

Ainespuun autokuljetusten päästövähennyskeinojen kustannusvaikutukset

Metsätehon tuloskalvosarja 7/2023

Elina Juntunen

Metsäteho Oy

Tiivistelmä

- Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaisia kustannusvaikutuksia liikennepäästöjen vähentämiskeinot aiheuttavat puun autokuljetuksissa.
- Päästövähennyskeinojen kustannuksia selvitettiin kirjallisuuskatsauksen, aineistopyyntöjen ja haastatteluiden avulla. Tutkimuksessa eri ratkaisuille laskettiin vuosi-, yksikkö- ja polttoainekustannukset sekä polttoaineen ja energiankulutus. Herkkyysanalyysilaskelmilla tarkasteltiin hintojen muutosten vaikutuksia kokonaiskustannuksiin.
- Kustannustehokkaimmaksi päästövähennyskeinoksi osoittautui 84-tonninen HCT-yhdistelmä. Se oli myös yksi parhaista CO₂-päästövähennyskeinoista.
- Toiseksi kustannustehokkain päästövähennyskeino oli kaasukäyttöinen, 69-tonninen puutavarayhdistelmä. Biokaasun saatavuutta ja jakeluverkkoa on kuitenkin kehitettävä, jotta biokaasun käyttöä voidaan selvästi lisätä nykyisestä.
- Tutkimuksessa havaittiin rengaspaineen seurantajärjestelmän, paremman rengasvalinnan, sivuhelmojen, kaadettavien ja niputettavien pankkojen sekä ennakoivan vakionopeudensäätimen vähentävän sekä kustannuksia että päästöjä.
- Dieselin 34 %:n biopolttoaineosuuden ja uusiutuva dieselin kaikki tarkastellut kustannukset olivat perusversiota korkeammat. Bio-osuuden ollessa 34 % päästövähennykset ovat kaikista keinoista suurimmat. Jakeluvaihtoehtojen nosto tulee siis vähentämään päästöjä tehokkaasti, mutta kustannuksetkin tulevat kasvamaan.



Sisällys

1. Johdanto
 2. Aineisto ja menetelmät
 3. Tulokset
 4. Tarkastelu ja johtopäätökset
- Lähteet



1. Johdanto

- Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaisia kustannusvaikutuksia päästöjen vähentämiskeinot aiheuttavat puun autokuljetuksissa.
- Liikenteen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää mm. korvaamalla fossiilisia polttoaineita biopolttoaineilla ja muilla uusiutuvilla polttoaineilla. Lisäksi päästöjä voidaan pienentää keinoilla, jotka vähentävät polttoaineen kulutusta.
- Selvityksessä tarkasteltuja ainespuun autokuljetusten päästövähennyskeinoja olivat:
 - Uusiutuvan dieselin käyttö
 - Biopolttoaineosuuden lisääminen dieselissä
 - Kaasukäyttöiset puutavara-autot
 - HCT-puutavara-autot
 - Aerodynaamiset ratkaisut
 - Taloudellinen ajotapa
 - Kuljettajaa opastavat järjestelmät
 - Teiden hyvä kunto
- Lisäksi esimerkiksi tieliikenteen päästökauppa, hybridiajoneuvot, vetykäyttöiset ajoneuvot ja täyssähköajoneuvot ovat keinoja päästöjen vähentämiseksi.
- Käsillä oleva tulosalvosarja on tiivistelmä Juntusen (2023) samansisältöisestä pro gradu -tutkielmasta.



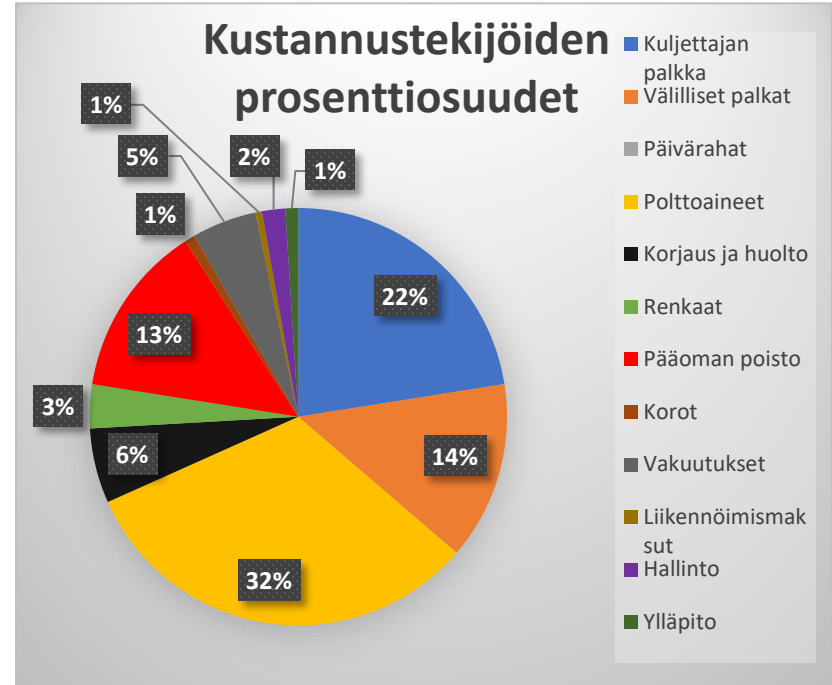
Tutkimuksen painotukset ja rajaukset

- Päästövähennyskeinojen kustannuksia tarkasteltiin ensisijaisesti siitä näkökulmasta, miten ne vaikuttavat kuljetusyrittäjiin ajoneuvokohtaisesti vuositasolla. Tutkimuksessa selvitettiin, miten valitut ratkaisut vaikuttavat vuosi- ja yksikkökustannuksiin, polttoaineen kulutukseen sekä päästöihin. Vertailukohteena oli perinteinen 76-tonninen dieselkäyttöinen puutavara-ajoneuvoyhdistelmä (=perusversio).
- Tarkastavana oli Suomen kustannustaso vuonna 2021.
- Tutkimuksessa kuvattiin eri päästövähennyskeinoja ja osa ratkaisuista valittiin tarkempaan tarkasteluun. Näille tehtiin myös kustannus- ja päästölaskelmat.



Puutavara-ajoneuvojen kustannusrakenne

- Tilastokeskus (2023) ylläpitää puutavara-auton kustannuskehitystä kuvaavaa indeksiä.
- Kuvassa on esitetty puutavara-yhdistelmän kustannustekijöiden painorakenne vuonna 2021.
 - Palkat ja polttoaine ovat suurimmat kustannustekijät



2. Aineisto ja menetelmät

- Tutkimuksen aineisto kerättiin kirjallisuuskatsauksen, aineistopyyntöjen ja haastatteluiden avulla.
- Kirjallisuuskatsaus
 - EU:n ja Suomen päästötavoitteet
 - Eri ratkaisuiden vaikutus polttoaineen kulutukseen ja päästöihin
 - Kustannustietoja keinojen käytöstä
 - Taustatietoa haastatteluille
- Aineistopyynnöt
 - Gasum Oy (liikennekaasuhinnat)
 - Neste Oyj (uusiutuvan dieselin hintatieto)
 - Metsähallitus Metsätalous Oy (biokaasuyhdistelmän kulutustietoja)
- Haastattelut
 - Puutavara-autovalmistajat ja päällirakenne- ja perävaunuvalmistajat
 - Teemat: kaasukäyttöiset puutavara-autot, aerodynaamiset ratkaisut ja kuljettajia opastavat järjestelmät
 - Teams-haastattelut loka-marraskuussa 2022
 - Kutsuttiin 8 eri yritystä, joista 5 osallistui



Aineisto ja menetelmät

- Kaikkien aineistonhankintamenetelmien pohjalta esiin tulleet päästövähennyskeinot taulukoitiin.
- Näistä valittiin tarkempaan tarkasteluun sellaiset keinot:
 - joilla on selvä päästöjä vähentävä vaikutus
 - jotka eivät ole kovin yleisesti vielä käytössä (< 50 %:ssa puutavarayhdistelmistä)
 - joille löytyi kustannusarvio.
- Päästövähennyskeinot, jotka ovat mukana tarkemmassa tarkastelussa:
 - Uusiutuva diesel
 - Biopolttoaineosuuden nosto dieselissä 34 %:iin
 - Kaasukäyttöiset puutavarayhdistelmät
 - HCT-puutavarayhdistelmät
 - Lisäksi viereisen taulukon ratkaisut

Ratkaisu	Selite	Vaikutus polttoaineen kulu- tukseen	Ylei- syys
Kaadettavat pankot	Pankot kaadetaan tyhjänä ajon ajaksi	-6,0 %	0 %
Niputettavat pankot	Pankot vedetään yhteen tyhjänä ajon ajaksi	-3,5 %	40 %
Helmat	Akselien välinen tila peitetään helmoilla, jotka rajoittavat ilmanvirran pääsyä ajoneuvon alle ja vähentävät turbulenssia	k. -0,5 % t. -2,1 %	5–25 %
Rengaspaineen seurantajärjestelmä	Antaa tiedon renkaiden paineesta. Alhainen rengaspaine lisää polttoaineen kulutusta ja lyhentää renkaiden käyttöikää.	-8,8 %	10 %
Parempi rengasvalinta	Vierintävastuksen minimoimiseksi rengasvalinnalla on merkitys polttoaineen kulutuksessa	-5,1 %	< 50 %
Ennakoiva vakionopeudensäädin	Huomioi etäisyyden edellä aja- vaan ja vähentää jarrutusten ja kiihdytysten tarvetta.	-5,0 %	< 25 %

k = kuormattuna ajo, t = tyhjänä ajo

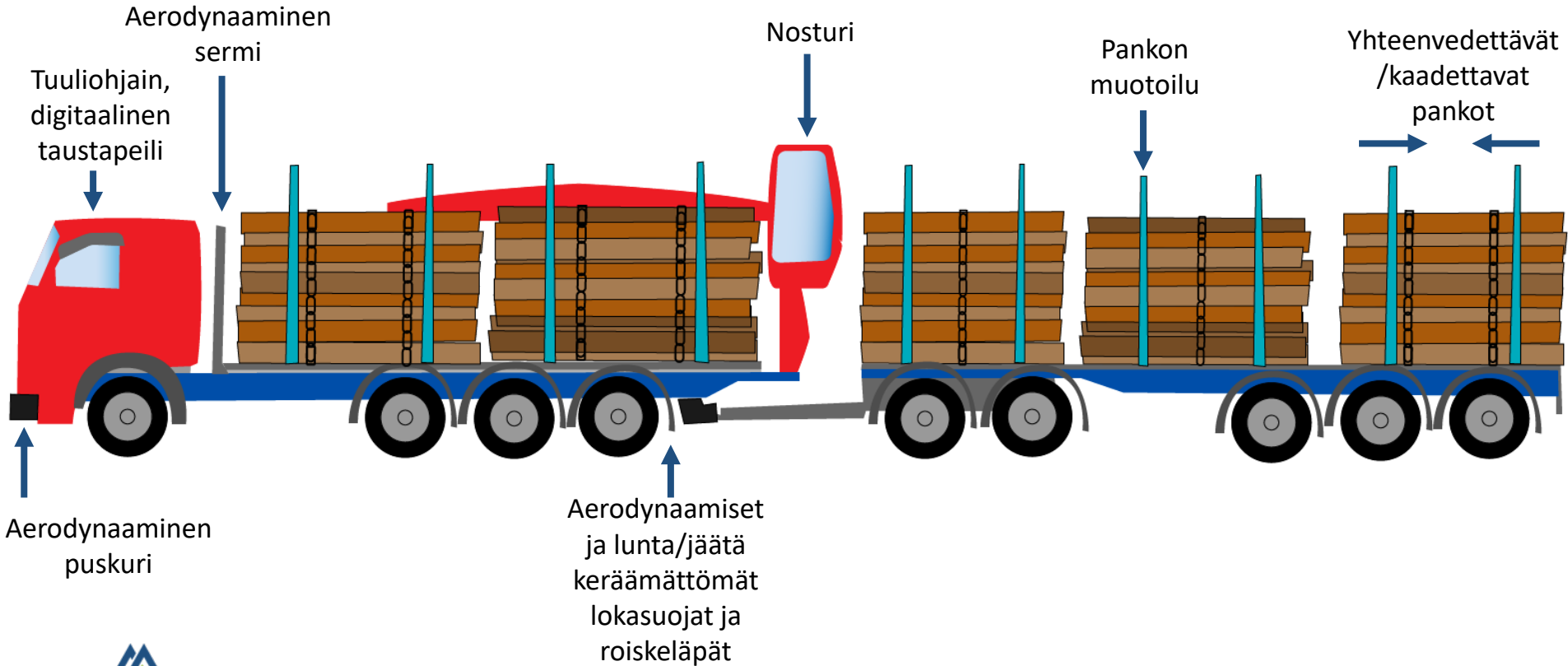


Tarkastelun ulkopuolelle jääneet päästövähennyskeinot

- Viereisen taulukon ratkaisut tulivat kirjallisuudessa ja haastatteluissa esille päästöjä vähentävinä keinoina.
 - Näille ratkaisuille ei tässä tutkimuksessa laskettu kustannuksia.
- Seuraavassa kalvossa on tuotu esiin aerodynaamisia ratkaisuja, joilla on havaittu päästöjä vähentävä vaikutus.

Ratkaisu	Vaikutus polttoaineen kulutukseen	Yleisyys	Lähde
Kuljettajakoulutus	-5–20 %	100 %	haastattelut, Zavalko 2018
Digitaalinen seurantalovelu/käyttöliittymä	-15 %	60–100 %	haastattelut, Fleetboard 2022
Älykäs vakionopeudensäädin	-5–8 %	90–100 %	haastattelut, Volvo 2023, Scania 2018
Tuulenhjain	-3–6 %	yli 50 %	haastattelut, Skogforsk 2015
Integroitu lisävalo	-3–5 %	x	haastattelut
Automaattivaihteisto	-2–5 %	100 %	haastattelut
Rullaustoiminto	-2–3 %	100 %	haastattelut, Scania 2022
Sivuilmanohjain	-0,5–3 %	yli 50 %	haastattelut
Digitaaliset taustapeilit	-1,5 %	ei yleensä puutavara-autoissa käytössä vaihtelevasti	haastattelut, Vehotrucks 2020
Nippujen veto yhteen	x		haastattelut, Skogforsk 2022
Muotoiltu pankko	x	70 %	haastattelut
Hydraulinen pankkojen siirto	x	15 %	haastattelut
Sähköakselit	x	x	haastattelut
Kevyempi perävaunu	x	kokeilu	haastattelut

Aerodynaamiset ratkaisut



Laskelmien toteutus

- Metsätehon kustannuslaskentamalleilla laskettiin eri keinojen vuositason kokonais- ja keskimääräisiä yksikkö- ja polttoainekustannuksia*.
- Kustannuksia vertailtiin perinteiseen 76-tonniseen dieselkäyttöiseen puutavara-ajoneuvoyhdistelmään.
- Keinojen polttoaineen ja energiankulutusta vertailtiin laskentamallilla.
- Hiilidioksidipäästöt laskettiin mallin ulkopuolella käyttäen Tilastokeskuksen (2022) päästökertoimia** sekä laskentamallissa oletettuja polttoaineen kulutuslukemia ja vuosittaista ajosuoritetta.
- Lisäksi tutkimuksessa tehtiin herkkyysanalyysilaskelmia
 - Muutettiin polttoaineen yksikköhintaa ja ratkaisujen hankintahintaa ja tarkasteltiin niiden vaikutuksia vuosikustannuksiin (yksikkökustannuskohtaisia tarkasteluita ei tehty).

**Dieselin, jossa on 34 %:n bio-osuus, kustannus perustuu AFRYn (2021) arvioon. Ko. arviossa hintataso on korkeampi kuin puhtaan uusiutuvan dieselin toteutunut keskihinta vuonna 2021.*

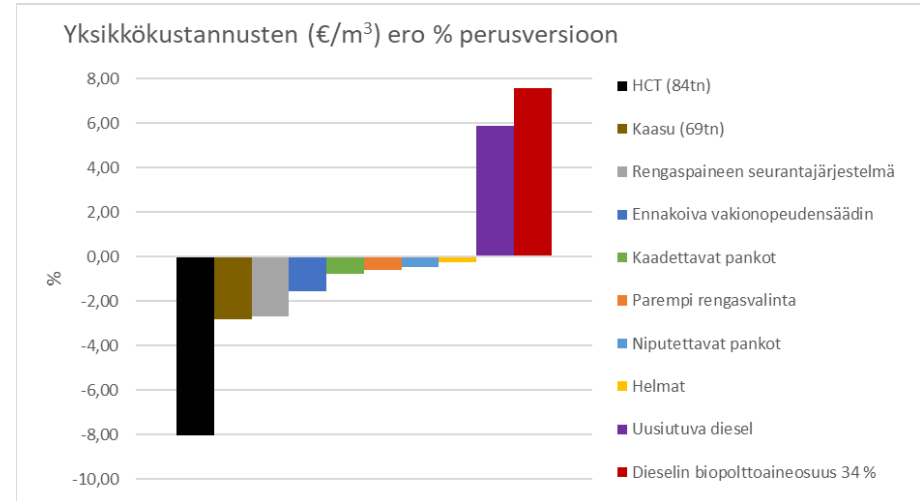
***Ko. päästökertoimien mukaan uusiutuvalla dieselillä on selvästi suuremmat ja biokaasulla yhtä suuret CO₂-päästöt kuin tavallisella dieselillä, mikä vaikuttaa laskelmien lopputulokseen. Uusiutuvalla dieselillä bio-osuuden päästöä ei oleteta nollassi kuten tavallisella dieselillä.*

Biokaasun ja uusiutuvan dieselin jakelijoiden mukaan kansainvälisten standardien mukaan lasketut elinkaarenaikaiset päästöt ovat ko. polttoaineilla 90 % pienemmät kuin tavallisella dieselillä.



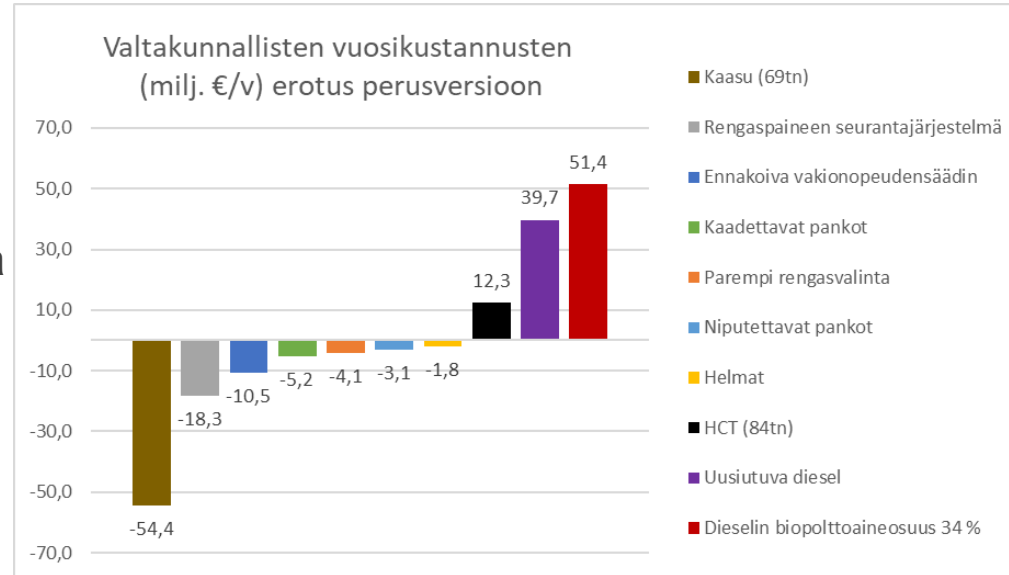
3. Tulokset: Yksikkökustannukset (€/m³)

- Pienimmät yksikkökustannukset eli euroa per kuljetettu kuutio ovat HCT-yhdistelmällä ja biokaasua käyttävällä yhdistelmällä.
 - HCT: 7,3–8,6 % pienempi kuin perusversiolla kuljetusmatkasta riippuen
 - Biokaasu: 1,3–3,6 % pienempi kuin perusversiolla
- Perusversiota suuremmat kustannukset
 - Uusiutuva diesel: 4,5–6,5 %
 - Dieselin bio-osuus 34 %: 5,8–8,5 %
- Muiden ratkaisujen yksikkökustannukset ovat perusversiota pienempiä.



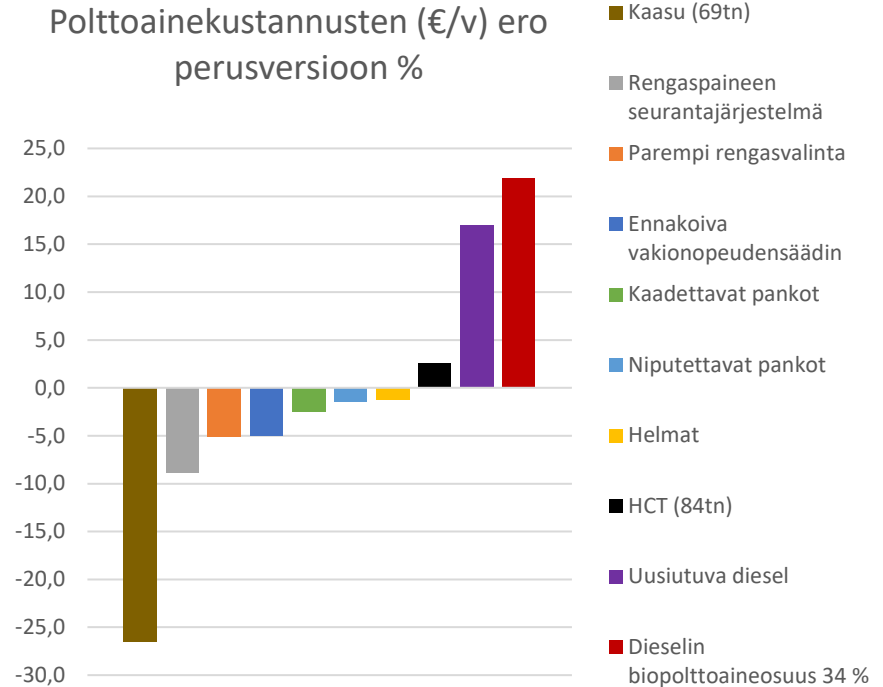
Valtakunnalliset vuosikustannukset (milj. €/v)

- Valtakunnalliset vuosikustannukset laskettiin oletuksella, että kaikki Suomen 1 500 puutavara-ajoneuvoa (Metsätrans 2023) ottaa käyttöön ko. ratkaisun
- Kaasuyhdistelmillä voitaisiin saavuttaa yli 50 milj. euron vuosittainen säästö, kun taas dieselin biopolttoaineen osuuden nosto 34 %:iin lisäisi kustannuksia lähes yhtä paljon.
- Vuosikustannuslaskelmassa ei ole otettu huomioon 69- ja 84-tonnisten yhdistelmien vaikutusta tarvittavien ajoneuvoyhdistelmien lukumäärään.



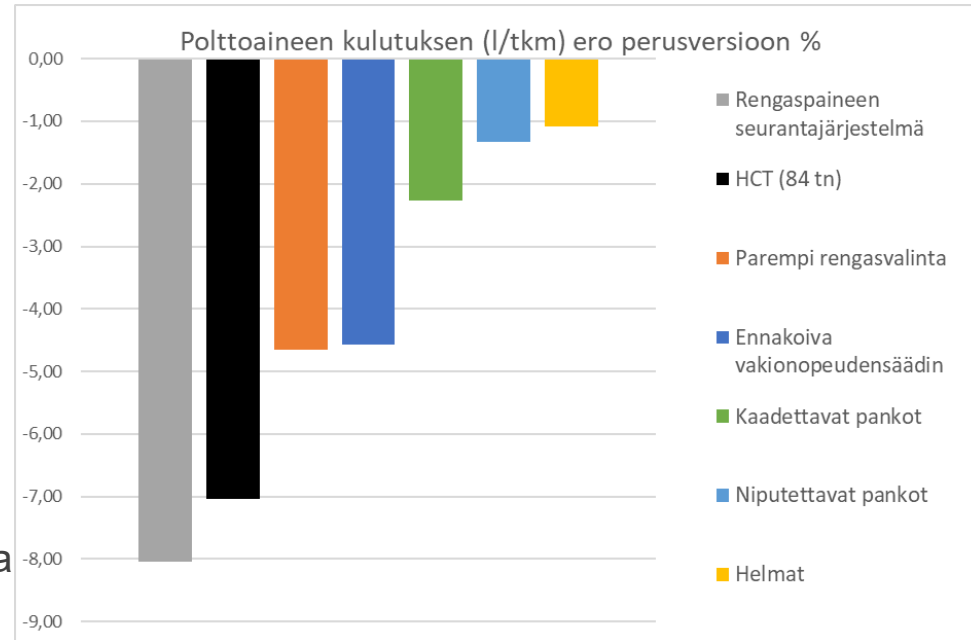
Polttoainekustannukset (€/vuosi)

- 69-tonnisen kaasukäyttöisen puutavara-yhdistelmän vuosittaiset polttoainekustannukset ovat kaikkia ratkaisuja pienemmät.
- Uusiutuvan dieselin polttoainekustannukset ovat 17 % perusversiota suuremmat.
- Dieselin biopolttoaineosuudella 34 % polttoainekustannuksen nousu on noin 22 %.
- HCT-yhdistelmällä vuosittainen polttoainekustannus nousisi yhdistelmän suuremman kokonaispainon takia (suurempi hyötykuorma on otettu huomioon yksikkökustannusten tarkastelussa).
- Kaikilla muilla keinoilla polttoainekustannukset olisivat pienemmät kuin perusversiolla.
- Polttoainekustannusten erot perusversioon säilyvät lähes samana eri kuljetusmatkoilla tarkasteltuna.



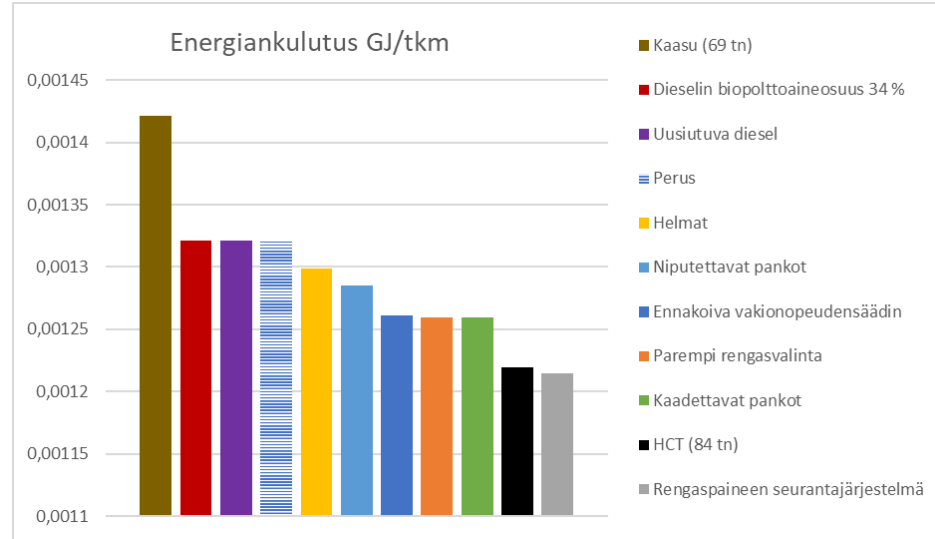
Polttoaineen kulutus (l/tkm)

- Kun tarkastellaan polttoaineen kulutusta kuljetussuoritetta (l/tkm) kohden, havaitaan varsinkin rengaspaineen seurantajärjestelmän ja HCT-yhdistelmän kulutus perusversiota pienemmäksi
 - HCT-yhdistelmällä l/100 km kulutus oli perusversiota suurempaa suuremmasta kokonaispainosta johtuen



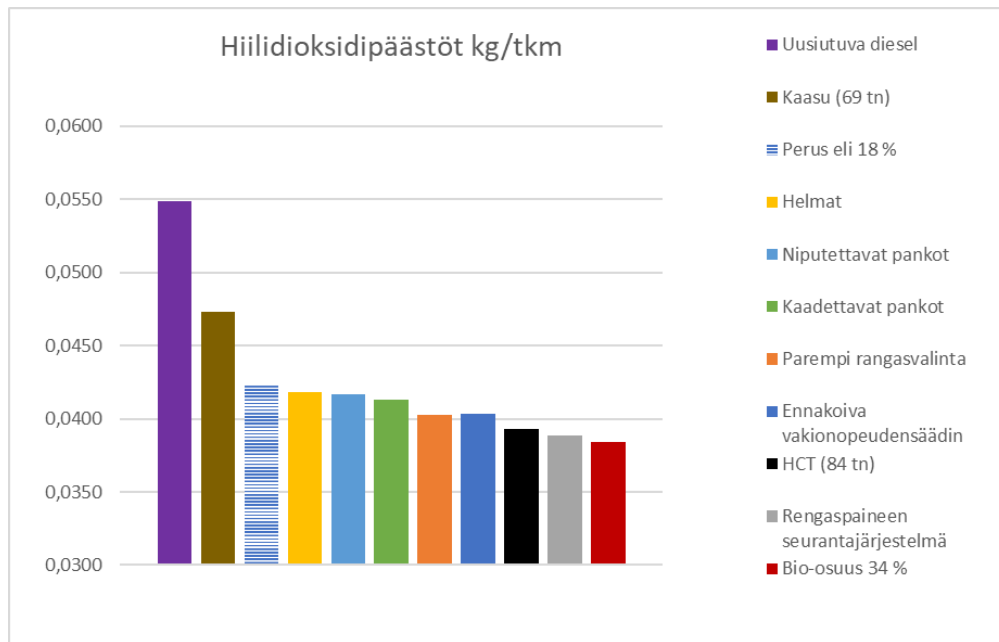
Energiankulutus (GJ/tkm)

- Jotta dieselin ja kaasun polttoaineen kulutukset olivat vertailtavissa keskenään, muutettiin polttoaineen kulutus energiankulutukseksi GJ/tkm.
- Energiankulutus ainoastaan kaasukäyttöisellä yhdistelmällä enemmän kuin perusversiolla.
- Rengaspaineen seurantajärjestelmän energiankulutus tonnikielometriä kohti oli kaikista ratkaisuista pienin.



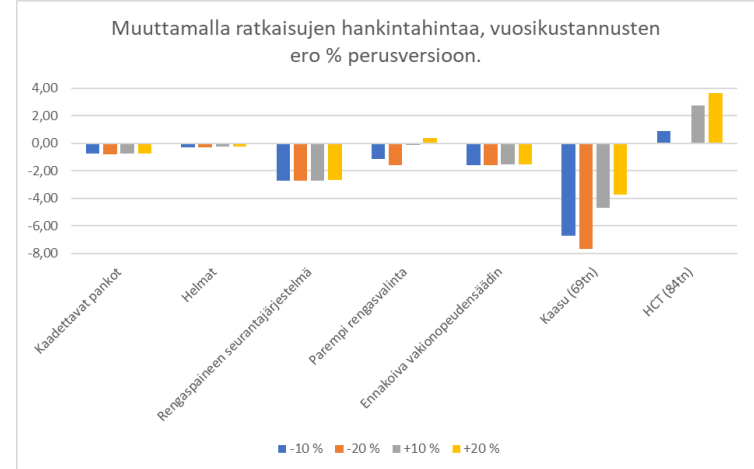
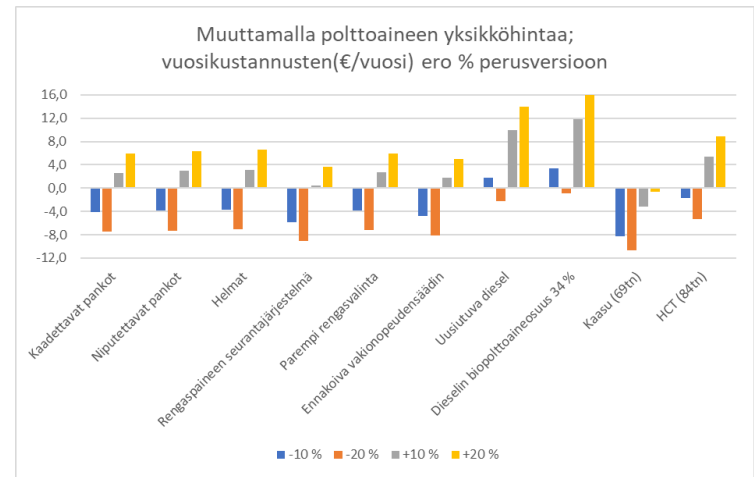
Hiilidioksidipäästöt (kg/tkm)

- Hiilidioksidipäästöjen laskentaan käytettiin Tilastokeskuksen (2022) julkaisemia käytönaikaisia CO₂-päästökertoimia.
 - Nämä kertoimet on tarkoitettu mm. valtiotason päästöinventaarion laskentaan, minkä vuoksi ne eivät välttämättä sovellu esim. kuljetusyriytysten päätöksentekoa tukeviin laskelmiin.
 - Lähteen biokaasun päästökerroin on sama kuin dieselillä ja uusiutuvan dieselin päästökerroin on dieseliä suurempi
 - Ainoastaan näillä päästöt ovat perusversiota suuremmat
- Bio-osuuden ollessa 34 % hiilidioksidipäästöt ovat kaikista keinoista pienimmät.



Herkkyysanalyysit

- Polttoaineen yksikköhinnan muutokset
 - Uusiutuvalla dieselillä ja bio-osuudella 34 % ajoneuvoikohtaiset vuosikustannukset laskevat perusversion alapuolelle, jos polttoaineen yksikköhintaa lasketaan 20 %.
 - Vaikka kaasukäyttöisen yhdistelmän polttoaineen yksikköhintaa nostetaan 20 %, jäävät vuosikustannukset perusversiota pienemmäksi.
- Ratkaisun hankintahinnan muutokset
 - Ratkaisulla parempi rengasvalinta hankintahinnan nostaminen 20 %:lla vaikuttaa niin, että ajoneuvoikohtaiset vuosikustannukset ovat vain noin 0,3 % suuremmat kuin perusversiolla.
 - HCT-yhdistelmän osalta hankintahinnan noston vaikutusta olisi tarpeen tarkastella yksikkökustannusten osalta.
 - Muilla ratkaisuilla vuosikustannukset jäävät perusversiota pienemmäksi, vaikka hankintahintaa nostetaan 20 %.



4. Tarkastelu ja johtopäätökset

- Seuraavalla kalvolla on esitetty yhteenveto eri päästövähennyskeinojen vaikutuksista kustannuksiin ja päästöihin.
 - Kustannustehokkaimmaksi päästövähennyskeinoksi osoittautui 84-tonninen HCT-yhdistelmä (kustannussäästö 8,0 % kuljetettua kuutiota kohden, kun vertailukohteenä on 76-tonninen puutavarayhdistelmä). HCT-yhdistelmä oli myös yksi parhaista CO₂-päästövähennyskeinoista (7,7 %:n säästö ajettua tonnikilometriä kohden).
 - Toiseksi kustannustehokkain päästövähennyskeino oli 69-tonninen biokaasuyhdistelmä (kustannussäästö 2,8 %; apupolttoaineena käytettävän dieselin kulutusta ei otettu huomioon).
 - Rengaspaineen seurantajärjestelmän arvioitiin vähentävän merkittävästi päästöjä (8,1 %). Polttoaineen kulutus laskee selvästi, jolloin kuljetuskustannuksissakin saavutetaan 2,7 %:n säästö.
 - Dieselin bio-osuuden nosto 34 %:iin vähentää merkittävästi päästöjä (6,9 %), mutta samalla kustannukset nousevat tämänhetkisen arvion mukaan 7,6 %.
 - Parempi rengasvalinta vähentää päästöjä 5,1 % ja kuljetuskustannuksissakin on pieni säästö (0,6 %).
- Muilla tarkastelluilla keinoilla (kaadettavat ja niputettavat pankot, sivuhelmat ja ennakoiva vakionopeudensäädin) vaikutus päästöihin jäi alle 5 %:n. Ko. keinot tuovat kuitenkin myös kustannussäästöjä (0,3–2,7 %, kun ko. keinojen vaikutuksia ajoneuvojen omapainoihin ei otettu huomioon).



Päästövähennyskeinojen vertailu

	Vuosikustannusten (€/v) ero % perusversioon	Yksikkökustannusten (€/m ³) ero % perusversioon	Polttoainekustannusten (€/v) ero % perusversioon	Polttoaineen kulutuksen (l/tkm) ero % perusversioon	Energiankulutu ksen (GJ/tkm) ero % perusversioon	Hiilidioksidipäästöjen (kg/tkm) ero % perusversioon
Kaadettavat pankot	-0,8	-0,8	-2,5	-2,3	-4,9	-2,3
Niputettavat pankot	-0,5	-0,5	-1,5	-1,3	-2,8	-1,4
Helmat	-0,3	-0,3	-1,2	-1,1	-1,8	-1,1
Rengaspaineen seurantajärjestelmä	-2,7	-2,7	-8,8	-8,0	-8,7	-8,1
Parempi rengasvalinta	-0,6	-0,6	-5,1	-4,7	-4,9	-5,1
Ennakoiva vakionopeudensäädin	-1,6	-1,6	-5,0	-4,6	-4,8	-4,8
Uusiutuva diesel	5,9	5,9	17,0	0,0	0	31,4
Dieselin biopolttoaineosuus 34 %	7,6	7,6	21,9	0,0	0	-6,9
Kaasu (69tn)	-8,0	-2,8	-26,6	x	7,0	12,9
HCT (84tn)	1,8	-8,0	2,6	-7,0	-8,4	-7,7

Vihreä = vähintään 5 % pienempi kuin perusversiolla, Keltainen = alle 5 % pienempi kuin perusversiolla, Punainen = suurempi kuin perusversiolla



Jatkotutkimustarpeita

- Vastaavat vertailulaskelmat puutavaran korjuun päästöjen pienentämisen kustannuksista.
- Tutkimuksen ulkopuolelle kokonaan jääneiden keinojen tarkempi tarkastelu (esim. kaluston sähköistyminen, sähköpolttoaineet ja vety).
- Tarkempaa tutkimusta tässä työssä laskennan ulkopuolelle jääneistä ratkaisuksista.
- Jatkotutkimus eri päästövähennyskeinojen yhdistämisen vaikutuksista.



Lähteet

AFRY (2021) Liikenteen jakeluvelvoitteen nosto – uusiutuvien polttoaineiden riittävyys ja vaikutusarviointi. VN/13807/2021. https://tem.fi/documents/1410877/53440649/AFRY_jakeluvel-voite_selvitys_joulukuu2021.pdf/2409f3ce-89d2-5178-7cb7-6a5ad3931ca1/AFRY_jakeluvel-voite_selvitys_joulukuu2021.pdf?t=1638529141014.

Fleetboard (2022) Fleetboard: läpinäkyvyys lisää tehokkuutta. Internetsivu. https://www.mercedes-benz-trucks.com/fi_FI/owner/fleetboard.html. [Viitattu 12.3.2023].

Juntunen E (2023) Ainespuun autokuljetusten päästövähennyskeinojen kustannusvaikutukset. Metsätieteen pro gradu, Itä-Suomen yliopisto. <https://erepo.uef.fi/handle/123456789/29530>

Metsätrans (2023) Puutavara-autotilastot 2022 – myynti piristyi. <https://metsatrans.com/artikkeli/3845/puutavara-autotilastot-2022-myynti-piristyi>. [Viitattu 14.3.2023].

Scania (2018) How to use the truck's kinetic energy to save fuel. Internetartikkeli 16.8.2018. <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2018/how-to-use-the-trucks-kinetic-energy-to-save-fuel.html>. [Viitattu 12.3.2023].

Scania (2022) Scaniassa fossiilivapaa moottori käy hyvin ja vähäpäästöisesti. Internetsivu. <https://www.scania.com/fi/fi/home/products/attributes/alternative-fuels.html>. [Viitattu 24.10.2022].

Skogforsk (2015) En förstudie av aerodynamisk utformning av skogsfordon. Arbetsrapport från Skogforsk nr. 870-2015. <https://www.skogforsk.se/contentassets/dd9d19187ead43cfb36a914417e5bffa/ettaero-en-forstudie-av-aerodynamisk-utformning-av-skogsfordon-arbetsrapport-870-2015.pdf>



Skogforsk (2022) Timmerbil utrustad för minskat luftmotstånd och lägre bränsleförbrukning. Internetartikkeli 24.3.2022. <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2022/aerodynamiska-virkesfordon-for-minskad-bransleforbrukning/>. [Viitattu 11.1.2023].

Tilastokeskus (2022) Polttoaineluokitus 2022. https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html. [Viitattu 20.2.2023].

Tilastokeskus (2023) Metsäalan kone- ja autokustannusindeksit (2020–100) - Puutavara-auto. Excel-tiedosto.

Veho Trucks (2020) Kamerate taustapeilien tilalle – onko se edes mahdollista? Kaikki mitä olet aina halunnut tietää MirrorCam-kamerajärjestelmästä. Internetartikkeli. <https://www.vehotrucks.fi/uutishuone/2020/kamerate-taustapeilien-tilalle--onko-se-edes-mahdollista-kaikki-mita-olet-aina-halunnut-tietaa-mirrorcam-kamerajarjestelmasta/>. [Viitattu 1.11.2022].

Volvo (2023) Volvo trucksin I-see-toiminto. Internetsivu. <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/trucks/features/i-see.html>. [Viitattu 12.3.2023].

Zavalko A (2018) Applying energy approach in the evaluation of eco-driving skill and eco-driving training of truck drivers. Transportation Research 62: 672-684. <https://sci-hub.se/10.1016/j.trd.2018.01.023>.

