. väliraportti)
22.4.2026

Puutavara- ja hakeajoneuvojen massojen noston vaikutukset

Pirjo Venäläinen
Asko Poikela

ISSN 1796-2374 (Verkkajulkaisu)

METSÄTEHO OY
Vernissakatu 1
01300 Vantaa

www.metsateho.fi

Puutavara- ja hakeajoneuvojen massojen noston vaikutukset

Pirjo Venäläinen
Asko Poikela

Metsätehon raportti 279 (aiheen 5. väliraportti)
22.4.2026

ISSN 1796-2374 (Verkojulkaisu)

© Metsäteho Oy

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	4
2 TUTKITUT KULJETUSVIRRAT JA AJONEUVOYHDISTELMÄT	5
2.1 Kotimaisen puutavaran ja hakkeen autokuljetukset	5
2.2 Tutkitut HCT- ja verrokkiyhdistelmät	5
2.3 Yritysten näkemykset HCT-yhdistelmistä.....	12
2.4 HCT-tyyppiyhdistelmät.....	13
3 YHDISTELMIEN MASSOJEN NOSTON VAIKUTUKSIA	14
3.1 Kuormien määrä.....	14
3.2 Kuljetustehokkuus	15
3.3 Vaikutus rautatiekuljetusten käyttöön.....	17
3.4 Kuljetuskustannukset.....	18
3.4.1 Kuljetusten kustannustekijät ja tietojen keruu	18
3.4.2 Yksittäisten yhdistelmien kustannusvertailut	22
3.4.3 Valtakunnalliset kustannuslaskelmat	26
3.5 Ajoneuvojen kestävyys	28
3.5.1 Vetolaitteet	29
3.5.2 Renkaat.....	30
3.6 Polttoaineen kulutus ja päästöt.....	32
3.6.1 Polttoainekulutukseen vaikuttavat tekijät ja tietojen keruu... 32	
3.6.2 Kuljetusreitien vaikutus polttoaineen kulutukseen	34
3.6.3 Polttoaineen kulutusfunktiot.....	36
3.6.4 Kuljetusten polttoaineen kulutusvertailut.....	38
3.6.5 Ajovastusmittauksiin ja simulointiin perustuvat kulutus- ja päästölaskelmat	41
3.6.6 Valtakunnalliset kulutus- ja päästölaskelmat.....	42
3.6.7 Eri päästövähennyskeinojen hyödyntäminen HCT-yhdistelmissä	45
3.7 Tie- ja siltarasitus.....	46
3.7.1 Tiet	46
3.7.2 Keinoja vaikuttaa tierasitukseen	59
3.7.3 Sillat	60
3.8 HCT-käytävät ja -terminaalit	63
3.8.1 HCT-käytävien määrittäminen	63
3.8.2 Yhdistelmien joustava käyttö HCT-käytäväverkolla.....	67
3.8.3 HCT-terminaalit	68
3.8.4 HCT-kuljetusten seuranta- ja rajoitusjärjestelmät.....	71
3.9 Liikenneturvallisuus	71
3.10 Kuljettajatarve.....	73
4 JOHTOPÄÄTÖKSET	74
LÄHTEET	80
LIITTEET	

TIIVISTELMÄ

Suomessa on ollut käynnissä metsäsektorin HCT-yhdistelmien kokeiluja vuodesta 2014 lähtien. Tässä Metsäteho Oy:n viidennessä väliraportissa on kuvattu yli 76-tonnisten yhdistelmien vaikutuksia puutavara- ja hakekuljetuksissa. Selvitys pohjautuu sen laatimisvaiheessa käytävissä oleviin tutkimustuloksiin ja -aineistoihin. Massojen noston vaikutuksia on tarkasteltu 1) tarvittavien puukuormien lukumäärän, 2) kuljetuskustannusten, 3) polttoaineen kulutuksen ja päästöjen, 4) tie- ja siltarasituksen, 5) liikenneturvallisuuden, 6) ajoneuvojen kestävyys ja 7) kuljettajatarpeen näkökulmasta.

HCT-kokeiluissa on ollut mukana 84–104-tonnisia puutavara- ja hakeyhdistelmiä. Kaikkiaan Suomen HCT-kokeiluissa on ollut yli 30 yhdistelmää, joiden kokonaismassa on yli 76 tonnia. Haastattelututkimuksen mukaan yritykset haluavatkin mahdollisuutta erilaisiin yli 76-tonnisiin yhdistelmiin, jotta ne vastaavat kuljetusyritysten erilaisiin tarpeisiin ja toiminta-alueisiin.

Metsäteho Oy:n laskelmien mukaan HCT-yhdistelmät vähentäisivät vuosittain jopa 84 000–184 000 puutavara- ja 35 000–124 000 hakekuormaa 76-tonnisiin yhdistelmiin verrattuna. Puutavaran osalta kuljetuskustannukset vähentyisivät 8–26 milj. € vuodessa (parhaimmillaan 3–16 % per m³ 100–300 km:n kuljetusmatkalla) ja hakkeen osalta 4–38 milj. € vuodessa (parhaimmillaan 2–17 % per m³ 100–300 km:n kuljetusmatkalla). Vertailuissa on otettava huomioon, että suurimpien HCT-yhdistelmien hyödyntäminen edellyttää uudenlaisia logistisia toimintamalleja, joiden hyötyjä ja lisäkustannuksia ei ole kaikin osin arvioitu. Polttoaineen kulutus laskisi puutavarakuljetuksissa 4–7 milj. litralla vuodessa (3–10 % per tuoretonni 100–300 km:n kuljetusmatkalla). Hakekuljetuksissa polttoaineen kulutus laskisi 2–11 milj. litraa (4–20 % per tuoretonni 100–300 km:n kuljetusmatkalla).

Tierasitustutkimusten mukaan suuretkaan HCT-yhdistelmät eivät lisää paksupäällysteisten teiden uraantumista. Ohutpäällysteisistä teistä paksuimmilla tierasitus ei kasvane varsinkaan kantavalla pohjamaalla, mutta erikokoisille HCT-yhdistelmille soveltuvien teiden määrittäminen vaatii tarkentamista. Kesällä 2026 tulee valmistumaan uusimman tierasitusmallinnuksen tulokset. Siltarasituksen suuruuteen vaikuttavat mm. sillan pituus ja ajoneuvoyhdistelmän kokonaismassan lisäksi mahdolliset massakeskittymät (useat raskaat akselit lyhyellä etäisyydellä).

Yli 76-tonniset HCT-kuljetukset on ajateltu rajoitettavan vain tietyille HCT-käytävillä. Näin taataan reittien sopivuus HCT-yhdistelmille, ja toisaalta priorisoidaan tarvittavat infrastruktuuri-investoinnit yhteysväleille, joilla hyödyt HCT-yhdistelmille ovat suurimmat. Puutavara- ja hakekuljetusten osalta HCT-käytäviä olisi tarpeen HCT-terminaaleista tuotantolaitoksille sekä tuotantolaitosten välille (vaihtopuu- ja sivutuotekuljetukset). Noin 84-tonnisia HCT-yhdistelmiä on hyödynnetty myös metsästä lähteviin kuljetuksiin. HCT-käytäviin ehdotetaan sisällytettävän myös metsäyhtiöiden omat, suoraan yleisiin teihin yhteydessä olevat yksityistiet. HCT-yhdistelmien ei ole havaittu tuovan merkittäviä eroja liikenneturvallisuuteen.

1 JOHDANTO

HCT-yhdistelmillä (High Capacity Transport) tarkoitetaan normaaliajossa olevia, nykyiset mitta- ja massasäännökset ylittäviä yhdistelmiä, joille on myönnetty Traficommin (2024) kokeilulupa. Tässä raportissa kaikki HCT-yhdistelmät ovat yli 76 tonnia painavia ja suurin osa yli 25,25 metriä pitkiä. Ajoneuvojen pidentämisen salliva asetusmuutos tuli voimaan 21.1.2019¹. Ajoneuvojen massojen nostosta Suomessa ei ole käynnissä lainsäädäntövalmistelua, mutta pääministeri Petteri Orpon hallitusohjelmassa (Valtioneuvosto 2023) on mainittu tarve selvittää erikoiskuljetuksiin soveltuvan tieverkon kehittämistä tukemaan nykyistä suurempien kuljetusten toteuttamista. EU:ssa on käynnissä mitta- ja massadirektiivin uudistaminen.

Tämän raportin tavoitteena on koota yhteen tutkimustuloksia ajoneuvojen massojen noston vaikutuksista puutavaran ja hakkeen kuljetuksiin. Raportti täydentää Metsäteho Oy:n selvitystä (Venäläinen 2019), jossa on tarkastelu ajoneuvojen pituuksien noston vaikutuksia. Lisäksi tähän raporttiin on tarkistettu ja täydennetty aiemmassa massojen nostoa koskevassa raportissa esitetyt laskelmia. Tämä viides väliraportti kuvaa tuloksia sen aineiston pohjalta, joka oli käytävissä alkuvuoteen 2026 mennessä². Aineistona on käytetty lähinnä Suomessa tehtyjä ja eräitä Ruotsissa tehtyjä HCT-tutkimuksia. Raportti korvaa edellisen, 30.10.2024 julkaistun neljännen väliraportin (Venäläinen ja Poikela 2024).

Tekijät kiittävät taustatietojen toimittamiseen osallistuneita

- kuljetusyriä (Kari Malmstedt Oy, Ketosen Kuljetus Oy, Koneurakointi Aki Sammalisto Oy, Konnekuljetus Oy, Kuljetusliike Jouko Peltoniemi Oy, Kuljetusliike Kalevi Huhtala Oy, Kuljetusliike Moilaspojat Oy, Kuljetusliike O Malinen Oy, Kuljetusliike Wickström Oy, Orpe Kuljetus Oy, P&A Trans Oy, Pölliralli Oy, Veljekset Hannonen Oy, Q Team)
- metsäyhtiöitä (Metsä Group, Metsähallitus Metsätalous Oy, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj)
- ajoneuvodatan osalta Paetronics Oy:tä, Scania Suomi Oy:tä ja Volvo Finland Ab:tä.

Raportin aineiston kokoamiseen ovat kirjoittajien lisäksi osallistuneet eri vaiheissa Ville Saksi, Antti Raatevaara, Mika Vahtila, Pyry Seppälä, Kirsi Rieki ja Lauri Karvonen.

¹ Ko. muutokset vietiin uuteen 1.6.2020 voimaan astuneeseen tieliikennelakiin (729/2018).

² Ajantasaisempi kuvaus tutkimustilanteesta on saatavissa sivulla www.metsateho.fi/hct.

2 TUTKITUT KULJETUSVIRRRAT JA AJONEUVOYHDISTELMÄT

2.1 Kotimaisen puutavaran ja hakkeen autokuljetukset

HCT-yhdistelmien valtakunnallisten vaikutusten arvioinnissa on käytetty vuoden 2023 suorien autokuljetusten volyymeja ja keskikuljetusmatkoja (taulukko 1). Metsäteollisuus käytti vuonna 2024 noin 51 milj. m³ (noin 44 milj. tonnia) kotimaista, tehtaille pelkkinä autokuljetuksina toimitettua aines- ja sivutuotepuuta. Lisäksi puun rautatie- ja vesikuljetusketjuihin sisältyy keskimäärin 50 km:n alkukuljetus autolla (saaripuun kuljetusta lukuun ottamatta). Tämän kuljetusvolyymi oli 13 milj. m³ (Strandström 2025). Lämpö- ja voimalaitokset käyttivät 19 milj. m³ kiinteitä puupolttoaineita (pl. pelletit ja kierrätyspuu) (Luonnonvarakeskus 2026a).

Taulukko 1. Kotimaisen puun autokuljetusten määrät ja keskikuljetusmatkat vuonna 2024 (Lapp ja Iikkanen 2017, Luonnonvarakeskus 2026a-c, Strandström 2021 ja 2025, Tilastokeskus 2026a).

2024	Metsäteollisuus		Lämpö- ja voimalaitokset (ml. metsäsektorin tuotantolaitoksilla)			
	Ainespuu	Sivutuote	Metsähake	Kuori	Puru	Puutähdehake
autokuljetus, 1 000 t/v	36 719	7 287	8 189	5 182	2 378	1 018
autokuljetus, 1 000 m ³ /v	42 499	8 424	8 791	5 991	2 749	1 177
ka. kuljetusmatka autolla, km	106	107	90	90	90	90

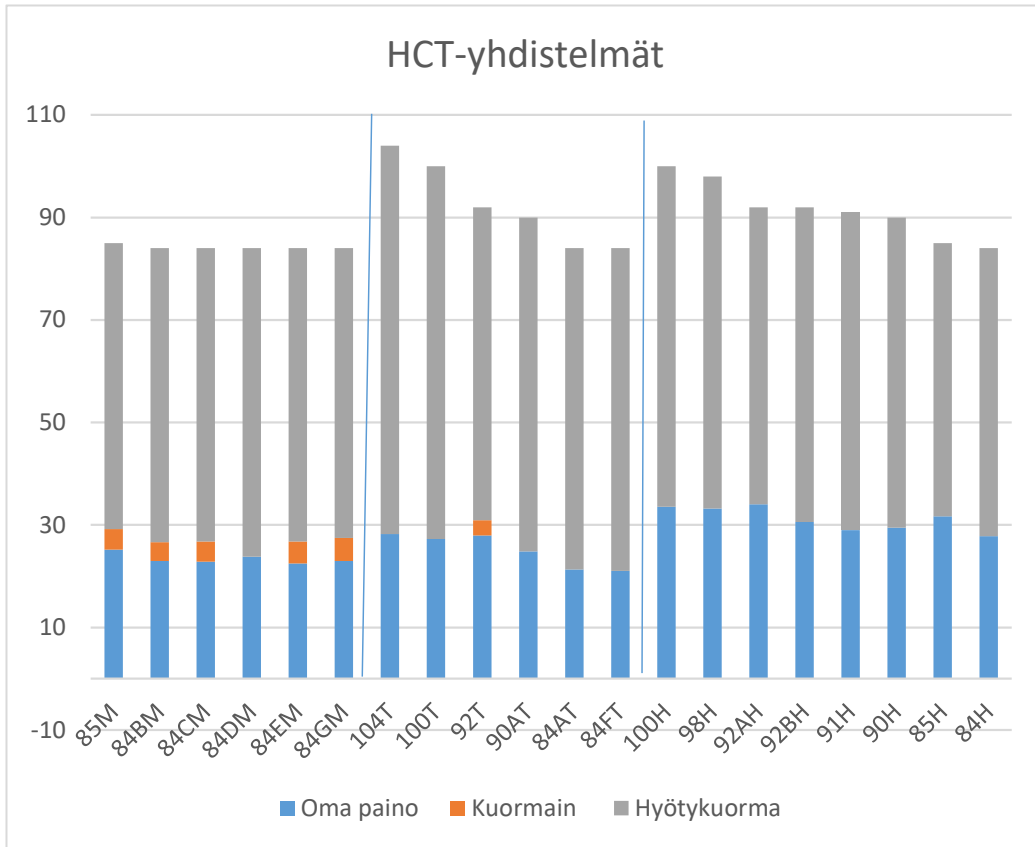
Metsäteollisuuden osalta vain kotimaisen puun kuljetusmäärät (pl. rautatie- ja vesikuljetusten alkukuljetukset). Sivutuotevolyymi sisältää myös tuotantointegraattien sisäisen sivutuotteen käytön.

Energiapuuhakkeen autokuljetusmäärä = kokonaiskäyttömäärä – käyttöpaikassa haketetun puun määrä – tuontihakkeen laskennallinen käyttö.

Puukuljetusten lisäksi merkittäviä metsäsektorin autokuljetusvolyymeja muodostavat tuotekuljetukset ja muut raaka-ainekuljetukset (esim. erilaiset kemikaalit). Tässä raportissa ei käsitellä metsäteollisuuden tuotekuljetusten HCT-kokeiluja, mutta niitä ja muiden sektoreiden HCT-yhdistelmiä on käsitelty Metsätehon raportissa Venäläinen 2026a. Konnekuljetus Oy:n haakeyhdistelmää käytettiin myös sellun kuljettamiseen.

2.2 Tutkitut HCT- ja verrokkiyhdistelmät

Selvityksessä on tarkasteltu pääosin niitä yhdistelmäratkaisuita, joita HCT-kokeiluissa on ollut mukana. Suuri osa kokeiluista on päätynyt tämän raportin julkaisemisvaiheessa. Raportissa esitettyihin tutkimuksiin osallistuneiden puutavaran ja hakkeen HCT- ja verrokkiyhdistelmien painot on esitetty kuvissa 1 ja 2 sekä muut ominaisuudet liitteessä 1. Osa HCT-yhdistelmistä ajaa vain terminaalien välillä, jolloin ne voidaan rakentaa metsäautoja kevyempirakenteisiksi eikä niissä ole omaa kuormainta mukana. Raportissa terminaaliajoa ajavat yhdistelmät on merkitty T-merkinnällä, metsäautot M-merkinnällä ja sivutuotehaakeyhdistelmät H-merkinnällä. Energiapuuyhdistelmillä ei ole ollut HCT-kokeilulupia.

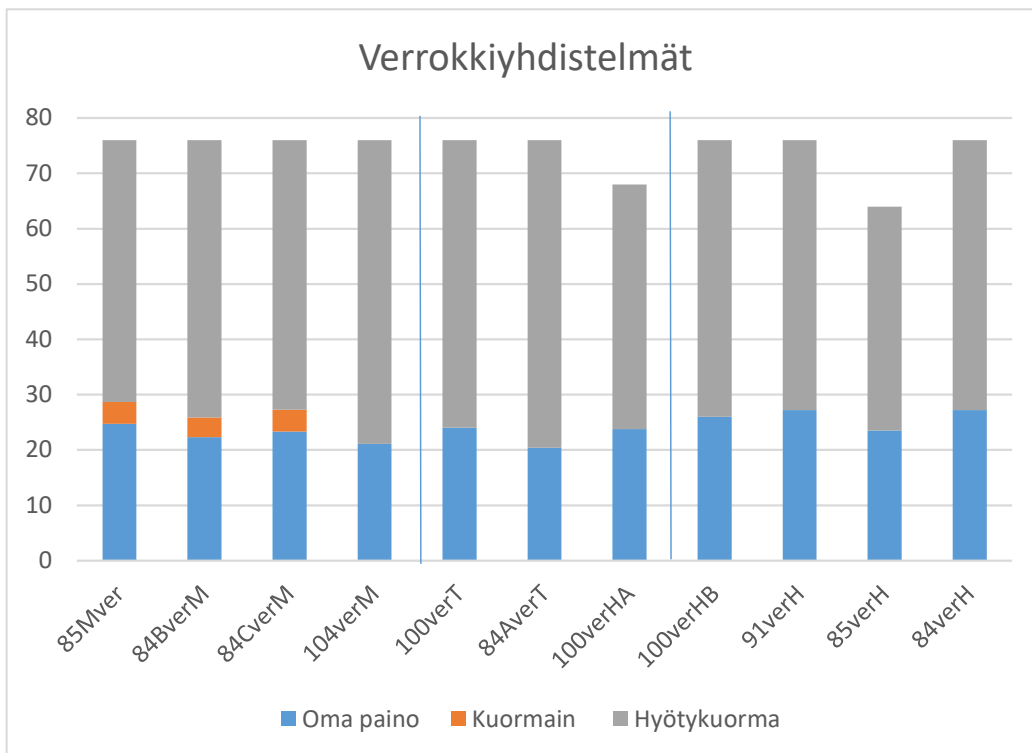


Kuva 1. Tutkittujen HCT-yhdistelmien omat ja kokonaispainot.

**Suunniteltu kokonaispaino 100 tonnia

M = metsäauto, T = terminaaliauto, H = hakeauto, ver = verrokiauto

Metsäautot, joille ei ole merkitty kuormaimen painoa, ajavat pääosin ilman kuormainta



Kuva 2. Tutkittujen verrokkiyhdistelmien omat ja kokonaispainot.

10- ja 11-akseliset kokeiluyhdistelmät ovat kuorma-autoista ja varsinaisista perävaunuista muodostettuja yhdistelmiä (taulukko 2). 12- ja 13-akseliset yhdistelmät koostuvat vetoautosta ja kahdesta perävaunusta.

Taulukko 2. HCT-kokeiluyhdistelmät akselimäärän mukaan.

Akselien lukumäärä	HCT-kokeiluyhdistelmät (akselien lkm ajoneuvoittain, kokonaispaino)
10	5 KA + 5 VPV (84 t) 4 KA + 6 VPV (85 t)
11	5 KA + 6 VPV (90 t, 91 t)
12	4 KA + 5 VPV + 3 PPV (92 t) 3 V + 4 PPV + 5 VPV (85 t, 92 t, 98 t, 100 t)
13	4 V + 4 PPV + 5 VPV (104 t)

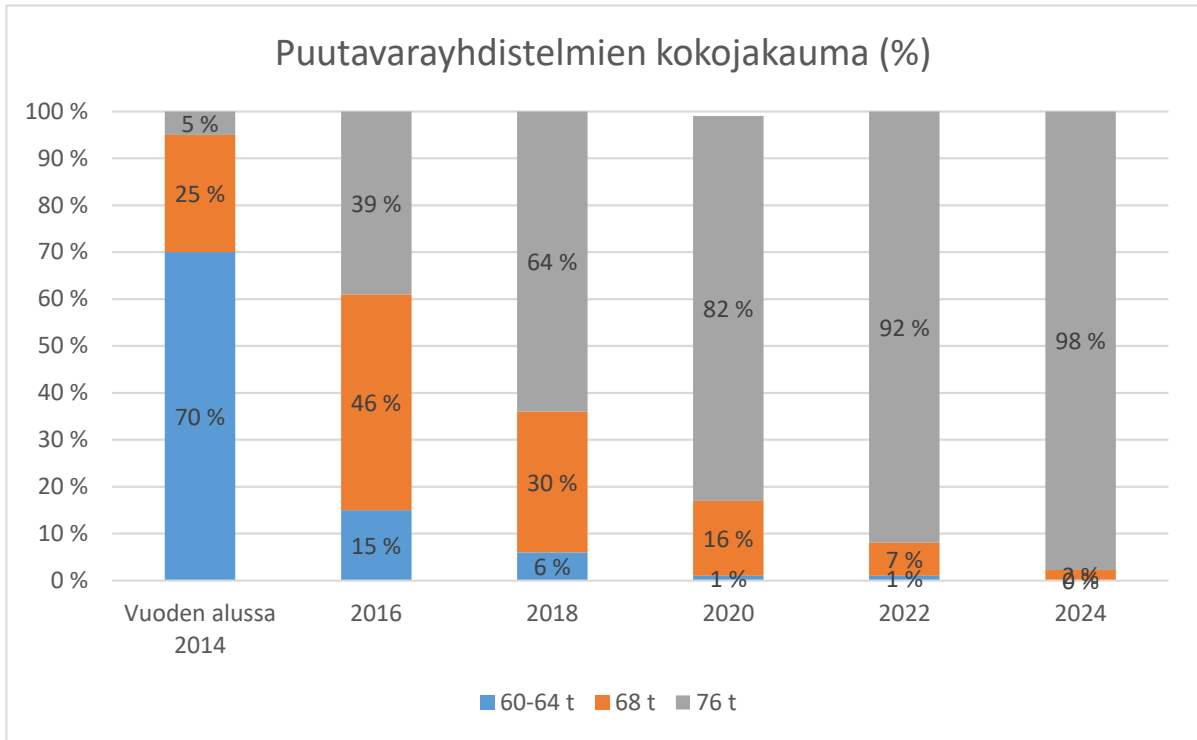
KA = kuorma-auto, V = puoliperävaunun vetoauto

VPV = varsinainen perävaunu, PPV = puoliperävaunu

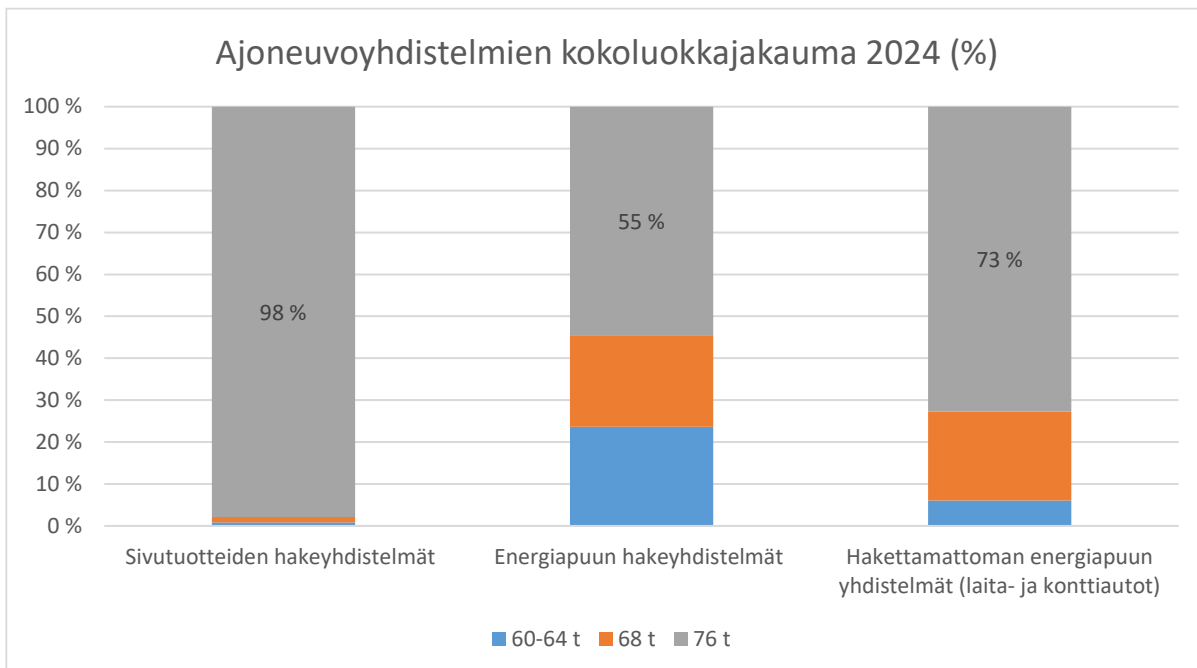
Metsätehon kulutus- ja kustannusfunktioissa sekä niiden pohjalta tehdyissä laskelmissa on osin yhdistelty lähes samaa kokoluokkaa olevien HCT-yhdistelmien tietoja. Laskelmissa käytettiin seuraavia 76-tonnisiä vertailuyhdistelmiä:

- 76-tonniset metsäautot (omapaino 22,5 t ja kuormain 4 t)
- 76-tonniset terminaaliautot (omapaino 21 t)
- 76-tonniset hakeautot (omapaino 26,5 t).

Verrokkeina kokeiluissa käytettiin HCT-yhdistelmien kanssa samoilla reiteillä tai vähintään samoilla alueilla ajavia yhdistelmiä. Puutavarayhdistelmien kaikki verrokkit ovat olleet 76-tonnisiä, jotka kattavatkin nykyisin suurimman osan kotimaisen puutavarayhdistelmien autokannasta (kuva 3). Hakeyhdistelmien verrokkit ovat olleet 68- ja 76-tonnisiä. Alle 76-tonnisiä hakeyhdistelmiä käytetään lähinnä energiahakkeen kuljetuksissa (kuva 4).



Kuva 3. Puutavarayhdistelmien kokorakenteen kehitys Metsäteho Oy:n valituille metsäyhtiöille lähettämän kyselyn mukaan. Esitetty jakauma on suuntaa antava kuljetusyritysten moniasiakkuuden takia.



Kuva 4. Hake- ja energiapuuyhdistelmien kokorakenne 2024 Metsäteho Oy:n valituille metsäyhtiöille lähettämän kyselyyn mukaan.

HCT-kokeiluyhdistelmien erot nykyiseen sääntelyyn

Ajoneuvojen massoja ja mittoja koskevat säädökset sisältyvät tieliikennelakiin (729/2018) ja Traficomien määräyksiin (Traficom 2023 ja 2021). Kaikki puutavaran ja hakkeen HCT-

kokeiluyhdistelmät ylittävät nykyisen lainsäädännön mukaisen 76 tonnin yhdistelmän kokonaispainorajan. Lisäksi massat poikkeavat eräissä yhdistelmissä telien ja perävaunujen massojen osalta (taulukko 3). Osa HCT-kokeiluyhdistelmistä poikkeaa nykyllä lainsäädännöllä myös mitta- ja kääntövyysmääräysten osalta, mutta näitä eroja ei tarkastella tässä raportissa. Pääosin erot johtuvat siitä, että ensimmäisiä HCT-kokeiluja käynnistyi ennen viimeisimpiä muutoksia lainsäädännössä.

Kokeiluyhdistelmien kytkentälaitteet eivät ole tyyppihyväksytyjä kyseisille yhdistelmien painoille. Kokeilulupapäätöksen myöntämistä varten Traficom on vaatinut laitevalmistajan erillisen vakuutuksen laitteen kestävydestä ja/tai velvoitteen laitteen kunnon seurannasta ja vaihtamisesta normaalia aikaisemmin. Kokeiluiden aikana on markkinoille tullut uusia kytkentälaitteita, jotka soveltuvat korkeillekin massoille.

Taulukko 3. Puun ja hakkeen HCT-kokeiluyhdistelmien keskeiset erot lainsäädäntöön ja määräyksiin massojen tai massoihin liittyvien muiden tekijöiden osalta.

Lain tai määräysten mukaiset ominaisuudet	Laista tai määräyksistä poikkeavat ominaisuudet
YHDISTELMÄÄ TAI VÄHINTÄÄN KAHTA SEN AJONEUVOA KOSKEVAT LAIT JA MÄÄRÄYKSET	
Auton ja perävaunun yhdistelmän massa (74 tai 76 t akselimäärän mukaan)	- Kaikki yhdistelmät (84–104 t)
KYTKENNÄN SILTÄSÄÄNTÖ Vetävän auton takatelin ja perävaunun etutelin yhteismassa*	84DM, 84GM, 85M, 84FT, 90T, 85H, 92AH, 98AH, 100H 84BM, 84EM, 92T, 100T, 84H, 90H, 91H
Yli 44-t yhdistelmän massa ääriakselivälin mukaan	84CM, 84DM, 84EM, 84GM, 85M, 84FT, 90T, 92T, 100T, 84H, 85H, 90H, 91H, 92AH, 98AH, 100H 84BM
PV-akselivälin 3 metrin sääntö	Kaikki yhdistelmät -
Autoon kytkettävän hinnattavan ajoneuvon massa (pienin) 4) Muu kuin puolipv 5a) Useampi perävaunu 5b) PPV:n telimassa	84BM, 84CM, 84DM, 84EM, 84GM, 85M, 84AT, 84FT, 90T, 84H, 90H, 91H 85H, 92AH 100T, 85H, 92AH, 98AH, 100H 100T**, 98AH, 100H**
Akselimassat	Kaikki yhdistelmät -
Kytkentälaitteet	- Kaikki yhdistelmät
AUTOA KOSKEVAT LAIT JA MÄÄRÄYKSET	
Teho (vähintään 5 kw jokaista yhdistelmämassan tonnia kohden)	Kaikki yhdistelmät -
Auton massa -3-akselinen 25/26/28 t	100T, 85H, 92AH, 98AH, 100H -

Lain tai määräysten mukaiset ominaisuudet		Laista tai määräyksistä poikkeavat ominaisuudet
-4-akselinen 31/35 t -5-akselinen 42 t	85M, 92T 84AT**, 84BM, 84CM, 84EM, 84FT, 84GM, 90T, 90H**	
AUTOJEN SILTA-SÄÄNTÖ Auton massa ääriakselivälin mukaan -Ei koske 3-akselisia -4-akselinen -5-akselinen	- 84BM, 84CM, 84DM, 84EM, 84FT, 84GM, 90T	92T -
Auto: 2-akselisen telin massa	85H, 90H, 92AH, 98AH, 100H	100T
Auto: Peräkkäiset etuakselit, jotka ei muodosta teliä	84BM, 84DM/90T, 84EM, 84FT, 84GM, 84H, 91H	-
Auto: 3-akselisen telin massa	84BM, 84EM, 84DM/90T, 84GM, 85M, 84FT, 92T, 84H, 90H, 91H	-
YKSITTÄISTÄ PERÄVAUNUA KOSKEVAT LAIT JA MÄÄRÄYKSET		
Autoon kytkettävä hinattava ajoneuvo	Kaikki yhdistelmät	-
PERÄVAUNUN SILTA-SÄÄNTÖ Varsinaisen perävaunun massa	Kaikki yhdistelmät	-
PV: 2-akselisen telin massa Akselivälin mukaan 11,5–20	Kaikki yhdistelmät	-
PV: 3-akselisen telin massa Akselien etäisyyden mukaan 21/24	84BM, 84DM, 84EM, 84AT**, 84FT, 84GM, 92T (VPV), 100T (osa PV), 84H, 85H, 92AH, 98AH, 100H	92T (PPV), 100T (osa PV)
PV: 4- tai useampiakselisen telin massa Akselien etäisyyden mukaan 24/27/30/36	85M	90T, 100T, 85H, 90H, 91H, 92AH, 98AH, 100H
PV: 5- tai useampiakselinen teli 36	Ei mukana kokeilussa	

Vertailuissa ei ole otettu huomioon vetäviä tai ohjaavia akseleita, ilmajousitusta tai perävaunujen maahan kohdistuvaa massaa koskevia vaatimuksia.

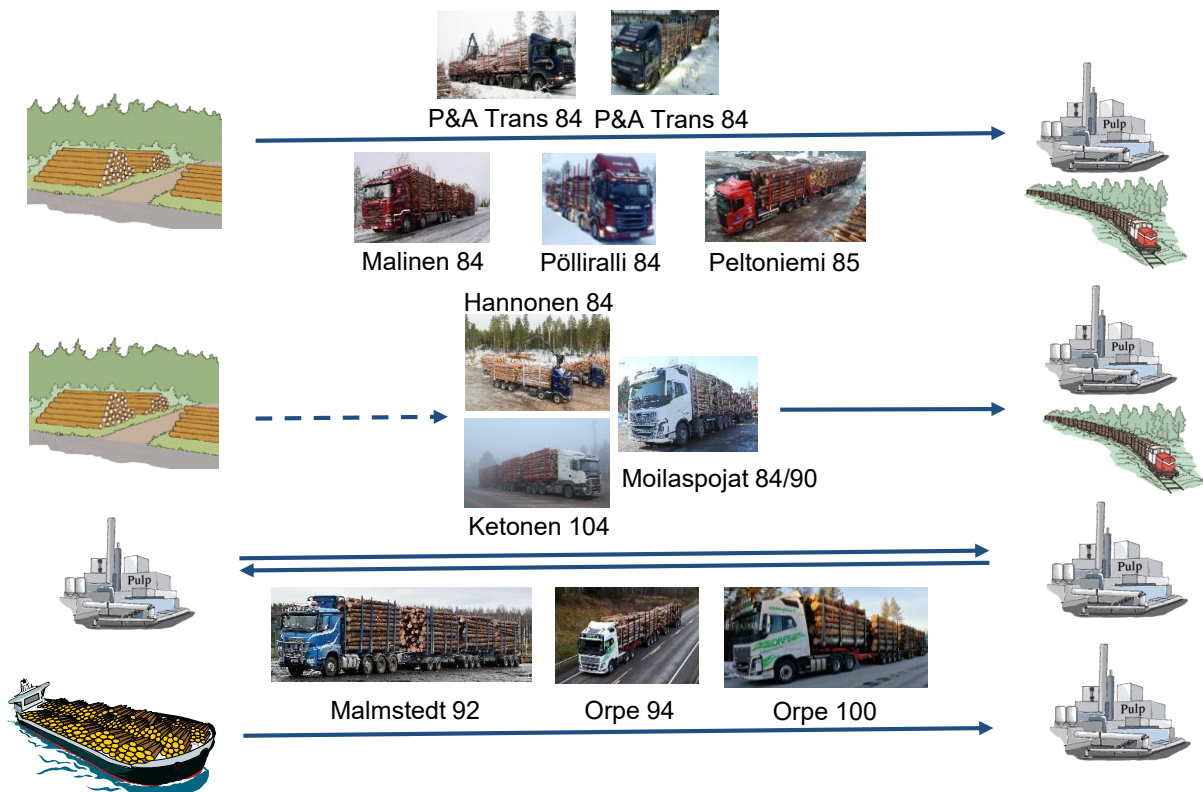
Vertailusta puuttuvat kokonaan yhdistelmät 84AT, 94T, 104T, 92BH (joitakin yksittäisiä tietoja puuttuu muistakin yhdistelmistä).

*Erot lakiin pääosin alle yhden tonnin

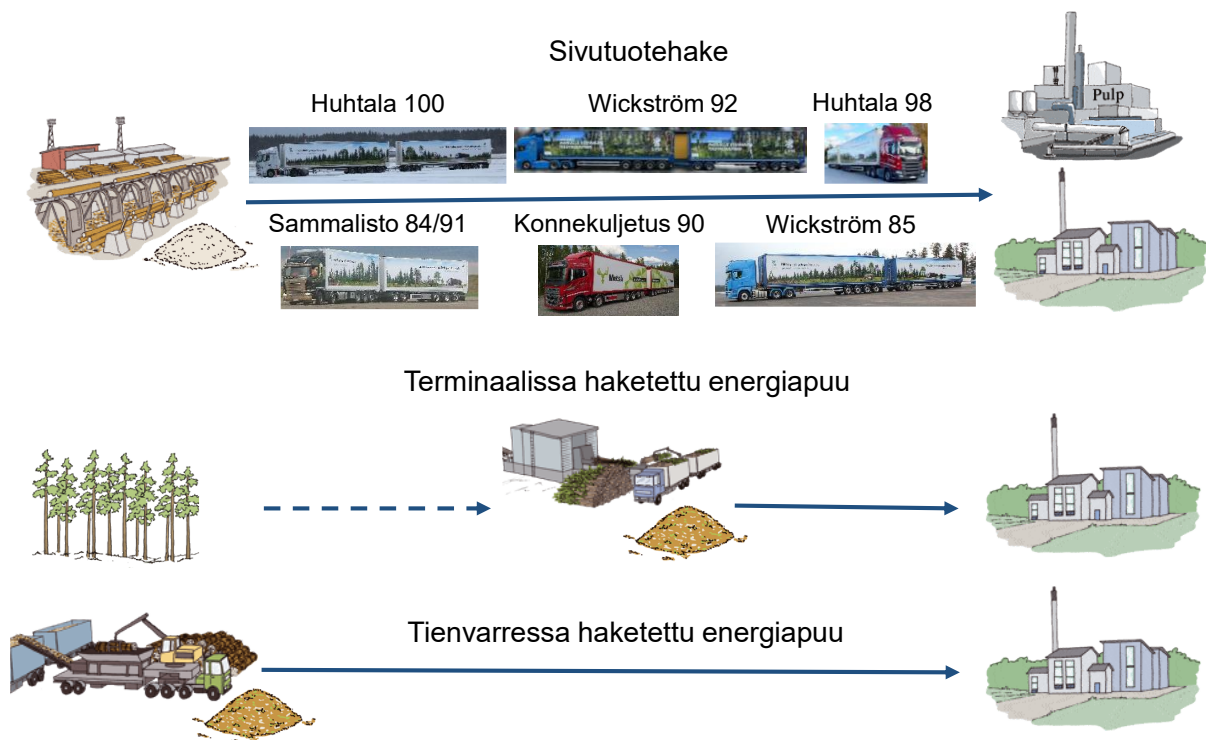
**Yhdistelmälle tai sen osalle haettiin suurempaa massaa, mutta sitä ei myönnetty

Yhdistelmien kuljetusketjut

Osassa kuljetuskustannus- ja polttoaineen kulutustarkasteluita on vertailtu yksittäisten yhdistelmien sijasta kokonaisia kuljetusketjuja. Puutavarakuljetuksissa suurimmat HCT-yhdistelmät vaativat alkukuljetuksen metsäautolla, joten niiden vertailuissa koko ketju on otettava huomioon. HCT-kokeiluluvan saaneiden puutavara- ja haakeyhdistelmien kuljetusketjuja on esitetty kuvissa 5 ja 6. Orpen, Sammaliston, Konnekuljetuksen ja Malmstedtin HCT- ja verrokkiyhdistelmät ajoivat paljon meno-paluukuljetuksia. Muiden kuljetusyriytysten HCT-yhdistelmät ja verrokkit ajavat ns. perinteisiä kuljetuksia (kuormattuna meno ja pääosin tyhjä paluu). Konnekuljetuksen yhdistelmä ajoi hakkeen lisäksi myös sellupaaleja. Metsäenergiapuun kuljetuksissa ei ole ollut HCT-yhdistelmiä, mutta Konnekuljetus toimittaa sivutuotteena syntyvää kuorta ja purua energialaitoksille.



Kuva 5. HCT-puutavara yhdistelmien kuljetusketjuja. (Kuvat: Jouko Peltoniemi Oy, Kari Malmstedt Oy, Metsähallitus Metsätalous Oy, Metsä Group, Metsäteho Oy, Orpe Kuljetus Oy, Pölliralli Oy).



Kuva 6. HCT-hakeyhdistelmien kuljetusketjuja. (Kuvat: Koneurakointi Aki Sammalisto Oy, Kuljetusliike Kalevi Huhtala Oy, Kuljetusliike Wickström Oy, Metsä Group, Metsäteho Oy).

2.3 Yritysten näkemykset HCT-yhdistelmistä

Metsäteho Oy haastattelututkimuksessa (Venäläinen ja Poikela 2021) koottiin HCT-kokeiluihin osallistuneiden puun ja hakkeen kuljetusyrittäjien, metsäyhtiöiden sekä kuorma-auto-, perävaunu- ja vetolaitevalmistajien kokemuksia HCT-yhdistelmistä ja näkemyksiä parhaiksi koetuista ratkaisuista. Haastatteluissa korostuivat seuraavat näkemykset:

- HCT-yhdistelmissä tulee olla valinnanvaraa mm. painoluokkien osalta, jolloin kuljetusyrittäjät voivat valita oman toimintansa ja toiminta-alueensa kannalta toimivimman ratkaisun. Vastauksissa olikin eroa sen suhteen, minkä kokoisia HCT-yhdistelmiä pidettiin toimivimpina.
- Yritykset olivat pääosin tyytyväisiä niihin HCT-yhdistelmiin, joista niillä oli omaa kokemusta. Lisäksi ehdotettiin joitakin ajoneuvojen ja yhdistelmien kokoluokkia, joita ei ole ollut kokeiluissa mukana.
- HCT-yhdistelmien tehokasta hyödyntämistä tukisi uudenlaisten toimintamallien käyttöönotto (meno-paluukuljetusten ja erillisterminaalien nykyistä laajempi hyödyntäminen).

Selvityksen yhtenä jatkotutkimustarpeena tunnistettiin ajoneuvojen soveltuvuuden tarkastelu kuljetettavan puun eri pituuksille.

Puukuljetusyrittäjille suunnatussa kyselytutkimuksessa (Palander ym. 2023) selvitettiin mm. yrittäjien näkemyksiä parhaista yhdistelmistä puukuljetuksissa. Metsästä lähteviin tukki- ja kuitupuukuljetuksiin vastaajista selvästi suurin osa näki 76-tonnisen yhdistelmän olevan paras ja vain muutama prosentti uskoi 84-tonnisen olevan paras ja kustannustehokkain kuljetettua kuutiota kohden. Terminaaleista lähtevän kuitu- ja tukkipuun kuljetuksiin vastaajista puolestaan neljännes näki 84-tonnisten tai tätä suurempi yhdistelmien olevan parhaita ja kustannustehokkaimpia. HCT-yhdistelmien ei nähty juurikaan olevaan paras ratkaisu energiapuun kuljetuksiin. Kyselytuloksen tulkinnessa on hyvä ottaa huomioon, että vain pienellä osalla yrittäjistä on omakohtaista kokemusta HCT-yhdistelmistä.

Samassa kyselyssä selvitettiin yrittäjien näkemyksiä tieverkon eri osien soveltuvuudesta eri kokoisille yhdistelmille. Paikallisten ja metsäteiden sekä siltojen nähtiin olevan huonosti soveltuvia maksimissaan 76-tonnisillekin yhdistelmille (puolet tai yli puolet vastaajista oli eri mieltä soveltuvuudesta). Yli 76-tonnisten yhdistelmien osalta soveltuvuus nähtiin selvästi heikommaksi.

2.4 HCT-tyyppiyhdistelmät

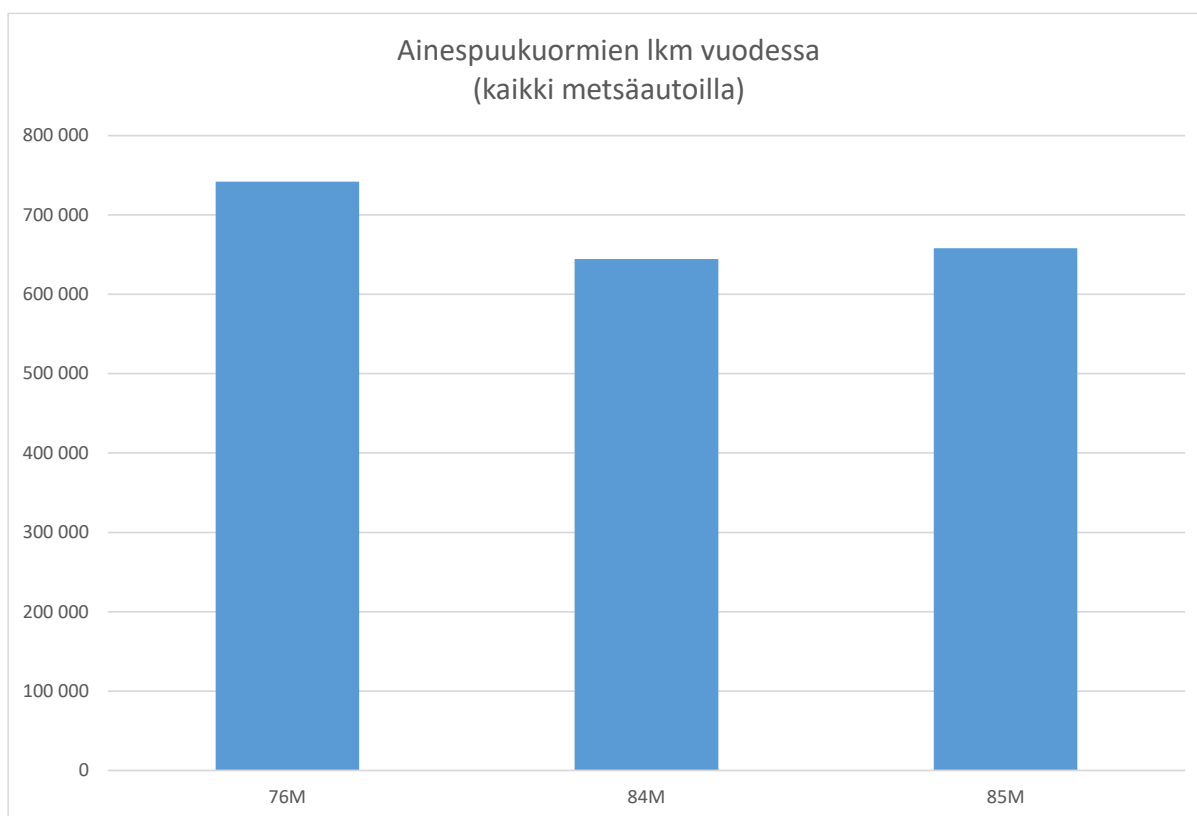
HCT-tyyppiyhdistelmillä tarkoitetaan ajoneuvoyhdistelmiä, jotka poikkeavat nykyisestä sääntelystä vain kokonaispainon osalta. Tällöin tarpeet lakimuutoksille olisivat mahdollisimman pienet ja HCT-yhdistelmissä voitaisiin hyödyntää jo markkinoilla olevia ajoneuvoratkaisuita.

Tyyppiyhdistelmiä ovat kokeiluyhdistelmistä ainakin puutavarayhdistelmät 84DM, 84GM, 85M ja 84T ja Pohjasten 90-tonninen hakeyhdistelmä, joka ei ole tämän raportin tarkasteluissa mukana. Tyyppiyhdistelmiä on käsitelty yksityiskohtaisemmin ja myös muiden toimialojen kuin metsäsektorin näkökulmasta raportissa Venäläinen 2026b.

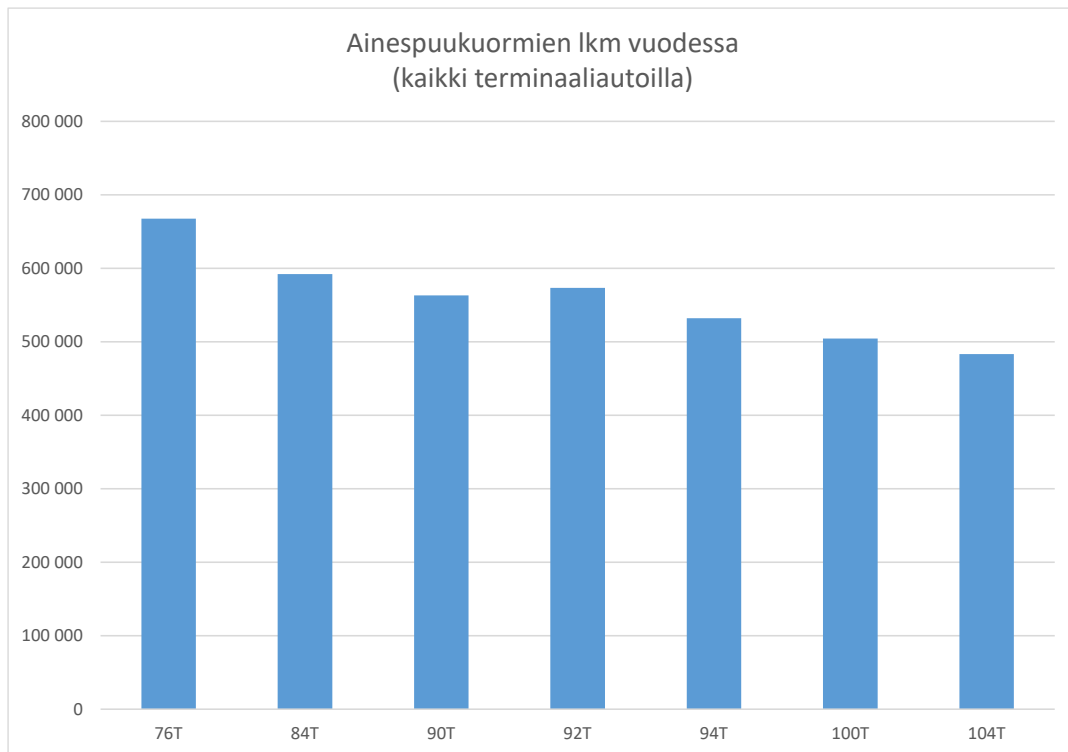
3 YHDISTELMIEN MASSOJEN NOSTON VAIKUTUKSIA

3.1 Kuormien määrä

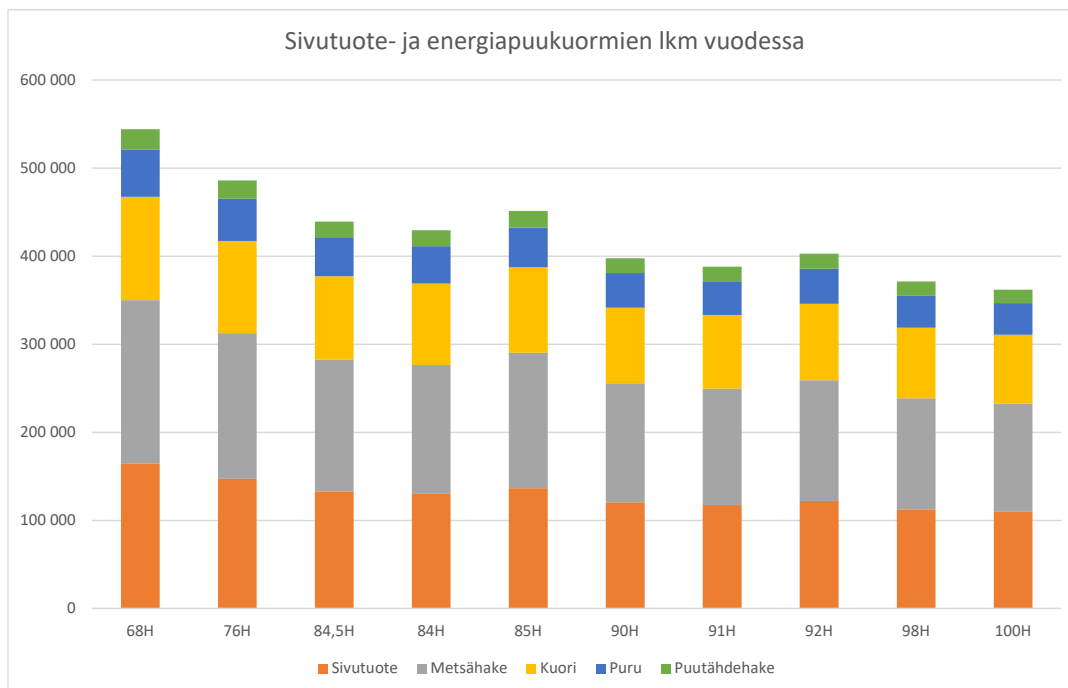
Valtakunnallisissa vertailuissa oletettiin taulukon 1 mukaiset vuoden 2024 kuljetusvolyymit, ja että menokuljetus on aina täynnä ja paluukuljetus on tyhjä. Lisäksi oletettiin, että kaikki kotimainen puu kuljetettaisiin ko. kokoluokan yhdistelmillä. Ajoneuvoyhdistelmien kokoluokan kasvaessa tarvittavien kuormien määrä vähenee, mikä vähentää kuljetuskustannuksia, polttoaineen kulutusta kuljetettua tuoretonnia kohden, ruuhkia varsinkin toimituskohteiden lähellä sekä liikenneonnettomuuksien riskiä. 84–85-tonnisilla metsäautoilla vähennettäisiin vuosittaisten ajojen määrää lähes 84 000–98 000:lla 76-tonnisiin verrattuna (kuva 7). HCT-kokeiluissa mukana olleet terminaaliautot vähentäisivät puolestaan vuosittaisten ajojen määrää 75 000–184 000:lla (kuva 8). HCT-hakeyhdistelmät vähentäisivät kuormien määrää 76-tonnisiin nähden 35 000–124 000:lla vuodessa (kuva 9). Puutavarakuljetuksissa HCT-yhdistelmillä voidaan kuljettaa neljä puunippua kerralla, kun 76-tonnisilla nippuja on kolme.



Kuva 7. Vuosittaisten ainespuukuormien lukumäärä, kun kaikki kotimainen autolla kuljetettava ainespuu kuljetettaisiin ko. kokoluokkien metsäautoilla (omapainoihin sisältyy 4 tonnin kuormain).



Kuva 8. Vuosittaisten ainespuukuormien lukumäärä, kun kaikki kotimainen autopuu kuljetettiin ko. kokoluokkien terminaaliautoilla.

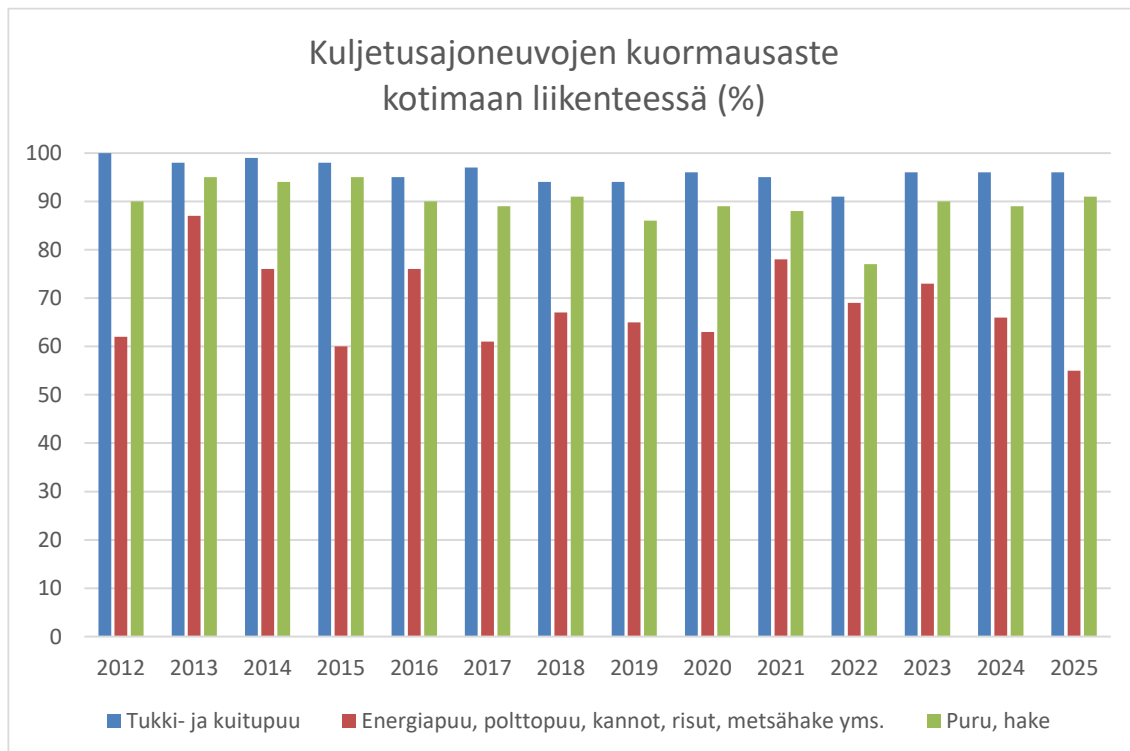


Kuva 9. Vuosittaisten kuormien lukumäärä, kun kaikki kotimainen sivutuote- ja energiapuu-hake kuljetettiin ko. kokoluokkien hakeautoilla.

3.2 Kuljetustehokkuus

Kuljetustehokkuudella tarkoitetaan tässä puutavara- ja hakeyhdistelmien kuormatilan hyödyntämisen tehokkuutta. Kuljetuskustannuksia ja tarvittavia ajojen määrää on tarkasteltu erikseen

omissa luvuissaan. Ainespuu- ja hakekuljetuksissa ajoneuvojen kuormausasteet ovat korkeita (kuva 10), joten kokonaispainoltaan isompien yhdistelmien kapasiteettia voidaan hyödyntää tehokkaasti.



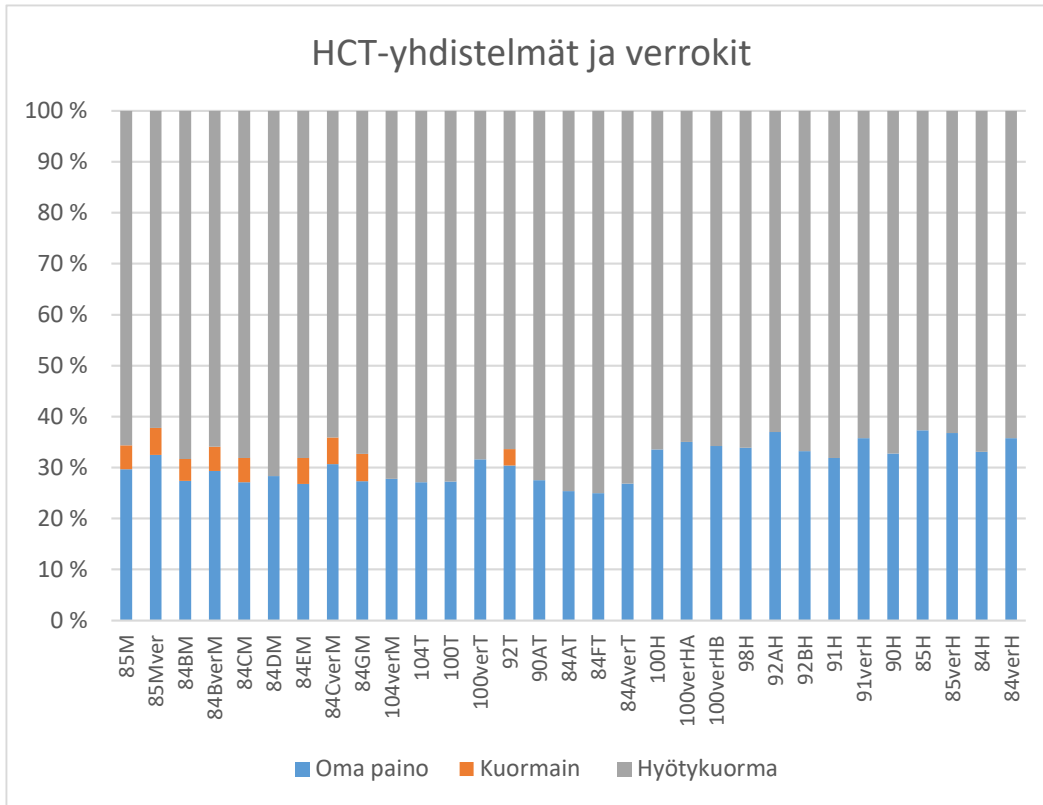
Kuva 10. Puun autokuljetusten kuormausasteet (Tilastokeskus 2026a).

Ajoneuvoyhdistelmien kuormausasteeseen vaikuttavat puun tuoretiheyden vaihtelut vuodenaikojen mukaan sekä pyöreän puun eri katkontapituudet. Ajoneuvojen pituuksien vaikutuksia koskeneessa selvityksessä (Venäläinen 2019) tuotiin esille, että pelkkä pituuksien nosto ei monissa puutavaran ja hakkeen kuljetuksissa parantaisi niiden kuljetustehokkuutta.

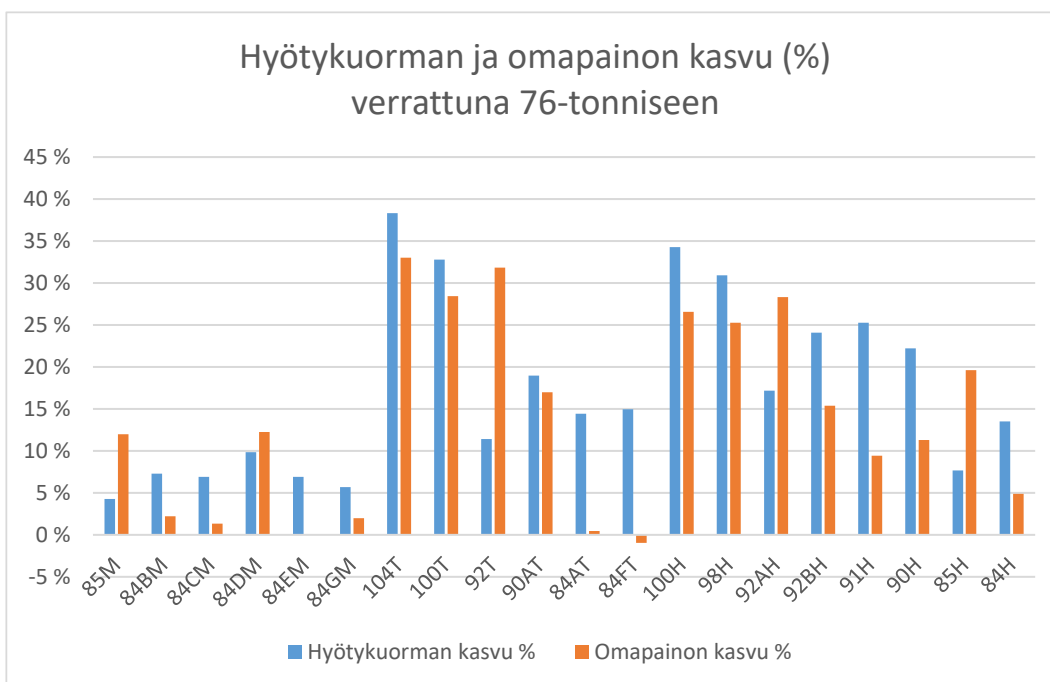
HCT-yhdistelmillä hyötykuorman osuus kokonaispainosta on pääosin suurempi kuin niiden verrokeilla (kuva 11). Tutkituista yhdistelmistä suurin hyötykuorman osuus on 84-tonnisella terminaali-autolla (75 % kokonaispainosta). Hakeyhdistelmillä on hakkeen purkulaitteiden takia suhteessa korkeampi omapaino kuin puutavarayhdistelmillä.

Suurimmalla osalla HCT-yhdistelmistä hyötykuorman kasvuprosentti on suurempi kuin omapainon kasvuprosentti 76-tonnisiin vertailuyhdistelmiin nähden (kuva 12). Suurin hyötykuorman kasvu-% verrattuna omapainon kasvu-%:iin oli 91-tonnisella Sammaliston hakeyhdistelmällä ja Hannosen 84-tonnisella terminaaliyhdistelmällä. Metsäautoista suurin hyötykuorman kasvu verrattuna omapainon kasvuun oli P&A Transin uudemmalla 84-tonnisella yhdistelmällä.

Eri kokoisten yhdistelmien tehokkuutta ei voi suoraan päätellä näiden laskelmien perusteella, koska kokoluokittain kokeiluissa on korkeintaan muutamia yhdistelmiä. Yhdistelmille ei ole välttämättä myönnetty niitä massoja, joille yhdistelmä on suunniteltu. Tehokkaimmissa yhdistelmissä käytettyjä ratkaisuja kannattaa kuitenkin ottaa huomioon HCT-yhdistelmien jatkokehityksessä.



Kuva 11. Omapainojen osuus tutkimusyhdistelmien kokonaispainosta (%).



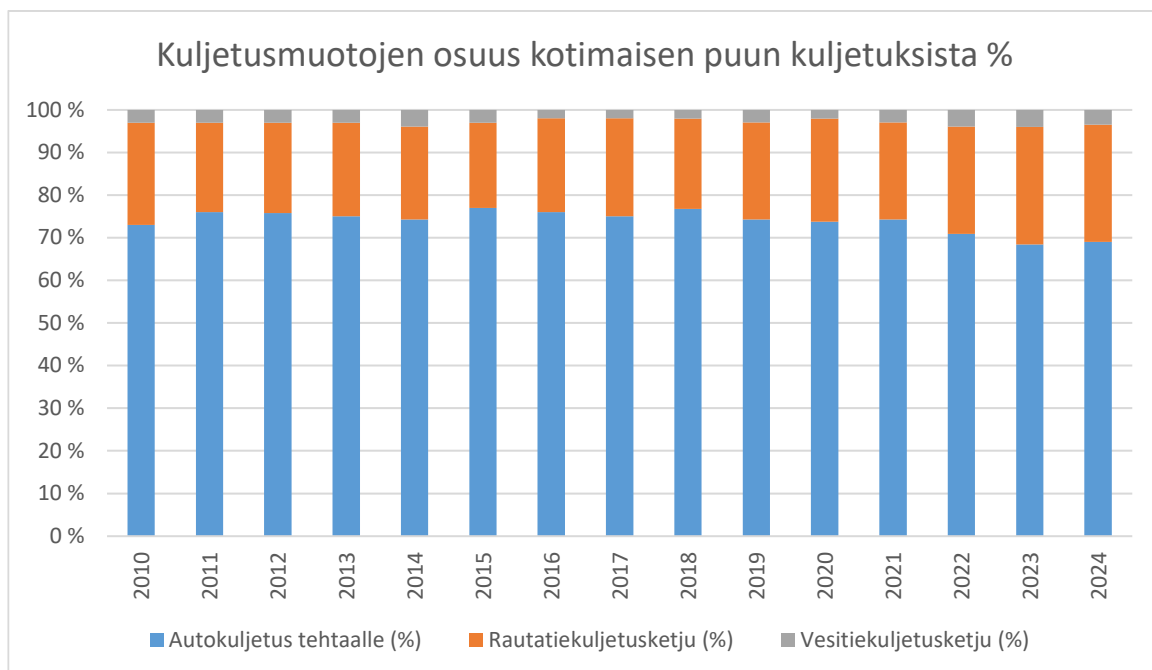
Kuva 12. Hyötykuorman ja omapainon kasvu verrattuna 76-tonniseen vertailuyhdistelmiin (kuormainten painoja ei ole otettu huomioon).

3.3 Vaikutus rautatiekuljetusten käyttöön

Väyläviraston tutkimuksissa (Lapp ja Iikkanen 2017, Lapp ym. 2022) selvitettiin HCT-kuljetusten potentiaalia eri tavaralajien kuljetuksissa sekä HCT-kuljetusten vaikutuksia

rautatiekuljetusten käyttöön. Raakapuun osalta tarkastelussa oli mukana vain 84-tonniset yhdistelmät. Niiden arvioitiin vähentävän rautatiekuljetuksia varsinkin yhteysväleillä, joilla suoraa ratayhteyttä ei ole (esimerkiksi Parkanon alueelta Raumalle, Pohjois-Savosta Äänekoskelle sekä Pohjois-Savon pohjoisosista ja Pohjois-Savon eteläosista Lappeenrantaan, Joutsenoon ja Imatralle). Raakapuun rautatiekuljetusten arvioitiin vähentyvän 5–7 % HCT-yhdistelmien käyttöalueen laajuudesta riippuen. Uusimman tarkastelun mukaan tämä tarkoittaisi 1,4 tai 3,7 miljoonaa tonnia skenaariosta riippuen. Siirtymäpotentiaalia pienentänee kuitenkin rautatiekuljetusten oman kilpailukyvyn parantuminen. Haketta kuljetetaan junalla vain 0,2–0,3 milj. tonnia vuodessa (Lapp ja Ikkänen 2017). Aiemman selvityksen mukaan HCT-ajoneuvoilla arvioitiin olevan suuri käyttöpotentiaali hakekuljetuksissa. Selvityksissä ei tuotu esille HCT-yhdistelmien roolia raakapuun junakuljetusten alkukuljetuksissa. Myöskään puutuonnin loppumista Venäjältä ei ole tarkasteltu.

Edellinen ajoneuvomassojen korotus vuonna 2013 ei aiheuttanut muutosta rautatiekuljetusten osuuteen puukuljetuksissa (kuva 13). Puutuonnin Venäjältä päätyttyä keväällä 2022 pitkille kuljetusmatkoille soveltuvien rautatie- ja vesikuljetusten osuus on pikemminkin kasvanut.



Kuva 13. Kuljetusmuotojen osuus kotimaisen puun kuljetuksista 2010–2024 (% kuljetetuista kuutioista vuodessa) (Metsäteho Oy:n tilasto, joista uusin Strandström 2025).

3.4 Kuljetuskustannukset

Kuljetuskustannuksia verrattiin ensin yksittäisten yhdistelmäkokojen ja kuljetusketjujen välillä. Lisäksi arvioitiin HCT-yhdistelmien vaikutusta valtakunnallisiin puu- ja hakekuljetusten kustannuksiin. Tässä raportissa käytetään vuoden 2025 kustannustasoa.

3.4.1 Kuljetusten kustannustekijät ja tietojen keruu

Kustannuslaskelmien laatimista varten tutkituista HCT- ja verrokkiyhdistelmistä kerättiin:

- ajokohtaiset kuorma- ja reittitiedot (joko kuljetuksen antajalta tai kuljetusyriykseltä)

- ajokohtaiset polttoaineen kulutuksen ja ajonopeuden tiedot (ajoneuvojen hallintajärjestelmistä) (ks. tarkemmin luku 3.6.1)
- ajoneuvojen kiinteät kustannukset ja tekniset tiedot (kuljetusyriyten täyttämät lomakkeet)
- ajoneuvon lastauksen ja purun aikamenekkitietoja (kuljettajien toteuttama seuranta).

Kustannuslaskelmien keskeiset tekijät on koottu taulukkoon 4 ja keskeiset oletukset taulukkoon 5. Eri yhdistelmien vertailtavuuden parantamiseksi laskelmissa käytettiin osin yhteisiä kustannusoletuksia (esimerkiksi korkotaso, työkustannukset per tunti, kuormattuna ajon osuus tai ajanmenekit per m³). Kustannusvertailun tavoitteena oli verrata nimenomaan yhdistelmän koosta syntyviä kustannuseroja ja minimoida muiden tekijöiden vaikutusta vertailutuloksiin. Laskelmiin lisättiin myös esimerkkejä tilanteista, joita tutkituilla yhdistelmillä ei ole ollut kokeiluissa käytössä. Laskelmissa 76-tonnisina vertailukohteina on käytetty vain yhden omapainoluokan yhdistelmiä (ks. luku 2.2). Tutkimusyhdistelmien verrokkeina on ollut osin omapainoltaan näitä suurempia yhdistelmiä, joihin verrattuna kustannussäästö olisi tässä esitettyä suurempi.

Taulukko 4. Kuljetuskustannuslaskelmien kustannustekijät.

Keskeisimmät kustannustekijät	
Auton kustannustekijät	Suoritetiedot
Hankintahinta	Kuljetusmäärä
Renkaat	Ka. ajomatka
Pitoaika	Ajosuorite
Vaihtoarvo	Kuormat
Korot, vakuutukset, hallinto, korjaukset ja ylläpito	
Työkustannukset	
Peruspalkka	
Palkan lisät	
Polttoaine	
Ajankäyttö	Polttoaineen kulutus
Ajonopeudet	Massat
Ajanmenekki	Ajovaiheiden kulutus
Kuormattuna ajo	Kuormausvaiheen kulutus*
Tyhjänä ajo	Purkuvaiheen kulutus*
Kuormaus ja purku (Puutavaran siirtokuormaukset)	
Työaika	
Vuosityöaika	
Auton käyttötunnit	
Kuljettajien työtunnit	

*Haakeyhdistelmien erillisen kuormauskaluston kulutusta ei ole otettu huomioon

Taulukko 5. Keskeiset kustannuslaskelmien oletukset.

<p>Kuormat: Ei vajaakuormia, ei keräilyajoa Ainespuu: havupuu 70 %, lehtipuu 30 % Hake: sahaake 100 % Tyhjänä ajoa tasan 50 % (täysi meno ja tyhjä paluukuljetus, paitsi erillisissä meno-paluulas- kelmissä)</p>	<p>Yhdistelmien käyttöaika: autot täystyöllistettyjä (47 vk/v, 5 pv/vk, 19 h/pv); kuljettajien ajoaika- määräysten vaikutuksia eri kuljetusmatkoilla ei ole otettu huomioon</p>
<p>Alkukuljetusmatka: HCT-ketjulaskelmissa on oletettu alkukuljetusmatkaksi metsästä terminaaliin 25 km</p>	<p>Korjaus- ja huoltokustannukset: Vetoauton km-kohtainen huoltokustannus sama HCT- ja 76-tonnisella yhdistelmällä. Terminaaliautoilla kuormaimen puuttumisen takia noin 10 % alempi k&h-kustannus kuin metsäautolla. Perävaunun (1 tai 2 kpl) huoltokustannus puolet vetoauton kustannuksesta. Rengaskerron kesto (km) n. 20 % pidempi, kun verrataan terminaaliautoa ja hakeautoa metsäautoon.</p>
<p>Ajonopeudet: kokonaispaino ei vaikuta ajonopeuteen, ajonopeus = F(ajomatka, ajovaihe)*</p>	
<p>Kuormaus ja purku: Metsäautot kuormataan omalla kuormaimella Käyttöpaikassa autot puretaan käyttöpaikan kalustolla yli 70 km:n ajomatkoilla ja tätä lyhyemmillä matkoilla omalla kuormaimella. Terminaalissa puutavara-auto joko kuormataan kokonaan maasta (100 %:n siirtokuormaus), kuormataan puoliksi ja loput kuormasta tulee valmiiksi lastattuna perävaunun (50 %) tai kuorma on valmiiksi lastattu perävaunuun ja jalkalavalle (0 %). Sivutuotehakeyhdistelmän kuormauksen kesto 32–43 min ja purun kesto 33–42 min yhdistelmän koosta riippuen.</p>	<p>Puutavara-auton kuormaus- ja purkukustannukset: Terminaalin ja käyttöpaikan kalustolla suoritettujen kuormauksen ja purkamisen kustannus 0,30 €/m³/käsittelykerta + auton odotuskustannus (ks. tarkemmin Poikela ja Venäläinen 2017).</p>

*Kerättyjä ajonopeustietoja käytetään lähinnä poissulkemaan aineistosta kuljetuksia, joihin sisältyy pitkiä taukoja. Ajonopeuksiin vaikuttavat yhdistelmän ominaisuuksien lisäksi kuljetusreittiominaisuudet, eikä näiden vaikutuksia ole arvioitu.

Edellisessä taulukossa (5) on mainittu tilanne, jossa kuorma on lastattu terminaalissa valmiiksi perävaunuun ja jalkalavalle. Tämä on ollut käytössä vain 76- ja 84-tonnisilla yhdistelmillä. Hannosella jalkalava-asema sijaitsee yhtiön omassa terminaalissa (kuva 14). Moilaspojilla oli puolestaan käytössä siirrettävä jalkalava-asema (kuva 15).



Kuva 14. Jalkalavaa kyytiin ottava HCT-auto Hannosen terminaaliassa (Metsä Group).



Kuva 15. Moilaspoikien HCT-auto on jättänyt tyhjän jalkalavan terminaaliin ja ottaa kyytiin valmiiksi lastatun (Metsähallitus Metsätalous Oy).

3.4.2 Yksittäisten yhdistelmien kustannusvertailut

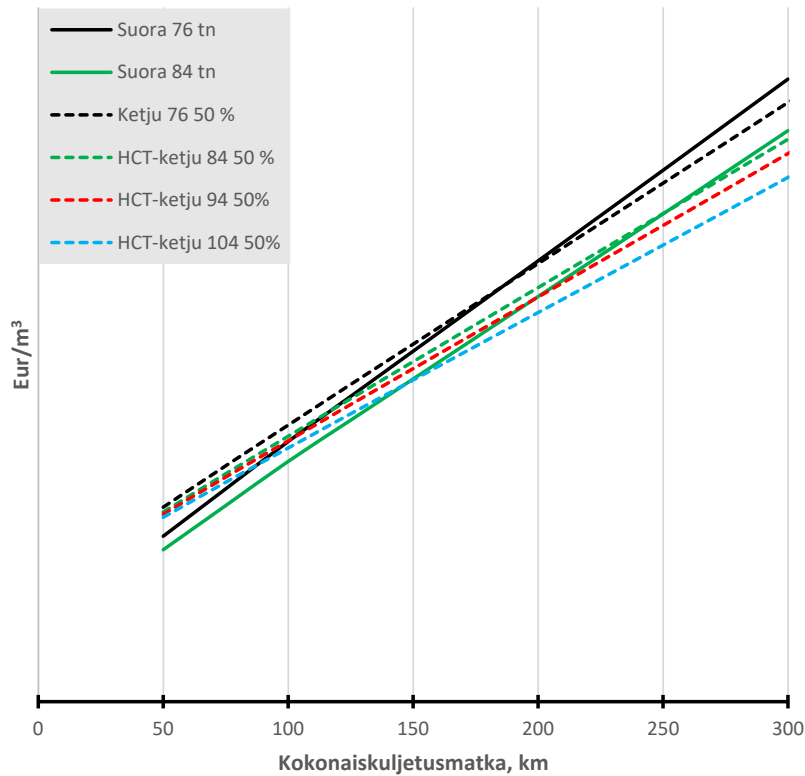
Erialaisten HCT-kuljetusketjujen sekä metsäautoilla tehtyjen suorien kuljetusten kustannuksia verrattiin eri kuljetusmatkoilla (kuljetettua kuutiota kohden). Laskelmissa on mukana myös sellaisia yhdistelmäkokoja ja siirtokuormaustapojen yhdistelmiä, joita ei ole ollut käytössä tutkituilla ajoneuvoyhdistelmillä. Uusimmat päivitykset laskelmissa tehtiin osana ACE-hankkeen raporttia (Venäläinen ja Poikela 2026).

Verrattaessa kustannuksia **suoriin kuljetuksiin 76-tonnisilla metsäautoilla** 84-tonninen metsäauto tuo 8 %:n kuljetuskustannussäästön (kuvat 16 ja 17).³ **HCT-terminaaliautojen kuljetusketjuissa**⁴

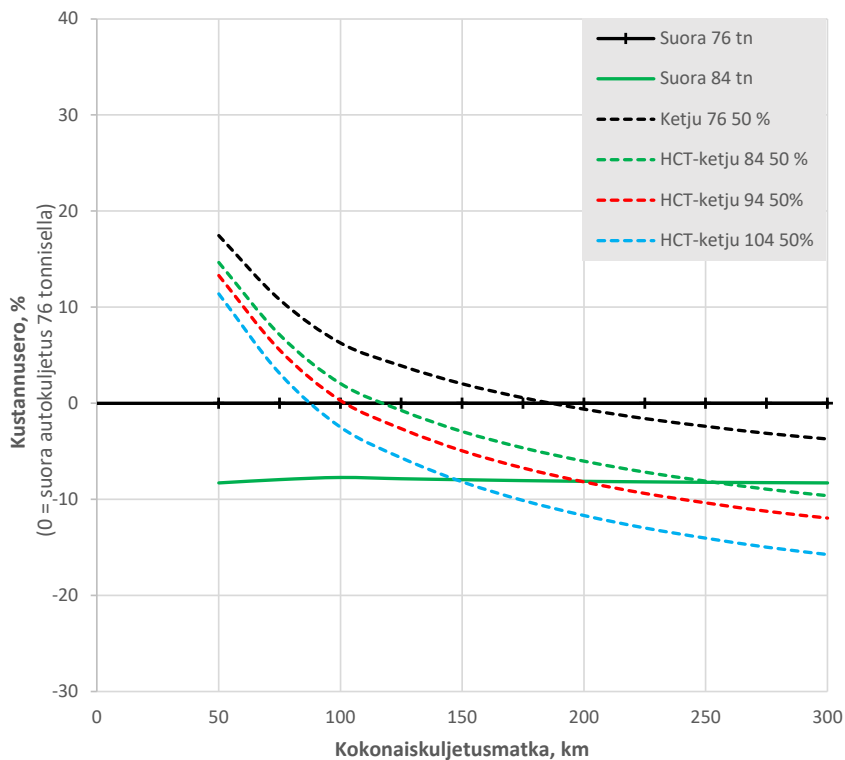
- 84-tonninen yhdistelmä tuo säästöjä noin 125 km:n ja sitä pidemmällä matkoilla (säästö 0,8 %–9,6 % 125–300 km:n matkalla).
- 94-tonninen on kustannustehokkaampi yli 125 km:n kuljetusmatkoilla (säästö 2,6–11,9 % 125–300 km:n kuljetusmatkalla).
- Myös 104-tonninen on kustannustehokkaampi jo 100 km:n matkalla (säästö 2,5–15,8 % 100–300 km:n kuljetusmatkalla).

³ Väätäisen ym. (2020) simulointitutkimuksessa 84-tonnisen yhdistelmän tuoma kustannussäästö 76-tonniseen verrattuna oli kuljetusmatkasta riippuen 4,2–6,0 % kuljetettua kuutiota kohden. Ko. simuloinnissa oletettiin puunippujen keskimääräiseksi pituudeksi 4,2 metriä.

⁴ Kuljetusketjuihin sisältyy aina myös alkukuljetus. Ks. eri siirtokuormaustapojen kuvaus (0 %, 50 % ja 100 %) taulukossa 5



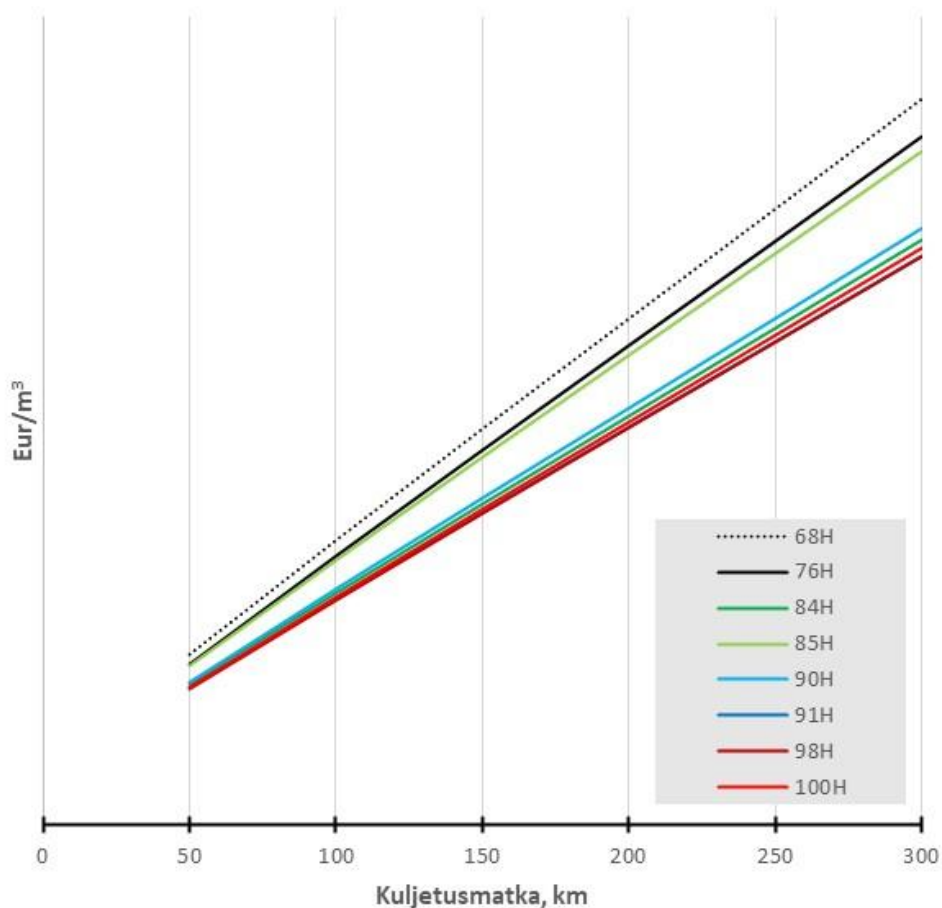
Kuva 16. Pyöreän puun kuljetusketjujen kustannusvertailut (€/m³) (Venäläinen ja Poikela 2026).



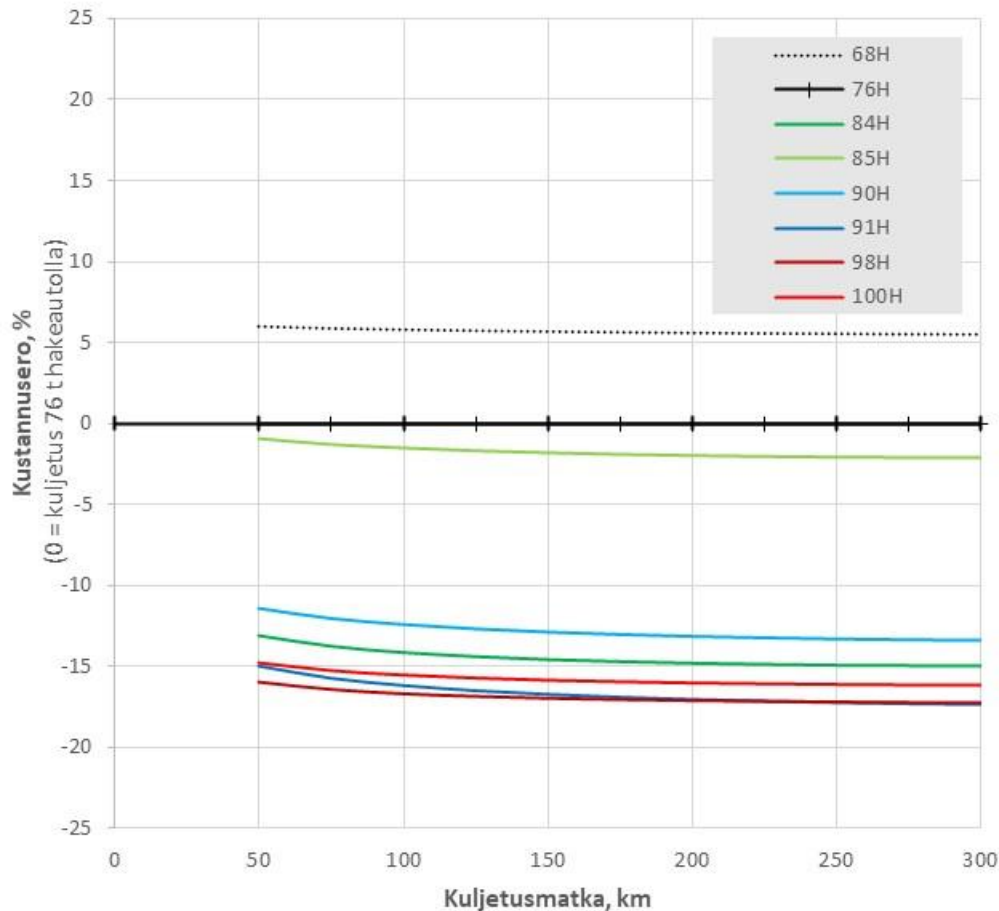
Kuva 17. Pyöreän puun kuljetusketjujen kustannusvertailut kuljetettua kuutiota kohden (erotus suoraan kuljetukseen 76-tonnisella yhdistelmällä, %) (Venäläinen ja Poikela 2026).

Siirtokuormauksia yhdistelmien välillä tehdään osin jo nyt eri syistä (esim. kelirikko-varastointi tai kuljetusyrityksen oma halu käyttää terminaalia resurssien käytön tasaajana). Terminaali-vaiheesta voi olla puun kuljetusketjulle kustannus- tai toimintavarmuusetuja, joiden rahallista merkitystä on vaikea arvioida. Terminaalien erilaisia käyttötilanteita tunnistettiin Metsäteho Oy:n ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston (2017) terminaalityöskimpuksen yhteydessä.

Hakeyhdistelmillä ei ole tarvetta kuorman siirtoon kuljetusketjussa, joten HCT-yhdistelmien kustannuskustannukset kuutiota kohden ovat matalammat kaikilla kuljetusmatkoilla (kuvat 18 ja 19). HCT-yhdistelmien kustannusetu on pääosin noin 15 %. Eri painoluokkien väliset kustannuserot eivät olleet hakeautoilla yhtä loogisia kuin puutavara-autoilla. Tämä johtuu ainakin osittain polttoaineen kulutustiedoissa esiintyneistä epäjohtonmukaisuuksista, joille ei löytynyt selitystä.

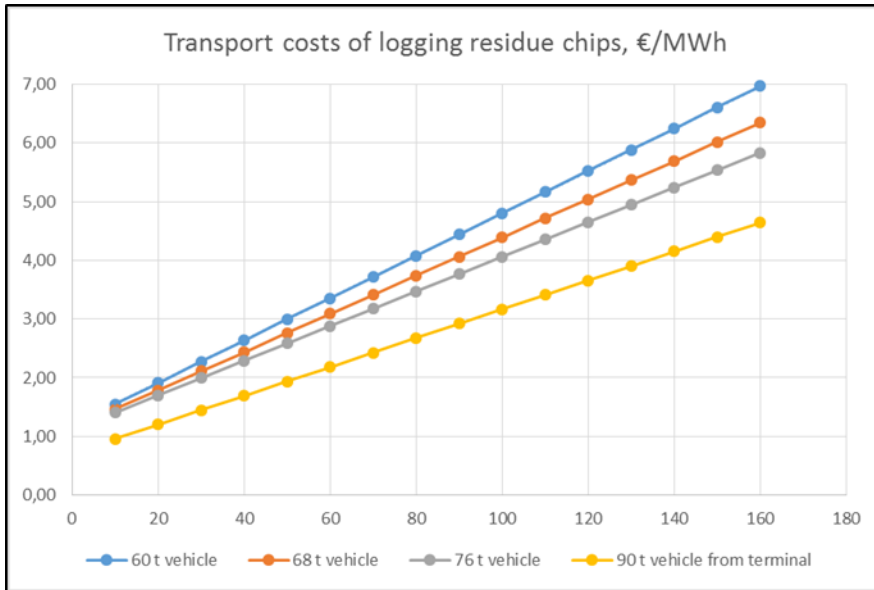


Kuva 18. Hakekuljetusten kustannusvertailut eri kuljetusmatkoilla (€/m³) (Venäläinen ja Poikela 2026).

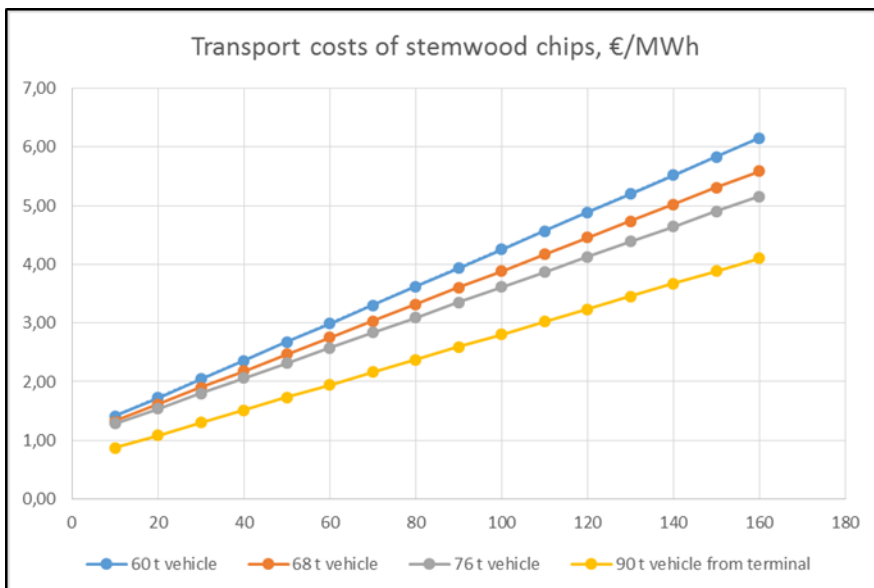


Kuva 19. Hakekuljetusten kustannusvertailut eri kuljetusmatkoilla kuljetettua kuutiota kohden (erotus kuljetukseen 76-tonnisella yhdistelmällä, %) (Venäläinen ja Poikela 2026).

Energiapuukuljetusten kustannusvertailuita laadittiin BEST-hankkeen yhteydessä (Korpilahti 2015) (kuvat 20 ja 21). Energiapuun matalan tiheyden takia HCT-yhdistelmät sopivat parhaiten hakkeen ja rankapuun kuljetuksiin. Vuonna 2020 metsähakkeesta 36 % haketettiin terminaaleissa (Strandström 2021). Isotkin HCT-yhdistelmät sopivat terminaaleista lähtevän hakkeen kuljetuksiin. Koska terminaalihaketuksella on hakkeen laatua ja toimitusvarmuutta parantavia vaikutuksia, terminaalin kautta ajo ei tuo HCT-yhdistelmälle laskettavia lisäkustannuksia. Metsäteiden kääntöpaikat saattavat tuoda haasteita ajoneuvokoon kasvattamiselle tienvarsihakkeen kuljetuksissa (Strandström 2018).



Kuva 20. Hakkuutähdehakkeen kuljetuskustannukset eri kuljetusmatkoilla (90-tonnisen osalta terminaalista kuljetettuna) (Korpilahti 2015).



Kuva 21 Rankapuuhakkeen kuljetuskustannukset eri kuljetusmatkoilla (90-tonnisen osalta terminaalista kuljetettuna) (Korpilahti 2015).

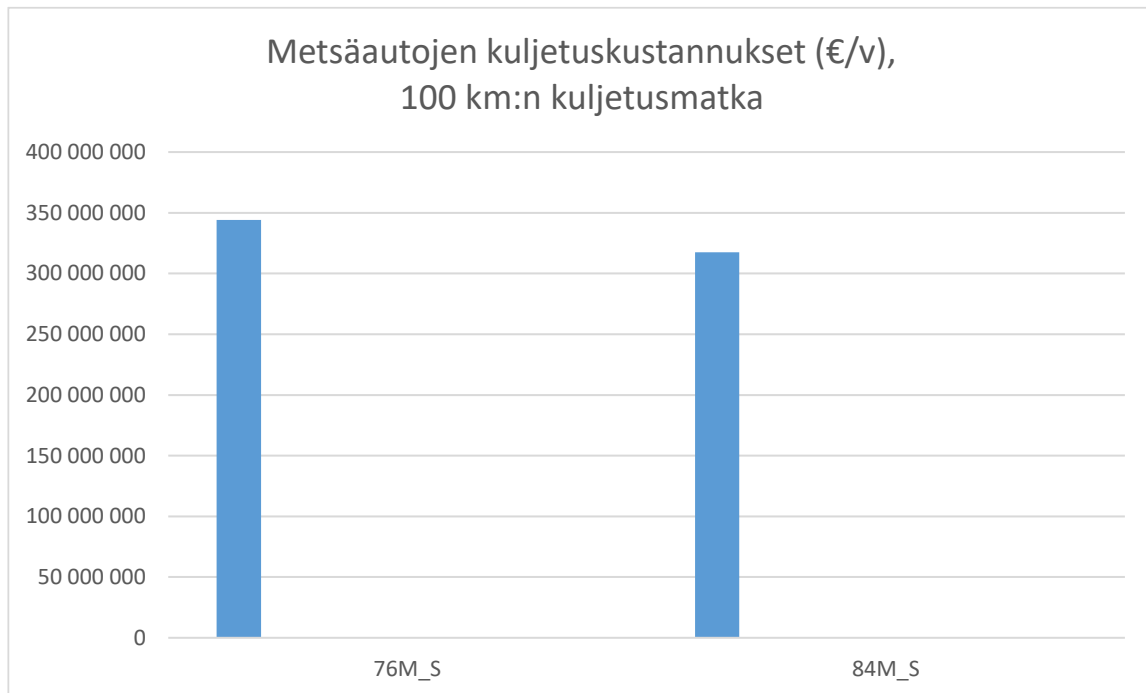
HCT-yhdistelmistä Orpella oli tuotantolaitosten välisten vaihtopuiden **meno-paluukuljetuksia** (mepa), Sammalistolla sivutuotehakkeen mepaa ja Konnekuljetuksella sivutuote- ja energiahakkeen sekä sellupaalien mepaa. Meno-paluukuljetuksilla voidaan vähentää tyhjänä ajoa ja siten entisestään parantaa HCT-yhdistelmien tuomaa tehokkuushyötyä.

3.4.3 Valtakunnalliset kustannuslaskelmat

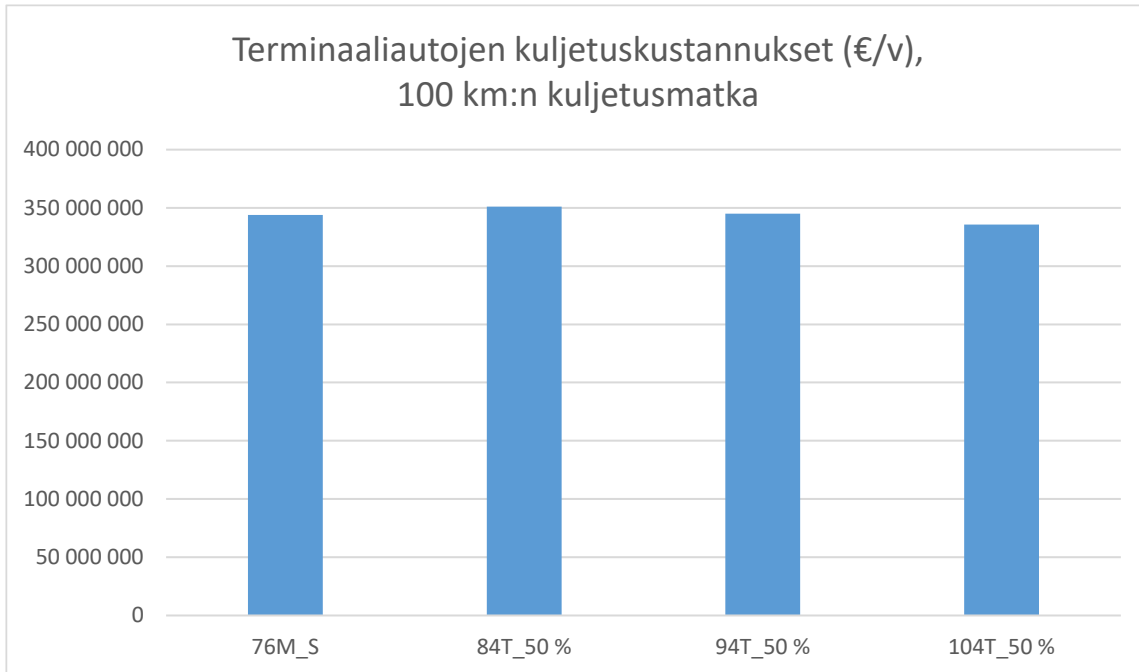
Valtakunnalliset kustannuslaskelmat perustuvat luvun 2.1 kuljetusvolyymeihin. Laskelmissa on oletettu, että kaikki kuljetukset hoidetaan ko. kokoisella kalustolla. Valtakunnalliset laskelmat on tehty 100 km:n kuljetusmatkalla. Laskelmissa ei ole otettu huomioon, että HCT-yhdistelmät ovat taloudellisempia keskimääräistä pidemmillä kuljetusmatkoilla. Aiemmassa

selvityksessä (Venäläinen ja Poikela 2024) on esitetty kustannusvaikutukset, kun laskelmassa on käytetty valtakunnalliseen kuljetusoptimointiin perustuvaa kuljetusmatkajakaumaa.

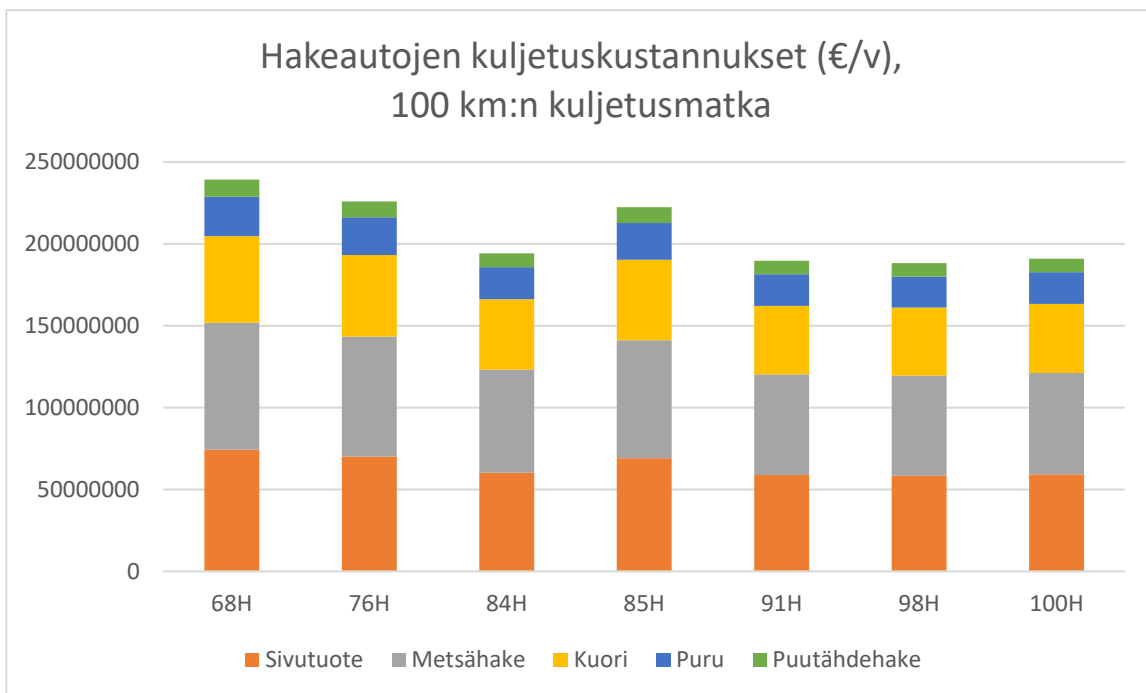
Suurissa metsästä tehtaalle kuljetuksissa 84-tonniset HCT-yhdistelmät voivat tuoda yli 26 milj. euron vuosittaisen kustannussäästön (kuva 22). HCT-terminaaliyhdistelmistä vain 104-tonnisen kuljetusketju toisi säästöä jo 100 km:n kuljetusmatkalla (kuva 23). Hakeyhdistelmät toisivat kaikissa kokoluokissa säästöä 100 km:n kuljetusmatkalla (kuva 24).



Kuva 22. Valtakunnalliset pyöreän puun kuljetuskustannukset kalustokoon mukaan (€/v, suora kuljetus metsäautoilla tehtaalle, kuormain 4 t sisältyy omapainoon).



Kuva 23. Valtakunnalliset pyöreän puun kuljetuskustannukset kalustokoon mukaan (€/v, terminaaliautot). Prosenttiluku kuvaa terminaalissa maan kautta kulkevan puukuorman osuutta. 76-tonnisen osalta käytetty metsäautoa terminaaliauton sijasta (oletettu tässä, ettei kuljetusyriyksillä ole välttämättä aina kevyempiä terminaaliautoja käytössä)



Kuva 24. Valtakunnalliset hakkeen kuljetuskustannukset kalustokoon mukaan (€/v).

3.5 Ajoneuvojen kestävyys

Yhdistelmän koon kasvaminen lisää ajoneuvojen eri osien rasitusta. Rasitustasojen luotettavampi arvioiminen vaatisi yhdistelmien vielä pidempää ja useampaa yhdistelmää koskevaa

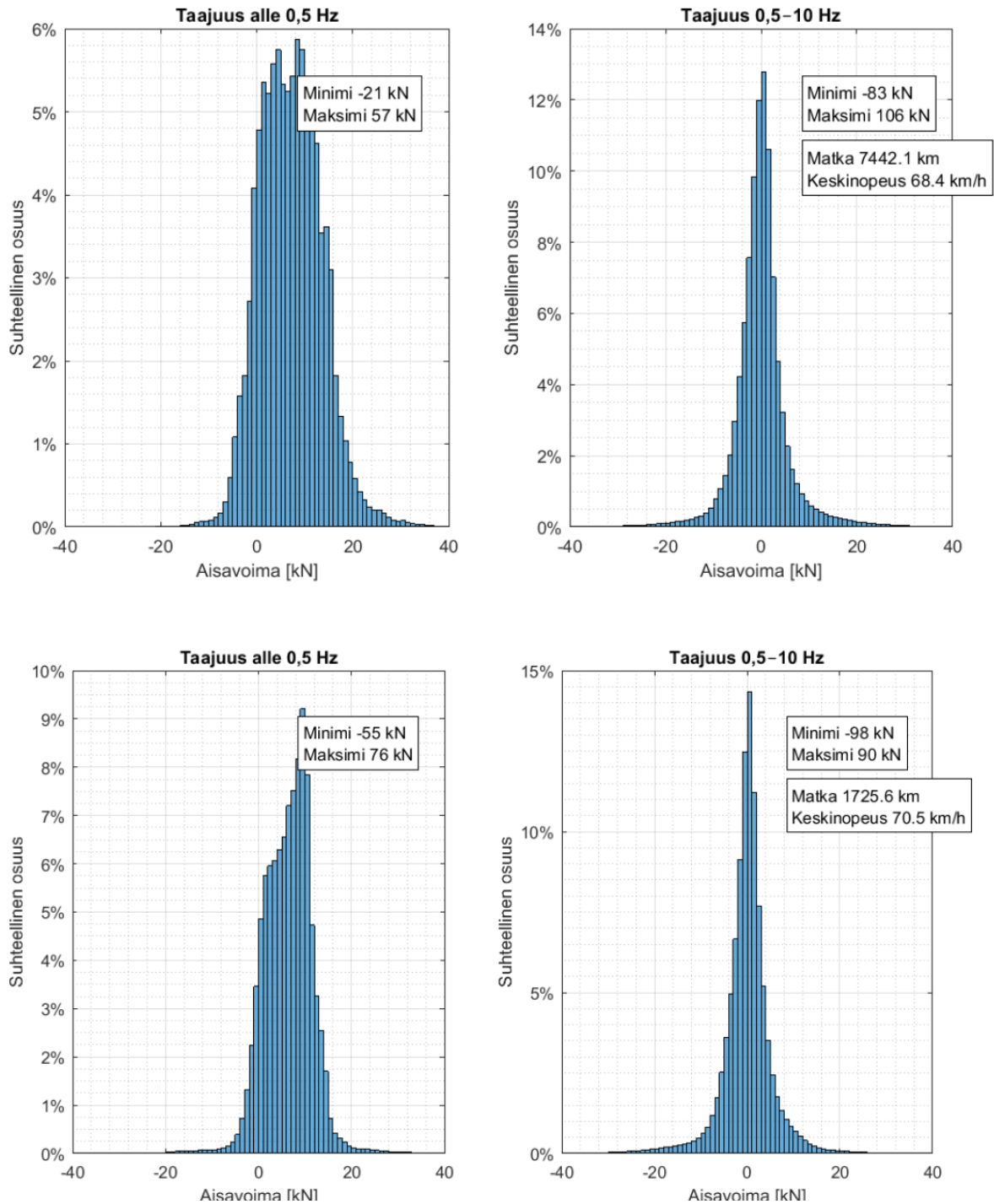
seurantaa. Seuraavaksi on kuvattu Oulun yliopiston HCT-yhdistelmien vetolaitteita ja renkaita koskeneita tutkimuksia.

3.5.1 Vetolaitteet

Vetoajoneuvon ja hinattavan ajoneuvon välisiä kytkentöjä koskevat vaatimukset on kuvattu Traficom (2023) määräyksessä. Kytkeäntäilaitteiden tulee olla direktiivin 94/20/EY ja E-säännön n:o 55 mukaisesti ko. massoille tyyppihyväksytyjä. HCT-kokeiluyhdistelmien laitteet eivät pääosin ole ko. vaatimusten mukaisia, mutta markkinoilla olevat laitteet ovat kehittyneet kokeiluiden aikana.

Oulun yliopisto (Pirnes ja Haataja 2018) tutki Ketosen 104-tonnisen sekä P&A Transin ja Malisen 84-tonnisten yhdistelmien perävaunujen vetoaisoihin kohdistuneita voimia. Vertailukohteenä oli 76-tonninen yhdistelmä. Mittaus suoritettiin vetoaisoihin kiinnitetyillä venymäliuskoilla. Lisäksi Ketosen ja P&A Transin yhdistelmiin asennettiin ajodynamiikan mittausjärjestelmät.

Vetoauton vedosta tai jarrutuksesta aiheutuvat staattiset aisavoimat tapahtuvat pienellä taajuudella (alle 0,5 Hz) ja ajoneuvoyksiköiden välisestä suhteellisesta liikkeestä aiheutuvat dynaamiset voimat korkealla taajuudella (0,5–10 Hz). Staattisiin voimiin vaikuttaa erityisesti ajettava tiettyyppi ja dynaamisiin voimiin erityisesti ajonopeus. Tutkimuksen mukaan HCT-yhdistelmien voimat jakaantuvat laajemmalle alueelle kuin 76-tonnisen yhdistelmän (esimerkki kuvassa 25). Korkeampitaajuisissa voimissa yhdistelmien välillä ei havaittu merkittäviä eroja. Matalataajuisissa, yhdistelmän kiihdytyksissä ja hidastuksissa ilmenevissä voimissa oli jonkin verran eroja. HCT-yhdistelmissä matalataajuiset voimat olivat jonkin verran tavanomaista yhdistelmää suuremmat, mutta erot eivät olleet merkittäviä. 104-tonnisessa HCT-yhdistelmässä esiintyi alle 0,5 Hz:n taajuisia puristusvoimia muita yhdistelmiä enemmän. (Pirnes ja Haataja 2018).

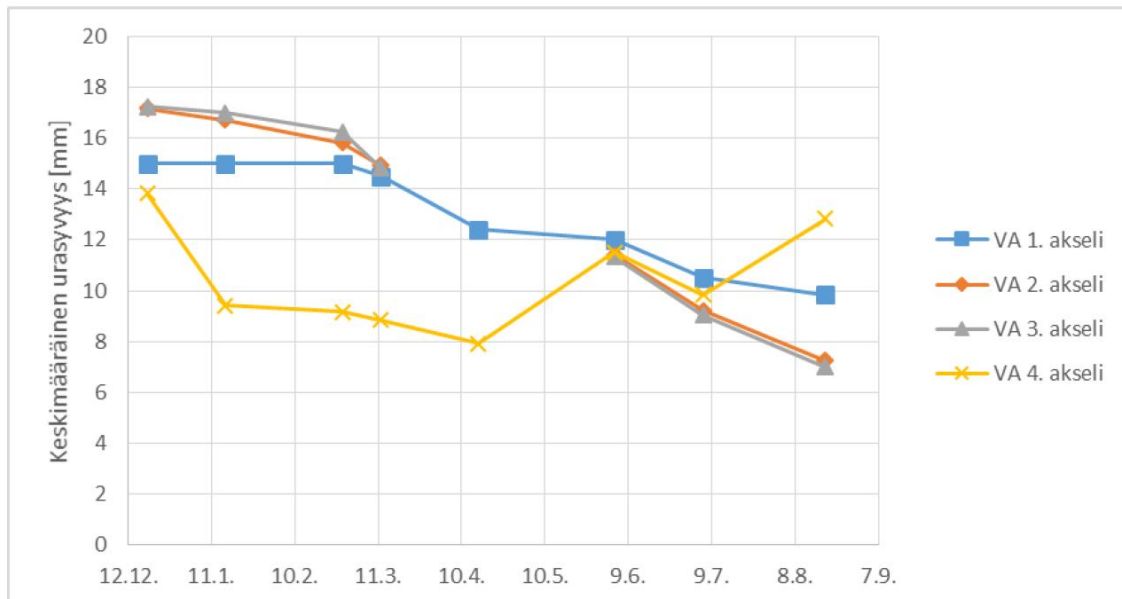


Kuva 25. Mitatut aisavoimat valta- ja kantateillä 84-tonnisella (ylempi rivi) ja 76-tonnisella (alempi rivi) yhdistelmällä (Pirnes ja Haataja 2018).

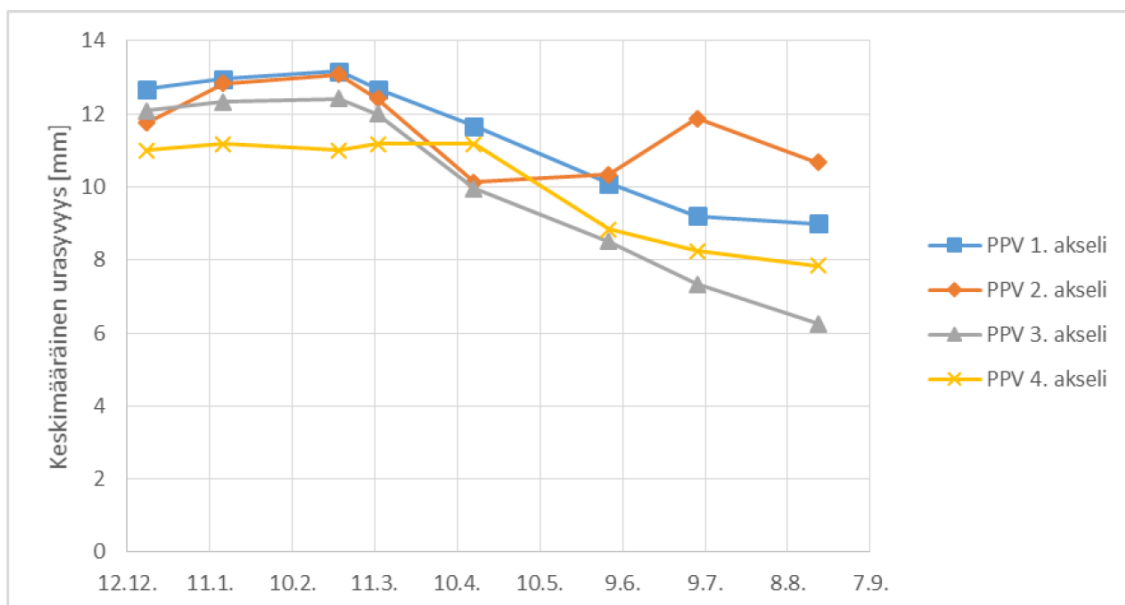
3.5.2 Renkaat

Oulun yliopisto (2016) seurasi Ketosen 104-tonnisen yhdistelmän renkaiden kulumista renkasuria mittaamalla (kuvat 26–28). Kuluminen kiihtyi kesää kohden (teiden sulamisen myötä). Renkaiden kulumisessa oli akselikohtaisia eroja (nopeimmin kuluivat vetoauton renkaat ja hitaimmin täysperävaunun renkaat). Täysperävaunun kaikkien akselien osalta pientareen puoleiset renkaat kuluivat enemmän kuin tien puoleiset renkaat. Seurannassa ei tehty vertailua

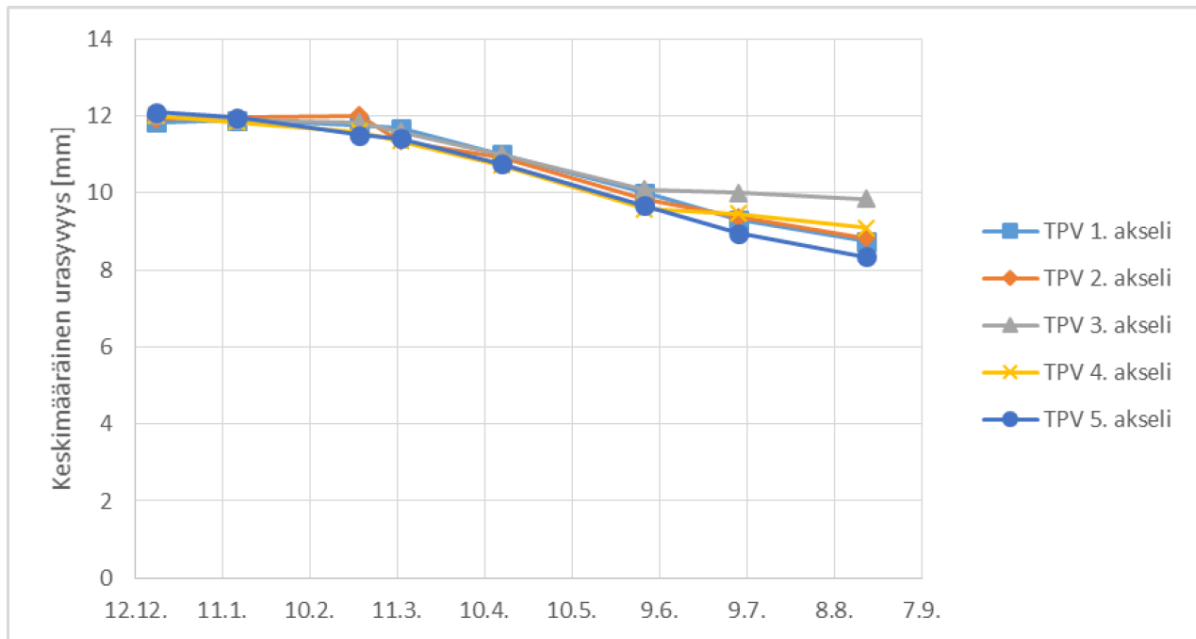
muun kokoiisiin yhdistelmiin tai metsäautoihin. Tutkimusta renkaiden ja ajoneuvon muiden osien kulumisesta on tarpeen jatkaa.



Kuva 26. 104-tonnisen HCT-yhdistelmän vetoauton renkaiden urasyvyyskeskiarvo akselleittäin eri mittauskerroilla (Oulun yliopisto 2016). Neljännen akselin renkaat oli vaihdettu/pinnoitettu kaksi kertaa. Vetävien akselien renkaat vaihdettu kerran talvirenkaista kesärenkaisiin.



Kuva 27. 104-tonnisen HCT-yhdistelmän puoliperävaunun renkaiden urasyvyyskeskiarvo akselleittäin eri mittauskerroilla (Oulun yliopisto 2016). Toisen akselin renkaat oli vaihdettu kerran. Renkaiden paikkaa (oikealta vasemmalle ja toisin päin) oli vaihdettu viikolla 20.



Kuva 28. 104-tonnisen HCT-yhdistelmän varsinaisen perävaunun renkaiden urasyvyysien keskiarvo akseleittain eri mittauskerroilla (Oulun yliopisto 2016).

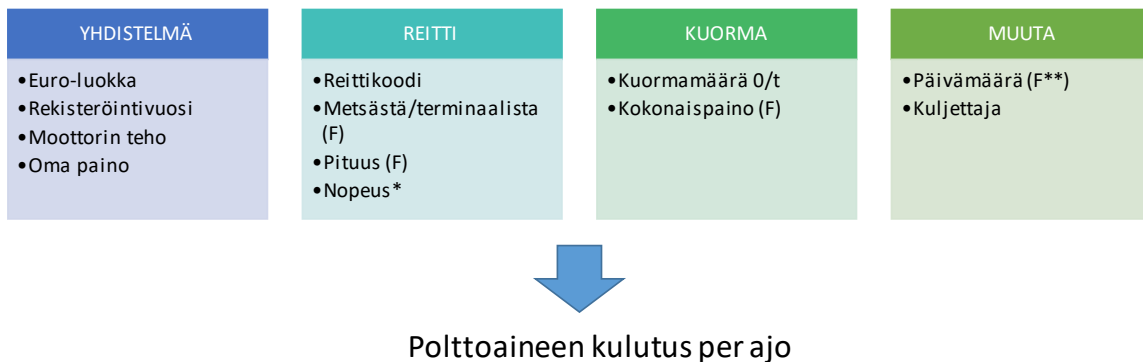
3.6 Polttoaineen kulutus ja päästöt

3.6.1 Polttoainekulutukseen vaikuttavat tekijät ja tietojen keruu

Polttoaineen kulutus vaikuttaa merkittävästi sekä kuljetuskustannuksiin että kuljetusten ympäristövaikutuksiin. Tässä raportissa on tarkasteltu lähinnä yhdistelmän koosta seuraavia säästöjä hyötykuormakohtaisissa polttoaineen kulutuksissa ja päästöissä. Luvussa 3.6.2 on tarkasteltu kuljetusreitin vaikutuksia polttoaineen kulutukseen.

Metsätehon HCT- ja verrokkiyhdistelmien polttoaineen kulutusfunktioiden laatimisessa hyödynnettiin ajokohtaista tietoa (ks. tarkemmin kuva 29):

- polttoaineen kulutuksesta
- reittityypistä (ajo metsästä/terminaalista)
- ajovaiheesta (tyhjänä/kuormattuna)
- ajomatkan pituudesta
- yhdistelmän ja kuorman painosta ja
- päivämäärästä (talvi/kesä).



F = polttoaineen kulutusfunktiossa käytetyt tiedot

*: Tutkimusaineistosta jätettiin pois ajoja, joiden yhteydessä oli erityisen pitkiä taukoja

** : Päivämäärän mukaan ajot määriteltiin joko kesä- tai talviajan ajoksi

Kuva 29. Polttoainekulutuksen laskennassa käytetyt tekijät.

Valittuja muita kerättyjä tietoja hyödynnettiin mm. otannan suunnittelussa, laskelmien tarkistuksissa ja mahdollisten virheiden havaitsemisessa. Kaikkien taustatekijöiden vaikutusta ei voitu arvioida yhdistelmien pienen lukumäärän takia. Yhdistelmien tiedonkeruuta toteutettiin sekä kesä- että talvikausilta, jotta eri ajankohtien vaikutus polttoaineen kulutukseen voitiin erottaa (seurantajaksot liitteessä 2). Polttoaineen kulutustiedot ja ajonopeudet kerättiin pääosin ajoneuvojen hallintajärjestelmistä (taulukko 6).

Raportin funktiot ja laskelmat eivät sellaisenaan kuvaa yksittäisten HCT- tai verrokkiyhdistelmien kulutustasoa, vaan ne ovat useamman yhdistelmän kulutustietojen pohjalta tehtyjä arvioita. Kulutustietoja on tarpeen jatkossakin päivittää aivan uusimpien yhdistelmien kulutus-seurannalla tai simuloinneilla.

Taulukko 6. Polttoaineen kulutustietojen keräysmenetelmät.

Yhdistelmä	Tiedonkeruutapa
Ketonen (104T) HCT Verrokki	Scania Fleet Management & rajapintadata* Scania Fleet Management
Orpe HCT (94T*) Verrokki HCT (100T)	Volvo DynaFleet Volvo DynaFleet Volvo Connect
Moilaspojat (90T)	Volvo DynaFleet/Connect
Hannonen HCT (84AT) Verrokki HCT (84FT)	Econen Econen & osin kuljettajaseuranta Kuljettajaseuranta
P&A Trans HCT (84BM) Verrokki HCT (84EM)	Scania Fleet Management & rajapintadata* Volvo DynaFleet Scania Fleet Management & rajapintadata*
Malinen (84CM) HCT&verrokki	Volvo DynaFleet
Peltoniemi HCT (85M) Verrokki	Mapon Scania Fleet Management & rajapintadata*
Konnekuljetus (90H)	Volvo DynaFleet/Connect
Huhtala HCT (98AH) HCT (100H) Verrokki	Mapon ABAX Equipment Control ABAX Equipment Control
Wickström (85H) HCT (92BH) HCT (85H) Verrokki	Mapon Kuljettajaseuranta Kuljettajaseuranta
Sammalisto (91H/84H) HCT Verrokki	Scania Fleet Management & rajapintadata* Scania Fleet Management

*Rajapintadata on ajoneuvon CAN-väylästä saatua kulutusdataa

3.6.2 Kuljetusreitin vaikutus polttoaineen kulutukseen

Taulukossa 7 on esitetty tutkittujen HCT-yhdistelmien pääreitit. Reiteillä on merkittäviä eroja mm. maantieteellisen sijainnin, keskikuljetusmatkan ja eri tieluokissa⁵ ajon osuuden osalta. Kunkin ajon reitti on koodattu Metsätehon tutkimusaineistossa omaksi reitikseen. Mikäli yhdistelmällä on hyvin monia reittejä (useilta eri tienvarsivarastoilta lähtevät metsäautot), reittikoodi on muodostettu toimituskohteen ja kuljetusmatkan mukaan.

⁵ Puutavarayhdistelmien osalta tieluokkien vaikutusta polttoaineen kulutukseen on tutkittu mm. lähteissä Anttila ym. 2023 ja Pa-lander ym. 2021

Taulukko 7. Tutkittujen HCT-yhdistelmien pääkuljetusreitit.

Alue	Reitit
Pohjois-Suomi	<ul style="list-style-type: none"> • Ketonen – Mm. Inarin alueen terminaaleista Rovaniemen rautatie-terminaalille 4-tietä pitkin • P&A Trans A – Lapin toimituskohteisiin (mm. Rovaniemen terminali) alueen tienvarsivarastoista • P&A Trans B* – Tienvarsivarastoista käyttökohteisiin ja VR:n terminaliin reiteillä Rovaniemi–Inari, Kemijärvi–Pelkosenniemi ja Kuusamo–Kemijärvi • Malinen – Tienvarsivarastoista Oulun, Kuhmon ja Joensuun tuotantolaitoksiin • Moilaspojat – Terminaalista Oulun ja Kemin tuotantolaitoksiin • Peltoniemi – Tienvarsivarastoista Lapin tuotantolaitoksiin ja Rovaniemen rautatieterminaaliin • Pölliralli* – Inari – Rovaniemen rautatieterminaali, Pelkosenniemi/Kuusamo – Kemijärvi
Keski-Suomi	<ul style="list-style-type: none"> • Konnekuljetus – Mänttä-Vilppula/Soini/Jyväskylä – Äänekoski, Soini – Rauma/Mänttä-Vilppula
Kaakkois- ja Itä-Suomi	<ul style="list-style-type: none"> • Orpe A + B* – UPM:n tehtaiden (Savonlinna, Kouvolan Kymi, Ristiinan Pellos) väliset tiet • Hannonen A + B* – Pohjois-Karjalan terminaaleista pääosin 6-tietä pitkin Metsä Groupin tehtaille (Lappeenranta, Joutseno ja Simpele) • Wickström A – UPM:n Pelloksen tehtaalta Kaukaalle Lappeenrantaan ja Kymille Kouvolaan, B:llä* ja C:llä lisäksi Kouvola – Lappeenranta • Malmstedt – Saimaan ympäriaajo (Savonlinna–Kouvola–Mikkeli) ja Savonlinna–Joensuu
Länsi-Suomi	<ul style="list-style-type: none"> • Huhtala A + B – UPM:n Seikun sahalta (Pori) UPM Raumalle • Sammalisto – UPM:n Korkeakosken sahalta Rauman, Kouvolan ja Lappeenrannan tehtaille

*Ei polttoaineen kulutusseurantaa tässä raportissa

Kuljetusreittien ominaisuuksien vaikutusta polttoaineen kulutukseen on kuvattu taulukossa 8. Keskikuljetusmatkan vaikutus kulutukseen on poistettu tämän raportin laskelmissa arvioimalla kerätyn datan pohjalta polttoaineen kulutus kaikille kuljetusmatkoille.

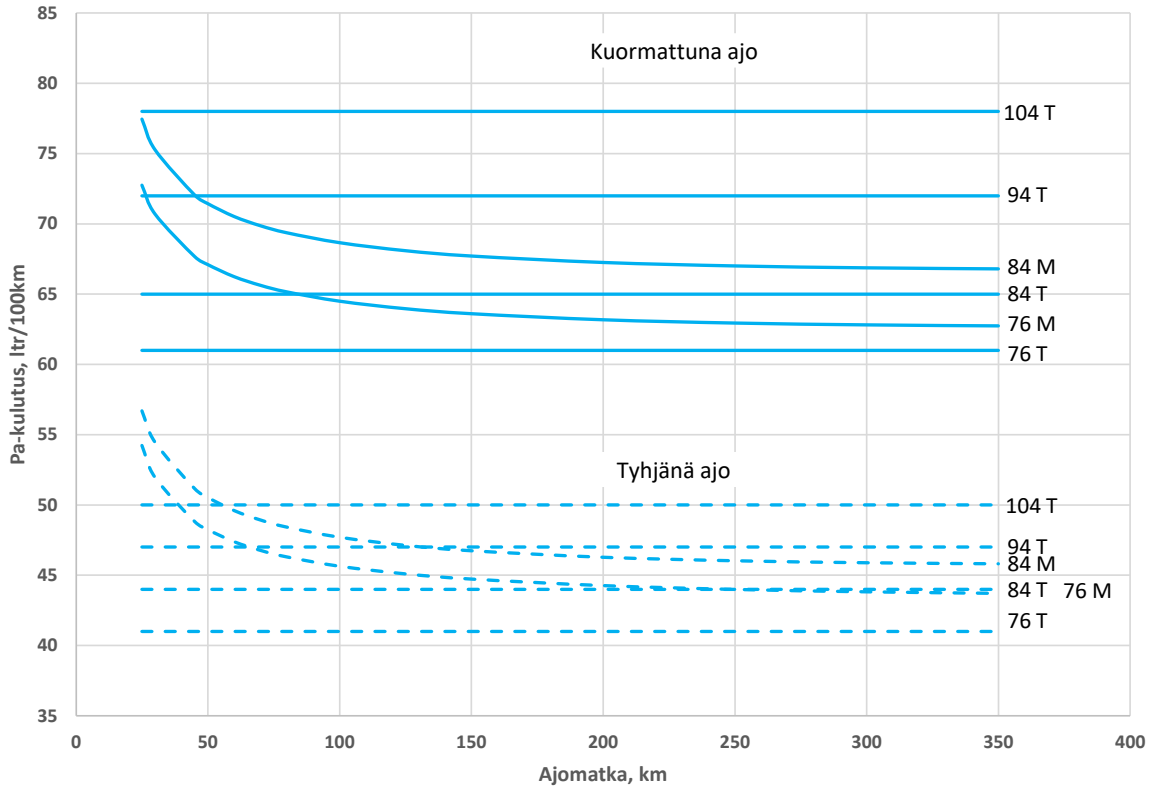
Taulukko 8. Kuljetusreittien ominaisuuksien vaikutuksia polttoaineen kulutukseen.

Reittiominaisuus	Vaikutus polttoaineen kulutukseen
Keskikuljetusmatka	Pidemmillä matkoilla on pienempi keskimääräinen kulutus (metsä- ja kaupunkiajon osuus jää pieneksi)
Keskinopeus	Korkea keskinopeus nostaa kulutusta
Ajon tasaisuus (ruuhkaisuus)	Epätasainen ajo lisää kulutusta
Paluukuljetusten osuus	Mahdollisuus paluukuljetuksiin vähentää tyhjänä ajon kulutusta ja pienentävät siten lastiyksikköä kohden laskevaa kulutusta
Eri tieluokat (metsäautotiet, alempi ja ylempi tieverkko, kadut)	Tieluokka vaikuttaa ajonopeuteen ja ajon tasaisuuteen ja siten polttoaineen kulutukseen
Tien kunto (epätasaisuudet ja talvihoidon tilanne)	Alemman tieverkon huono kunto tai puutteellinen talvihoito nostavat polttoaineen kulutusta
Mäkisyys ja korkeuserot	Mäkiiset reitit nostavat polttoaineen kulutusta
Sijainti Suomessa	Sääolosuhteet kuten sade, lumi ja pakkas lisäävät polttoaineen kulutusta kuivaan säähän verrattuna. Dieselin talvilaatu otetaan Pohjois-Suomessa Etelä-Suomea aikaisemmin käyttöön.

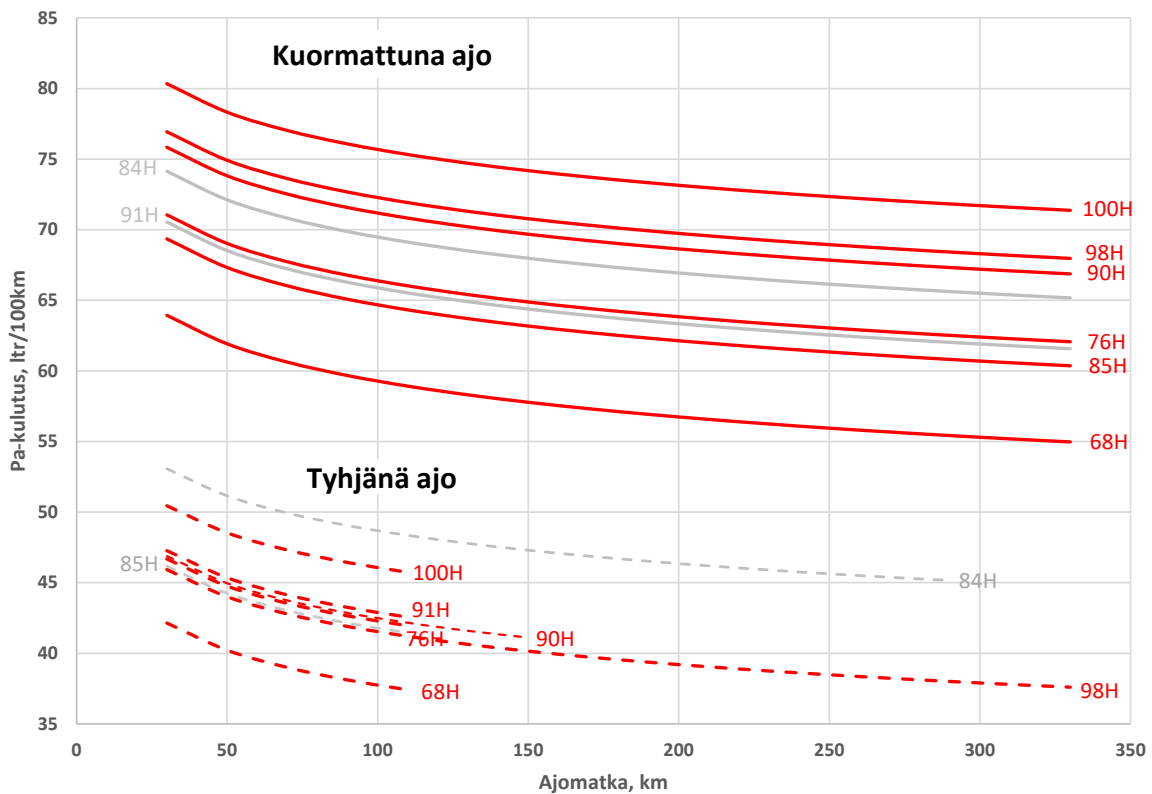
3.6.3 Polttoaineen kulutusfunktiot

Tämän raportin laskelmissa käytetyt puutavarayhdistelmien kulutusfunktiot 76-tonnisille ja HCT-yhdistelmille on esitetty kuvassa 30 ja hakeyhdistelmien kulutusfunktiossa kuvassa 31. Funktioiden viimeisin päivitys toteutettiin ACE-hankkeen raportin (Venäläinen ja Poikela 2026) yhteydessä. Hakeautojen osalta kuljetusmatkan vaikutusta polttoaineen kulutukseen ei pystytty tarkasti arvioimaan, koska yksittäisten yhdistelmien kuljetusmatkoissa oli hyvin vähän vaihtelua. Toisaalta keskikuljetusmatkat vaihtelivat eri painoluokan yhdistelmien välillä paljon. Tämä saattoi osaltaan vaikuttaa siihen, että eri painoluokkien välisissä kulutuksissa oli epä johdonmukaisuutta.

Malmstedtin 92-tonnisen, terminaalien välillä ajavan puutavarayhdistelmän keskikulutus oli erillisen tutkimuksen (Kärhä ym. 2023) mukaan 100 km:n kuljetusmatkoilla 72,4 l/100 km (1,12 l / per kuljetettu t) ja 300 km:n matkoilla 70,1 l/100 km (3,32 l/t). Saman tutkimuksen 76-tonnisen yhdistelmän keskikulutus oli 100 km:n matkalla 1,34 litraa / kuljetettu tonni. 300 km:n matkalla 76-tonnisen kulutus oli 3,14 l/t, joka oli muista tutkimuksista poiketen vähemmän kuin HCT-yhdistelmällä. Tyhjänä 92-tonnisen yhdistelmän keskikulutus 122 km:n keskimatkalla oli ilman kuormainta 44,3 l/100 km ja kuormaimen kanssa 47,5 l/100 km (Malmstedt 2024).



Kuva 30. Polttoaineen kulutus (litraa / 100 km) eri puutavarayhdistelmien kokoluokilla ja kuljetusmatkoilla (Venäläinen ja Poikela 2026).



Kuva 31. Polttoaineen kulutus (litraa / 100 km) eri hakeyhdistelmien kokoluokilla ja kuljetusmatkoilla (Venäläinen ja Poikela 2026).

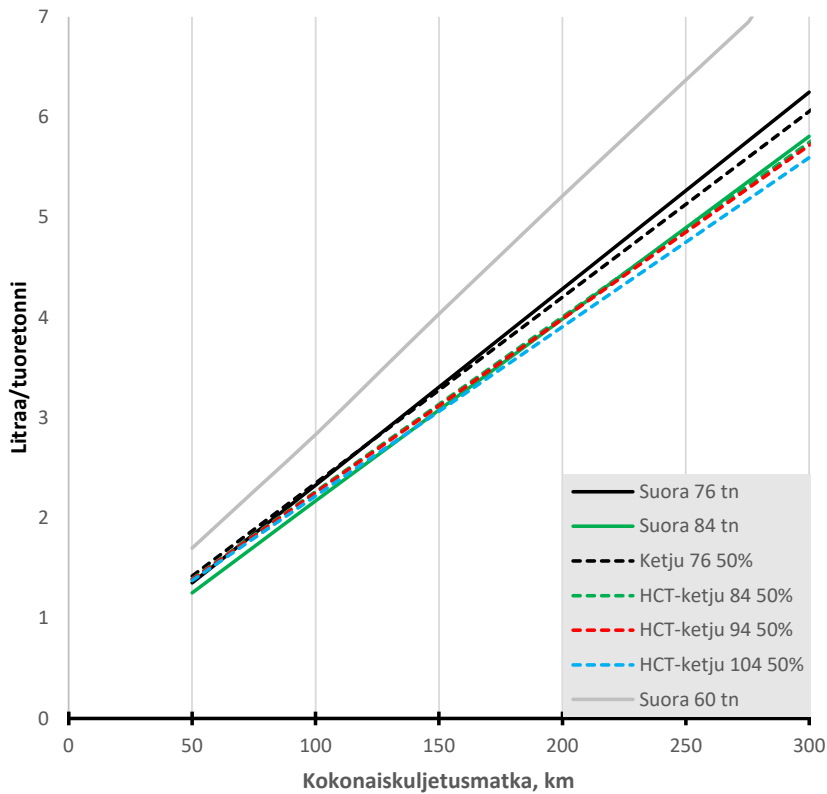
3.6.4 Kuljetusten polttoaineen kulutusvertailut

Suorien puutavarakuljetusten laskelmissa on otettu huomioon kuormaus-, ajo- ja purkuvaiheiden polttoaineen kulutus ja ketjukuljetuksissa myös siirtokuormauksen osuus polttoaineen kulutuksesta. Terminaalista eteenpäin kuljettava auto joko kuormataan kokonaan maasta (100 %), kuormataan puoliksi ja loput kuormasta tulee valmiiksi lastattuna perävaununa (50 %) tai kuorma on valmiiksi lastattu perävaunuun ja jalkalavalle (0 %). Tämän raportin vertailuissa on esitetty vain 50 %:n uudelleenkuormauksen tilanteita.

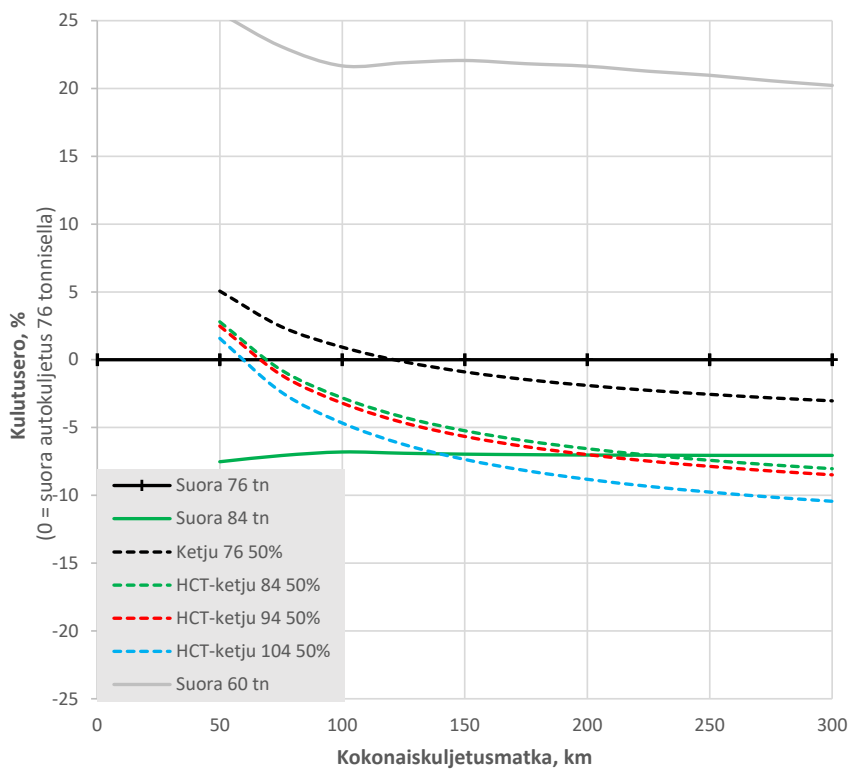
84-tonniset metsäautot tuovat 76-tonnisiin yhdistelmiin nähden noin 7 %:n säästön polttoaineen kulutuksessa tuoretonnia⁶ kohden (kuvat 32 ja 33). Terminaalin kautta kulkevissa, vähintään 100 km:n kuljetusketjuissa 84- ja 94-tonnisen yhdistelmän tuoma säästö on 3–9 % per kuljetettu tuoretonni ja 104-tonnisella 5–10 %. Hakeyhdistelmillä kulutuserot ovat samat kuljetusmatkasta riippumatta, koska siirtokuormaukselle ei ole tarvetta. Kulutussäästö on yhdistelmästä riippuen 5–20 % (kuvat 34 ja 35).

Laskelmissa ei ole otettu huomioon meno-paluukuljetuksia, joita on ollut Orpella, Sammalistolla ja Konnekuljetuksella. Ajettaessa kuormattuna kumpaankin suuntaan myös polttoainetaloudellisuus paranee nykyisestä kummankin kuljetussuunnan osalta. Jos paluusuunta on tyhjä, polttoainetaloudellisuus heikkenee ko. suunnan osalta.

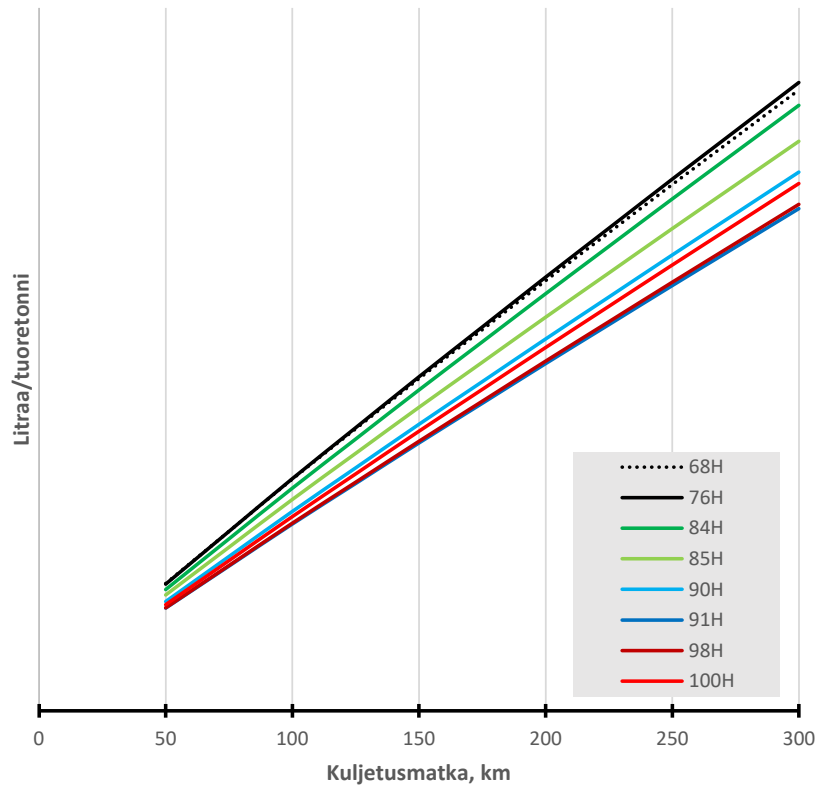
⁶ Tuoretonni = tonni pyöreää puuta tai haketta kuljetuskosteudessa



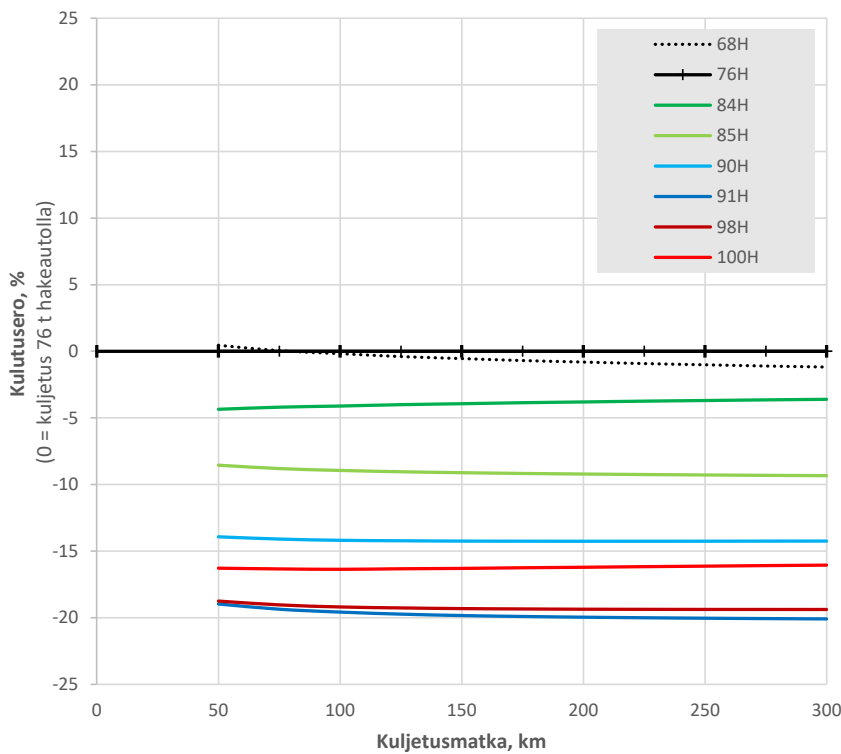
Kuva 32. Puutavaran kuljetusketjujen polttoaineen kulutuksen vertailut (litraa/tuoretonni) (Venäläinen ja Poikela 2026).



Kuva 33. Puutavaran kuljetusketjujen polttoaineen kulutuksen vertailut (erotus suoraan kuljetukseen 76-tonnisella yhdistelmällä, % per kuljetettu tuoretonni) (Venäläinen ja Poikela 2026).



Kuva 34. Hakekuljetuksen polttoaineen kulutuksen vertailut (litraa/tuoretonni) (Venäläinen ja Poikela 2026).



Kuva 35. Hakekuljetuksen polttoaineen kulutuksen vertailut (erotus kuljetukseen 76-tonnisella yhdistelmällä, % per kuljetettu tuoretonni) (Venäläinen ja Poikela 2026).

3.6.5 Ajovastusmittauksiin ja simulointiin perustuvat kulutus- ja päästölaskelmat

Sauna-ahon ym. (2018) ajovastustutkimukseen osallistuivat Orpen HCT- ja verrokkiyhdistelmät. Tutkimus perustui testiradoilla tehtyihin mittauksiin, joiden pohjalta simuloitiin ajoneuvojen energiankäyttö Helsinki–Oulu-reitillä ja tehtiin laskennallinen CO₂-päästöarvio. 94-tonninen HCT-yhdistelmä kulutti polttoainetta 14 % vähemmän kuin 76-tonninen yhdistelmä (kuljettuihin tonneihin verrattuna; laskelmaan ei ole sisällytetty tyhjää paluukuljetusta) (taulukko 9). Taulukossa 10 on laskettu polttoaineen kulutuksia per tkm raakapuun irtotilavuusmassan mukaan.

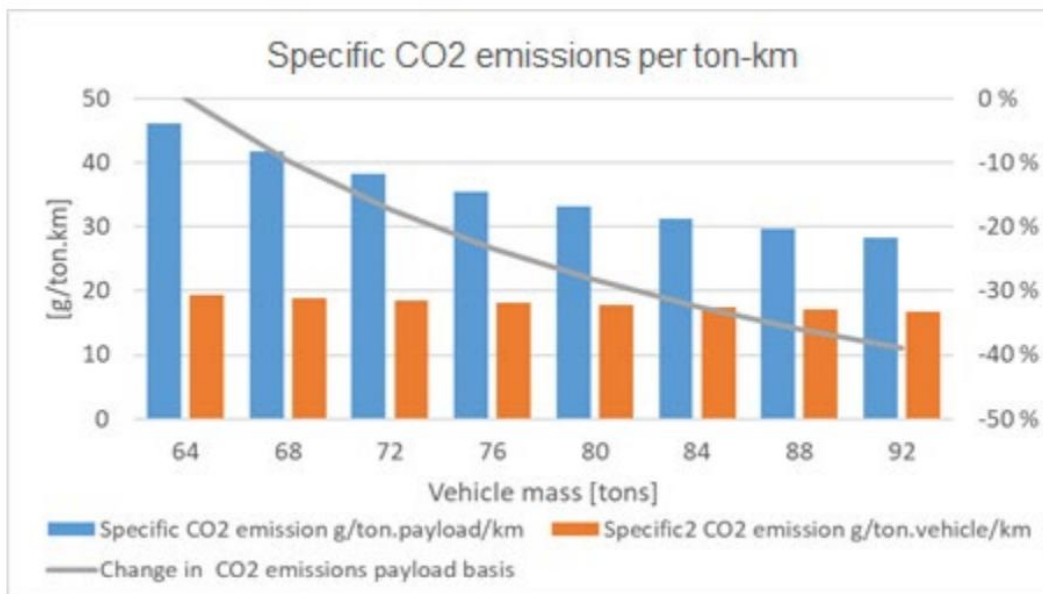
Taulukko 9. 94- ja 76-tonnisen puutavarayhdistelmän polttoaineen kulutus (Sauna-aho ym. 2018).

Yhdistelmä	Kulutus l / 100 km			Kulutus l / 100 tkm	
	Tyhjänä	Puolitäynnä	Täynnä	Puolitäynnä	Täynnä
Verrokki	26,8 / 43,29	52 / 50,44	76 / 58,53	2	1,19
HCT	27,2 / 47,56	62 / 58,37	94 / 68,29	1,68	1,02
HCT/Verrokki	1,01 / 1,1	1,19 / 1,16	1,24 / 1,17	0,84	0,86

Taulukko 10. 10- ja 11-akselisen puutavarayhdistelmän polttoaineen kulutus puun eri irtotilavuusmassoilla (Koskinen ja Sauna-aho teoksessa Sauna-aho ym. 2018).

Akselit	Raakapuun irtotilavuusmassa	Kokonaismassa t	Polttoaineen kulutus l/100 km	Polttoaineen kulutus l/100 tkm
10	200	45,1	58,82	2,59
11	200	64,9	71,19	2,07
11/10	200	1,44	1,21	0,80
10	390	66,5	66,92	1,52
11	390	99,5	81,53	1,18
11/10	390	1,50	1,22	0,78
10	470	75,9	70,08	1,31
11	470	113,7	84,90	1,02
11/10	470	1,50	1,21	0,78

VTT:n tutkimuksessa (Söderena ym. 2021) simuloitiin ajoneuvoyhdistelmän polttoaineen kulutusta eri kuormamäärillä. Simulointi tehtiin hyödyntäen mitattua kulutusdataa 76-tonnisesta, kappaletavaraa kuljettavasta yhdistelmästä, joka ajoi Helsinki–Oulu-väliä. Simuloinnissa yhdistelmän kokonaispaino oli välillä 64–92 tonnia. Yhdistelmän omapainoksi oli oletettu kaikilla kokonaispainoilla 37 t. Simulointitulosten mukaan 84 tonnia painavan yhdistelmän kulutus per tkm oli 12 % ja 92 tonnia painavan yhdistelmän 20 % pienempi kuin 76 tonnia painavan yhdistelmän (kuva 36). Simulointimallinnusta ei tehty puutavarayhdistelmälle.



Kuva 36. CO₂-päästöt per tkm ajoneuvoyhdistelmän kokonaispainon mukaan (Söderena ym. 2021).

3.6.6 Valtakunnalliset kulutus- ja päästölaskelmat

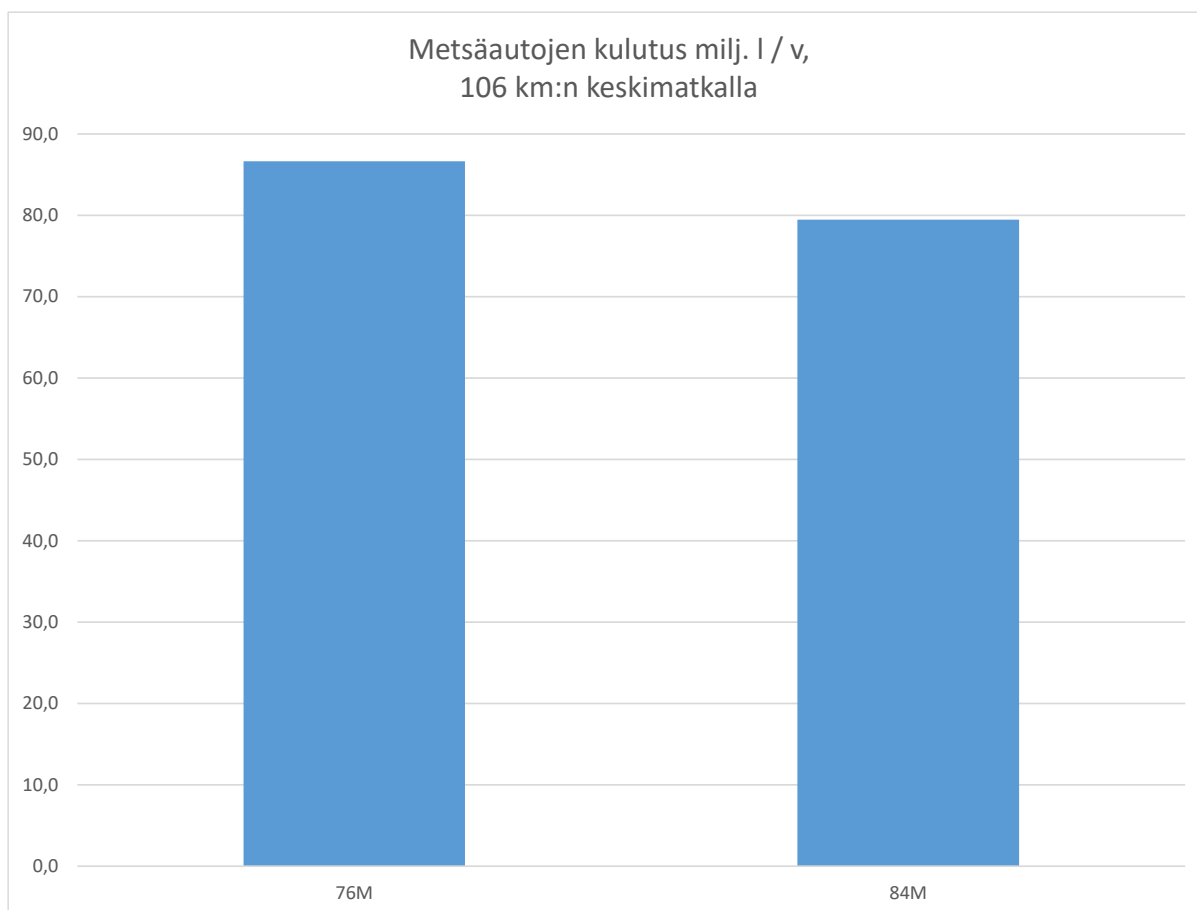
EU-velvoitteiden mukaan Suomen taakanjakosektorin, johon liikenne kuuluu, päästöjä tulee vähentää vuoteen 2030 mennessä 50 % vuoden 2005 tilanteeseen verrattuna. Suomen ilmastolain (423/2022) mukaan ilmastopäästöjen tulee vähentyä vuoteen 2030 mennessä vähintään 60 %, vuoteen 2040 mennessä vähintään 80 % ja vuoteen 2050 mennessä vähintään 90 % (vertailuvuoteen 1990 nähden).

Valtakunnallisissa laskelmissa HCT-yhdistelmien vaikutuksista puutavara- ja hakekuljetusten hiilidioksidipäästöihin ja päästökustannuksiin käytetään seuraavia oletuksia:

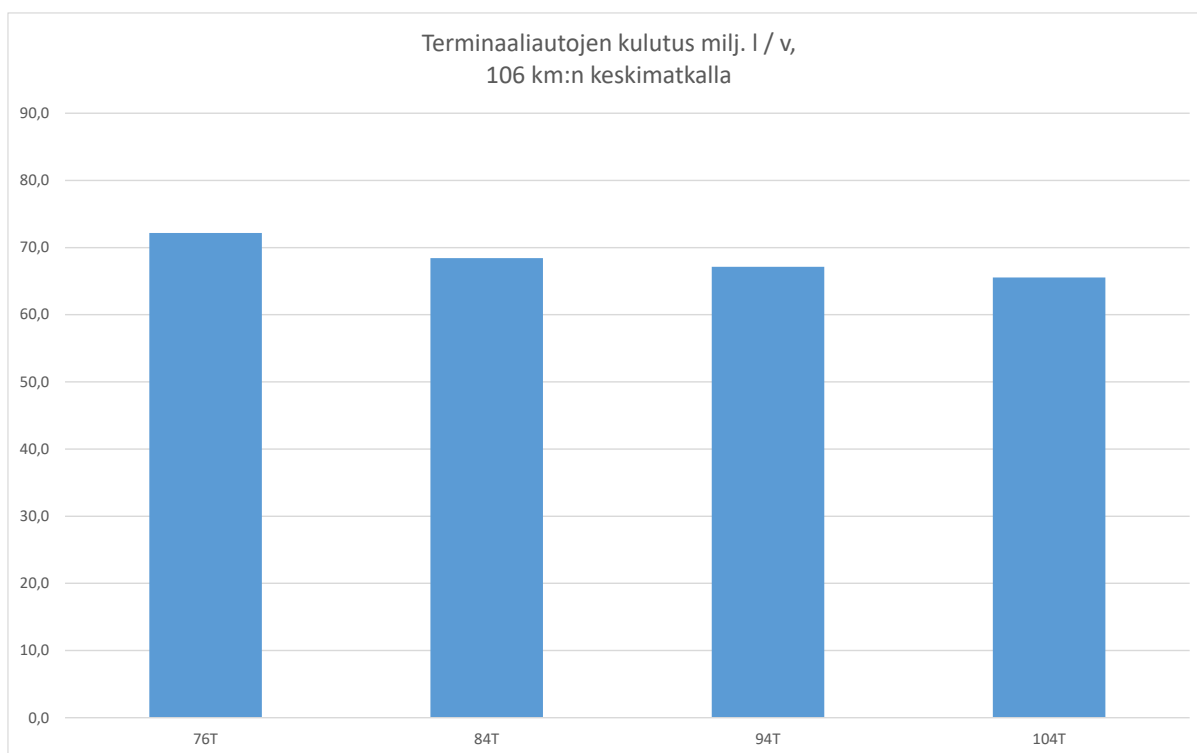
- kuljetusvolyymit ja keskipidätysmatkat ovat vuoden 2024 mukaiset (ks. taulukko 1)
- täysi menokuljetus ja tyhjä paluukuljetus
- ajoneuvojen kulutustasot ovat aiemmin esitettyjen Metsäteho Oy:n kulutusfunktioiden mukaiset
- polttoaineen hiilidioksidipäästökerroin on arviolle vuodelle 2025 (2,99 kg CO₂e/dieselilitra) (Ojala ym. 2025)
- hiilidioksidin päästökustannus on vuoden 2022 mukainen (128 €/päästötonni; Väylävirasto 2025).

HCT-kuljetusten vaikutukset polttoaineen kulutukseen

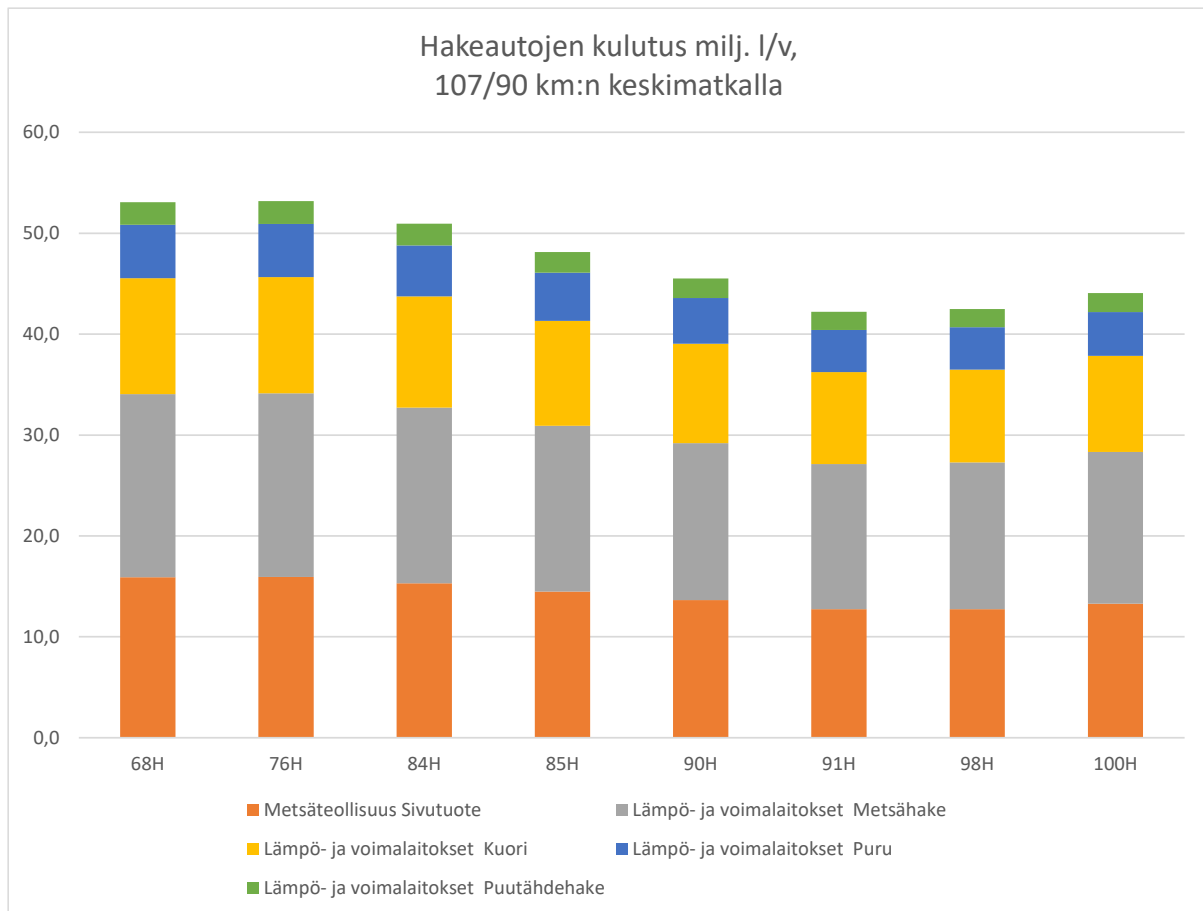
Siirtyminen 76-tonnisista metsäautoista 84-tonnisiin puutavarayhdistelmiin vähentäisi vuodessa yli 7 milj. litraa dieselin kulutusta (kuva 37). Pelkästään **keskimatkan** mukaan laskettuna (ottamatta huomioon, että suuremmat HCT-yhdistelmät ovat taloudellisempia keskimääräistä pidemmillä kuljetusmatkoilla) ja ilman oletusta meno-paluukuljetuksista, 84-tonninen terminaaliauto vähentäisi polttoaineen kulutusta 4, 94-tonninen 5 ja 104-tonninen 7 milj. litraa vuodessa (kuva 38). HCT-hakeautot vähentäisivät kulutusta 2–11 milj. litraa vuodessa yhdistelmän koon mukaan (kuva 39).



Kuva 37. Valtakunnallinen pyöreä puun kuljetusten polttoaineen kulutus kalustokoon mukaan (milj. l/v, suora kuljetus metsäautoilla tehtaalle, kuormain 4 t sisältyy omapainoon).



Kuva 38. Valtakunnallinen pyöreän puun kuljetusten polttoaineen kulutus kalustokoon mukaan (milj. l/v, terminaaliautojen kuljetukset).

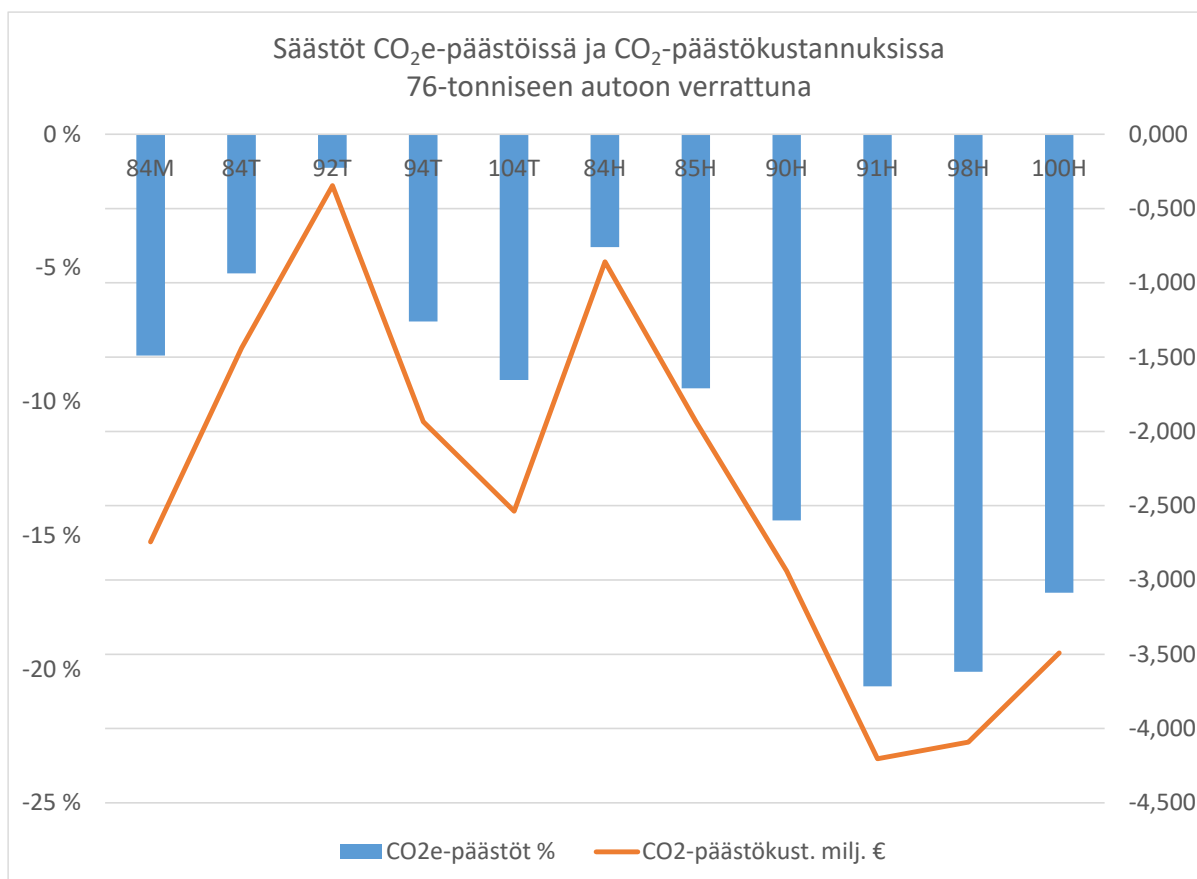


Kuva 39. Valtakunnallinen hakekuljetusten polttoaineen kulutus kalustokoon mukaan (milj. l/v).

HCT-kuljetusten vaikutukset päästöihin

Kuvassa 40 on esitetty, miten paljon HCT-yhdistelmät vähentäisivät puutavarakuljetusten päästöjä 76-tonnisiin yhdistelmiin nähden. Vertailulla voi karkeasti arvioida sitä, missä määrin edellä kuvattu päästövähennystavoite vuodesta 2005 vuoteen 2030 voitaisiin puutavara- ja hakekuljetuksissa saavuttaa pelkästään ajoneuvojen kokoluokkaa suurentamalla. HCT-yhdistelmillä säästettäisiin vuosittaisia CO₂e-päästöjä 200 000–260 000 tonnia puutavarakuljetuksissa ja 130 000–160 000 tonnia hakekuljetuksissa. Päästökustannuksia säästettäisiin 1,2–6,9 milj. euroa (kuljetusten keskimatkalla laskettuna).

Päästövähennystavoitteen vertailuvuonna 2005 puutavarakuljetuksissa käytettiin 60-tonnisia yhdistelmiä, joiden polttoaineen kulutus oli Väkevän ym. (2004) tutkimuksen mukaan 56,8 l / 100 km (kun tyhjänä ajon osuus 50 %). Mikäli HCT-yhdistelmien kulutusta ja päästöjä verrattaisiin 60-tonnisiin yhdistelmiin, olisivat säästöt tässä raportissa esitettyjä laskelmia suurempia.



Kuva 40. Säästöt vuosittaisissa hiilidioksidipäästöissä (%) ja päästökustannuksissa (milj. €/v), mikäli kaikki pyöreä puu tai hake kuljetetaan ko. yhdistelmällä 76-tonnisen yhdistelmän sijasta.

3.6.7 Eri päästövähennyskeinojen hyödyntäminen HCT-yhdistelmissä

Päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi myös raskaassa tieliikenteessä on otettu ja ollaan ottamassa käyttöön erilaisia päästövähennyskeinoja. Ruotsissa on käynnissä täyssähköisten HCT-yhdistelmien kokeiluita metsäteollisuudessa ja muilla sektoreilla:

- SCA:lla on käynnissä 80-tonnisen täyssähköisen puutavarayhdistelmän kokeilu yksityisteillä (SCA 2026).
- Stora Enson ja LBC Fraktin kokeilussa liikennöi 94-tonninen täyssähköinen hakeyhdistelmä sahan ja kartonkitehtaan välillä (Skogforsk 2025).
- Stora Ensolla käynnistyy 90–110-tonnisten puutavarakuljetusten kokeilu täyssähköisellä yhdistelmällä. Yhdistelmä asioi sataman, terminaalin ja tuotantolaitoksen välillä. (CLOSER 2025).
- Berndt Mattssons Åkeri tulee testaamaan yli 80-tonnisen täyssähköisen konttiyhdistelmän liikennöintiä Göteborgin sataman ja Boråsin välillä (CLOSER 2025).

Edellä mainituista yhdistelmistä ei ole vielä esitetty vertailutuloksia, mutta VTT:n alustavien simulointitarkasteluiden (Ranta 2025) mukaan 90-tonninen sähköinen kappaletavarayhdistelmä kuluttuisi pitkillä ajomatkoilla 27 % enemmän sähköä kuin 76-tonninen, mikä olisi enemmän kuin yhdistelmän kokonaismassan kasvu (18 %).

Sveaskogin 90-tonnisessa puutavarayhdistelmässä on tavoitteena kokeilla myöhemmin sähköistä perävaunua (eTrailer). (CLOSER 2025). Vetoautojen ja perävaunujen sähköisellä akselilla voidaan helpottaa suurienkin yhdistelmien sähköistämistä, koska se vähentää auton moottorilta vaadittavaa tehoa.

Suurin biokaasukäyttöinen puutavarayhdistelmä on tällä hetkellä 75-tonninen. Raskaampia vetykäyttöisiä kuorma-autoja on tulossa markkinoille tämän vuosikymmenen lopulla, mutta niiden kokonaismassat jäänevät vielä selvästi alle 76 tonnin.

HCT-yhdistelmissä voidaan hyödyntää biodieseliä, 100 %:sti uusiutuvaa HVO-dieseliä ja synteettisiä RFNBO-polttoaineita vastaavasti kuin muissakin painoluokissa. Myös kuorma-autojen moottoreita, rakenteita, materiaaleja ja aerodynaamisuutta koskevia kehitystoimia voidaan hyödyntää HCT-yhdistelmissä. Erilaisia keinoja vähentää puun autokuljetusten polttoaineen kulutusta ja päästöjä on tarkasteltu Metsätehon tutkimuksessa (Venäläinen ja Poikela 2026).

Juntusen (2023) opinnäytetyössä vertailtiin 84-tonnisen HCT-yhdistelmän ja erilaisten päästövähennyskeinojen (uusiutuva diesel, dieselin biopolttoaineisuus, 69-tonniset kaasukäyttöiset yhdistelmät, aerodynaamiset ratkaisut, taloudellinen ajotapa ja kuljettajaa opastavat järjestelmät sekä teiden kunto) vaikutuksia ainespuukuljetusten päästöihin ja kustannuksiin. Normaaliin dieselkäyttöiseen puutavarayhdistelmän nähden kustannuksia vähentävät eniten HCT- ja kaasuyhdistelmät (100 km:n kuljetusmatkalla HCT-yhdistelmä 8 % kuljetettua kuutiota kohden ja kaasuyhdistelmä 3 % kuutiota kohden). Päästöjä tonnikilometriä kohden laskettuna vähentävät eniten 34 %:n bio-osuus dieselissä, rengaspaineen seurantajärjestelmä ja HCT-yhdistelmä. Tulokseen vaikuttivat ko. tutkimuksen aikaiset jakeluvälivoitettavoitteet ja päästökertoimet. Vertailulaskelmaa onkin tarpeen päivittää.

3.7 Tie- ja siltarasisitus

3.7.1 Tiet

HCT-yhdistelmien vaikutuksia tierasisitukseen on selvitetty kenttätutkimuksena Oulun yliopiston (Pekkala 2018, Pekkala ja Haataja 2019) ja Tampereen yliopiston (Vuorimies ym. 2018, 2019a, 2019b ja 2023) koordinoimissa tutkimuksissa. Laskennallisia tarkasteluita ovat Liikenneviraston selvitys (Sauna-aho ym. 2018) sekä Tampereen yliopiston mallinnukset (Isometsä 2024, Isometsä ym. 2024 ja 2025 sekä loppukesästä 2026 valmistuva mallinnus). Lisäksi Oulun yliopiston ja Ilmatieteen laitoksen hankkeessa (Niskanen ym. 2024) tutkittiin Winter Premium -mallia massojen noston mahdollistamiseksi routa-aikana.

HCT-yhdistelmien tierasisitusvaikutuksia on verrattu nykyisiin yhdistelmiin eritasoisilla teillä. Paksupäällysteisillä teillä isojenkaan HCT-yhdistelmien ei ole havaittu aiheuttavan merkittäviä urautumisia, tai HCT-yhdistelmien aiheuttama urautuminen oli samaa tasoa nykyisiin yhdistelmiin verrattuna. Ohutpäällysteisillä teillä urautumisvaikutusten erot vaihtelivat ja ovat paljolti kiinni tien ja yhdistelmien ominaisuuksista. Aivan ohuimmin rakennetuilla ja heikoilla pohjamailla sijaitsevilla teillä HCT-yhdistelmät aiheuttivat enemmän urasyvyyksien kasvua kuin nykyiset yhdistelmät. Sorateilla eri tutkimusten tulokset poikkesivat jossain määrin toisistaan (johtuen myös yhdistelmien eri akselimääristä).

3.7.1.1 Kenttäkokeiden tulokset

Kenttäkokeisiin perustuvia tierasitustutkimuksia on tehty valtion päällystetyillä ja sorateilla sekä yksityisillä sorateilla. Taulukossa 11 on esitetty **yhteenveto** mittauksiin perustuneista tierasitustutkimuksista (osa tutkimustuloksista on koostettu myös raportteihin Vuorimies ym. 2019b sekä Knuuti ja Sirvio 2024). Osassa tutkimustuloksia on otettava huomioon, että tutkimusten toteutuksen ulkoiset häiriöt vaikuttivat tulosten luotettavuuteen.

Taulukko 11. Yhteenveto urautumistutkimuksista. Tutkimusten toteutustavoissa oli eroja, joten tulokset eivät ole täysin keskenään vertailtavina. Osassa tutkimuksia on otettava huomioon, että tutkimusten toteutuksen ulkoiset häiriöt vaikuttivat tulosten luotettavuuteen.

Tutkimus	PAKSUPÄÄLLYSTEISET TIET		OHUTPÄÄLLYSTEISET TIET		SORATIET	
TAU1	Karstula (200 mm)		Kyyjärvi ¹ (30–40 mm)		-	
	Ei merkittävää urautumista 7- eikä 2*7-akselisella		2*7-akselisella suuremmat urasyvyydet kuin 9- akselisella			
TAU2	-		Simo (110 mm) ²	Kyyjärvi (30–40 mm) ²	Ranua ³	
			Ei eroja urasyvyyksissä		2*7-akselisella urat kasvoivat, 7- akselisella ei vaikutusta	2*7-akselisella suuremmat urasyvyydet kuin 7-akselisella
TAU3	-		Karstula (30–60 mm) Turve ⁴	Karstula (10–60 mm) Siltti/savi ⁴	Karstula (10–50 mm) Kantava ⁴	-
			Ero 75- ja 92-tonnisen yhdistelmän eduksi vaihtui tutkimuspäivän mukaan (oikean uran ja akselin keskikohdan korkeuseron kumulatiivisessa kasvussa kokonaismassan tonnia kohden)		92-tonnisella pienempi uran kasvu per t kuin 75 tonnisella	
OY1	Vuojärvi (900 MPa)	Rovaniemi (290 MPa)	Vuotso (190 MPa)		Ylikiiminki (100 MPa)	Kuhmo (79 MPa)
	7-, 10- ja 13- akselisilla urasyvyyksissä ei voitu osoittaa eroja	Ei mitattu urasyvyyksiä	7-, 10- ja 13-akselisilla urasyvyyksissä ei voitu osoittaa eroja		10-akselisen ”kuoppa”suhteessa hyötykuormaan 1,8– 2,9-kertainen verrattuna 7- akseliseen	10-akselisen ”kuoppa” suhteessa hyötykuormaan 0,8–0,9-kertainen verrattuna 9- akseliseen
OY2	-		-		Jaatila, Rovaniemi (150 MPa)	Jaatila, Rovaniemi (100 MPa)
					5	5

¹Mittauksia myös Inarissa (70–90 mm) 10-akselisella yhdistelmällä eri kuormamäärillä. ²Mittauksia myös TAU1:ssä, mutta tuloksia jouduttiin hylkäämään ³Kulutuskerros 100 mm, kantava kerros 100 mm ja vanha jakava/kantava kerros 250 mm ⁴Pohjamaa ⁵Mittauksia häiritsi muu raskas liikenne tiellä, joten tuloksia ei esitetä taulukossa

Nykyisen Väyläviraston ohjeessa (Liikennevirasto 2018) luokitellaan **valtion** päällystetyt tiet taulukon 12 ja soratiet taulukon 13 mukaisesti. Valtion tieverkko (78 000 km) jakaantuu eri tieluokkiin seuraavasti: valtatiet 11 %, kantatiet 6 %, seututiet 17 % ja yhdystiet 65 % (Tilastokeskus 2026b). Teistä 30 %:ssa on kestopäällyste, muissa on öljysora- tai sorapäällyste. Kuntien katuverkko on 26 000 km, joka koostuu sekä päällystetyistä että sorateista. (Väylävirasto 2026). Toteutetut tierasitustutkimukset ovat kohdistuneet eri tasoille teille.

Taulukko 12. Valtion päällystettyjen teiden kuormitusluokat ja kantavuustavoitteet (Liikennevirasto 2018) sekä suoritettut tierasitustutkimukset.

Kuormitusluokka (milj. akselia vuodessa)	Päällystekerrosten kokonaispaksuus (mm)	Kantavuustavoite (MPa)	Tierasitustutkimukset* (tieluokka)
60	160–240	540/545	OY1: Vuojärvi (valtatie, varalaskusuora)
25	120–200	470/520	TAU1: Karstula (kantatie)
10	90–170	415/495	TAU2: Simo (seututie)
5	60–140	360/470	-
2	60–100	285/420	OY1: Rovaniemi (katu)
0,8	40–80	145–400	OY1: Vuotso (entinen valtatie, nykyinen katu) TAU3: Karstula (turvepohjamaa)
0,3	40	130–170	TAU1: Kyyjärvi (yhdystie) TAU 3: Karstula ("kivennäismaapohja")
SILLAT	80		TAU4: Useita kohteita laskennallisessa tarkastelussa
PUTKISILLAT	ko. tien mukaan		-

*Kantavuuden mukaan

Taulukko 13. Valtion sorateiden kantavuustavoitteet ja suoritettut tierasitustutkimukset (Liikennevirasto 2018).

Kuormitusluokka	Ohjeellinen kantavuus kulutuskerroksen päältä (MPa)	Tierasitustutkimukset
Soratiet 80 Sr, yleinen tie, paljon raskaita ajon., tärkeä asema tieverkossa	80	
Soratiet 70 Sr, yleinen tai yksityinen tie, paljon raskaita ajon., ei asemaa tieverkossa	70	TAU2: Ranua (yhdystie)
Soratiet 60 Sr, yksityinen tie, vähän raskaita ajon., ei asemaa tieverkossa	60	-

Metsätieohjeiston lisäaineistossa (Strandström 2017b) kuvataan **metsätieluokat** ja niiden taitekantavuudet (taulukko 14). Yksityisen tieverkon kattavuus on 350 000 km. Verkko koostuu

pääosin päällystämättömistä sorateistä. Tierasitustutkimukset ovat kohdistuneet korkeimpien luokkien metsäteihin.

Taulukko 14. Metsäteiden päällysrakenneluokat, tavoitekantavuudet ja suoritettut tierasitustutkimukset Jaatila poislukien (Strandström 2017b).

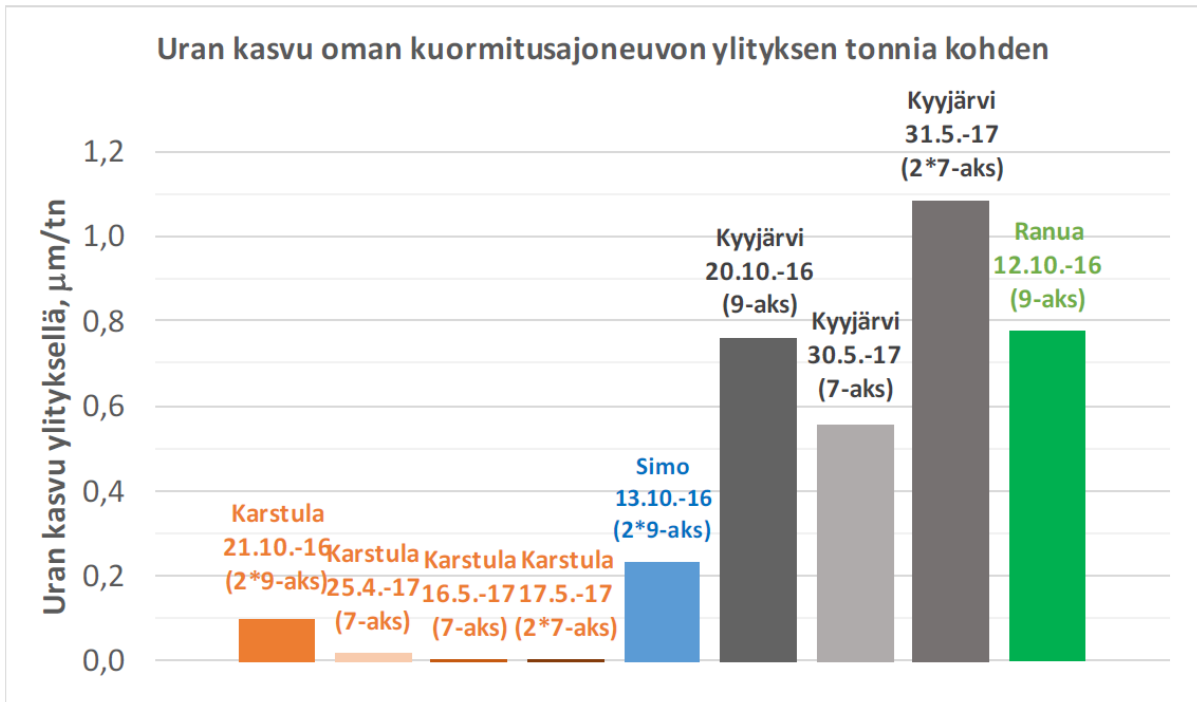
Päällysrakenneluokka	Tavoitekantavuus (MN/m ²)	Tierasitustutkimukset
1	Kevät: 80 (=>Kesällä 100)	OY1: Ylikiiminki
2	Kevät: 60 (=>Kesällä 75)	OY1: Kuhmo
3	Kesä: 60	-
4	Kesä: 50	-

Yksityisteiden nykyisistä kantavuuksista on vain rajoitetusti tietoa saatavilla. Maalaji tien alueella antaa karkean kuvan tien peruskantavuudesta (taulukko 15). GTK:n tarkempi maalajiaineisto on saatavissa vasta puolesta tarkastelun aineistosta.

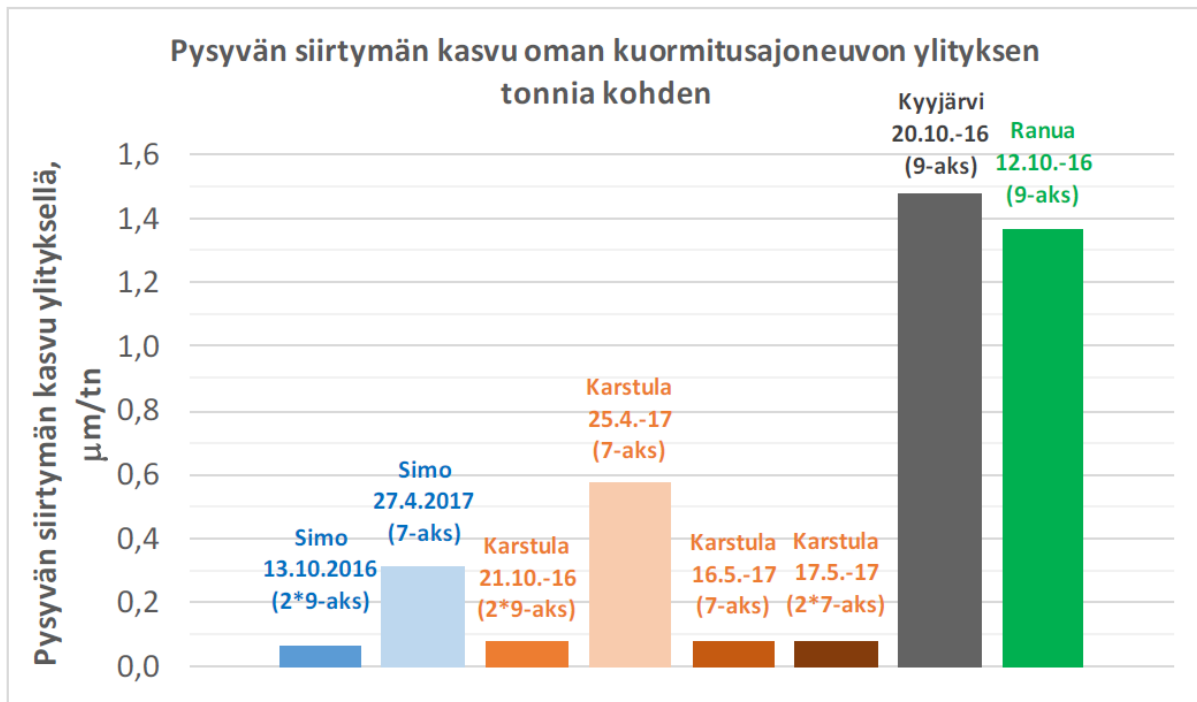
Taulukko 15. Eri maalajien kantavuus ja osuus yksityisillä sorateilla (heikoin maalaji 100 metrin tieosuudella) (Strandström 2017a, Arbonaut Oy:n ja Metsäteho Oy:n laskelma).

Maalaji	Kantavuus (MN/m ²)	Osuus % (1:200 000 aineisto)	Osuus % (1:20 000 aineisto)
Kallio	300	18	5
Sora	200 (150–280)	0	0
Soramoreeni	100 (70–150)	0	0
Hiekka	50 (35–70)	-	6
Hiekkamoreeni	20 (15–35)	0	24
Siltti/Silttimoreeni/Savi	10 (5–15)	14	12
Lieju/Turve	5	10	3
Sekalajitteiset	Vaihtelee	58	0
Kartoittamaton	Ei tiedossa	0	50

Tampereen yliopiston ensimmäisessä tutkimusraportissa (Vuorimies ym. 2018) esitettiin tulokset vuosien 2015–2017 tierasitustutkimuksista (kuvat 41–42). ”HCT-yhdistelmänä” käytettiin kahta peräkkäin ajavaa 7- tai 9-akselista yhdistelmää, joiden toisistaan poikkeavat ajo- linjat vaikuttivat paljon urasyvyyyksiin (takana tulleet renkaat siloittivat aiempien renkaiden synnyttämiä uria). Rungas liikenne tutkimustiellä aiheutti tien rakenteen tiivistymistä, mikä myös vaikutti mittaustuloksiin. Karstulan, tutkimuskohteista paksurakenteisimmilla (200 mm), tiellä eri kokoisten yhdistelmien vaikutukset ja niiden erot olivat pienet. Kyyjärven ohutrakenteisella (30–40 mm) tiellä 2*7-akselisen yhdistelmän vaikutukset olivat suuremmat kuin 9-akselisella (kuorman määrä, ylitysmäärät ja ylitysten väliset tauot huomioon ottaen). Simon tutkimuskohteen tuloksia häiritsi muu liikenne tiellä, joten sen mittaukset toistettiin Tampereen yliopiston toisessa tutkimuksessa.



Kuva 41. Urakasvut kuormitusajoneuvon massa suhteutettuna (Vuorimies ym. 2018). Muun liikenteen aiheuttaman tien häiriintymisen takia Simon tutkimus toistettiin toisessa tutkimuksessa.



Kuva 42. Pysyvien siirtymien kasvu kuormitusajoneuvon massa suhteutettuna (Vuorimies ym. 2018). Muun liikenteen aiheuttaman tien häiriintymisen takia Simon tutkimus toistettiin toisessa tutkimuksessa.

Tampereen yliopiston toisessa tutkimusraportissa (Vuorimies ym. 2019a) on esitetty vuoden 2018 mittaustulokset. Vertailukohteina oli yksi 7-akselinen ja kaksi peräkkäin ajavaa 7-akselista.

- Simon ohutpäällysteisellä (noin 110 mm), hiekkaisen pohjamaan tiellä yhdistelmien aiheuttamissa urasyvyyksissä ei havaittu eroja keväällä 2018. Simossa käytettiin yhdistelmien ajolinjojen hallittua muuttamista urien vähentämiseksi. Kosteusprofiilit pysyivät muuttumattomina, joten kosteuden pumppautumista kuormitusten aikana ei havaittu.
- Ohutrakenteisimmassa kohteessa (Kyyjärvi syksyllä 2018, päällysteen paksuus 30–40 mm) 2*7-akselinen yhdistelmä aiheutti urasyvyyden kasvua ja 7-akselinen yhdistelmä pienensi tai vähintään piti urasyvyyden samalla tasolla. Kevään 2018 tulokset eivät ole vertailukelpoisia tien puutteellisen tiivistymisen takia.
- Ranuan soratiekohteessa (pohjamaa turpeen sekaista silttimoreenia) syksyllä 2018 2*7-akselinen aiheutti enemmän urasyvyyden kasvua kuin yksittäinen 7-akselin yhdistelmä. Kosteusprofiilissa ei havaittu kosteuden pumppautumista tierakenteessa.

Tutkimustulosten pohjalta on todettu, että edellä kuvattu AASHO-teoria pitänee paikkansa kantavilla pohjamailla sijaitsevilla päällystetyillä teillä sekä paksupäällysteisillä teillä, joiden päällysteen paksuus on yli 200 mm. Tällöin 9–14-akseliset yhdistelmät eivät todennäköisesti aiheuta enempää urautumista kuin 7-akselisetkaan yhdistelmät.

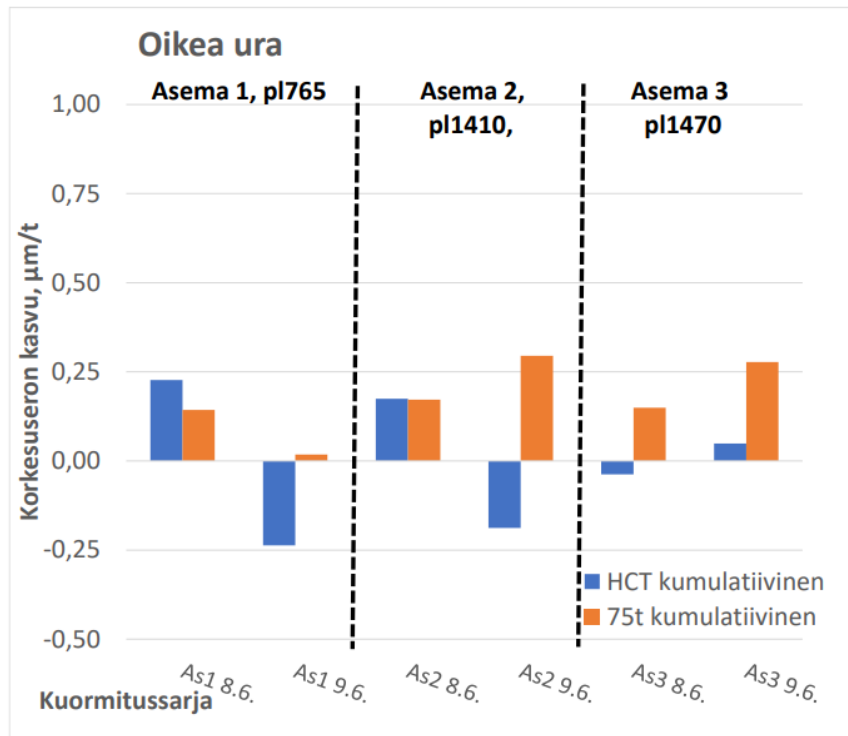
Tampereen yliopiston kolmannessa tutkimuksessa (Vuorimies ym. 2023) tutkittiin ohutpäällysteisen tien urautumista ja kosteustilan muutoksia 75- ja 92-tonnisilla puutavarayhdistelmillä. Tutkimus kohdistui Karstulassa sijaitsevan maantien 697 kolmeen poikkileikkaukseen, joista ensimmäinen oli paksulla turvealueella, toinen hienorakenteisella, siltti/savipohjaisella pohjamaalla ja kolmas kantavammalla pohjamaalla. Tutkimuksessa tarkasteltiin tien urautumiskehitystä laserkeilauksella ja kosteustilan muutoksia maatutkauksella. Mittaustuloksia häiritsi jossain määrin tutkimuksen aikainen viereisen kaistan liikenne.

Erot 75- ja 92-tonnisen yhdistelmän urautumisvaikutuksissa olivat pääosin vähäiset (kuvio 43, jossa vaikutukset on suhteutettu yhdistelmien massoihin). Syynä tässä arveltiin osin olevan 92-tonnisen alemmat keskimääräiset akselipainot suuremmasta akselimäärästä johtuen sekä 75-tonnisen selvästi suuremmat vetävien akselien massat ja vetävien akselien kapeammat renkaat. Varsinkin kantavimmalla pohjamaalla erot yhdistelmien vaikutusten välillä jäivät mitaustarkkuuden rajoitusten takia todentamatta.

Tien urautumiskehityksessä havaittiin puolestaan selviä eroja pohjamaan mukaan. Turvepohjamaalla vaikutukset olivat selvästi suuremmalla kuin kahdessa muun pohjamaan tapauksessa. Turvepohjamaalla havaittiin myös kummallakin yhdistelmällä ns. pumppautumisilmiötä, jossa palautuvat pystysiirtymät kasvavat suhteessa akselimassaan kuormitusten määrän noustessa. Kyseissä kohteissa ilmiön ei kuitenkaan havaittu aiheuttavan tierakenteen kosteuspitoisuuden muutosta.

Tämän ja aiempien tutkimustulosten pohjalta tutkijat toteavat, että tierasituksia tulisi tarkastella tierakenteen kokonaisjäykkyyden (päällysteen ja tierakenteen paksuus ja pohjamaan kantavuus) kannalta. Lyhytkestoisissa tierasitustutkimuksissa kantava pohjamaa hidastaa ohutpäällysteisenkin tien vaurioitumista. Toisaalta turvepohjamaallakin tierakenteen urautuminen voidaan havaita vähäiseksi, jos päällyste on tarpeeksi paksu ja tierakenne järeä.

Urasyvyyden maksimimuutosta mitattiin laserkeilauksella. Urasyvyyden muutokset näin mitattuna olivat hyvin pieniä ja menetelmän mittaustarkkuuden rajoissa.



Kuvio 43. Kuormitussarjasta kumulatiivisesti kertynyt oikean uran ja akselin keskikohtan korkeusero kuormitusajoneuvojen kokonaismassan tonnia kohden (Vuorimies ym. 2023)

Tutkimuksen tulosten analysointia vaikeuttivat eniten yhdistelmien ajourien vaihtelut sekä yhdistelmien erot mm. rengastuksissa ja akselimassoissa. Ensimmäiseen haasteeseen ratkaisuna voisi olla automaattinen kuorma-auto, jolla ajolinjat saataisiin pysymään vakiona. Toiseen haasteeseen ratkaisuna olisi HCT-yhdistelmä, joka toimisi myös 76-tonnisenä verrokkina perävaunun poistamisen tai vaihtamisen myötä. Tämän tutkimuksen aineistoa ja tuloksia on hyödynnetty tierasitusten laskentamallin kehittämisessä (ks. tarkemmin luku 3.7.1.2).

Oulun yliopiston (Pekkala 2018) ensimmäisessä tierasitustutkimuksessa päällystettyjen teiden tutkimuksiin osallistui 7-, 10- ja 13-akselisia yhdistelmiä ja sorateiden tutkimuksiin 7-, 9- ja 10-akselisia yhdistelmiä. Kaikissa tapauksissa vertailukohteena ei ollut 9-akselista yhdistelmää, joka on tällä hetkellä yleisin puutavarakuuljetusten yhdistelmäkoko. Tierasitusta kuvaa keskeisimmin urasyvyys ja sen kasvu. Muut mittaukset lähinnä tuottavat lisätukea urasyvyyskehityksen tulkintaan.

Urasyvyys ja urakasvu

Tutkimusmenetelmien epätarkkuudesta johtuen mittaustulosten perusteella erikokoisten yhdistelmien ja niiden aiheuttamien urasyvyysmuutosten välille ei pystytty osoittamaan riippuvuutta. Useamman yhdistelmän letka-ajossa takana tulevat ajoneuvot jopa siloittavat ensimmäisten yhdistelmien aiheuttamia uria.

Kosteusprofiili

Paksurakenteisella päällystetyllä tiellä ei havaittu merkittävää kosteusprofiilin muutosta. Soratiellä havaittiin jonkin verran kosteusprofiilin kasvua rakenteen ohuimmissa kohdissa. Yksittäisten yhdistelmien ja niiden aiheuttamien kosteusprofiilin muutosten välille ei pystytty määrittämään riippuvuuksia.

Huokospaine (koskee vain sorateitä)

Varsinkin erittäin hitaasti ajattaessa 9- ja 10-akselisilla yhdistelmillä tierakenteen vaurioitumisvaara alkaisi kasvaa (hitaasti ajattaessa rasisituksen kesto pitenee). 9- ja 10-akselisten yhdistelmien vaikutuksessa huokospaineeseen ei ollut merkittävää eroa.

Tien pinnan hetkelliset venymät/puristumat ("kuopan" tilavuus)

"Kuopan" tilavuus pääosin kasvoi yhdistelmien akselien lukumäärän kasvaessa. "Kuopan" tilavuuteen vaikuttaa merkittävästi myös ajonopeus, koska hitaasti ajattaessa rasisitusajan kesto pitenee. Päälystetyillä teillä 13-akselisen aiheuttama "kuoppa" oli 1,1–1,9-kertainen verrattuna 7-akselisiin ja 10-akselisen aiheuttama "kuoppa" 1,2–1,3-kertainen verrattuna 7-akselisiin. Vertailussa ei ollut mukana tänä päivänä yleisintä 9-akselista yhdistelmää. Sorateillä 10-akselisen yhdistelmän aiheuttama "kuoppa" oli 0,9–1,2-kertainen 9-akseliseen verrattuna.

"Kuoppa" suhteessa hyötykuormaan

Laskettaessa "kuopan" tilavuutta suhteessa hyötykuormaan otettiin huomioon kunkin tutkimusyhdistelmän kuorman paino tutkimushetkellä. Pääosin hyötykuormaan suhteutettu "kuopan" tilavuus oli pienempi HCT-yhdistelmillä kuin verrokkiyhdistelmillä (taulukko 16).

Taulukko 16. Kuoppa suhteessa hyötykuormaan (Pekkala 2018)

Tutkittu tie	Yhdistelmien väliset erot
Vuojärvi (900 mm päällyste)	13- ja 10-akselisilla 0,7–0,8; 7-akseliseen verrattuna
Vuotso (190 mm päällyste)	13-akselisella 0,8–0,9; 7-akseliseen verrattuna 10-akselisella 0,9; 7-akseliseen verrattuna
Ylikiiminki (100 mm soratie)	10-akselisella 1,8–2,9; 7-akseliseen verrattuna
Kuhmo (79 mm soratie)	10-akselisella 0,8–0,9; 9-akseliseen verrattuna

Taulukkoon 17 on koottu tuloksia **Oulun yliopiston toisesta tierasitustutkimuksesta** (Pekkala ja Haataja 2019). Tutkimuksessa verrattiin 7-, 9- ja 2*7-akselisia puutavarayhdistelmiä (jälkimmäinen koostui kahdesta peräkkäin ajavasta 7-akselisestä). Kullakin yhdistelmällä tehtiin eri määrä ylityksiä, jotta yhdistelmien yhteenlaskettu hyötykuormien paino oli sama. Tutkimus tehtiin yhdellä soratiellä, jolla oli sekä moreeni- että turvepainotteiset osuudet. Tulosten tulkintaa vaikeuttivat tien rakenteiden tiivistyminen lanauksen jälkeen, tien epätasainen painuminen ylimääräisen liikenteen aiheuttamana sekä kuivuuden aiheuttama tien kovuus ja pölyisyys.

Yhdistelmät ajoivat ensin samaa ajouraa pitkin ja sitten jo syntyneiden urien vierestä. Ajattaessa aiempien urien vierestä, urat tasoittuivat, jolloin urautumisen kokonaisvaikutus pieneni. Peräkkäin ajavien yhdistelmien ajolinjat vaihtelivat, joten 2*7-akselisen tuloksissa oli laaja hajonta. Tutkimuksessa havaittiin, että urautuminen vaihtelee tien samoissa kohdissa yhdistelmän ajosuunnasta riippuen. Muun liikenteen aiheuttaman tien häiriintymisen takia eri yhdistelmiltä mitattuja urasyvyyksien kasvuja ei voida pitää vertailukelpoisina.

Taulukko 17. Yhteenvedo Oulun yliopiston toisen tierasitustutkimuksen tuloksista Jaatilassa (tietyyppien perässä osuuden kantavuus (MN/m²) ja tutkimusajoneuvojen akseleiden lukumäärät ko. tutkimuskohteessa) (Pekkala ja Haataja 2019).

	Jaatila, Kesäkuu 2018 Soratie (moreeni) (150; 7, 9, 2*7)	Jaatila, Kesäkuu 2018 Soratie (turve) (100; 7, 9, 2*7)
Urasyvyyden kasvu (samalla yhteenlasketulla nettokuormalla)*	7-akselisella 1,5 mm, 9-akselisella 2 mm ja 2*7-akselisella 0,8 mm*	7-akselisella 8 mm, 9-akselisella 13 mm ja 2*7-akselisella 1 mm*
Kosteusprofiilin muutokset	Mittausviikon mittausolosuhteissa ei havaittu merkittäviä muutoksia tien kosteusprofiiliin tien rakenteissa	
Muut tutkimukset	Tutkimuksessa testattiin tien pintamateriaalien siirtymää maahan upotettujen kuulien ja niiden maatutkauksen avulla sekä tiehen syntyvän harjanteen mittaamista. Näiden mittausten tuloksia ei kuitenkaan pidetty ko. menetelmillä toteutettuna tarpeeksi luotettavina.	

*Muun raskaan liikenteen aiheuttaman tien häiriintymisen takia havaitut erot urasyvyyksien kasvussa eivät ole vertailukelpoisia

3.7.1.2 Laskennallisten tarkasteluiden tulokset

AASHO-teorian mukaisissa laskelmissa verrattiin eri kokoisten yhdistelmien kuormaa yhdistelmien ekvivalenttiakseleita⁷ kohden. Teoria soveltuu teille, jotka on rakennettu tiesuunniteluohjeiden ja laatuvaatimusten mukaan. Laskelmassa on otettu myös huomioon se, että isompi ajoneuvo vaatii vähemmän ajokertoja saman kuormamäärän kuljettamiseen (tierasitus samalle kuormamäärälle on sitä pienempi, mitä suurempi kuorma per ekvivalenttiakseli on taulukossa 18). Laskennallisesti 3+4+5-akselisen ja 94-tonnisen puutavarayhdistelmän tierasitus on 74 % 77-tonnisen tierasituksesta. 12-akselisella ja 100-tonnisella puutavarayhdistelmällä hyötykuormaan suhteutettu tierasitus kasvaa 76-tonniseen verrattuna, jos puun irtotilavuusmassa on alle 300 kg/m³ (taulukko 19). Tätä painavammalla puulla tierasitus vähenee 76-tonniseen verrattuna. (Sauna-aho ym. 2018).

Taulukko 18. Tiekuormituksen määräytyminen puutavarayhdistelmien ominaisuuksien mukaan (Sauna-aho ym. 2018).

Ajoneuvo	Kokonaismassa t	Akselit yht.	Pyörät	Ekvivalentti- akselit	Kuorma per ekvi- valenttiakseli t
Verrokki	77	9	32	4,61	11,23
HCT	94	12	42	4,35	15,09

⁷ Yksi ekvivalenttiakseli tarkoittaa tiekuormitusta, jonka ns. yksikköakseli eli yksi paripyörin varustettu akseli, jonka massa on 10 t, aiheuttaa tiehen

Taulukko 19. Puutavarayhdistelmien tiekuormitus raakapuun irtotilavuusmassan mukaan (Koskinen ja Sauna-aho teoksessa Sauna-aho ym. 2018).

Raakapuun irtotilavuusmassa kg/m ³	Tiekuormitus / HCT-ajoneuvo	Tiekuormitus / Normaalijoneuvo	Muutos %
200	23,584	28,925	+22,6
240	22,977	25,772	+12,2
290	21,086	21,407	+1,5
300	20,621	20,564	-0,3
310	20,139	19,741	-2,0
360	17,620	16,013	-9,1
380	16,614	14,715	-11,4
400	15,633	13,526	-13,5
440	13,786	11,454	-16,9
470	12,520	10,138	-19,0
500	11,363	8,998	-20,8

Tierasitusten laskentamallinnuksissa (Isometsä 2024, Isometsä ym. 2024 ja 2025) hyödynnettiin edellä kuvatun Tampereen yliopiston kolmannen tierasitustutkimuksen oletuksia ja tuloksia. Yhdistelmien mallinnukset koskivat Karstulan ohutpäällysteisen tien hienorakenteisen pohjamaan osuutta, jolloin eri yhdistelmien erot tulevat paremmin esille. Mallinnus on laadittu kahdeksalle 75–100-tonniselle yhdistelmälle.

Rakenteiden kestävyuden kannalta olennaisimmat rasitukset liittyvät asfaltin alapinnan venymiin ja kantavan kerroksen deviatorisiin muodonmuutoksiin (tulokset tarkemmin taulukoissa 20–21).

Taulukko 20. Yhdistelmien mallinnetut vaikutukset ohutpäällysteisellä tiellä, jolla on hienorakenteinen pohjamaa (Isometsä 2024, Isometsä ym. 2024 ja 2025).

Kuormitusvaste	Tulokset
Asfalttipäällysteen alapinnan vetomuodonmuutos	- Kaikilla yhdistelmillä noin 400–600 µm/m:n venymän huippuarvo (merkittävä)
Pohjamaan pystysuuntainen puristusmuodonmuutos	- Kaikilla yhdistelmillä maltilliset muodonmuutokset rakenteiden paksuudesta johtuen. - Suurimmat arvot painavimpien akseleiden ja telien kohdalla - Yhdistelmien oikealla puolella arvot olivat korkeampia tien sivukaltevuudesta johtuvan suuremman pyöräkuorman vuoksi
Kantavan kerroksen yläosan pystyjännitystila (0,18 m:n syvyys)	Päällystekerroksen ohuudesta johtuen pystyjännitykset olivat kaikilla rengastuksilla suuria – erityisen suuria yksikköpyörien alla
Kantavan kerroksen deviatorinen muodonmuutostila	-Keskiarvoiset muutokset pysyivät kaikilla yhdistelmillä pääsääntöisesti alle 1 000 µm/m:n, mutta arvo ylittyi painavimmissa yksikköakseleilla.
Akselimassan suhteen normalisoidut keskiarvoiset muodonmuutokset	-Suurimmat vaikutukset tulivat teleistä, joissa oli ykköspyörät. -Kantavassa kerroksessa yksikköpyörästä aiheutui noin 50–60 % suurempi muodonmuutos kuin paripyörillä. Paksuilla päällysrakenteilla rengastuksen vaikutus pohjamaan vastaisiin oli vähäinen.

Taulukko 21. Ajoneuvoyhdistelmien mallinnetut ekvivalenttikertoimet akseleittain ja yhteensä, 30 mm:n asfalttipäällyste (Isometsä ym. 2024 ja 2025).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ESAL yht
76M metsäauto	2,4	1,5	1,2	1,1	1,5								7,6
84M metsäauto	1,8	1,8	1,3	2,6	1,2			1,4					8,3
92T puutavara, terminaali	1,7	2,3		1,1			0,8			2,6			8,5
100T puutavara, terminaali	2,2	6,9		1,1	1,9	1,5				2,4			16,1
80K merikontti	1,68	0,9		5,19			3,97			5,1			16,8
85K merikontti, kylmäkoneisto	2,11	1,27		4,98			5,01			4,83			18,2
86K merikontti, kylmäkoneisto	2,21	1,27		2,51			1,29			2,46			9,7

Kehitetty laskentamalli on staattinen eikä se pysty kaikilta osin ottamaan huomioon useiden akseleiden vaikutusten kertymää. Dynaamisella mallilla voitaisiin ottaa huomioon mm. teliakselien vaikutusten kertymistä. Myös renkaiden leveyksiä olisi tarpeen ottaa tarkemmin huomioon. Työn mallilla lasketut tulokset erosivat AASHTO-teorialla lasketuista ekvivalenttikertoimista. AASHTO-teoria ei todennäköisesti pidä paikkansa ohutpäällysteisillä asfaltiteillä. Mallinnustulosten pohjalta ohutpäällysteisen tien urautumisriskiä voidaan eniten pienentää:

- paksummalla asfalttipäällysteellä
- massan tasaisella jakautumisella eri akseleille
- yhdistelmän paripyöräakseleilla
- kolmiakselisilla teleillä akseliväliä pidentämällä.

Parhaillaan on käynnissä Väyläviraston tilaama mallinnustyö tien rakenneominaisuuksien vaikutuksesta urautumisriskiin.

3.7.1.3 Winter Premium -toimintamallin tutkimus

Oulun yliopiston ja Ilmatieteen laitoksen Winter Premium -hankkeessa (Niskanen ym. 2024) tutkittiin toimintamallia, jossa tiestön painorajoituksia nostettaisiin tiestön ollessa roudassa. Vastaavia toimintamalleja on käytössä eräissä muissa maissa.

Tutkimuksessa selvitettiin asfalttietien (vt 5 Sodankylässä) ja soratien (Javarus Kemijärvellä) roudan ja kantavuuden kehittymistä jatkuvatoimisilla mittauksilla:

- Perco-aseman avulla tierakenteen jäätymis- ja sulamistilanne
- Ilmatieteen laitoksen ja erikseen asennettujen sääasemien avulla mm. lämpötilan kehittymistä
- Routaputkiloiden avulla tierakenteen lämpötilan ja siten roudan syvyyden etenemistä 0–20 cm:n syvyydessä.

Tutkimukseen osallistuivat 76-, 84- ja 85-tonniset puutavarayhdistelmät.

Routa-ajan kantavuus

Talviolosuhteissa sekä päällystetyn että soratien kantavuus kasvaa moninkertaiseksi kesäaikaan verrattuna (taulukko 22).

Taulukko 22. Tutkimusteiden kantavuus (MPa) kesällä ja talvella (keskiarvo mittaussuoran matkalla) (Niskanen ym. 2024).

Ajankohta	Sodankylä (päällystetty tie)	Javarus (soratie)
Kesä	337	198
Talvi	13 528	7 306

Routa-ajan tierasitustutkimukset maanpainemittausten pohjalta

Eri kokoisten yhdistelmien vaikutusta tierakenteeseen tutkittiin teihin asennetuilla maanpainantureilla. Antureiden avulla saatiin myös eroteltua tulokset yhdistelmän akselimäärän mukaan. Tierakennevaikutusta arvioitiin yhdistelmän aiheuttaman painekuopan tilavuudella ja sitä verrattiin tierakenteen jäätyneen tilanteeseen. Tuloksissa kiinnitettiin erityisesti huomiota tilanteisiin, joissa tie oli jäänyt vähintään 30–40 cm:n syvyyteen asti eikä tien pinta ollut sulanut vastaavalle syvyydelle. Sodankylässä tutkimustie jäätynyt ko. syvyyteen lokakuun 2021 loppupuolella. Tien pinta sulanut hetkellisesti ko. syvyyteen maaliskuun lopulla ja pysyvästi huhtikuun puolivälissä. Vuoden 2022 lopulla tie jäätynyt pysyvästi ko. syvyyteen (ilman että tien pinta oli samaan aikaan sulanut samaan syvyyteen) marraskuun alkupuolella.

Maanpainekuopan tilavuus pieneni em. ajanjaksona selvästi sekä 9- että 10-akselisilla yhdistelmillä (liite 4). Tilavuus puolestaan kasvoi nopeasti kevään edetessä. Tuloksiin ei ollut yhdistettävissä yhdistelmien painotietoja, joten 10-akselisen tuloksissa oli vain painavia puulasteja kuljettaneen yhdistelmän tiedot, kun taas 9-akselisilla on voitu kuljettaa hyvin eripainoisia lasteja. Myöskään ajoneuvojen ajolinjoja ei voitu seurata. Tästä syystä yhdistelmien välisiä eroja on vaikea arvioida.

Routa-ajan määrittäminen

Tutkimuksessa selvitettiin erilaisia tietolähteitä routa-ajan ja siten tien mahdollisen painorajoituksen nostamisen määrittämiseksi. Tien jäätymistä voi seurata lämpösummien, routamittausten perusteella määritettävän routakartaston avulla tai kantavuusmittauksilla. Haasteita roudan määrittämiseen tuovat syksy- ja kevätjaksot, jolloin tien vuorottainen jäätyminen ja sulaminen on tyypillistä. Winter Premium -mallista saisikin suuremman hyödyn, jos sen voisi toteuttaa dynaamisesti lyhyenkin ajanjakson tilanteet huomioon ottaen. Tutkimuksessa ei arvioitu routa-ajan sallimaa painorajoituksen nostoa, vaan se vaatisi erillisen mallinnustyön.

Omana erillistarkastelunaan Winter Premium -hankkeessa oli ajoneuvosta kerättävän datan analysointi (Pirnes ym. 2023). Tutkimusajoneuvoihin kiinnitettiin liiketila-anturit, ja ajoneuvosta kerättiin kiihtyvyydestietoja ja Fleet Management System (FMS) -järjestelmän tuottamia tietoja. Vuodenaikaisvaihtelua havaittiin varsinkin etuakselin pystykiikkyvyyden tuloksissa. Vaihtelu oli selvempää tyhjiällä kuin kuormatuilla yhdistelmillä. Vaihtelut olivat lämpötilariippuvaisia, mutta niiden pohjalta ei pystynyt tulkitsemaan Winter Premium -mallin edellyttämään tien jäätymistä. Ajoneuvodatan hyödyntämiseksi on tarpeen jatkotutkimus, jossa mm. otetaan tarkemmin huomioon ajoneuvon nopeudet ja massat.

Ilmatieteen laitoksen osiossa (Sukuvaara ym. 2023) analysoitiin tietoja, joita kerättiin Winter Premium -hankkeen ulkopuolisiin ajoneuvoyhdistelmiin jo asennetuilla antureilla ja kameroilla sekä hankkeen omiin tutkimustehin asennetuilla antureilla. Hankkeen aikana kerätty havaintoaineisto ei ollut kuitenkaan riittävä tiekohtaisen kelirikkomallin selväksi kehittämiseksi. Ilmatieteen laitos jatkaa sorateiden tiesäämallin kehittämistä muiden hankkeiden yhteydessä.

3.7.1.4 Kirjallisuus- ja haastatteluselvityksen tulokset

HCT-yhdistelmien tievaikutusten kirjallisuus- ja haastatteluselvityksessä (Knuuti ja Sirvio 2024) tierasituksille herkeiksi kohteiksi mainittiin tiedot, joissa:

- päällyste on alle 150 mm
- pohjamaana on turve tai pehmeä savi (sulanut maan aikaiset vaikutukset)
- pohjamaan on siltti tai hieno hiekka roudan sulamisen aikana
- tie tai sen piennar on kapea
- on tietyt risteys- tai liikenneympyrätilanteet
- soratie on toteutettu huonosti.

Selvityksessä on esitetty osa luvun 3.7.1.1 tutkimusten tuloksista sekä tuloksia eräistä ulkomailla tehdyistä tutkimuksista. Selvityksessä on esitetty myös haastatteluiden perusteella ajoneuvojen vaikutuksia tiestön kuntoon, mutta niistä ei käy aina selvästi ilmi, millaisista yhdistelmistä ja tiestön osista kulloinkin puhutaan. Selvityksessä esitetään massojen noston arviointia varten tieverkon ongelmakohtien tunnistamista, tarvittavien toimenpiteiden ja niiden kustannusten arviointia sekä tieosien pitkäaikaisten tierasitustutkimusten käynnistämistä. Selvitys esittää HCT-reittien toimintamalleiksi a) sallittujen reittien heikkojen kohteiden tunnistamista ja korjaamista tai b) tiestön mahdollisen nopeamman vaurioitumisen sallimista ja tien rappeutumismallin hyödyntämistä toimenpideajankohtien määrittämisessä. Nykyisestä infrastruktuurista tulisi selvittää HCT-yhdistelmille soveltuvat tiet (päälysteiden paksuus ja pohjamaan laatu) sekä risteysten ja liikenneympyröiden soveltuvuus.

3.7.2 Keinoja vaikuttaa tierasitukseen

Tierasitusten vähentämiseen on erilaisia keinoja, joita voidaan toki hyödyntää jo nykyisen ko-koisissa yhdistelmissä.

Olosuhteiden mukaan dynaamisesti vaihtuvat tien painorajoitukset

Oulun yliopisto ja Ilmatieteen laitoksen Winter Premium -hankkeessa⁸ tutkittiin ajoneuvojen painojen noston mahdollisuuksia teiden ollessa roudassa (ks. tarkemmin luku 3.7.1.3). Winter Premium -malli yhdistettynä HCT-käytäviin mahdollistaisi sen, että routa-ajan ulkopuolella HCT-yhdistelmät ajaisivat vain erikseen määritellyillä HCT-käytävillä ja vain routa-aikana käytävien ulkopuolella.

Kuljetuskelpoisuusluokitus

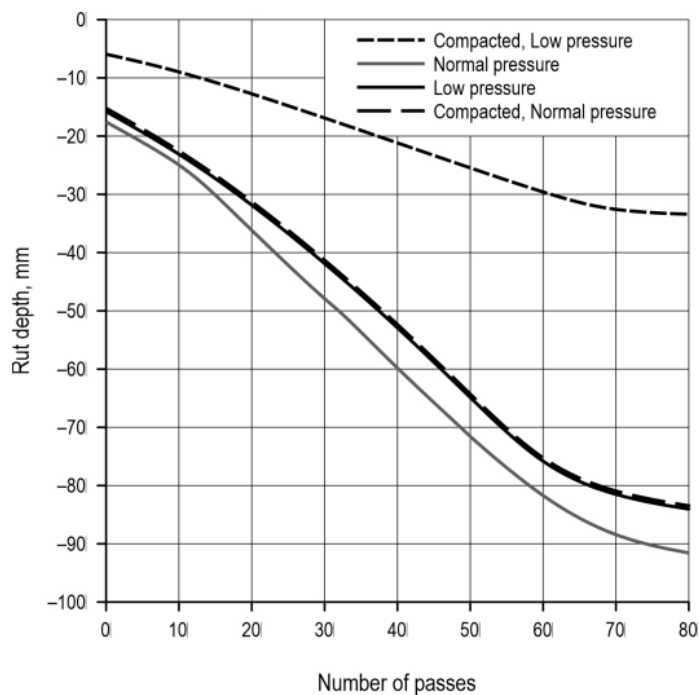
Metsäsektorin kuljetusten suunnitteluun on tavoitteena saada korjuukelpoisuusluokitusta vastaava työkalu, joka paikkatietojen, tien rakentamistietojen ja säätietojen pohjalta arvioisi yksityisten sorateiden kuljetuskelpoisuutta eri ajankohtina (mm. Solonen ym. 2024). Työkalua hyödyntämällä kunkin alueen kuljetuksia voitaisiin paremmin kohdentaa niille ajanjaksoille, jolloin riski tien rikkoutumiseen on pieni. Työkalun kehittäminen on vielä kesken.

Terminaalit

Kelirikkoajan lähestyessä puuta siirretään tienvarsivarastoista kantavampien tieyhteyksien varrella sijaitseviin terminaaleihin, jotta puu on ongelmitta kuljetettavissa tuotantolaitoksille. Toisaalta terminaali tai jokin muu kuormauspaikka on tarpeen, kun puuta siirretään metsäautosta HCT-terminaaliautoon. Terminaalien ja kuormauspaikkojen hyödyntämistä HCT-kuljetusketjuissa on tarkasteltu tarkemmin luvussa 3.8.3).

Rengaspaineiden säätöjärjestelmät (Central Tyre Inflation System, CTI)

CTI-järjestelmiä on tällä hetkellä Suomessa käytössä puutavaran kuljetuksissa (ks. tarkemmin Siekkinen ja Korpilahti 2015). Järjestelmän käyttö rengaspaineen alentamiseksi ajomatkan aikana pienentää ajoneuvon tiehen aiheuttamia urautumia. Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Bergqvist ym. 2025) vertailtiin normaalien ja alennettujen rengaspaineiden vaikutusta hiljattain rakennetulla metsätiellä. Alempi rengaspaine vähensi selvästi urautumista, kun metsätie oli kuiva ja tiivistynyt (kuva 44). Selvästi märällä tiellä CTI:n käytöllä ei ollut vaikutusta.



Kuva 44. Tavallisen ja CTI-järjestelmällä varustellun puutavarayhdistelmän urautumisvaikutus hiljattain rakennetulla, jo tiivistyneellä metsätiellä (Bergqvist ym. 2025).

3.7.3 Sillat

Siltojen kestävyys HCT-yhdistelmien kannalta riippuu sillan jännepituudesta ja poikkileikkausmitoista sekä ajoneuvoyhdistelmien ominaisuuksista (kokonaismassa ja -pituus, kuorman intensiteetti eli tonnit yhdistelmän pituusmetriä kohden, akseleiden ja akseliryhmien välinen etäisyys ja massa sekä painavimpien akseleiden sijoittuminen yhdistelmässä). Varsinkin pitkillä silloilla voisi tulla tarpeelliseksi rajoittaa samanaikaisten HCT-yhdistelmien määrää. (Saunaho ym. 2018, Kalliovalkama 2022, Finerus 2025).

Tampereen yliopiston diplomityössä (Kalliovalkama 2022) tutkittiin laskennallisesti yhdentoista eri HCT-yhdistelmän aiheuttamaa rasitusta valituille teräsbetonisille kotelopalkkisilloille. Ko. tyyppi on yleinen pitkien jänteiden silloissa. Vaikutusviivatarkastelussa havaittiin, että HCT-yhdistelmien aiheuttamat rasitukset eivät nouse samassa suhteessa massojen kasvun kanssa. Useissa tapauksissa HCT-yhdistelmien aiheuttamat rasitukset olivat yli 10 % suuremmat kuin 76-tonnisen kuormakaaviossa (varsinkin maksimi vääntömomenti pitkillä silloilla; taulukko 23). Joissakin tapauksissa erot HCT-yhdistelmän ja vertailukaavion välillä olivat kuitenkin hyvin pienet (pienimmillään 84-tonnisilla ja lyhyillä silloilla). Kaikkiaan pienimmät rasitusarvot olivat 76- tai jollain 84-tonnisista yhdistelmistä (taulukko 24). Suurimmat arvot olivat jollain 91- tai 100-tonnisista. Kokonaismassan lisäksi tuloksiin vaikutti myös yhdistelmän pituus ja siten massan jakautuminen akseleille.

Taulukko 23. Laskennallinen ero HCT-yhdistelmien ja AA13/76:n mukaisen kuormakaavion aiheuttamissa siltarasiuksissa vääntömomentin osalta (Kalliovalkama 2022)

	Vääntömom max		Vääntömom min	
	Pitkä silta	Lyhyt silta	Pitkä silta	Lyhyt silta
T100	17,1 %	2,4 %	9,1 %	-10,6 %
H100	12,4 %	-4,4 %	1,7 %	2,9 %
T92	10,9 %	-1,4 %	0,3 %	-5,9 %
H91	18,4 %	9,0 %	11,6 %	8,1 %
T90	13,3 %	1,0 %	8,9 %	6,6 %
H90	14,2 %	-0,1 %	8,9 %	6,0 %
M85	9,2 %	-2,7 %	4,2 %	1,5 %
M84C	7,0 %	3,7 %	3,9 %	2,5 %
M84D	8,5 %	5,3 %	5,3 %	3,9 %
H84	4,6 %	-0,1 %	0,0 %	-1,9 %
T84	4,0 %	-5,9 %	3,8 %	2,5 %

Punaisella merkitty yli 7,5 %:n erotukset ja vihreällä alle 2,5 %:n erotukset.

Taulukko 24. Ajoneuvoyhdistelmät, joilla oli pienin ja suurin vaikutus siltarasiustutkimuksessa (Kalliovalkama 2022)

Taivutusmomentti MAX			
Pitkä silta		Lyhyt silta	
MIN 84B	MAX 100T	MIN 76	MAX 100T
Leikkausvoima MAX			
Pitkä silta		Lyhyt silta	
MIN 84DM	MAX 91H	MIN 84BT	MAX 100H
Vääntömomentti MAX			
Pitkä silta		Lyhyt silta	
MIN 76	MAX 91H	MIN 84B	MAX 91H

Työssä tehtiin myös erillinen kuormituslaskelma 91-tonniselle hakeyhdistelmälle ja 84-tonniselle puutavarayhdistelmälle 84D, jolla oli suurimmat siltarasiuserot AA13/76:n kuormakaavioon verrattuna (ks. taulukko 25). Lisätarkastelussa lyhyttä ja pitkä siltaa kuormitettiin HCT-yhdistelmillä, AA13/76:n mukaisella kuormalla ja 4,5 kN/m³:n pintakuormalla. Rasiuksissa silloille ja taipumissa siltojen palkeille 94-tonnisen ero 84-tonniseen vaihteli välillä -1...3 %. 84-tonnisen ero 76-tonniseen nähden vaihteli välillä -5...3 %. 91-tonnisen ero 76-tonniseen nähden vaihteli välillä -4...6 %. Suurimmat erot HCT-yhdistelmillä 76-tonniseen nähden oli pidemmän, kolmikoteloisen sillan vääntömomentissa.

Työn loppuun laadittiin ehdotus siltojen koekuormituksista, joilla voitaisiin varmentaa ja täydentää laskennallisia tuloksia. Laskelmissa ei pystytty ottamaan huomioon mm. siltojen mahdollisia jälkijännityksiä.

Väyläviraston tilaamassa koekuormitustutkimuksessa (Finerus 2025) tarkasteltiin 92-tonnisen hakeauton, 85-tonnisen metsäauton ja kahden 76-tonnisen puutavara-auton siltarasituksia kahdella eri kotelopalkkisillalla. Tutkimuksen mukaan yhdistelmän kokonaismassalla oli vain vähäinen vaikutus sillan taipumiin ja venymiin. Merkittävästi halkeilleessa sillan osassa HCT-yhdistelmän vaikutus oli kuitenkin suurempi. Yhdistelmien pienet erot johtuivat ajoneuvoyhdistelmien samantasoisesta kuorman intensiteetistä (tonnia per yhdistelmän pituuden metri). Siltojen välitukialueiden rasituksen kannalta tulee välttää massakeskittymiä (esim. useita raskaita akseleita lyhyellä etäisyydellä). Soveltuvista ajoneuvodimensioista ei voi tutkimuksen pohjalta antaa yksityiskohtaisempia johtopäätöksiä mm. eri siltojen toisistaan poikkeavan käyttäytymisen takia.

Tutkimuksessa verrattiin siinä kehitettyjen kotelopalkkisiltojen rakennemallien ja koekuormitusten tuloksia keskenään. Mallien ja koekuormitusten tulokset olivat keskenään vertailukelpoisia, ja rakennemallien todettiin soveltuvan riittävän hyvin kotelopalkkisiltojen tarkasteluun. Tuloksissa havaittiin myös eroja mm. siltojen halkeamakohdissa ja raskaammissa kuormitus-tilanteissa. Myös rakennemallien mukaan eri ajoneuvoyhdistelmien taipumavaikutusten erot olivat pieniä. Jatkotutkimustarpeena nostettiin esille mm. ajoneuvojen sysäysvaikutusten tutkiminen (koekuormitusten toteuttaminen tätä tutkimusta korkeammilla ajonopeuksilla).

Suomen metsäkeskuksen kartoituksen mukaan yksityisteillä on noin 13 000 siltaa. Kattavaa tietoa siltojen kantavuuksista ei ole, mutta tietoajatpainorajoituksista on saatavissa Digitraffic Road Networkissa (entinen Digiroad) ja kuntoarvotietoa Metsäkeskuksen Yksitystiet-karttapalvelussa⁹. Metsähallitus Metsätalous Oy:n omien teiden siltoja koskeneessa tutkimuksessa 85-tonnisen ja 28-metrinen HCT-yhdistelmän rasitus tyyppisillalla Ble II jäi kantavuuslaskelman mukaan pienemmäksi kuin 76-tonnisen yhdistelmän (Sweco 2020). Yksitysteiden sillat ovat yleensä lyhyitä, jolloin HCT-yhdistelmän paino ei kohdennu sille kokonaan.

Väyläviraston kirjallisuus- ja haastatteluselvityksessä (Knuuti ja Sirvio 2024) ehdotetaan HCT-yhdistelmien siltarasitusvaikutusten arvioinnin helpottamiseksi siltojen parametrisoituja mallin-usmenetelmiä, siltojen anturointia ja HCT-yhdistelmien vaikutusten seurantaa.

Siltarasituksen vähentämisen yhtenä keskeisenä keinona ovat digitaaliset ratkaisut, joilla tarvittaessa rajoitetaan HCT-kuljetuksia varsinaisten painorajoitusten sijasta tai rinnalla. Esimerkiksi siltojen anturointia ja sähköisiä näyttötäuluja (tai ilmoituksia kuljetusten suunnittelujärjestelmiin) hyödyntämällä voidaan ilmoittaa kuljettajille vaadittava aika tai etäisyys HCT-yhdistelmien välillä. HCT-kokeiluiden ajan on ollut myös käytössä väliaikaisia liikennevaloja, joilla estetään silloilla muu liikenne samaan aikaan HCT-yhdistelmän kanssa (kuva 45). Ruotsissa on testattu geoaitaamista ajoneuvoyhdistelmien nopeuksien madaltamiseksi siltoja ylitysten ajaksi (Andersson ym. 2023). Toimintamalleja, joilla voidaan vähentää painorajoitetuista silloista johtuvia rajoitteita HCT-kuljetuksille, on kuvattu seuraavassa luvussa.

⁹ Linkki palveluun: <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/yksitystiet>



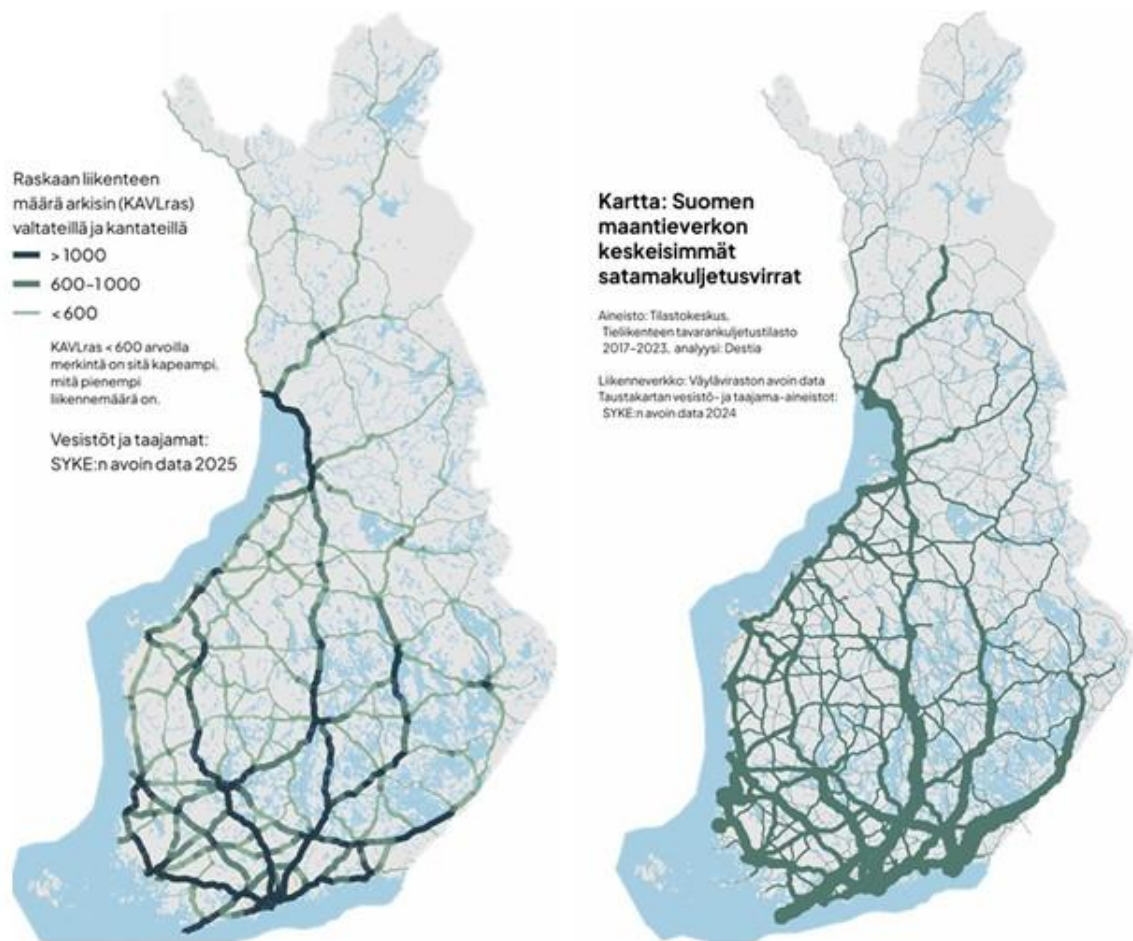
Kuva 45. Jeesiöjoen sillan liikennevalot estivät muun liikennöinnin sillalla saman aikaan HCT-yhdistelmän kanssa (Kuva: Ari Siekkinen). Liikennevalot ovat nyt samassa käytössä Kitisenjoen sillalla.

3.8 HCT-käytävät ja -terminaalit

3.8.1 HCT-käytävien määrittäminen

Liikenne- ja viestintäministeriön (2018) muistion mukaan ”nykyistä suurinta sallittua yhdistelmämassaa (76 tonnia) ei ole mahdollista korottaa kuin vain rajatulla tieverkolla”. HCT-käytävien avulla liikennöinti voidaan keskittää yhteyksille, joilla hyödyt HCT-yhdistelmistä ovat mahdollisimman suuret ja haitat mahdollisimman pienet.

Metsätehon selvityksessä (Venäläinen 2026b) kuvataan yli 76-tonnisten ajoneuvoyhdistelmien HCT-käytäväverkon tarpeeseen, sijoittumiseen ja toteutettavuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä ehdotetaan periaatteita HCT-käytäväverkon määrittämiseen. Selvityksessä on otettu huomioon metsäsektorin lisäksi muidenkin toimialojen tarpeita. Kuvan 46 kartoissa on esitetty raskaan liikenteen ja erikseen satamiin liittyvät keskeiset kuljetusreitit.



Kuva 46. Kuljetusvirtoja Suomen tieverkolla (RT Infra ry ym. 2025)

Käytäväverkon alueelliseen sijoittamiseen ja kattavuuteen vaikuttavat ainakin (Venäläinen 2026b):

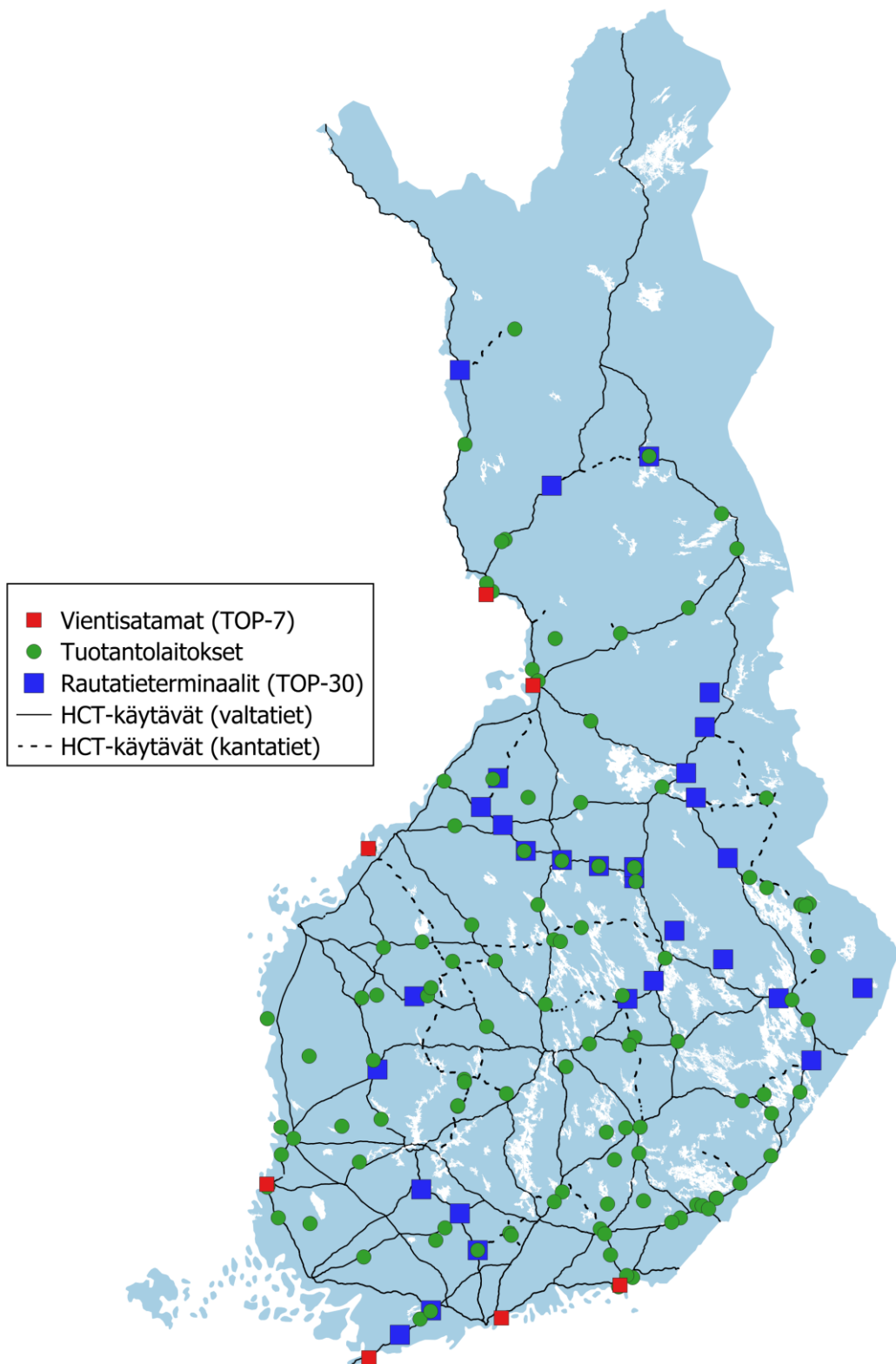
- tie- ja siltaverkon soveltuvuus eri kokoluokan HCT-yhdistelmille
- erilaisilla HCT-yhdistelmillä saavutettavat hyödyt kuljetuskustannuksissa ja kuljetusten päästöissä
- erilaisten HCT-yhdistelmien tie- ja siltarasisvaikutukset sekä näistä syntyvät infrastruktuurin kehittämis- ja kunnossapitokustannukset.

Metsätehon selvityksessä on kuvattu em. tekijöiden nykyistä tietopohjaa.

HCT-yhdistelmät ovat yksi Metsäteollisuuden kuljetusten ilmastotiekartan toimenpiteitä (AFRY Management Consulting 2025). Metsäteollisuus ry:n ja Sahateollisuus ry:n jäsenkyselyissä sekä Metsäteho Oy:n osakaskyselyssä metsäyhtiöt ovat alustavasti tunnistaneet tarpeita HCT-yhdistelmien kuljetuskäytäviksi (kuva 47). Käytäviin sisältyisivät kaikki valtatie ja eräät muut keskeiset yhteydet tuotantolaitoksiin. Lisäksi käytäviä olisi mahdollisuus ulottaa metsäyhtiöiden omille yksityisteille, jotka ovat suoraan yhteydessä valtion tieverkkoon. Kartassa on esitetty myös keskeiset metsäsektorin vientisatamat ja junakuljetusten raakapuuterminaalit, koska HCT-yhdistelmiä on hyödynnetty myös osana multimodaaleja kuljetusketjuja. HCT-

reittiehdotuksia ei ole verrattu ko. yhteyksien tie- ja siltainfrastruktuurin tasoon (siltojen tarkat kantavuustiedot eivät ole julkisia tietoja). (Venäläinen 2026b)

Yksittäisen metsäsektorin tuotantolaitoksen ja kuljetusyrityksen näkökulmasta potentiaalisia HCT-käytäviä ovat ne, joita pitkin tehtaalle on säännöllisesti kuljetuksia. HCT-kuljetusten hyödyntämisen kannalta ehdoton vähimmäisvaatimus on, että yksittäistä käytävää pitkin kuljetaan HCT-kuormia 1–2 HCT-yhdistelmän kapasiteetin verran (keskimäärin noin 85 000–170 000 kuutiota/vuodessa).



Kuva 47. Alustavasti ehdotettuja HCT-käytäviä raakapuun, sivutuotehakkeen ja sahatavaran kuljetuksiin (Venäläinen 2026b).

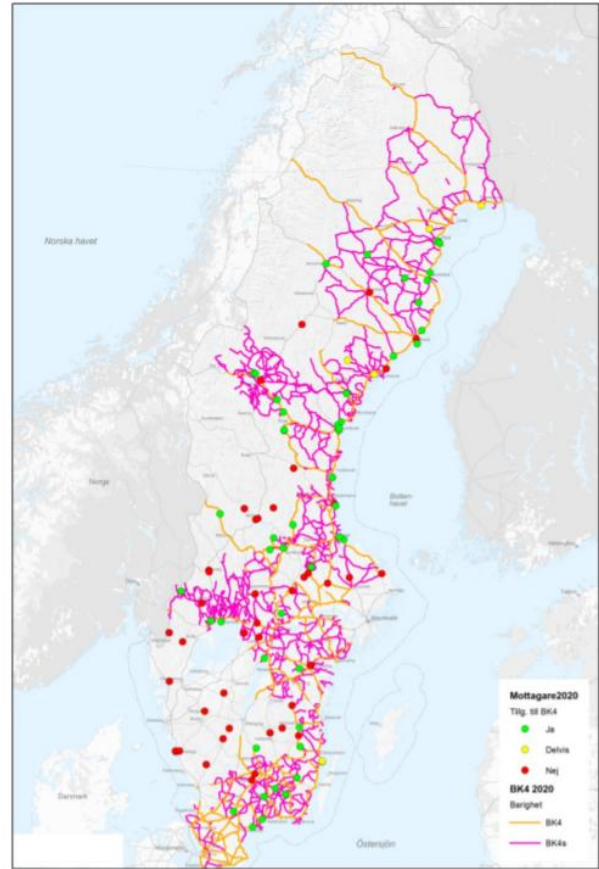
Lisäksi maksimissaan 84-tonnisille on ehdotettu tässä esitettyä laajempaa verkkoa (tarvittaessa vain olosuhteiden salliessa tai vain metsäyhtiöiden omilla yksityisteillä).

HCT-käytävät Ruotsissa

Ruotsissa 74-tonnisille ajoneuvoyhdistelmille on vuodesta 2018 lähtien ollut käytössä BK4-tieverkko. Verkko sisältää valtion teitä ja kuntien katuverkkoa. Yksityistiet sisältyvät verkkoon niiltä osin, kuin teille ei ole erikseen asetettu painorajoitusta.

Vuonna 2029 BK4-verkon on tarkoitus kattaa 70–80 % Ruotsin raskaan liikenteen strategisesta tieverkosta. Alueellista verkon toteutussuunnitelmaa (mm. Trafikverket 2025) päivitetään ja seurataan vuosittain. Verkon laajentuminen riippuu Ruotsin parlamentissa tehdyistä infrastruktuurin investointipäätöksistä. BK4-verkon ajantasainen tilanne löytyy Trafikverketin karttapalvelusta ("bärighet" NVDB på karta -palvelussa).

Skogforskin mallinnuksen (Hofsten ym 2021) mukaan vuoden 2020 lopulla Ruotsin puukuljetusvolyymista 55 %:lla oli pääsy BK4-verkkoon (ks. kuva 48).



Kuva 48. Ruotsin metsäteollisuuden tuotantolaitokset ja terminaalit sekä BK4-verkko vuoden 2020 lopulla (Hofsten ym 2021).

3.8.2 Yhdistelmien joustava käyttö HCT-käytäväverkolla

Metsäteho Oy:n haastattelututkimuksessa (Venäläinen ja Poikela 2021) selvitettiin kuljetus- ja metsäyhtiöiltä sekä laitevalmistajilta näkemyksiä siitä, miten yli 76-tonnisia HCT-yhdistelmiä voitaisiin hyödyntää rajoitetullakin HCT-käytäväverkolla. Keskeisinä keinoina haastatteluissa mainittiin:

- HCT-metsäautolla ajaminen alkumatkan ajan 76-tonnisena (kuorman täydentäminen leimikon kantavan tieosuuden yhteydessä, siirtokuormausta paikassa tai HCT-terminaalissa).
- 84-tonnisella HCT-yhdistelmällä ajaminen 76-tonnisena HCT-reitistön ulkopuolella (omapainon oltava erityisen kevyt ajotalouden varmistamiseksi tai kyseessä oltava kuormattu paluukuljetus jollain kevyemmällä tuotteella)
- Yhdistelmällä ajaminen 76-tonnisena tai HCT-painoisena tiestön kantavuuden vaihtelun mukaan (ks. tarkemmin Winter Premium -malli)
- 76-tonnisen yhdistelmän kasvattaminen HCT-kokoon kuljetusreitillä varrella vetoautoja ja perävaunuja vaihtamalla tai perävaunuja lisäämällä.

Yksittäiset painorajoitetut sillat eivät välttämättä estä HCT-käytävien tehokasta hyödyntämistä. Tienvarsivarastojen, terminaalien ja toimituskohteiden sijainneista riippuen 76-tonninen

yhdistelmä voidaan täydentää HCT-painoiseksi painorajoitetun sillan jälkeen tai osa lastista voidaan purkaa ennen siltaa. Täydentäminen tai painon vähentäminen voidaan hoitaa siirto-kuormauksilla tai erikokoisten vetoautojen ja perävaunujen vaihdoilla yhdistelmien välillä:

- 76-tonnisen yhdistelmän 4-akselinen perävaunu voidaan vaihtaa 5-akseliseen perävaunuun, jolloin kokonaispaino nousee esimerkiksi 84 tonniin.
- 6-akselisen perävaunun vetoauto voidaan vaihtaa 3-akselisesta 4-akseliseksi, jolloin kokonaispaino nousee 76-tonnisesta esimerkiksi 84 tonniin.

Useamman moduulin yhdistelmän osalta perävaunut voidaan kuljettaa sillan ylitse erikseen ja yhdistelmä kootaan kokomittaan sillan jälkeen. Painorajoitettujen siltojen välttämiseksi voi löytyä toimiva kiertoreitti. HCT-käytävillä, joiden varrella on useampia puun käyttökohteita, on tarjolla kuljetusvirtoja, joiden ei tarvitse ylittää painorajoitettua siltaa. Painorajoitetut sillat ja lossit joudutaan jo tällä hetkellä ottamaan huomioon puukuljetusten suunnittelussa. (Siekkinen 2020).

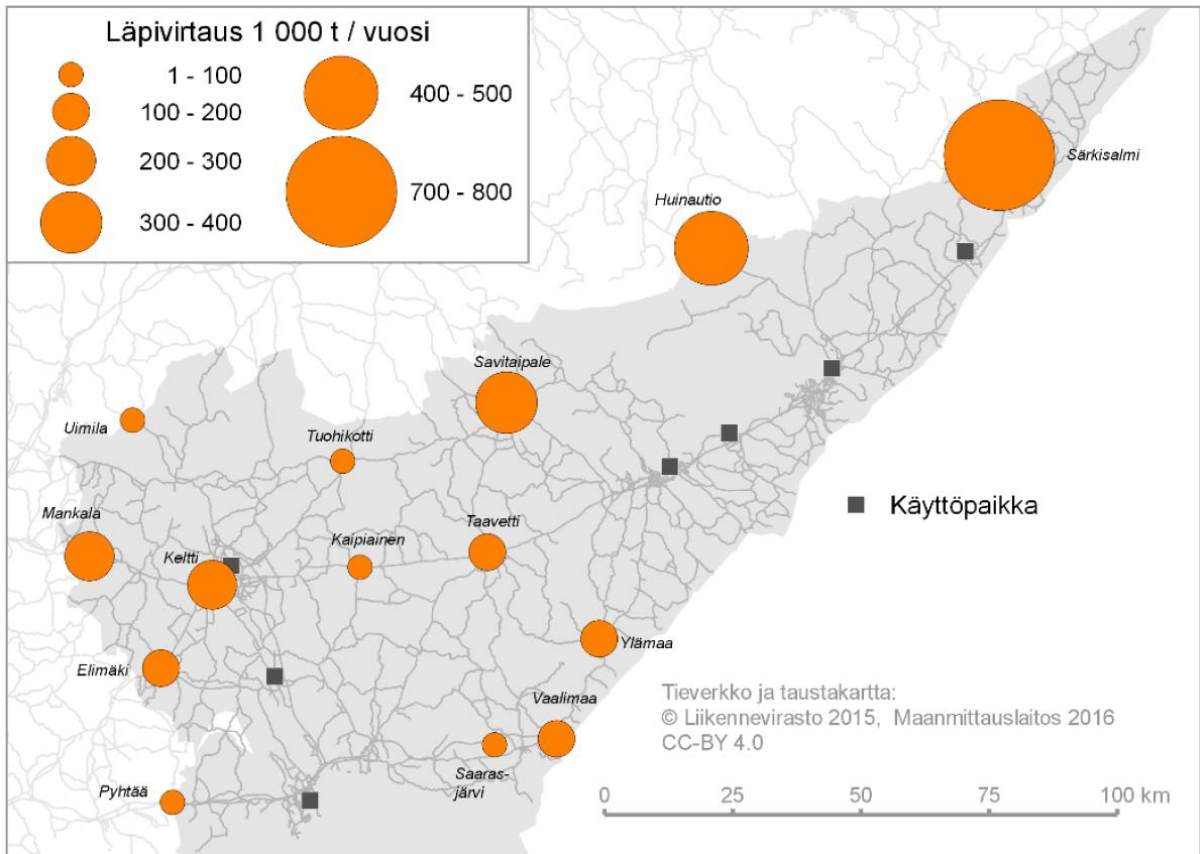
3.8.3 HCT-terminaalit

HCT-terminaalien hyödyntäminen laajentaa HCT-käytävien toiminta-alueita ja potentiaalista kuljetusvolyymia mahdollistaessaan kuormien siirron 76-tonnisten ja HCT-yhdistelmien välillä. Puun siirto metsäautosta HCT-yhdistelmään voidaan toteuttaa varsinaisen tiekuljetusterminaalien lisäksi missä tahansa kuormauspaikassa, jossa joko:

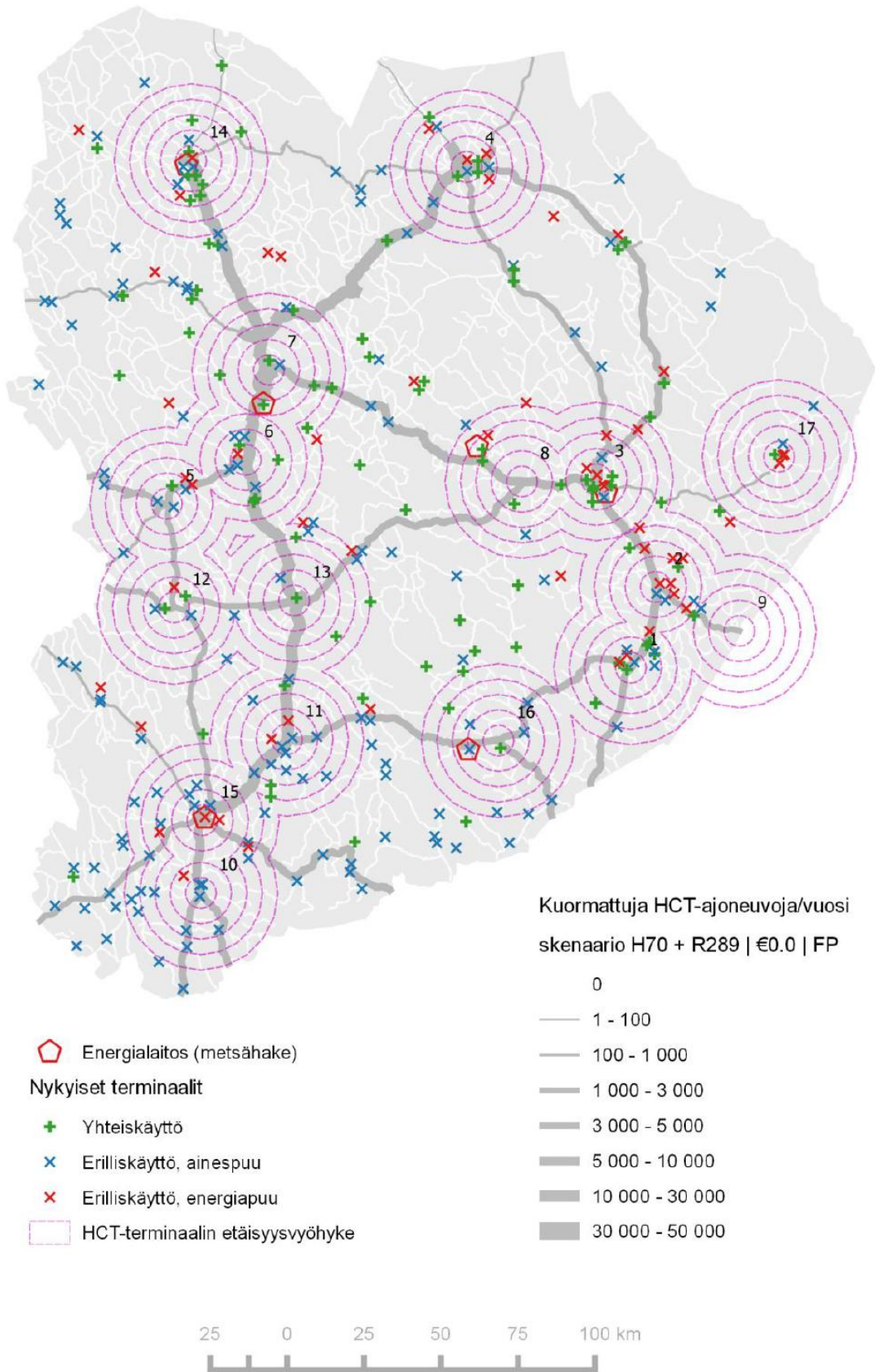
- a) voidaan lyhytaikaisesti säilyttää valmiiksi kuormattua perävaunua tai jalkalavaa,
- b) voidaan varastoida puuta lyhyt- tai pitkäaikaisesti tai
- c) kaksi yhdistelmää mahtuu yhtä aikaa siirtokuormauksen ajaksi.

HCT-kokeiluiden osallistuneiden yritysten haastatteluissa (Venäläinen ja Poikela 2021) yli 76-tonnisiin yhdistelmiin siirtyminen lisäsi HCT-terminaalien käyttötarvetta. Uusia terminaaleja tarvittaisiin varsinkin Pohjois-Suomeen. Muualla riittää osin nykyisten terminaalien kehittäminen. Terminaali-investointitarpeiden ei nähty muodostuvan suureksi, ja terminaaleja on mahdollista hyödyntää kuljetuksissa 76-tonnisillakin yhdistelmillä (mm. kelirikkoajan varastointi). Terminaalien tehokasta hyödyntämistä edesauttavat valmiiksi kuormatut ajoneuvoyksiköt ja jalkalavat (ks. kuvat 14–15) sekä lastauspalvelu.

LUT-yliopiston simulointitutkimuksissa (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2017 sekä Korpinen ja Aalto 2017) on tunnistettu tiekuljetusketjuihin sopivien HCT-terminaalien potentiaalisimpia sijoittumispaikkoja Kaakkois- ja Itä-Suomessa (kuvat 49–50). Tarkastelut indikoivat samalla potentiaalisten HCT-käytävien sijoittumista ko. alueilla. Tarkasteluita onkin tarpeen laajentaa muillekin alueille Suomessa. Tietoja alueellisista puutermiinaliselvityksistä on koottu sivustolle www.metsateho.fi/terminaali.



Kuva 49. Kaakkois-Suomen puun käyttöpaikat ja HCT-terminaalien läpi virtaaman kuitupuun määrä skenaariossa, jossa on 30 HCT-ajoneuvoa, 86 metsäautoa, 14 terminaalia ja oletettu terminaalikustannus 0,50 €/t (Korpinen ja Aalto 2017).



Tieverkko ja taustakartta © Liikennevirasto 2017, Maanmittauslaitos 2016, CC-BY 4.0

Kuva 50. Itä-Suomen HCT-kuljetusvirrat ja nykyiset puuterminaalit (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2017).

3.8.4 HCT-kuljetusten seuranta- ja rajoitusjärjestelmät

Jotta HCT-kuljetukset rajoittuisivat vain HCT-käytävälle, esillä on ollut mm. HCT-yhdistelmien painojen ja reittien seuranta (esim. massojen seuranta liikkuvista ajoneuvoista Weigh-in-Motion/WiM-järjestelmillä). Ruotsissa on tarkasteltu HCT-yhdistelmien pääsyn älykästä rajoittamista (Intelligent Access, IA) (Asp ja Wandel 2023). IA-ratkaisuilla estetään teknisesti HCT-yhdistelmien liikkuminen niille sopimattomilla reiteillä, jolloin varmistetaan infrastruktuurin kunnon ja liikenneturvallisuuden säilyminen. Ruotsissa on testattu myös kuorma-autojen geoaitaamista, jolla pudotetaan kuorma-auton nopeutta sillan ylityksen ajaksi (Andersson ym. 2023).

Suomessa puu- ja hakekuljetusketjuissa kuorman paino mitataan kuormainvaaoilla (tienvarsi-varastot, kuljetusyritysten omat terminaalit) ja siltavaaoilla (tehtailta lähtevät sivutuote- ja vaihtopuukuljetukset). Kuormapainotietoja siirretään kuljetusketjussa mm. LogForce-järjestelmän avulla, joka olisi helposti muokattava ratkaisu myös viranomaisten painoja koskeviin tietotarpeisiin.

3.9 Liikenneturvallisuus

Yli 76-tonnisten HCT-yhdistelmien ei ole havaittu olevan merkittävästi muita yhdistelmiä heikompia liikenneturvallisuuden kannalta. Suuremmat yhdistelmät voivat jopa parantaa liikenneturvallisuutta, koska kuormamäärät vähenevät (Lapp ja Iikkanen 2017). Suurempien yhdistelmien hyvän liikenneturvallisuuden takana voi olla myös se, että niillä ajetaan keskimääräistä paremmilla teillä, kuljettajat ovat kokeneita ja yhdistelmissä on enemmän liikenneturvallisuutta parantavaa ajoneuvotekniikkaa. (Knuuti ja Sirvio 2024). Yli 25,25-metrisiä yhdistelmiä koskevat vaatimukset on esitetty tieliikennelaissa sekä Traficomien määräyksissä koskien autojen, perävaunujen ja ajoneuvoyhdistelmien teknisiä vaatimuksia.

Massojen noston osalta keskeisiä liikenneturvallisuutta koskevia tutkimusaiheita Suomessa olivat ajoneuvojen stabiliteetti, liikkuvuus, kiihtyvyys ja jarrutusmatkat. Oulun yliopiston tutkimuksessa (Pirnes ym. 2018) verrattiin 84- ja 104-tonnisten HCT-yhdistelmien luistoa, kiihtyvyyttä ja jarrutusmatkoja 76-tonniseen yhdistelmään (taulukot 30–32). Maantiellä talviolosuhteissa suoritetuissa tutkimuksissa yhdistelmien liikkuvuus (luisto) oli tavanomaisen liikenteen vaatimusten mukaista, vaikka luistoa havaittiin tietyissä tilanteissa. Suljetun alueen kokeissa 104-tonnisen kiihtyvyys 50 km/h:n ajonopeuteen talviolosuhteissa kesti 56 % kauemmin kuin 76-tonnisella yhdistelmällä. Jarrutusmatka oli 104-tonnisella noin 10 % pidempi kuin 76-tonnisella. Kesäolosuhteiden täysjarrutuskokeiden toteutus jouduttiin keskeyttämään puukuormien siirtymisriskin takia. Kummankaan HCT-yhdistelmän jarrutusstabiliteetissa ei havaittu ongelmia.

Taulukko 30. Tuloksia yhdistelmien liikkuvuutta ja kiihdytyksiä koskevista tutkimuksista talviolosuhteissa (Pirnes ym. 2018).

Yhdistelmän koko	Liikkuvuus (luisto)	Kiihdytys (0=>50 km/h)
84 t (P&A Trans tai Malinen)	Kuormattuna harvoin luistoa kiihdytystilanteissa. Hetkellistä luistoa lähinnä metsäautoteillä liikkeellelähdössä. Yleisempää oli vetävien pyörien luisto yhdistelmän ollessa kuormaamaton.	Ei mitattu
104 t (Ketonen)	Kuormattuna merkittävää, hetkellistä pyörien luistoa liikkeellelähdöissä ja satunnaisesti Magneettimäessä. Kuormaamattomana ei havaittu luistoa.	56 sek eli 56 % kauemmin kuin 76-tonnisella (jonka kiihdytys 36 sek)

Taulukko 31. Oulun yliopiston ensimmäisen kesäolosuhteiden jarrutuskokeen tuloksia (Pirnes ym. 2018).

Ajoneuvo-yhdistelmä	Aloitussnopeus [km/h]	Jarrutusmatka [m]	Keskimääräinen hidastuvuus [g] (huippuarvo)
104 t Ketonen	50	39	0,252 (0,45)
84 t P&A Trans	60	-	- (0,47)
76 t Ketonen	60	40	0,354 (0,41)
Lapin ammattiopisto	77	31	0,752

Taulukko 32. Oulun yliopiston toisen kesäolosuhteiden jarrutuskokeen tuloksia (Pirnes ym. 2018).

Ajoneuvo-yhdistelmä	Aloitussnopeus [km/h]	Jarrutusmatka [m]	Keskimääräinen hidastuvuus [g] (huippuarvo)
104 t Ketonen	60	53	0,267 (0,71)
84 t P&A Trans	40	12	0,524 (0,58)
76 t Ketonen	48	17	0,533 (0,58)

Ajoneuvojen pidentämisen osalta tutkimuksia tehtiin koskien ajoneuvojen kääntyvyyttä ja muun liikenteen ohituskäyttäytymistä. Keskeisiä tuloksia koskien stabiiliteettia, kääntyvyyttä ja ohituskäyttäytymistä on koottu ajoneuvojen pituuksien noston vaikutuksia koskevaan selvitykseen (Venäläinen 2019). Ajettujen kuormien lukumäärä laskee ajoneuvoyhdistelmän hyötykuorman kasvaessa (ks. luku 3.1). Tämä vähentää onnettomuuden syntymisen riskiä.

Aalto-yliopiston tutkimuksessa (Heinonen 2017) vertailtiin HCT-yhdistelmien ja verrokkien ohitustilanteita. HCT-yhdistelmien ohittaminen kesti keskimäärin 0,8–1,3 sekuntia kauemmin kuin verrokkien. Yhdistelmiä ohitettiin keskimäärin samoilla ajonopeuksilla, mutta nopeusrajoitusten ylitykset olivat yleisempiä verrokki- kuin HCT-yhdistelmien ohittamisessa. HCT-yhdistelmien takana oli hieman enemmän muiden ajoneuvojen jonoutumista kuin verrokkiyhdistelmillä.

Ahtailla kaupunkialueilla on tarpeen kiinnittää huomiota mm. risteyksiin ja kiertoliittymiin, mikäli massojen nosto lisäisi yli 25,25-metrysten yhdistelmien liikennöintiä (Vilkuna 2025). Liikenneturvallisuutta voidaan parantaa mm. HCT-yhdistelmien omilla reiteillä.

3.10 Kuljettajatarve

Tehokkaammat kuljetukset vähentävät kuljettajien tarvetta (taulukko 26), mitä ei kuljettajapulan takia pidetä kuitenkaan ongelmana. Kuljetusalan yrityksistä jopa 72 %:lla on ollut vaikeuksia rekrytoida kuorma-autokuljettajia (Salanne ym. 2024).

Taulukko 26. Kuormakoon kasvu puutavara- ja hakekuljetusten HCT-yhdistelmillä

Kuorman kasvu	84–85 t	90–92 t	100–104 t
Puutavara	4–15 %	11–19 %	33–38 %
Kuorman kasvu	84–85 t	90–92 t	98–100 t
Hake	8–14 %	17–25 %	31–34 %

Puutavarakuljetuksissa uusien kuljettajien tarve ylittää alalle valmistuvien määrän. Vuonna 2023 uusia puutavara-auton kuljettajia valmistui 72, kun arvio uusien kuljettajien vuosittaiselle tarpeelle vuonna 2030 on 240 tai 340 hakkuumäärästä riippuen (Strandström ja Poikela 2025). Kuljetuksissa, joissa puukuorma siirretään metsäautoista HCT-yhdistelmiin, voidaan HCT-kuljetusosuudella hyödyntää kuljettajia, joilla ei ole metsäpään kuljetuskokemusta. Tämä lisää kuljettajaresurssien joustavaa hyödyntämistä.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän raportin valmistumisvaiheessa liikenne- ja viestintäministeriö ei ollut tehnyt esitystä uusista ajoneuvojen massoista, joten selvitys tehtiin niiden massaluokkien osalta, joille on myönnetty puutavara- ja hakekuljetusten HCT-kokeilulupia. Luvat ovatkin kattaneet hyvin eri massaluokkia 84 ja 104 tonnin välillä. Kaikilla HCT-puutavara- ja hakeyhdistelmillä on ollut nykyisin sallittua (76 tonnia) korkeampi paino. Pelkällä pituuksien nostolla saavutettiin puutavarakuljetuksissa vain rajattuja hyötyjä. Kaikkiaan Suomen HCT-kokeiluissa on ollut mukana yli 30 HCT-yhdistelmää, joiden kokonaismassa on yli 76 tonnia.

Seuraaviin taulukoihin (27 ja 28) on koottu erikokoisten HCT-yhdistelmien vaikutuksia puutavara- ja hakekuljetuksissa. Suuremmat ajoneuvoyhdistelmät vähentävät puutavarakuormien määrää 84 000–184 000:lla ja hakekuormien määrää 35 000–124 000:lla vuodessa. Puutavaran **kuljetuskustannukset** vähentyisivät yhdistelmäkoosta ja -tyypistä riippuen 8–26 milj. eurolla vuodessa (parhaimmillaan 3–16 % per m³ 100–300 km:n kuljetusmatkalla, joissakin tapauksissa matkan oltava yli 100 km säästön saavuttamiseksi). **Polttoaineen kulutus** laskisi puutavarakuljetuksissa 4–7 milj. litralla vuodessa (3–10 % per tuoretonni 100–300 km:n kuljetusmatkalla). Hakekuljetuksissa polttoaineen kulutus laskisi 2–11 milj. litralla vuodessa (4–20 % per tuoretonni 100–300 km:n kuljetusmatkalla). Tässä raportissa esitetyt tulokset koskevat vain kokeiluluvan saaneita HCT-yhdistelmiä. Kokeiluiden yhteydessä on todennäköisesti syntynyt kehitysideoita, joilla yhdistelmistä saataisiin tässä esitettyä kustannustehokkaampia ja toimivampia.

HCT-yhdistelmien ja verrokkien polttoaineen **kulutustietoa** on kerätty pitkän ajanjakson aikana, jolloin kuorma-autojen polttoainetehokkuus on kehittynyt. Tämä heikentää eri aikoina kerätyn kulutustiedon vertailtavuutta. Metsätehon laskelmissa on siksi painotettu uusimmista yhdistelmistä kerättyä tietoa. Myös VTT:n simulointimallilla tehdyn tarkastelun mukaan suuremmat yhdistelmät vähentävät hyötykuormakohtaista polttoaineen kulutusta. Simulointimalleilla tehdyillä tarkasteluilla voidaan vähentää paitsi ajoneuvokehityksen, mutta myös esimerkiksi kuljettajan ja kuljetusreitin ominaisuuksien vaikutuksia tuloksiin.

Suurimpien HCT-puutavarayhdistelmien osalta **kustannusvertailua** hankaloittaa se, että ko. yhdistelmät edellyttävät metsästä saapuvan kuorman siirtokuormausta HCT-yhdistelmään. Tästä syntyy kuljetusketjuun lisäkustannuksia, mutta toisaalta terminaalivehkeällä voidaan säästää monia toimintavarmuus- ja muita hyötyjä, joiden kustannusvaikutuksia ei ole arvioitu. Sivutuotehakkeen, terminaalisissa haketetun energiapuun ja tehtaiden välisen vaihtopuun kuljetuksissa suuria HCT-yhdistelmiä voidaan hyödyntää ilman siirtokuormauksesta syntyvää lisäkustannusta.

Liikenneturvallisuustutkimuksissa ei ole havaittu HCT-yhdistelmissä merkittäviä eroja nykyisiin yhdistelmiin nähden. Suuri osa HCT-yhdistelmistä simuloitiin niiden stabiiliteetin osalta jo HCT-kokeiluluvan hakuvaiheessa.

Taulukko 27. Yhteenveto HCT-yhdistelmien ja -kuljetusketjujen vaikutuksista puutavarakuljetuksissa (kulutuksen osalta verrattuna 76-tonniseen metsä- tai terminaaliautoon ja kustannusten osalta 76-tonniseen metsäautoon). Vaikutusarviot perustuvat raportin laatimishetkellä käytössä olleisiin tutkimusaineistoihin ja -tuloksiin.

Vaikutus	84M	85M	84T, 50 %	90T	92T	94T, 50 %	100T	104T, 50 %
Ajot 1 000 kpl/v	-98	-84	-75	-104	-94	-135	-163	-184
Kuljetus-kustannukset milj. €/v (100 km:n keskimatka)	-26	*	+7	*	*	+1	*	-8
Kuljetus-kustannukset per m³ (100–300 km)	-7,7...-8,3 %	*	+2,0...-9,6 %	*	*	+0,3...-11,9 %	*	-2,5...-15,8 %
Polttoai- neen kulu- tus milj. l/v (101 km:n keskimatka)	-7,2	*	-3,8	*	-0,9***	-5,1	*	-6,6
Polttoai- neen kulu- tus per tuo- rettonni (100–300 km)	-6,8...-7,1 %	*	-2,8...-8,0 %	*	-1,2 %***	-3,2...-8,5 %	*	-4,7...-10,4 %
Tierasitus	<i>Paksupäällysteiset tiet:</i> Tierasitus ei kasva suurillakaan HCT-yhdistelmillä. <i>Ohutpäällysteiset tiet:</i> Paksuimmilla teillä tierasitus ei kasvane, mutta eri kokoisille HCT-yhdistelmille sopivien teiden määrittäminen vaatii tarkentamista.							

	<i>Soratiet:</i> HCT-kuljetukset koskisivat todennäköisesti korkeintaan 84-tonnisia ja 10-akselisia yhdistelmiä. Johtopäätösten tekemistä varten lisätutkimukset ovat tarpeen.							
Siltarasitus	****	****	****	****	****		****	
Liikenneturvallisuus	<p><i>Liikkuvuus (luisto):</i> Maantiellä talviolosuhteissa 104- ja 84-tonnisilla tavanomaisen liikenteen vaatimusten mukainen, vaikka luistoa havaittiin tietyissä tilanteissa.</p> <p><i>Kiihdytys:</i> 104-tonnisella 56 sek (eli 56 % kauemmin kuin 76-tonnisella) (Pirnes ym. 2018).</p> <p><i>Stabiliteetin, kääntyvyyden ja muun liikenteen ohituskäyttämisen</i> osalta tutkimustuloksia on koottu ajoneuvojen pidentämistä koskevaan selvitykseen (Venäläinen 2019).</p>							
Ajoneuvon kestävyys	104- ja 84-tonnisten vetolaitteiden aisavoimissa ei merkittäviä eroja 76-tonnisiin verrattuna. (Pirnes ym. 2018).							

*Ei lasketa ko. kokoluokalle erikseen, mutta ko. kokoluokasta kerättyjä tietoja on hyödynnetty tässä esitetyissä muiden kokoluokkien laskelmissa

**Mukaan lukien vain ne kuljetusmatkaluokat, joilla syntyy säästöä.

***Keskikulutus keskimääräisellä (ei siis täydellä) kuormalla Kärhän ym. 2023 mukaan ja keskikulutus tyhjänä (ilman kuormainta, 122 km:n keskimatkalla) Malmstedtin 2024 mukaan. Ko. kulutustasot eivät ole täysin vertailtavissa taulukossa esitettyihin muihin kulutuslukemiin.

****Ks. tarkemmin taulukot 23 ja 24 (tulokset vaihtelevat mm. sillan pituuden mukaan)

Taulukko 28. Yhteenveto HCT-yhdistelmien vaikutuksista hakekuljetuksissa verrattuna 76-tonniseen yhdistelmään. Vaikutusarviot perustuvat raportin laatimishetkellä käytössä olleisiin tutkimusaineistoihin ja -tuloksiin.

Vaikutus	84H	85H	90H	91H	92H	98H	100H
Ajot 1 000 kpl/v	-56	-35	-88	-98	-83	-115	-124
Kuljetuskustannukset milj. €/v (100 km:n keskimatka)	-32	-4	-28	-36	*	-38	-35
Kuljetuskustannukset per m ³ (100–300 km)	-14,1...-14,9 %	-1,5...-2,1 %	-12,4...-13,3 %	-16,1...-17,3 %	*	-16,7...-17,3 %	-15,5...-16,1 %
Polttoaineen kulutus milj. l/v (107/90 km:n keskimatka)	-2,2	-5,1	-7,7	-11,0	*	-10,7	-9,1
Polttoaineen kulutus per tuoretonni (100–300 km)	-4,1...-3,6 %	-8,9...-9,3 %	-14,2...-14,2 %	-19,6...-20,1 %	*	-19,2...-19,4 %	-16,4...-16,1 %
Tierasitus	Ks. Puutavarayhdistelmiä koskeva taulukko						
Siltarasitus	**		**	**	**		**

*Ei lasketa ko. kokoluokalle erikseen, mutta ko. kokoluokasta kerättyjä tietoja on hyödynnetty tässä esitetyissä muiden kokoluokkien laskelmissa

**Ks. tarkemmin taulukot 23 ja 24 (tulokset vaihtelevat mm. sillan pituuden mukaan)

HCT-yhdistelmien **tierasitusvaikutuksia** on tutkittu erilaisissa kohteissa ja erilaisilla yhdistelmillä. Tierasitusta on tutkittu sekä koekuormituksilla että mallintamalla. Paksupäällysteisillä teillä HCT-yhdistelmät eivät aiheuta tien urautumista tai ero nykyisiin yhdistelmiin on hyvin pieni. Aivan ohuimmin rakennetuilla ja heikoilla pohjamailla sijaitsevilla teillä HCT-yhdistelmät aiheuttavat enemmän urasyvyyksien kasvua kuin nykyiset yhdistelmät. Sorateilla eri tutkimusten tulokset poikkesivat jossain määrin toisistaan (johtuen myös yhdistelmien eri akselimääristä). Tierasitukseen vaikuttaa yhdistelmän kokonaispainon lisäksi mm. massakeskittymät ja paripyörien lukumäärä.

Winter Premium -hankkeessa tutkittiin toimintamallia, jossa teiden painorajoituksia nostettaisiin, kun tierakenne on jäänyt 30–40 cm:n syvyyteen asti. Hankkeessa todettiin roudan kasvattavan sekä päällystetyn että soratien kantavuuden moninkertaiseksi. Toimintamallin hyödyntämistä heikentää syksy- ja kevätkausina tyypillinen tien vuorottainen jäätyminen ja sulaminen. Vaihtoehtona onkin mallin kehittäminen dynaamiseksi olosuhteiden vaihtumisen mukaan. Hankkeessa ei määritely roudan mahdollistamaa massan korotuksen määrää. Hankkeessa kehitettiin kelirikon ennustemallia, jota jatkokehitetään muiden hankkeiden yhteydessä.

Puutavarakuljetusten tierasitusten vähentämiseksi on tässä raportissa kuvattu eri keinoja (ajantasainen teiden kuljetuskelpoisuusluokitus, rengaspaineiden säätöjärjestelmä (CTI), HCT-kuljetusten tekniset seuranta- ja rajoitusratkaisut). Ko. keinoja käyttöönottamalla tierasitusta ja tievaurioita voidaan vähentää myös nykykokoisissa yhdistelmissä.

Ensimmäinen **siltarasitustutkimus** HCT-yhdistelmien vaikutuksista rajoittui kotelopalkkisiltoihin ja niiden laskennallisiin tarkasteluihin. Suurimmillaan HCT-yhdistelmät lisäsivät rasiitusta yli 10 % (varsinkin pitkillä silloilla). Vertailun useimmilla 84-tonnisilla ja lyhyillä silloilla rasiitusero jäi selvästi pienemmäksi. Laskelmissa ei pystytty ottamaan huomioon mm. siltojen mahdollisia jälkijännityksiä.

Siltojen koekuormitustutkimuksen mukaan yhdistelmän kokonaismassalla oli vain vähäinen vaikutus sillan taipumiin ja venymiin. Yhdistelmien pienet erot johtuivat ajoneuvoyhdistelmien samantasoisesta kuorman intensiteetistä (tonnia per yhdistelmän pituuden metri). Siltarasituksen kannalta tulee ajoneuvoyhdistelmissä välttää massakeskittymiä (esim. useita raskaita akseleita lyhyellä etäisyydellä). Tutkimuksen pohjalta ei voi antaa yksityiskohtaisempia johtopäätöksiä soveltuvista ajoneuvodimensioista mm. eri siltojen toisistaan poikkeavan käyttäytymisen takia.

Päällystettyjen teiden osalta HCT-kuljetukset on ajateltu rajoitettavan vain erikseen määriteltäville **HCT-käytävälle**. Näin taataan käytävien sopivuus HCT-yhdistelmille ja toisaalta priorisoidaan tarvittavat infrastruktuuri-investoinnit yhteysväleille, joilla hyödyt HCT-yhdistelmille ovat suurimmat. Puutavara- ja hakekuljetusten osalta HCT-käytäviä tarvitaan:

- HCT-terminaalien (ja muiden siirtokuormaustapaikkojen) ja metsäsektorin tuotantolaitosten välille
- HCT-terminaalien ja suurimpien raakapuun rautatieterminaalien välille ja
- metsäsektorin tiettyjen tuotantolaitosten välille (vaihtopuu- ja sivutuotekuljetukset).

Metsäsektori on laatinut oman ehdotuksensa HCT-käytäväverkosta. Päällystettyä HCT-käytäväverkkoa täydentäisi metsäyhtiöiden omien, suoraan yleisiin teihin yhteydessä olevien

yksityisteiden tieverkko. Metsäteho on tarkastellut HCT-käytävien tarpeita myös muilla sektoreilla sekä kuvannut käytävien määrittämisessä tarvittavaa tietopohjaa. Käytäväehdotusten viimeistely edellyttää elinkeinoelämän ja infraomistajien välistä yhteistyötä.

LÄHTEET

AFRY Management Consulting (2025) Metsäteollisuuden puunkorjuun ja kuljetusten päästöskenaario osana ilmastotiekarttatyötä – Loppuraportti. https://metsateollisuus.fi/wp-content/uploads/2025/06/20250606_Metsateollisuus_Logistiikkaselvitys_Loppuraportti.pdf

Andersson K, Noreland D, Lundahl J, Eriksson A (2023) Geostängslade BK4-transporter vide bropassager och tjälade vägar. RISE Rapport 2023:87. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1801539/FULLTEXT01.pdf>.

Anttila P, Ojala J, Palander T, Väätäinen K (2023) The effect of road characteristics on timber truck driving speed and fuel consumption based on visual interpretation of road database and data from fleet management system. Silva Fennica vol. 56 no. 4. article id 10798. <https://www.silvafennica.fi/article/10798>

Asp T, Wandel S (2023) A Framework for Intelligent Access and Compliance Assurance for High Capacity Transport. Transportation Research Procedia 72. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523008852?via%3Dihub>.

Bergqvist M, Björheden R, Eliasson L (2025) Effects of Reduced Tyre Pressures on Wear of Thin-Surfaced Roads. Croatian Journal of Forest Engineering 46. <https://doi.org/10.5552/cro-jfe.2025.3610>.

CLOSER (2025) DHEELS – Demonstration av högtenergieffektiva logistiksystem. Projektsivusto. <https://closer.lindholmen.se/projekt/dheels>. Viitattu 16.4.2026

Finerus O (2025) Jatkuvan teräsbetonisen kotelopalkkisillan toiminnan analysointi koekuormitusten avulla. Diplomityö, Tampereen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/226582>

Heinonen T (2017) High Capacity Transport -ajoneuvoyhdistelmien vaikutukset liikennevirtaan. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 48/2017. <https://www.doria.fi/handle/10024/144005>

Hofsten H von, Flisberg P, Gustavsson O, Davidsson A (2021) BK4-läget – Beskrivning och analys av skogsbrukets tillgång till BK4-vägnät. Skogforsk Arbetsrapport 1089-2021. https://www.skogforsk.se/cd_20210624141218/contentassets/9f926088ac494c5cbb1be36f61e5906f/arbetsrapport-1089-2021.pdf

Isometsä J (2024) Raskaan liikenteen kuormitusvasteiden mallintaminen. Diplomityö, Tampereen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/155139/IsometsaJukka.pdf>

Isometsä J, Kolisoja P, Vuorimies N (2024) HCT- ja verrokkiyhdistelmien tierasitusmallinnukset. Tampereen yliopisto. https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/HCT-tierasitusmallinnus_raportti_20241223.pdf

Isometsä J, Kolisoja P, Vuorimies N (2025) HCT-yhdistelmien tierasitusmallinnukset. Tampereen yliopisto. https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/HCT-mallinnus_raportti_20251217_2.pdf

Juntunen E (2023) Ainespuun autokuljetusten päästövähennyskeinojen kustannusvaikutukset. Pro gradu, Itä-Suomen yliopisto. https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/29530/urn_nbn_fi_uef-20230284.pdf

Kalliovalkama R (2022) Teräsbetonisen kotelopoikkileikkauksen toiminta ja HCT-yhdistelmien vaikutukset rasituksiin. Diplomityö, Tampereen yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202208166427>

Knuuti M, Sirvio K (2024) T-OMHA / Kirjallisuusselvitys HCT-rekkojen vaikutuksesta tiestön kuntoon. Väyläviraston julkaisuja 37/2024. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/189137/VJ_37-2024_978-952-405-177-4.pdf

Korpilahti A (2015) Bigger vehicles to improve forest energy transport. Metsätehon tuloskalvosarja 3/2015. <http://www.metsateho.fi/bigger-vehicles-to-improve-forest-energy-transport/>.

Korpinen O-J, Aalto M (2017) Optimoitu puuterminaliverkosto. Teoksessa: Venäläinen P, Aalto M, Heljanko E, Hilmola O-P, Korpinen O-J, Ovaskainen H, Pesonen M, Poikela A Terminaalitoiminnot energiatehokkaassa puutavaralogistiikassa - T3 Uudet terminaalikonseptit ja -verkostot. Metsätehon raportti 242. https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Raportti_242_Terminaalitoiminnot_energiatehokkaassa_puutavaralogistiikassa_T3.pdf.

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 of laden timber truck combinations in Finland. International Journal of Forest Engineering. <https://www.tandfonline.com/eprint/AAGPSNFVMEEFRQGPYE86/full?target=10.1080/14942119.2022.2163871>

Lappeenrannan teknillinen yliopisto (2017) Puutavaran terminaalipaikkojen simulointi Itä-Suomen alueelle. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Liite-6-Tutkimusraportti-Puutavaran-terminaalipaikkojen-simulointi-I-S-alueelle.pdf>.

Lapp T, Ilikkanen P (2017) HCT-ajoneuvojen liikennejärjestelmävaikutukset. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 57/2017. <https://www.doria.fi/handle/10024/147575>

Lapp T, Ilikkanen P, Weckström C, Mäkinen S (2022) Rataverkon raakapuun kuormauspaikkaverkon tilanne ja tulevaisuuskuva. Väyläviraston julkaisuja 29/2022. <https://www.doria.fi/handle/10024/185109>

Liikenne- ja viestintäministeriö (2018) Valtioneuvoston asetusehdotus ajoneuvon käytöstä tiellä annetun asetuksen muutokseksi pidempien yhdistelmien sallimiseksi tiellä käytettäväksi. Muistio 13.7.2018.

Liikennevirasto (2018) Tierakenteen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 38/2018. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-38_tierakenteen_suunnittelu_web.pdf.

Luonnonvarakeskus (2026a) Lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttö maakunnittain. Tilasto. [Lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttö muuttujina Tieto, Vuosi, Maakunta ja Puupolttoaine. PxWeb](#). Viitattu 9.4.2026

Luonnonvarakeskus (2026b) Metsäteollisuuden puunkäyttö vuosittain ja toimialoittain. Tilasto. [Metsäteollisuuden puunkäyttö muuttujina Tieto, Vuosi, Toimiala, Alkuperä ja Puutavaralaji. PxWeb](#). Viitattu 9.4.2026

Luonnonvarakeskus (2026c) Tuontihakkeen laskennallinen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa. Tilasto. [Tuontihakkeen laskennallinen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa muuttujina Tieto ja Vuosi. PxWeb](#). Viitattu 9.4.2026

Malmstedt K (2024) HCT-yhdistelmän kulutus tyhjänä. Sähköpostiviesti 12.8.2024.

Niskanen P, Pirnes V, Pekkala V, Rasi-Koskinen H, Tuutijärvi M-T, Jokinen K, Sukuvaara T, Karsisto V, Mäenpää K (2024) Winter Premium – Loppuraportti. Raportti n:o 13. Oulun yliopisto, Konetekniikka. <https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/48305/nbnfioulu-202403152264.pdf>

Ojala K, Rantala J, Kärkinen T, Korkeamaa A, Soivio T (2025) Päästölaskentaohjeistus tieliikenteen kuljetusten päästöjen arvioimiseksi Suomessa - Osa 2: Ohjeraportti. Traficom in julkaisu 13/2025. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Osa2_Ohjeraportti_1.pdf

Oulun yliopisto (2016) HCT-ajoneuvoyhdistelmän renkaiden kenttäseurannan kooste 19.12.2015–19.8.2016. Julkaisematon raportti 24.8.2016.

Palander T, Broz S A, Kärhä K (2021) Impacts of Road Infrastructure on the Environmental Efficiency of High Capacity Transportation in Harvesting of Renewable Wood Energy. *Energies* 2021, 14, 453. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/2/453>

Palander T, Viitamäki K, Borz S A (2023) Impacts of using larger and heavier vehicles on operations and profitability of timber transportation: The case of Finnish operating environment. *Annals of Forest Research*, 66(2). <https://afrjournal.org/index.php/afr/article/view/2992>

Pekkala V (2018) Tien rasitukset tieverkossa HCT- ja muiden puunkuljetusyhdistelmien vaikutusten vertailu. Loppuraportti 15.8.2018. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tien_rasitukset_tieverkossa_LOPPURAPORTTI_20180825_VPe.pdf.

Pekkala V, Haataja M (2019) HCT-yhdistelmien vaikutus soratien urautumiseen. Raportti n:o 10, Oulun yliopisto Konetekniikka. <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526224817.pdf>.

Pirnes V, Haataja M (2018) HCT-puutavarayhdistelmien ajoseuranta- ja stabiiliteettitutkimus – Vetoaisavoimamittaukset. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/vetoaisavoimamittaukset_eu_pohja.pdf.

Pirnes V, Tuutijärvi M-T, Haataja M (2018) HCT-puutavarayhdistelmien ajoseuranta- ja stabi-
liteettitutkimus - Yhdistelmien liikkuvuus ja ajovakaus. Oulun yliopisto 17.8.2018.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/hct_puutavarayhd_liikkuvuus_ajova-
kaus_eu_pohja.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/hct_puutavarayhd_liikkuvuus_ajova-
kaus_eu_pohja.pdf).

Pirnes V, Untinen J, Jokinen K, Niskanen P (2023) Winter Premium – Ajoneuvoyhdistelmien
mittaukset – Loppuraportti. Oulun yliopisto, Materiaali- ja konetekniikka. Liiteraportti läh-
teessä <https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/48305/nbnfioulu-202403152264.pdf>.

Poikela A, Venäläinen P (2017) HCT-kuljetusketjut. Teoksessa: Venäläinen P, Aalto M, Hel-
janko E, Hilmola O-P, Korpinen O-J, Pesonen M, Poikela A Terminaalitoiminnot energiatehok-
kaassa puutavaralogistiikassa – T3 Uudet terminaalikonseptit ja -verkot. Metsätehon ra-
portti 242. [http://www.metsateho.fi/terminaalitoiminnot-energiatehokkaassa-puutavaralogistii-
kassa-t3-raportti242/](http://www.metsateho.fi/terminaalitoiminnot-energiatehokkaassa-puutavaralogistii-
kassa-t3-raportti242/).

Ranta M (2025) Energy consumption of heavy-duty BEVs depending on GVW, payload and
temperature. Seminaariesitys 30.9.2025. [d3cee9_7c1400fec2fa4b5d9aed5af3b25c6676.pdf](https://www.metsateho.fi/seminaariesitys/30.9.2025/d3cee9_7c1400fec2fa4b5d9aed5af3b25c6676.pdf)

RT Infra, Koneyrittäjät, Metsäteollisuus, MTK, SKAL, Suomen Huolinta- ja Logistiikkaliitto ry,
Suomen Tieyhdistys, Destia (2025) Suomen raskas liikenne – Merkitys yhteiskunnalle ja tule-
vaisuuden näkymät 2040. [https://destia.fi/app/uploads/2025/12/raskaan-liikenteen-kokonais-
kuva-ja-tulevaisuus-2040_raportti_2025.pdf](https://destia.fi/app/uploads/2025/12/raskaan-liikenteen-kokonais-
kuva-ja-tulevaisuus-2040_raportti_2025.pdf)

Salanne I, Tikkanen M, Tuominen J, Kiiskilä K (2024) Kuorma- ja linja-autojen ammattikuljet-
tajien saatavuustutkimus. Traficom tutkimuksia ja selvityksiä 3/2024. [https://traficom.fi/si-
tes/default/files/media/publication/Kuorma-%20ja%20linja-autojen%20ammattikuljetta-
jien%20saatavuustutkimus.pdf](https://traficom.fi/si-
tes/default/files/media/publication/Kuorma-%20ja%20linja-autojen%20ammattikuljetta-
jien%20saatavuustutkimus.pdf)

Sauna-aho J, Koskinen O H, Sauna-aho P, Rivanti T (2018) HCT- ja normaaliajoneuvojen
energiankäyttö, hiilidioksidipäästöt ja tiekuormitus – Loppuraportti. Liikenneviraston tutkima-
kset ja selvityksiä 51/2018. <https://www.doria.fi/handle/10024/163959>

SCA (2026) Electric timber trucks. Internetsivu. [https://www.sca.com/en/about-sca/innovation-
and-research/forest/electric-timber-truck/](https://www.sca.com/en/about-sca/innovation-
and-research/forest/electric-timber-truck/) Viitattu 16.4.2026.

Siekinen A (2020) Ovatko heikot sillat este HCT kuljetuksille? Julkaisematon kalvoesitys.

Siekinen A, Korpilahti A (2015) Rengaspaineiden säätö puutavara-ajoneuvoissa. Metsätehon
tulosalvosarja 13/2015. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulosalvo-
sarja_2015_13_Rengaspaineiden_saato_puutavara_ajoneuvoissa_ak.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulosalvo-
sarja_2015_13_Rengaspaineiden_saato_puutavara_ajoneuvoissa_ak.pdf).

Skogforsk (2025) Världens största el-lastbil rullar i TREE-projektet. Tiedote 27.3.2025.
[https://www.skogforsk.se/nyheter--press/nyheter/2025/varldens-storsta-el-lastbil-rullar-i-tree-
projektet/](https://www.skogforsk.se/nyheter--press/nyheter/2025/varldens-storsta-el-lastbil-rullar-i-tree-
projektet/)

Solonen H, Väätäinen K, Tokola T, Venäläinen P, Anttila P, Kärhä K (2024) Metsäteiden kul-
jetuskelpoisuustiedon visio ja tiekartta - Alemman tieverkon liikennöitävyys ja ympärivuotisen

puuhuollon turvaaminen. Luonnonvarakeskus Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 43/2024. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/554981/luke-luobio_43_2024.pdf.

Strandström M (2017a) Pohjamaan kantavuusluokitus – Metsätieohjeiston uudistettu materiaali. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Pohjamaan-kantavuusluokitus.pdf>.

Strandström M (2017b) Päälysrakenneluokat - Metsätieohjeiston uudistettu materiaali. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/P%C3%A4%C3%A4lysrakenneluokat.pdf>.

Strandström M (2018) Ajoneuvoyhdistelmien kääntyvyys metsäteiden kääntymispaikoilla ja liittymissä. Metsätehon tulosalvosarja 1/2019. <https://www.metsateho.fi/ajoneuvoyhdistelmien-kaantvyys-metsateiden-tuloskalvosarja/>.

Strandström M (2021) Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2020. Metsätehon tulosalvosarja 8/2021. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja-2021-08-Metsahakkeen-tuotantoketjut-Suomessa-vuonna-2020.pdf>.

Strandström M (2025) Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2024. Metsätehon tulosalvosarja 9/2025. <https://www.metsateho.fi/puunkorjuu-ja-kaukokuljetus-vuonna-2024/>

Strandström M, Poikela A (2025) Metsäalan työvoimatarve – Savotta 2030. Metsätehon tulosalvosarja 7/2025. <https://www.metsateho.fi/metsaalan-tyovoimatarve-savotta-2030/>.

Sweco (2020) Tyyppisillan Bel II kantavuusselvitys 85 tonnin yhdistelmälle. Julkaisematon raportti 29.9.2020.

Söderena P, Nylund N-O, Rosenblatt D, Stokes J, Lama N, Cádiz A, Takada Y, Kobayashi M, Lee C-B, Lindgren, M (2021) Heavy-Duty Vehicles Performance Evaluation. Annex 57 – A Report from the Advanced Motor Fuels Technology Collaboration Programme. https://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_57.pdf.

Tilastokeskus (2026a) Kotimaan kuorma-autoliikenteen suoritteet tavaralajeittain, 2011–2023. Tilastosivu. https://statfin.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_kttav/statfin_kttav_pxt_119b.px/. Viitattu 16.4.2026

Tilastokeskus (2026b) Maanteiden pituus ja liikennesuorite kunnittain, 2017–2025. Tilasto. https://pxweb2.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_tiet/statfin_tiet_pxt_12jz.px/. Viitattu 16.4.2026.

Traficom (2021) Ajoneuvoyhdistelmien tekniset vaatimukset. Määräys TRAFICOM/304841/03.04.03.00/2019. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/FI_Final_HCT-m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ys_korjaukset.pdf. Viitattu 16.4.2026

Traficom (2023) Autojen ja niiden perävaunujen tekniset vaatimukset. Määräys TRAFICOM/422611/03.04.03.00/2020. <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ys%20autojen%20ja%20niiden%20per%C3%A4vaunujen%20tekniset%20vaatimukset.pdf>. Viitattu 16.4.2026

Traficom (2024) Pidemmät ja raskaammat HCT-rekat. Internetsivusto. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/pidemmat-ja-raskaammat-hct-rekat>. Viitattu 16.4.2026

Trafikverket (2025) Uppdatering av regeringsuppdrag – Implementering av bärighetsklass 4. 3.5.2025. <https://bransch.trafikverket.se/contentassets/9d861d7e13004618aa2decb5db07510c/implementeringsplan-bk4-2025-2027.pdf>

Valtioneuvosto (2023) Vahva ja välittävä Suomi – Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. Valtioneuvoston julkaisuja 2023.58. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165042/Paaministeri-Petteri-Orpon-hallituksen-ohjelma-20062023.pdf>.

Venäläinen P (2019) Puutavara- ja hakeajoneuvojen pidentämisen vaikutukset – Täydennetty versio. Metsätehon raportti 246. https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Metsatehon_raportti_246_Puutavara_ja_hakeajoneuvojen_pidentamisen_vaikutukset.pdf.

Venäläinen P (2026a) HCT-ajoneuvoyhdistelmät. Metsätehon tulosalvosarja 2/2026. <https://www.metsateho.fi/hct-ajoneuvoyhdistelmat/>

Venäläinen P (2026b) HCT-käytäväverkoston määrittäminen. Metsätehon tulosalvosarja 3/2026. <https://www.metsateho.fi/hct-kaytavat/>

Venäläinen P, Poikela A (2021) Puutavaran ja hakkeen HCT-yhdistelmät ja kuljetusketjut – Yrityshaastatteluiden tulokset. Metsätehon tulosalvosarja 5/2021. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja-2021-05-Puutavaran-ja-hakkeen-HCT-yhdistelmat-ja-kuljetusketjut.pdf>.

Venäläinen P, Poikela A (2024). Puutavara- ja hakeajoneuvojen massojen noston vaikutukset. Metsätehon raportti 270 (aiheen 4. väliraportti). <https://www.metsateho.fi/puutavara-ja-hakeajoneuvojen-massojen-noston-vaikutukset-2/>

Venäläinen P, Poikela A (2026) Vähähiiliset ratkaisut puun logistiikkajärjestelmissä – Osa 2: Tiekuljetukset. Metsätehon tulosalvosarja 8b/2026. [Tuloskalvosarja-2026-8b-ACE.pdf](https://www.metsateho.fi/tuloskalvosarja-2026-8b-ace.pdf)

Vuorimies N, Kalliainen A, Rossi J, Kurki A, Kolisoja P, Varin P, Saarenketo T (2018) Tierakenteen rasittuminen yli 76 tonnin HCT-yhdistelmien koekuormituksissa vuosina 2015–2017. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 63/2018. <https://www.doria.fi/handle/10024/165324>

Vuorimies N, Kurki A, Kolisoja P, Varin P, Saarenketo T (2019a) Tierakenteen rasittuminen yli 76 tonnin HCT-yhdistelmien koekuormituksissa vuonna 2018. Väyläviraston tutkimuksia 17/2019. <https://www.doria.fi/handle/10024/173131>

Vuorimies N, Kurki A, Kolisoja P, Varin P, Saarenketo T, Pekkala V, Haataja M (2019b) Tierakenteen rasittuminen yli 76 tonnin HCT-yhdistelmien koekuormituksissa vuosina 2015–2018 – Yhteenvetoraportti. Väyläviraston tutkimuksia 21/2019. <https://www.doria.fi/handle/10024/173541>.

Vuorimies N, Varin P, Kolisoja P (2023) Ohutpäällysteisen tierakenteen rasittumisen vertailututkimus 2022 – Kuormituskokeet 92- ja 75-tonnisilla ajoneuvoyhdistelmillä. Väyläviraston julkaisuja 59/2023. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/187847/vj_2023-59_978-952-405-102-6.pdf.

Väkevä J, Pennanen O, Örn J (2004) Puutavara-autojen polttoaineen kulutus. Metsätehon raportti 166. https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_166.pdf.

Väylävirasto (2025) Tie-, rautatie- ja vesiliikenteen hankearvioinnin yksikköarvot 2022. Väyläviraston ohjeita 44/2024 v2. https://aineistot.vayla.fi/api/file/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2024-44v2_hankearvioinnin_yksikkoarvot_2022_web.pdf

Väylävirasto (2026) Tieverkko. Verkkosivusto. <https://vayla.fi/vaylista/tieverkko>. Viitattu 16.4.2026

Väätäinen K, Laitila J, Anttila P, Kilpeläinen A, Asikainen A (2020) The influence of gross vehicle weight (GVW) and transport distance on timber trucking performance indicators – Discrete event simulation case study in Central Finland. International Journal of Forest Engineering 31:2: 156-170. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2020.1757324>.

Liite 1A. Tarkasteltujen puutavarayhdistelmien tiedot 1/3

Yhdistelmät	Ketonen ^T	Verrokki ^M	Orpe ^{TA}	Orpe ^{TB}	Verrokki ^{T*}
Merkki	Scania	Scania	Volvo	Volvo	Volvo
Kokonaispaino, t	104	76	94	100	76
Omapaino, t	28,2	21,1	27,5	27,26/27,2	24
Hyötykuorma, t	75,8	54,9	66,5	72,74/72,8	52
Kokonaispituus, m	33	24	31	31,5	23
Leveys ja korkeus, m	2,55/4,35	2,55/4,35	2,55/4,35	2,55/4,35	2,55/4,2
Akselit ja renkaat, kpl	13/46	9/32	12/42	12/ 38 tai 40	9/30
Moottorin teho, hv	730	620	700	750	700
Moottorin Euro-päästöluokka	6	5	5	6	5
Ensirekisteröintivuosi	2015	2014	2014	2019	2014

*Sama vetoauto kuin HCT-yhdistelmällä

Liite 1A. Tarkasteltujen puutavarayhdistelmien tiedot 2/3

Yhdistelmät	Hannonen ^{TA}	Hannonen ^{TB}	Verrokki ^{TA}	Verrokki ^{TB***}	P&A Trans ^{MA}	P&A Trans ^{MB}	Verrokki ^M	Malinen ^M	Verrokki ^M
Merkki	Scania	Scania	Scania	Scania	Scania	Scania	Volvo	Scania	Scania
Kokonaispaino, t	84	84	76	76	84	84	76	84	76
Omapaino, t	21,3	21	20,4	21	23,0+3,6*	22,5+4,3*	22,3+3,6*	22,8+4,0*	23,3+4,0*
Hyötykuorma, t	62,7	63	55,6	55	61/57,4	61,5/57,2	53,7/50,1	61,2/57,2	52,7/48,7
Kokonaispituus, m	26,9	26,7	23,5	26,7	25,0	24,8	25,0	24,3	23,6
Leveys ja korkeus, m	2,55/4,4	2,55/4,35	2,55/4,4	2,55/4,4	2,55/4,4	2,55/4,4	2,55/4,3	2,55/4,4	2,55/4,4
Akselit ja renkaat, kpl	10/34	10/ 30** tai 34	9/32	10/ 30** tai 34	10/34	10/34	9/32	10/34	9/32
Mootorin teho, hv	730	730	730	730	730	650	750	730	730
Mootorin Euro- päästöluokka	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Ensirekisteröintivuosi	2016	2019	2014	2019	2014	2020	2014	2016	2016

*Kuormaimen paino

**Osa leveitä ykköspyöriä

***Sama yhdistelmä kuin B-HCT-yhdistelmä

Liite 1A. Tarkasteltujen puutavarayhdistelmien tiedot 3/3

Yhdistelmät	Moilaspojat ^{T//M}	Malmstedt ^{T**}	Peltoniemi ^M	Verrokki ^M	Pölliralli ^M
-------------	-----------------------------	--------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------

Merkki	Volvo	Sisu	Scania	Scania	Scania
Kokonaispaino, t	90/84	92	85	76	84
Omapaino, t	24,8/23,8***	27,95+3*	25,2+4*	24,72+4*	22,95+4,5*
Hyötykuorma, t	65,2/60,2	64,05/61,05	59,8/55,8	51,28/47,28	61,05/56,55
Kokonaispituus, m	26,7/24,5	32,0	28	23,5	25,89
Leveys ja korkeus, m	2,55/4,2	2,55/4,4	2,55/4,4	2,55/4,4	2,55/4,4
Akselit ja renkaat, kpl	11/36 / 10/34	12/42	10/34	9/32	10/34
Moottorin teho, hv	650	625	650	730	660
Moottorin Euro-päästöluokka	6	6	6	6	6
Ensirekisteröintivuosi	2018	2018	2021	2019	2025

*Kuormaimen paino

**Toimii tarvittaessa myös metsäautona

***Toimii vain siirtoautona, joten ei kuormainta

Liite 1B. Tarkasteltujen hakeyhdistelmien tiedot 1/2

Yhdistelmät	Huhtala ^{HA}	Huhtala ^{HB*}	Verrokki ^{HA}	Verrokki ^{HB}	Wickström ^{HB}	Wickström ^{HC}	Wickström ^{HA}
Merkki	Scania	Scania	Volvo	Scania	Scania	Scania	Scania
Kokonaispaino, t	100	98	68	76	92	92	85
Omapaino, t	33,54	33,2	23,8	26,0	34,0	30,58	31,7
Hyötykuorma, t	66,46	64,8	44,2	50,0	58,0	61,42	53,3
Kokonaispituus, m	33,97	34,5	25,25	25,25	32,77	32,75	33,97
Leveys ja korkeus, m	2,55/4,4	2,55/4,4	2,55/4,2	2,55/4,2	2,55/4,4	2,55/4,4	2,55/3,84
Akselit ja renkaat, kpl	12/46	12/46	8/20	9/32	12/38	12/38	12/30
Moottorin teho, hv	730	770	345	650	650	650	730
Moottorin Euro-päästöluokka	6	6	5	6	6	6	6
Ensirekisteröintivuosi	2017	2022	2013	2015	2019	2023	2017

*Yhdistelmän vetoauto vaihdettu uuteen 2023

Liite 1B. Tarkasteltujen hakeyhdistelmien tiedot 2/2

Yhdistelmät	Verrokki ^H	Sammalisto ^{HA}	Sammalisto ^{HB}	Verrokki ^{HA}	Verrokki ^{HB}	Konne- kuljetus ^{H*}
Merkki	Scania	Scania	Scania	Scania	Scania	Volvo
Kokonaispaino, t	64	91	84	76	76	90
Omapaino, t	23,54	29	27,8	27,2	27,2	29,5
Hyötykuorma, t	40,46	62	56,2	48,8	48,8	60,5
Kokonaispituus, m	25,25	29	27,5	25,3	25,3	28,0
Leveys ja korkeus, m	2,55/4,4	2,55/4,2	2,55/4,2	2,55/4,2	2,55/4,2	2,6/4,3
Akselit ja renkaat, kpl	8/20	11/34	10/30	9/28	9/28	11/34
Mootorin teho, hv	580	730	730	730	730	750
Mootorin Euro- päästöluokka	6	6	6	6	6	6
Ensirekisteröintivuosi	2015	2017	2017	2016	2016	2018

*Lisäksi tuotekuljetusta (sellupaaleja)

Liite 2. Yhdistelmien polttoaineen kulutuksen seurantajaksot.

Ketonen^T	Verrokki^M	Orpe^T (94 t)	Orpe^T (100 t)	Verrokki^T
7.10.2015- 30.9.2016	1.3.2014- 28.2.2015	1.10.2015- 30.9.2016	7.4–29.6.2022	1.10.2015- 30.9.2016
Hannonen^{TA}	Hannonen^{TB}	Verrokki^{TA}	Verrokki^{TB}	
13.6.2016- 31.5.2017	1.3.2021- 27.6.2022	13.6.2016- 25.11.2016	1.7–15.8.2022	
P&A Trans^{MA}	P&A Trans^{MB}	Verrokki^M	Peltoniemi^M	Peltoniemi verrokki^M
1.6.2016- 14.6.2017	1.–30.4.2022, 1.6–15.7.2022	22.8.2016- 10.8.2017	1-18.9.2025, 4-28.11.2025	1.4.2022- 15.7.2022
Malinen^M	Verrokki^M	Moilaspojat^T	Malmstedt^T	
1.1.2017- 31.7.2017	24.1.2017- 4.12.2017	4.5.2018- 31.3.2019	*	
Huhtala^{HA}	Huhtala^{HB}	Verrokki^{HA}	Verrokki^{HB}	Konnekuljetus^H
1.5.2017- 10.4.2018	1.11-19.12.2022	19.6.2017- 28.11.2017	1.3.2018- 28.2.2019	3.9.2018- 30.3.2019
Sammalisto^{HA}	Sammalisto^{HB}	Verrokki^{HB}	Wickström^{HA}	Wickström^{HB}
12.1-30.9.2018	19.12.2017- 30.9.2018, 1.11-19.12.2022	15.12.2017- 31.3.2018	1.7.2017- 4.6.2018	15-26.9.2025, 3-28.11.2025

*Erillinen tutkimus (mm. Kärhä ym 2023)