

OULUN YLIOPISTO.KONETEKNIikka
UNIVERSITY OF OULU.MECHANICAL ENGINEERING
Oulu

HCT-PUUTAVARAYHDISTELMIEN AJOSEURANTA JA
STABILITEETTITUTKIMUS

YHDISTELMIEN LIIKKUVUUS JA AJOVAKAUS

Ville Pirnes
Miro-Tommi Tuutijärvi
Mauri Haataja



Raportti n:o 5
Oulu 2018

**OULUNYLIOPISTO.KONETEKNIikka
UNIVERSITY OF OULU.MECHANICAL ENGINEERING
OULU**

**HCT-PUUTAVARAYHDISTELMIEN AJOSEURANTA JA
STABILITEETTITUTKIMUS**

YHDISTELMIEN LIIKKUVUUS JA AJOVAKAUS

**Ville Pirnes
Miro-Tommi Tuutijärvi
Mauri Haataja**

Raportti n:o 5

Oulu 2018

Päätoimittaja: yliopistonlehtori Hannu Koivurova
Osoite: Oulun yliopisto
Konetekniikka
PL 4200
90014 OULUN YLIOPISTO

Kannen kuvat: Ville Pirnes
Kannen suunnittelu: Ville Pirnes

ISBN 978-952-62-2143-4 (nid.)
ISBN 978-952-62-2144-1 (pdf)
ISSN 2342-2599

OULUN YLIOPISTO
Juvenes Print
Oulu 2018

TIIVISTELMÄ

HCT-puutavarayhdistelmien ajoseuranta- ja stabiliteettitutkimus, Yhdistelmien liikkuvuus ja ajovakaus.

Ville Pirnes, Miro-Tommi Tuutijärvi, Mauri Haataja

Oulun yliopisto, Koneensuunnittelun tutkimusyksikkö

Tutkimus 2018, 42 s. + 20 s. liitteitä

Tämä raportti liittyy Oulun Yliopiston hankkeeseen HCT-puutavarayhdistelmien ajoseuranta- ja stabiliteettitutkimus. Tässä raportissa on esitetty tutkimusyhdistelmien mittaussuunnitelmat, sekä liikkuvuuteen ja ajovakauteen liittyvien mittausten tulokset. Mitatuista vetoaisavoimista on julkaistu erillinen raportti.

Tutkimuksessa kahteen ajoneuvoyhdistelmään asennettiin kattava ajodynamiikan mittaussuunnitelma. Kyseiset yhdistelmät olivat Ketosen Kuljetus Oy:n 104 tonnin kokonaismassan HCT-yhdistelmä ja P&A Trans Oy:n 84 tonnin kokonaismassan HCT-yhdistelmä. Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmä koostui 4-akselisesta puoliperävaunun vetoautosta, 4-akselisesta puoliperävaunusta ja 5-akselisesta varsinaisesta perävaunusta. P&A Transin HCT-yhdistelmä koostui 5-akselisesta kuorma-autosta ja 5-akselisesta varsinaisesta perävaunusta.

Yhdistelmien liikkuvuus oli riittävä yhdistelmien liikennöintiolosuhteissa. Hetkellistä, mutta voimakasta, luistoa esiintyi Ketosen Kuljetuksen 104 t HCT yhdistelmässä liikkeellelähdyksissä ja satunnaisesti Magneettimäessä yhdistelmän ollessa kuormattu. Kuormaamattomana ei yhdistelmässä havaittu luistoa. P&A Trans Oy:n 84 t HCT-yhdistelmässä luistoa havaittiin enimmäkseen yhdistelmän ollessa kuormaamaton. Tällöin hetkellistä, voimakasta luistoa esiintyi liikkeelle lähdyksissä ja satunnaisesti maantienopeudessa. Kuormattuna hetkellistä luistoa esiintyi lähinnä metsäautoteillä liikkeellelähdyksissä.

Ajovakautta maantiellä tarkasteltiin määrittämällä ajodynamiikan mittaussuureita ja niiden jakaumia, sekä liiketilän vahvistumista taajuustasossa. Jakaumista havaittiin, että

Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmässä liiketilasuureet jakautuivat täysperävaunun osalta laajemmalle alueelle kuin P&A Transin HCT-yhdistelmässä. Liiketilasuureiden jakautumista tarkasteltiin myös määrittämällä 0,1 g ja 0,2 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitysten lukumäärät ajettuun matkaan suhteutettuna. Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmässä 0,1 ja 0,2 g sivuttaiskiihtyvyydet esiintyivät suurimmassa osassa mittausjaksoista useammin kuin P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmässä.

Ajoneuvoyksiköiden taajuusvasteanalyyseissä P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmän vahvistumiskertoimet olivat enimmäkseen pienemmät kuin Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmässä.

Tutkimuksessa suoritettiin suljetulla alueella väistö-, kiihdytys- ja jarrutuskokeita maaliskuusta ja syyskuussa 2016. Suljetun alueen kokeissa käytettiin vertailuyhdistelmänä 76 tonnin kokonaismassan yhdistelmää, joka koostui 4-akselisesta varsinaisen perävaunun vetoautosta ja 5-akselisesta varsinaisesta perävaunusta. Vertailuyhdistelmän ajodynamiikkaa mitattiin myös päivittäisissä ajotehtävissä suljetun alueen kokeiden yhteydessä. Talvella tehtyjen väistökoekokeiden tulokset jäivät vajavaisiksi radan pinnan murtumisen vuoksi, jolloin ajokokeita voitiin suorittaa vain muutama toisto hitaalla nopeudella. Väistökoekokeissa tehtiin myös silmämääräinen havainto, että 104 t HCT-yhdistelmässä vetoauton takateli pyrkii menettämään pidon ensimmäisenä. Liikenneympyräajokokeessa yhdistelmässä havaittiin aliohjautumista. Jarrutuskokeessa 104-tonnin kokonaismassan HCT-yhdistelmän pysähtymismatkat olivat n. 10 % 76-tonnin yhdistelmää pidemmät.

Syyskuussa 2016 suoritetuista kaksoiskaistanvaihtokokeissa yhdistelmät suoriutuivat vakaasti. Pysty-kiertymä-kulmanopeuksista määritetyissä RA-arvoissa 104 t HCT-yhdistelmä oli vakain ja 84 t HCT-yhdistelmä ja 76 t yhdistelmä olivat yhtä vakaita. Sivuttaiskiihtyvyyksistä määritetyillä RA-arvoilla arvioiden vakain yhdistelmä oli 76 t yhdistelmä. 104 t HCT-yhdistelmä oli sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvoilla toiseksi vakain ja 84 t HCT-yhdistelmä epävakain. Jarrutuskokeissa täysmittaista jarrutusta ei voitu suorittaa 104 t HCT-yhdistelmällä kuorman liikkumisen vuoksi. Varotoimenpiteenä kokeissa ei suoritettu muilla yhdistelmillä täysjarrutusta, jottei kuorman liikkumista pääse tapahtumaan. P&A Transin HCT-yhdistelmällä saavutettiin tällöinkin 0,53 g

keskimääräinen hidastuvuus. Yhdistelmien jarrutusstabiliteetissa ei havaittu ongelmia, toisin sanoen yhdistelmät pysyivät suorassa jarrutuskokeissa.

Asiasanat: HCT-ajoneuvoyhdistelmä, ajovakaus, liikkuvuus, jarrutus

ALKUSANAT

Tämä HCT-puutavarayhdistelmien ajokäyttäytymistä käsittelevä tutkimus liittyy Oulun yliopiston laajaan HCT-puutavarayhdistelmien EAKR-rahoitteiseen tutkimusprojektiin, jossa selvitetään HCT-puutavarayhdistelmien ominaisuuksia mittauksin ja simuloinein. Tässä, vetoaisavoimia käsittelevässä osiossa on mitattu neljän eri yhdistelmän vetoaisavoimat tavallisissa, jokapäiväisissä ajotehtävissä.

Haluamme erityisesti kiittää kaikkia tutkimukseen osallistuneita kuljetusyrityksiä: Ketosen Kuljetus Oy:tä, P&A Trans Oy:tä ja Kuljetusliike O Malista ja niiden henkilökuntaa tutkimukseen osallistumisesta.

Oulu, 17.8.2018

Ville Pirnes

Miro-Tommi Tuutijärvi

Mauri Haataja

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 JOHDANTO	10
2 KOEYHDISTELMÄT	11
3 YHDISTELMIEN TIEDONKERUU- JA MITTAUSJÄRJESTELMÄ.....	12
3.1 Ajovalokokeiden vertailuyhdistelmä	15
4 AJOSEURANNAN TULOKSET	16
4.1 Liikkuvuus.....	16
4.2 Ajovalokaus maanteillä	18
4.2.1 Liiketilasuureiden jakaumat.....	18
4.2.2 Liiketilän vahvistuminen herätteen taajuuden funktiona.....	23
4.3 Erityistilanteita	26
5 SULJETUN ALUEEN KOKEIDEN TULOKSET.....	28
5.1 Talvitestit Ivalossa 12.3.2016	28
5.1.1 Jarrutuskokeet	28
5.1.2 Väistökokeet	29
5.1.3 Liikenneympyrä- ja kiihdytyskokeet	30
5.2 Syystestit Ivalossa 21.9.2016	30
5.2.1 Kaksoiskaistanvaihtokokeet	31
5.2.2 Jarrutuskokeet	38
6 YHTEENVETO	42
7 LÄHTEET	44
LIITTEET	

MERKINNÄT JA LYHENTEET

ACL	Advanced Central Logger
CAN	Controller Area Network, CAN-väylä
CBR	CAN Bus Repeater, CAN-väylätoistin
EBS	Electronic Brake System
FMS	Fleet Management System
GPS	Global Positioning System
HCT	High Capacity Transport
IMU	Inertial Measurement Unit, liiketila-anturi
KT	Kääntöteli
PPV	Puoliperävaunu
RA	Rearward Amplification
SVIM	Synchronous Versatile Input Module
TPV	Täysperävaunu
a_x	pitkittäiskiihtyvyys
a_y	sivuttaiskiihtyvyys
a_z	pystykiihtyvyys
g	putoamiskiihtyvyys, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
δ	ohjauskulma
ω_x	kallistuskulmanopeus
ω_z	pystykiertymäkulmanopeus

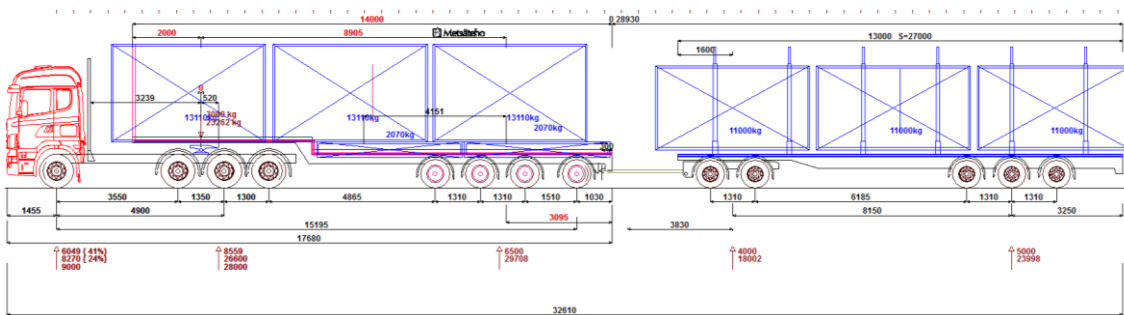
1 JOHDANTO

Korkean kuljetuskapasiteetin ajoneuvoyhdistelmät HCT-ajoneuvoyhdistelmät sallittiin Suomen maantieliikenteeseen poikkeusluvilla kokeiluja varten vuonna 2013.

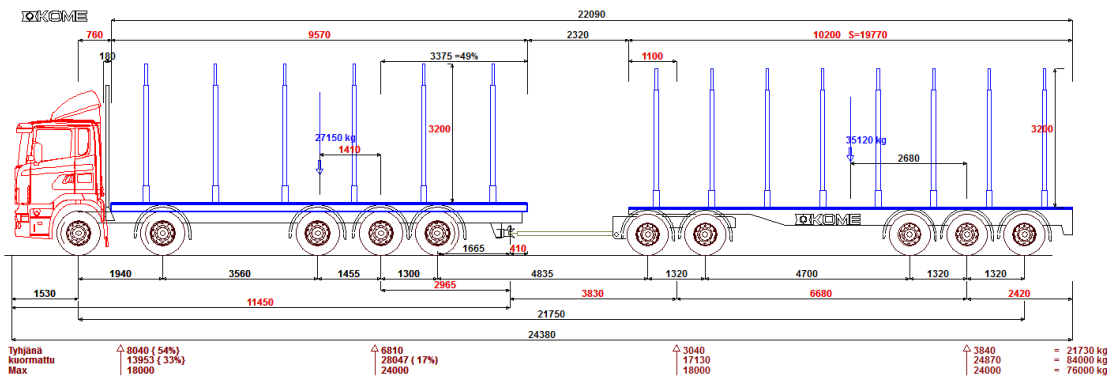
Tässä tutkimuksessa kaksi HCT-yhdistelmää varustetaan kattavalla ajodynamiikan mittausanturoinnilla ja suoritetaan ajonaikaista mittausta pitkällä aikavälillä. Lisäksi suoritetaan erityisiä suljetulla alueella toteutettavia ajokokeita talvi- ja kesäolosuhteissa. Mittausjärjestelmiin sisällytetään myös yhdistelmien rakenteisiin kohdistuvien rasitusten mittausta. Niihin liittyvistä vetoaisvoimamittauksista laaditaan oma raportti.

2 KOEYHDISTELMÄT

Tutkimukseen kuului kolme HCT-yhdistelmää. Ketosen Kuljetuksen 13-akselinen, 104 tonnin kokonaispainoinen yhdistelmä, P&A Trans Oy:n 10-akselinen, 84 tonnin yhdistelmä ja Kuljetusliike O Malisen 10-akselinen, 84 tonnin yhdistelmä. Kuljetusliike O Malisen yhdistelmiä käytettiin tutkimuksessa ainoastaan vetoaisvoimien tutkimuksessa. HCT-yhdistelmien lisäksi ajokokeissa on käytetty vertailuyhdistelminä tavanomaisia 76-tonnin täysperävaunuyhdistelmiä. Tutkimuksen liikkuvuus ja ajovakaus -osiossa tutkittujen HCT-yhdistelmien mittapiirustukset on esitetty kuvissa 1 ja 2.



Kuva 1. Ketosen Kuljetus Oy:n 104 t HCT-yhdistelmä.



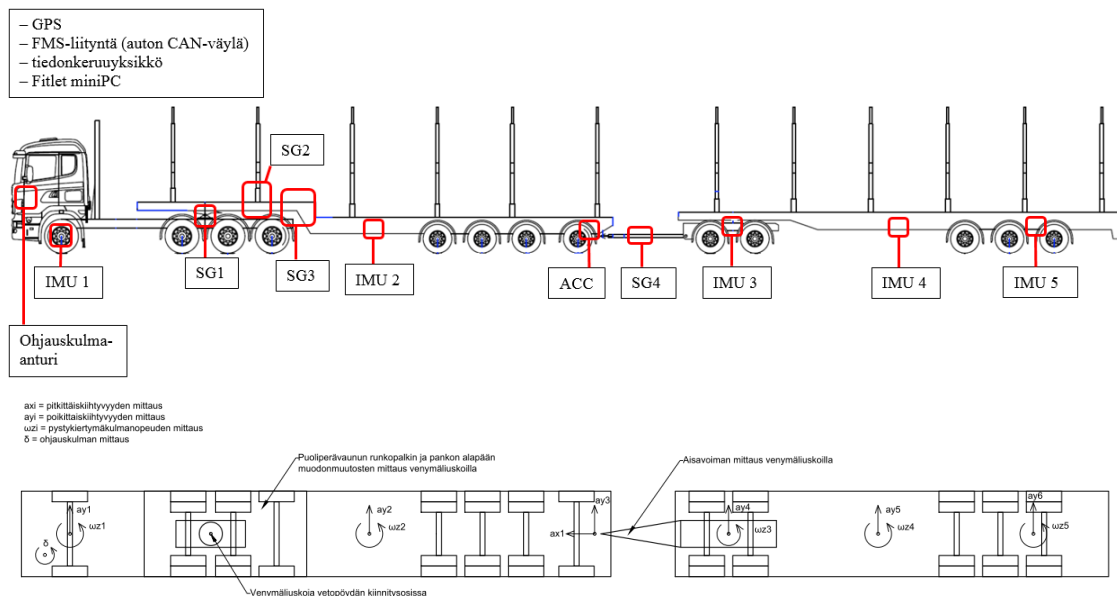
Kuva 2. P&A Trans Oy:n 84 t HCT-yhdistelmä.

Suljetun alueen ajokokeissa oli pääasiallisena vertailuyhdistelmänä Ketosen Kuljetuksen 76-tonninen yhdistelmä, joka koostui 4-akselista kuorma-autosta ja 5-akselisesta varsinaisesta perävaunusta. Varsinainen perävaunu oli identtinen HCT-yhdistelmän varsinaisen perävaunun kanssa.

3 YHDISTELMIEN TIEDONKERUU- JA MITTAUSJÄRJESTELMÄ

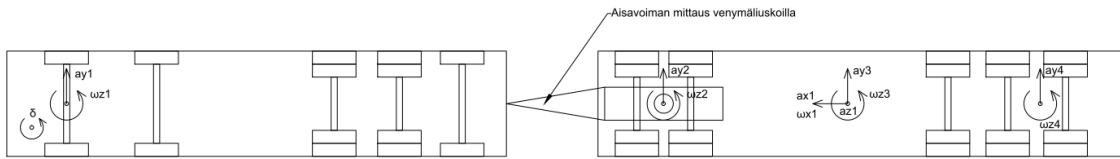
Yhdistelmien kokeellisten tutkimusmenetelmien toteuttamiseen tarvittavan mittausjärjestelmän peruskokoonpano suunniteltiin syksyn 2015 aikana. Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmään mittausjärjestelmä asennettiin pääosiltaan vuoden 2015 joulukuun ja tammikuun 2016 aikana. P&A Trans Oyn HCT-ajoneuvoyhdistelmään anturointi asennettiin kesän ja syksyn 2016 aikana. Ketosen kuljetuksen HCT-yhdistelmässä käytetyissä kalustoyksiköissä anturointi asennettiin vetoautoon KEY-730, puoliperävaunuun DEO-745 ja täysperävaunuun DEO-754. P&A Trans Oyn HCT-yhdistelmässä anturointi asennettiin vetoautoon GLH-470 ja täysperävaunuun DDX-925.

Tutkittujen yhdistelmien mittausjärjestelmien rakenteet lopullisissa kokoonpanoissaan on esitetty kuvissa 3 ja 4 ja suuremmissa koossa liitteessä 2.



Kuva 3. Mittausjärjestelmä Ketosen Kuljetus Oy:n 104 t HCT-yhdistelmässä.

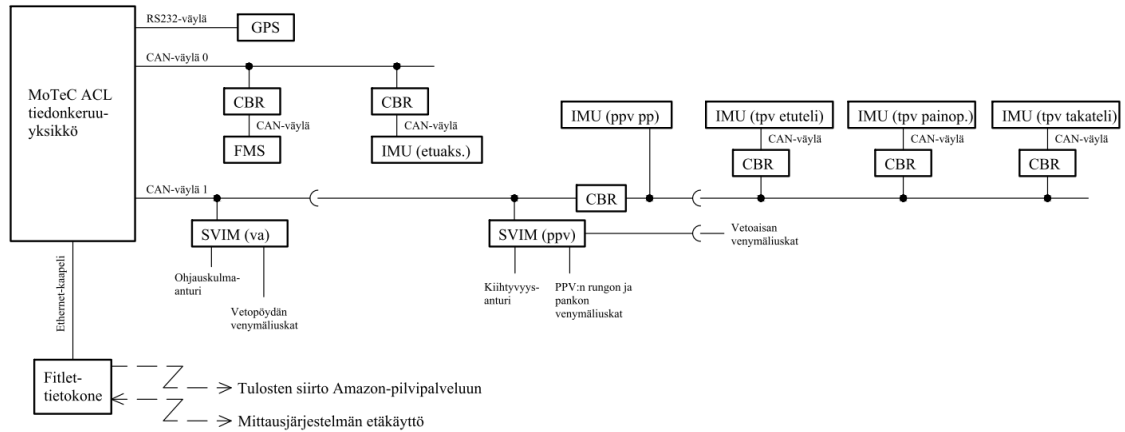
ax_i = pitkittäskiihtyvyyden mittaustila
 ay_i = poikittäskiihtyvyyden mittaustila
 az_i = pystykiihtyvyyden mittaustila
 ω_{xi} = kiertymäkulmanopeuden mittaustila pitkittäisakselin (x) ympäri (roll velocity)
 ω_{zi} = pystykiertymäkulmanopeuden mittaustila (yaw velocity)
 δ = ohjauksen mittaustila



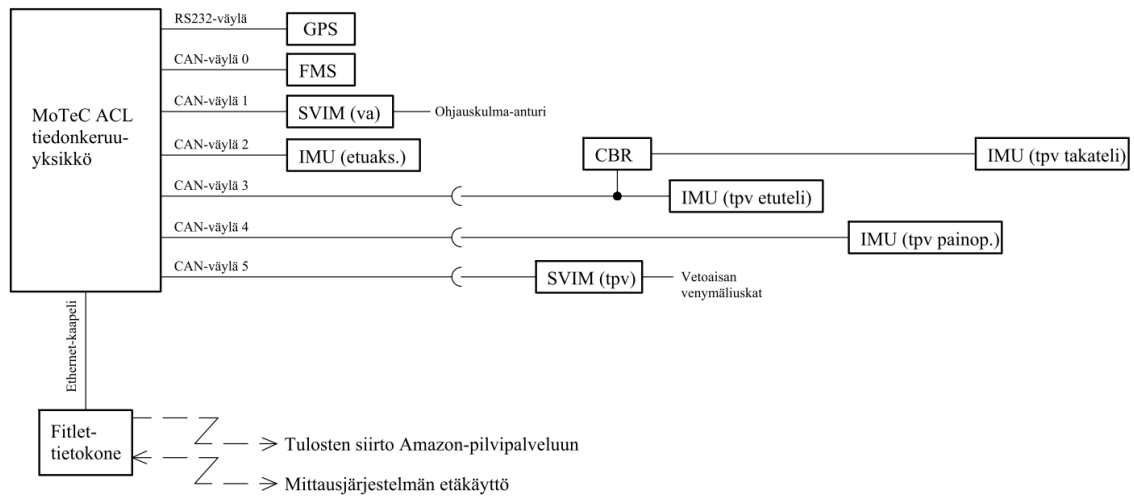
Kuva 4. Mittausjärjestelmä P&A Trans Oy:n 84 t HCT-yhdistelmässä.

Mittausjärjestelmät koostuivat Motec ACL tiedonkeruuyksiköstä, erillisistä CAN-väylistä ja niihin liitetystä mittalaitteista. Mittausjärjestelmien komponenttien tyyppimerkinnät on esitetty liitteessä 1. Mittausjärjestelmien kytkentäperiaatteet on esitetty kuvissa 5 ja 6. Ohjaamoon sijoitettiin ACL tiedonkeruuyksikkö, GPS, Fitlet-tietokone ja Ketosen Kuljetuksen yhdistelmään CAN-väylätoistin (CBR, CAN Bus Repeater). Ohjauksen CAN-väylätoistimella välitettiin ajoneuvon CAN-väylässä kulkevat tiedot mittausjärjestelmän väylään ja estettiin mittausjärjestelmän CAN-viestien pääsy ajoneuvon väylään.

Ajodynamiikan tutkimista varten ajoneuvoyksiköistä mitattiin kiihtyvyyksiä ja kiertymäkulmanopeuksia. Tärkeimmät näistä olivat sivuttaiskiihtyvyydet ja pystykiertymäkulmanopeudet. Ajodynamiikkamittauksia varten yhdistelmiin asennettiin Bosch liiketila-antureita (IMU, Inertial Measurement Unit), jotka mittaavat sekä poikittäskiihtyvyyden, että pystykiertymäkulmanopeuden. Anturit lähettivät mittaustulokset CAN-väylää pitkin tiedonkeruuyksikköön. CAN-väylätoistimilla muutettiin liiketila-antureiden väyläviestien tunnustetta, jotta eri antureiden lähettämät viestit voitiin erottaa toisistaan. Fitlet-tietokoneella luettiin mittaustulokset ACL:stä ja lähetettiin tulokset internet-yhteyden välityksellä pilvipalveluun. Mittaustulosten automaattisen luennan koodaamisen ja pilvipalvelun (Amazon) käytön toteutti Unikie Oy. Tietokoneeseen voitiin myös ottaa etäyhteys ja seurata mittausjärjestelmän toimintaa reaaliajassa.



Kuva 5. Mittausjärjestelmän kytkennät Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmässä.



Kuva 6. Mittausjärjestelmän kytkennät P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmässä.

Mittausjärjestelmällä luettiin tietoja myös ajoneuvojen FMS-liitynnästä (CAN-väyläyhteys ajoneuvon omaan tietojärjestelmään). FMS-liitynnästä tallennetut tiedot on esitetty taulukossa 1.

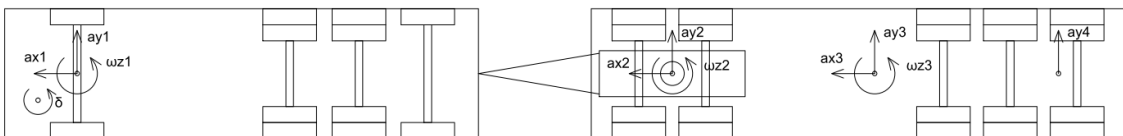
Taulukko 1. FMS-liitynnästä tallennetut tiedot.

FMS-liitynnän tieto	Ketosen Kuljetus 104 t HCT	P&A Trans 84 t HCT
Ajonopeus (etuakseli) [km/h]		X
Ajonopeus (vetävä akseli) [km/h]	X	X
Moottorin kierrosluku [r/min]	X	X
Kaasupolkimen asento [%]	X	X
Jarrupolkimen käyttö [on/off]	X	X
Jarrupolkimen asento [%]		X
Cruise control [on/off]	X	X
Polttoaineen kulutus [l/h]	X	X
Kulutetun polttoaineen määrä [l]	X	X

FMS-liittynän tieto	Ketosen Kuljetus 104 t HCT	P&A Trans 84 t HCT
Jarrupiirien paineet [kPa]	x	x
Ulkoilman lämpötila [°C]	x	x
Ulkoilman paine [kPa]	x	x
Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila [°C]	x	x
Moottorin kuormitus [%]	x	x
Moottorin todellinen vääntö [%]		x
Hidastimen vääntö [%]	x	x
Polttoainetaso [%]	x	
Driver's Demand Engine Torque [%]		x
Vaihde		x
Vaihteen välityssuhde		x
Yhdistelmämassa [kg]		x

3.1 Ajovakauskokeiden vertailuyhdistelmä

Vertailuyhdistelmän anturointi on esitetty kuvassa 7. Vertailuyhdistelmä oli varustettu mittausanturoinnilla, joka sisälsi sivuttaiskiihtyvyyden (a_y) mittauksen etuakselilla, täysperävaunun etutelin painopisteessä, täysperävaunun painopisteessä ja täysperävaunun viimeisen akselin kohdalla. Pitkittäissuuntainen kiihtyvyys (a_x) mitattiin etuakselilta, täysperävaunun etuteliltä ja täysperävaunun painopisteestä. Pystykiertymäkulmanopeus (ω_z) mitattiin vetoautosta, sekä täysperävaunun etuteliltä ja painopisteestä. Vetoautossa oli myös ohjaukskulman (δ) mittaus ja GPS. Täysperävaunun anturit oli asennettu samoihin pisteisiin kuin HCT-yhdistelmänkin täysperävaunun anturit.



Kuva 7. Vertailuyhdistelmän anturointi.

4 AJOSEURANNAN TULOKSET

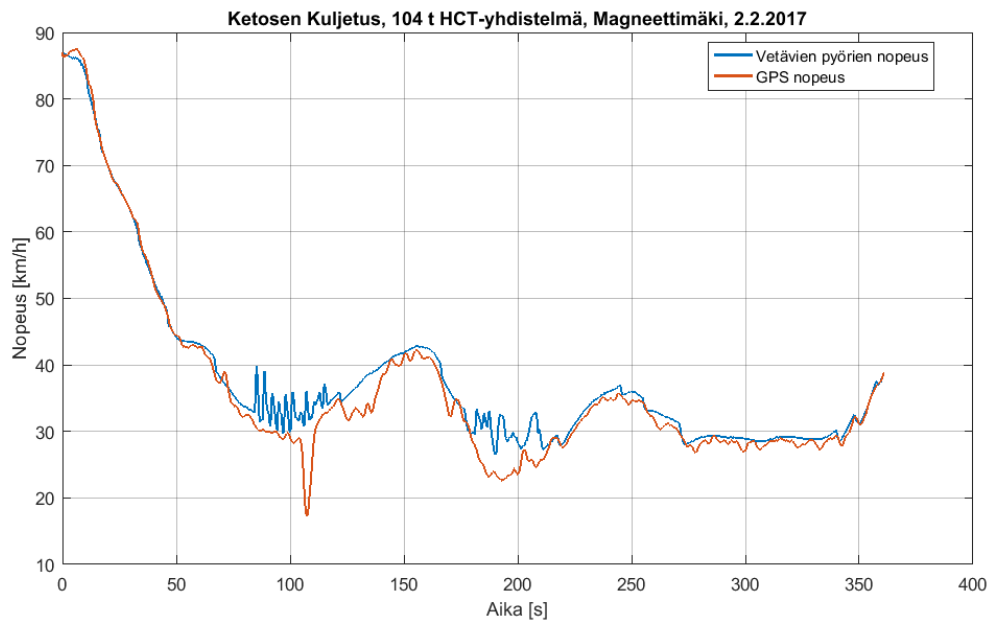
Ajoseurantaa suoritettiin Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmästä maantieltä muutamana päivänä talviolosuhteissa talvella 2016. Jatkuvaa mittausdataa on saatavilla 18.4.2016 alkaen. Mittausdata ei ole täysin yhtenäistä satunnaisten yhteysongelmien ja muiden käyttöhäiriöiden vuoksi. Lisäksi tallennus on katkaistuna 1–2 minuuttia tiedonkeruuyksikön tiedonpurun aikana. Katkoja mittauksissa vähensi huomattavasti 16.5.2016 suoritettu minitietokoneen asetusmuutos, jossa tietokone ohjelmoitiin uudelleenkäynnistymään kerran vuorokaudessa. Mittaustulokset on tallennettu pilvipalveluun (Amazon) tunnin välein. P&A Trans Oy:n 84 tonnin HCT-yhdistelmän ajoseuranta aloitettiin 22.8.2016 ja päätettiin 20.1.2017.

Ketosen Kuljetuksen 76 tonnin vertailuyhdistelmällä tehtiin mittauksia suljetun alueen kokeiden yhteydessä myös yhdistelmän tavallisessa, päivittäisessä kuljetustehtävässä. Mitatut ajankohdat sisälsivät ajoa maanteilla ja metsäautoteilla.

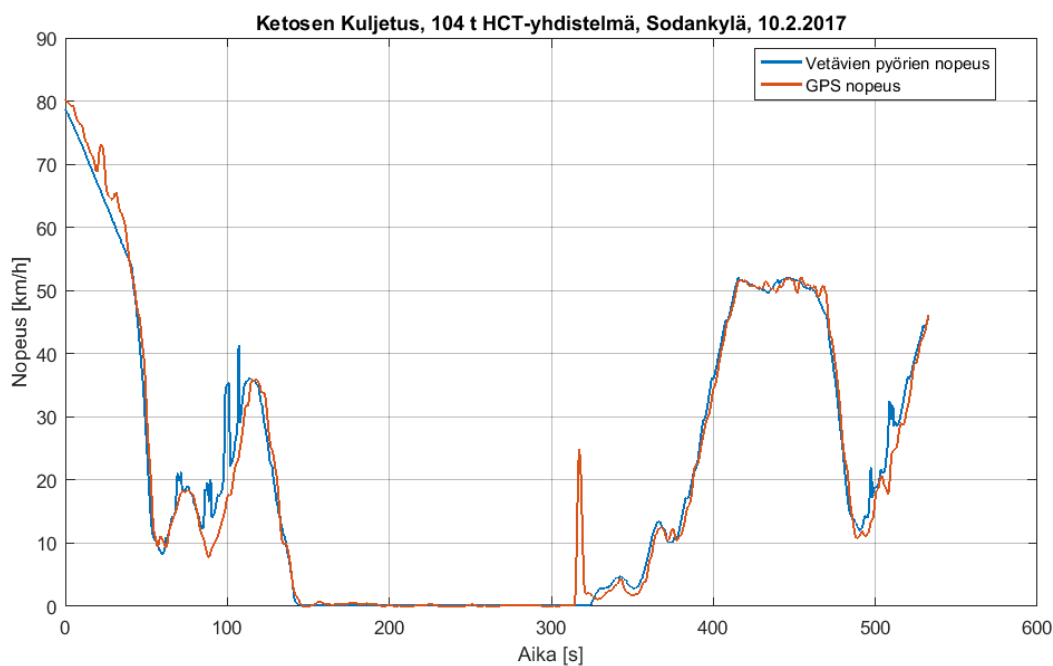
4.1 Liikkuvuus

Tutkimukseen osallistuneiden HCT-yhdistelmien liikkuvuus on kuljettajien mukaan ollut riittävä tavanomaiseen liikennöintiin. 104 tonnin HCT-yhdistelmässä on mittauksissa havaittu yhdistelmän ollessa kuormattuna merkittävää hetkellistä pyörien luistoa talviaikaan liikkeellelähdoissä ja satunnaisesti Magneettimäessä. Jatkuvaa merkittävää luistoa esim. mäissä ei ole havaittu. P&A Transin 84 tonnin HCT-yhdistelmässä kuormattuna on havaittu luistoa harvoin kiihdytystilanteissa. Yleisempää on ollut vetävien pyörien luisto yhdistelmän ollessa kuormaamaton. Tämä johtunee siitä, että yhdistelmän vetoautossa on tyhjänäkin ajettaessa 2. etuakseli tiekosketuksessa (lehtijousitus).

Kuvassa 8 on esitetty käsitellyissä tuloksissa havaittu suurin luisto Magneettimäessä. GPS-mittaus on toiminut kyseisessä kohtaa huonosti, joten tarkkaa luistoa ei ole mahdollista määrittää.

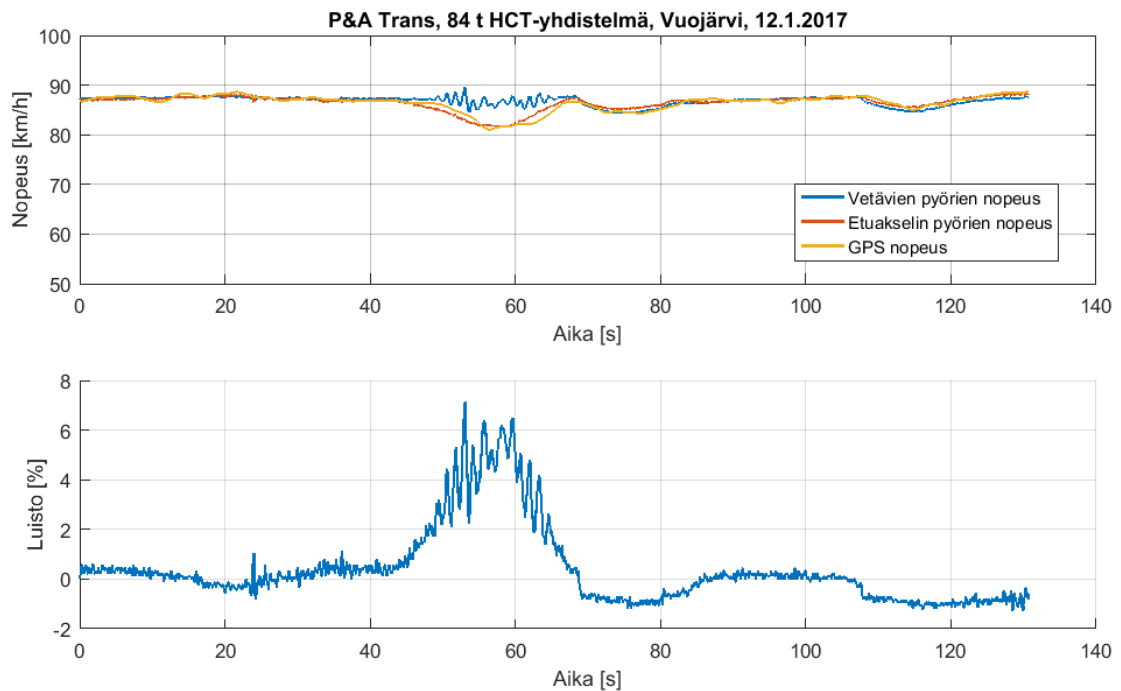


Kuva 8. Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmän vetävien pyörien nopeus ja GPS:llä mitattu nopeus Magneettimäessä 2.2.2017.



Kuva 9. Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmän pyöra- ja GPS-nopeudet Sodankylän taajamassa valtatiellä 4 10.2.2017.

Kuvassa 9 on esitetty tyypillinen tilanne, jolloin 104 t HCT-yhdistelmässä esiintyy merkittävää luistoa, kun lähdetään liikkeelle kuorman kanssa pysähdyksistä.



Kuva 10. P&A Trans, 84 t HCT-yhdistelmä valtatiellä 4 Vuojärvellä 12.1.2017, luistoa ajon aikana.

Kuvassa 10 on esitetty P&A Transin 84 t HCT-yhdistelmässä tapahtunut tilanne, joka esiintyi tarkastelluissa tuloksissa muutaman kerran. Tilanteessa auton vetävät pyörät alkavat luistaa ajettaessa kuormaamattomalla yhdistelmällä maantiellä. Luisto on suurimmillaan lyhytaikaisesti 7 %. Kyseisessä HCT-yhdistelmässä luistoa havaittiinkin lähinnä yhdistelmän ollessa kuormaamaton. Kuormatulla yhdistelmällä luistoa esiintyi vain harvoin ja tällöinkin yleensä metsäautoteillä.

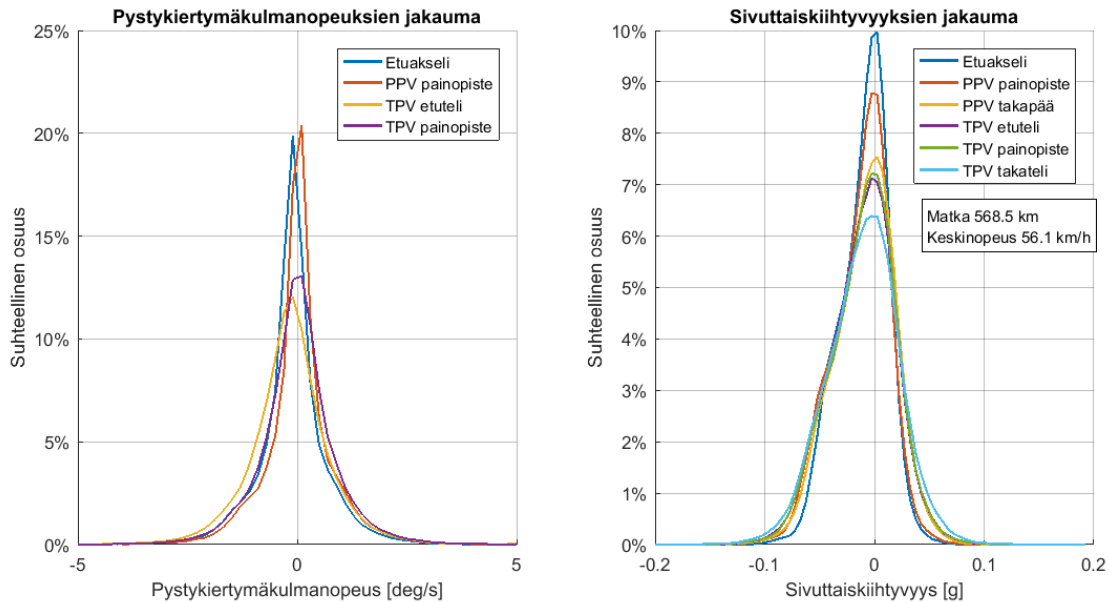
4.2 Ajovakaus maanteillä

Ajovakauden arviointia varten mittaustuloksista on laadittu histogrammeja ja taajuustason kuvaajia.

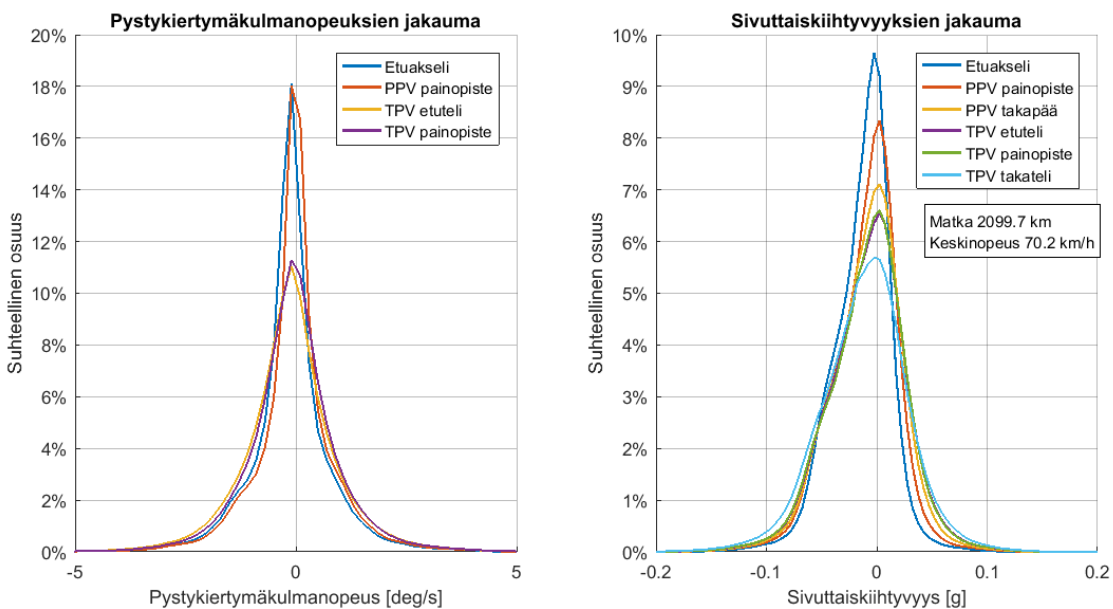
4.2.1 Liiketilasuureiden jakaumat

Histogrammeissa on esitetty eri sivuttaiskiivtyvyys- ja pystykiertymäkulmanopeusalueilla esiintyvien mitattujen arvojen esiintymiskerrat. Nämä voidaan esittää lukumäärinä tai suhteellisena osuutena. Histogrammeista havaitaan

miten yhdistelmissä esiintyvät liiketilasuureet jakautuvat. Suurin osa sivuttaiskiivyyksistä on alueella $-0,05-0,05$ g.



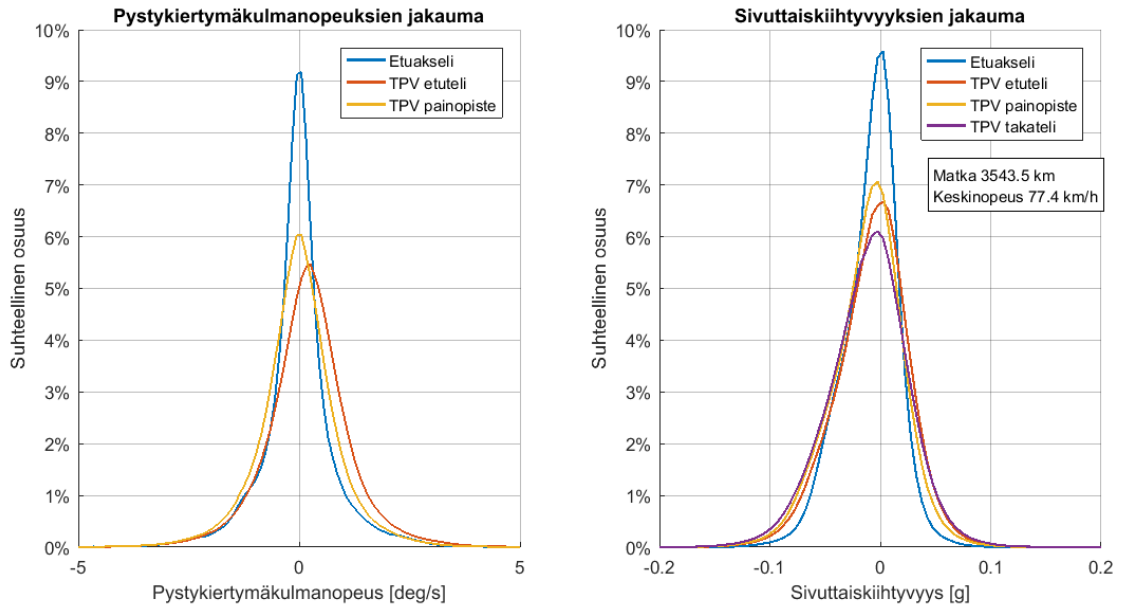
Kuva 11. Ketosen Kuljetus, 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilasuureiden jakaumat, tammikuu 2016, 2 kertaa Ivalo–Rovaniemi -reitti kuormattuna.



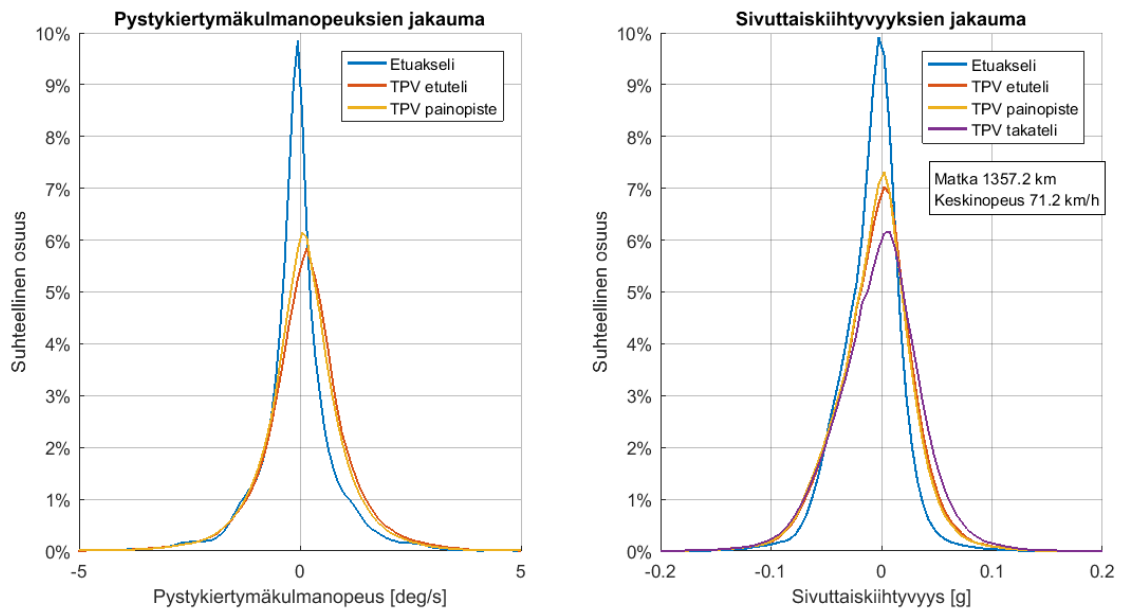
Kuva 12. Ketosen Kuljetus, 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilasuureiden jakaumat, toukokuu 2016.

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmän liiketilasuureiden jakaumat, jotka on mitattu tammi- ja toukokuussa 2016. Havaitaan, että jakaumien muoto

on samanlainen. Toukokuun tuloksissa liiketilasuureet ovat jakautuneet laajemmalle alueelle ts. tällöin on esiintynyt suurempia sivuttaiskiivyyksiä.



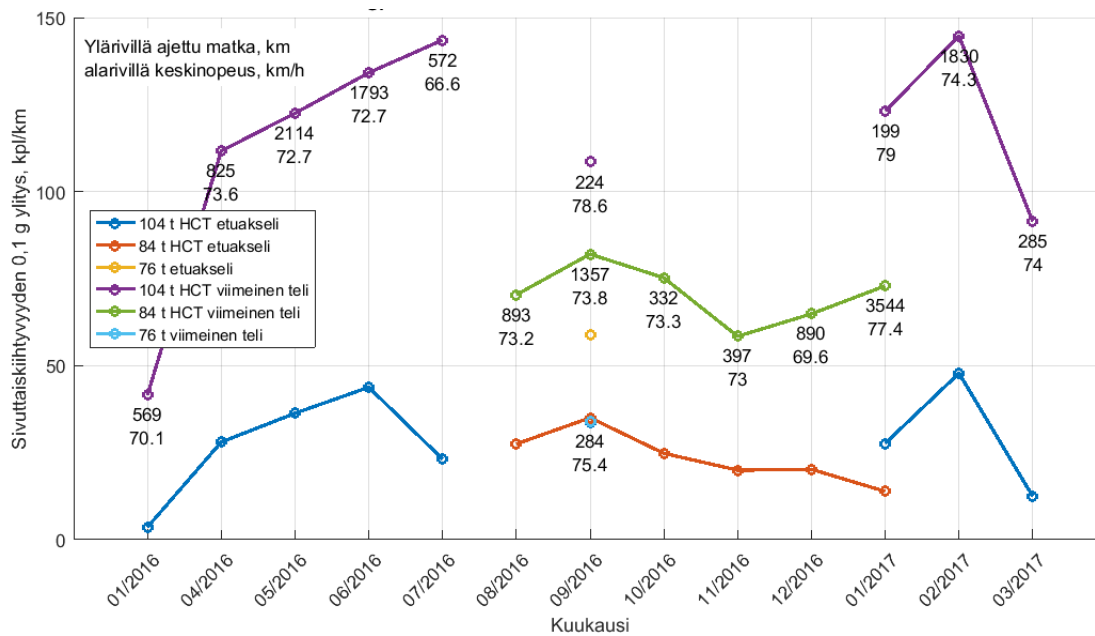
Kuva 13. P&A Trans, 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilasuureiden jakaumat, tammikuu 2017, valtatieolosuhteet.



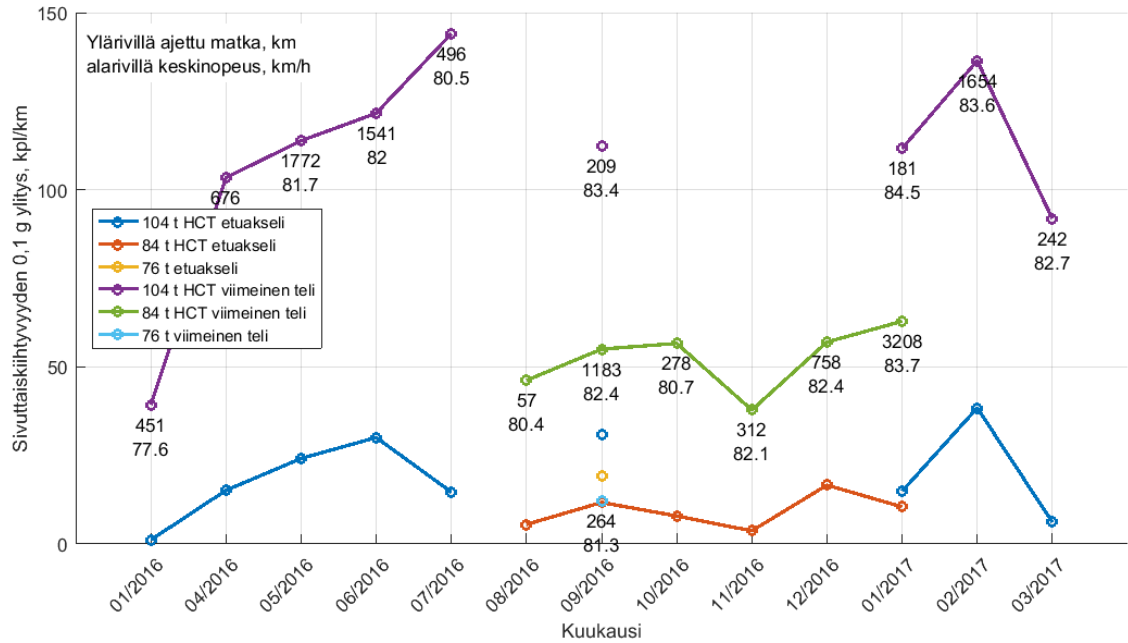
Kuva 14. P&A Trans, 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilasuureiden jakaumat, syyskuu 2017, valtatieolosuhteet.

Kuvissa 13 ja 14 on esitetty P&A Trans Oy:n 84 t HCT-yhdistelmän liiketilasuureiden jakaumat tammikuussa 2017 ja syyskuussa 2017 valta- ja kantatieolosuhteissa. Jakaumissa ei ole havaittavissa merkittäviä eroja talvi- ja syysolosuhteiden välillä.

Vähäinen sivuttaiskiihtyvyys ei ole ajoturvallisuuden kannalta vaarallinen. Täten on tarpeen tarkastella esimerkiksi 0,1 g ja 0,2 g sivuttaiskiihtyvyyden ylittymistä. Yhdistelmien vertailun helpottamiseksi histogrammeista määritettiin valittujen sivuttaiskiihtyvyyksien ylittävien sivuttaiskiihtyvyyksien lukumäärä ja suhteutettiin se ajettuun matkaan. Tulokset valtatieolosuhteista on esitetty kuvissa 15–18. Tuloksia tarkastellessa on huomattava mittaustajaajuuden vaikutus. Mittaustajaajuutena on nyt ollut 100 Hz, jolloin esimerkiksi 100 kappaletta 0,1 g kiihtyvyyden ylitystä käsittää yhden sekunnin ajanjakson. Kunkin kuukauden tuloksen kohdalle merkitty ajettu matka ja keskinopeus.



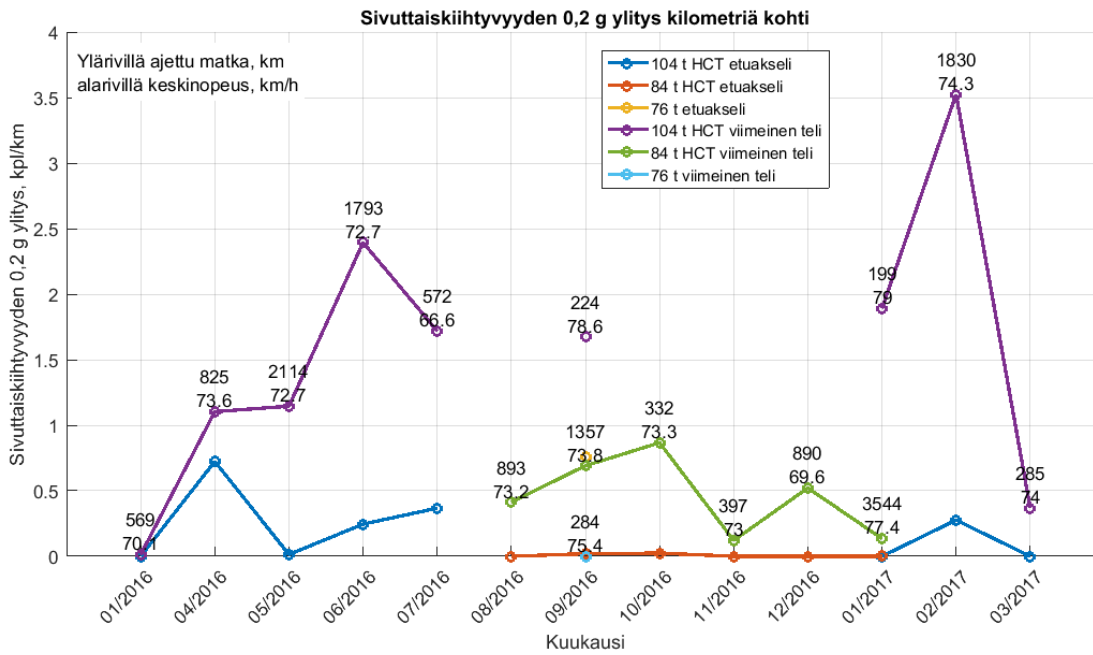
Kuva 15. Kuormattujen yhdistelmien 0,1 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitys, kaikki ajonopeudet mukaan luettuna.



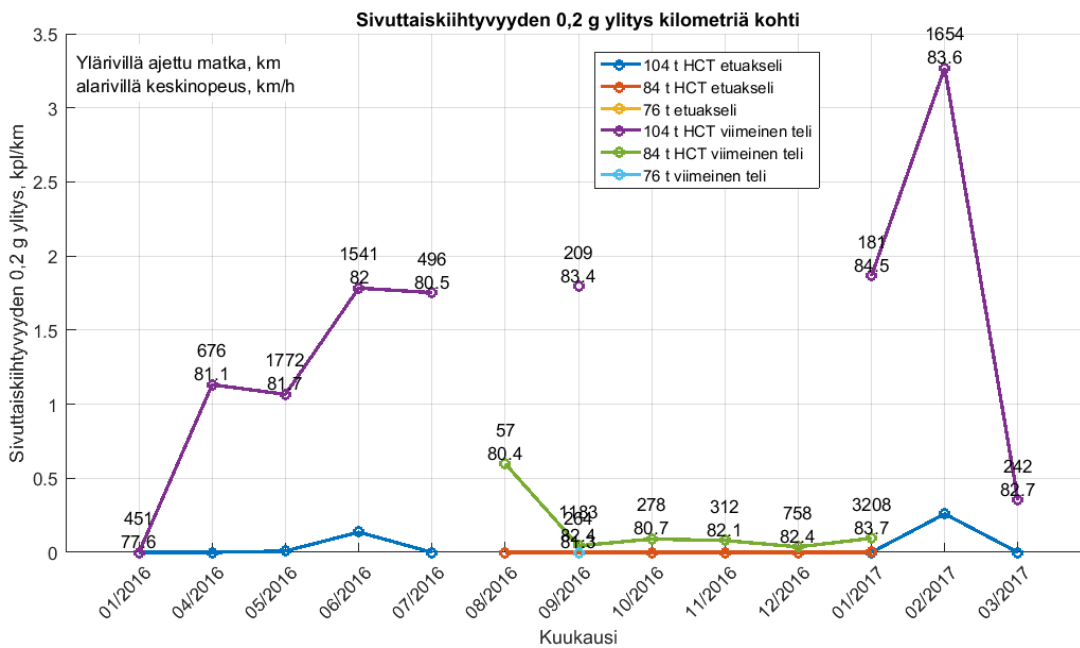
Kuva 16. Kuormattujen yhdistelmien 0,1 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitys, vain yli 70 km/h ajonopeus mukaan luettuna.

Kuvissa 15 ja 16 on esitetty tutkimusyhdistelmien etuakseleilta ja täysperävaunujen takateleiltä mitatut 0,1 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitykset ajokilometriä kohti. Kuvassa 15 on mukana kaikkien ajonopeuksien tulokset ja kuvassa 16 on otettu huomioon vain yli 70 km/h ajonopeudessa esiintyneet sivuttaiskiihtyvyydet. Havaitaan, että 104 t HCT-yhdistelmässä pääsääntöisesti esiintyy enemmän 0,1 g sivuttaiskiihtyvyyden ylityksiä kuin 84 t HCT-yhdistelmässä. Kun otetaan huomioon vain yli 70 km/h ajonopeus, 0,1 g sivuttaiskiihtyvyyksien esiintymistiheys vähenee. Useana kuukautena on myös havaittavissa yhteys etuakselin ja yhdistelmän viimeisen telin sivuttaiskiihtyvyyksien välillä, piirrettyjen käyrien muoto on lähes samanlainen.

Kuvissa 17 ja 18 on esitetty kuvaajat yhdistelmien 0,2 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitykselle. Havaitaan, että 0,2 g sivuttaiskiihtyvyys ylitetään huomattavasti harvemmin kuin 0,1 g sivuttaiskiihtyvyys.



Kuva 17. Kuormattujen yhdistelmien 0,2 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitys, kaikki ajonopeudet mukaan luettuna.



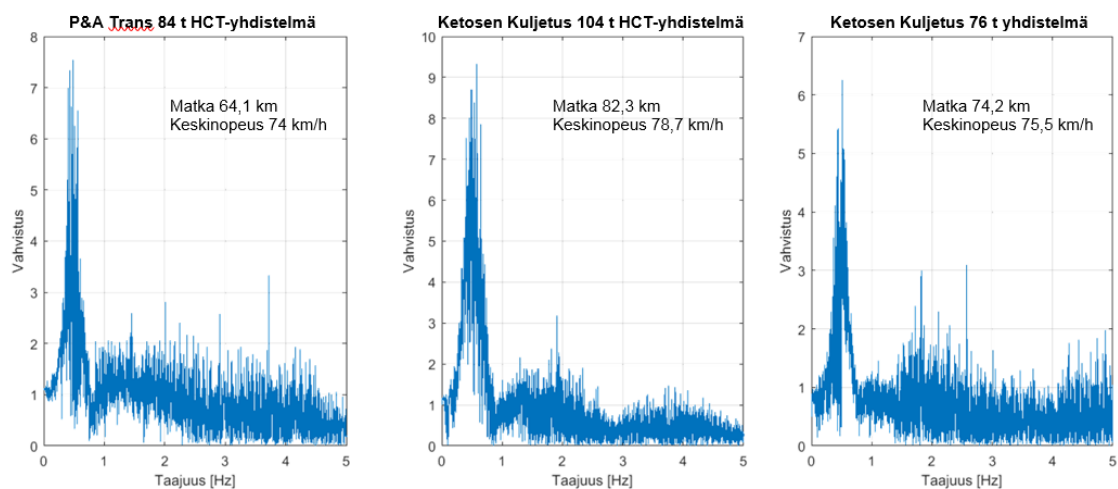
Kuva 18. Kuormattujen yhdistelmien 0,2 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitys, vain yli 70 km/h ajonopeus mukaan luettuna.

4.2.2 Liiketilan vahvistuminen herätteen taajuuden funktiona

Taajuustason kuvaajissa on esitetty eri taajuuksien herätteiden vahvistuminen yhdistelmässä. Herätteenä on etuakselilta mitattu liike (sivuttaiskiihtyvyys ja pystykiertymäkulmanopeus). Vahvistuminen on määritetty ajoneuvoyhdistelmän

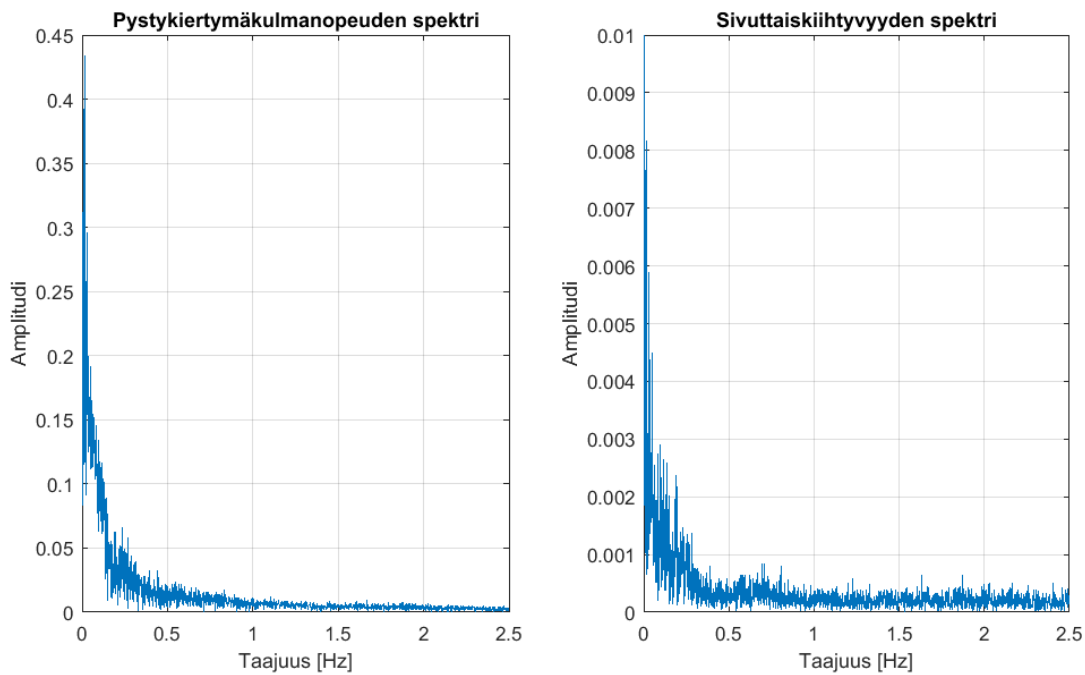
viimeisen yksikön (täysperävaunun painopiste) pystykiertymäkulmanopeudelle ja taaimmaiselle sivuttaiskiihtyvyyden mittauspisteelle (täysperävaunun takateli).

Kuvassa 19 on esitetty kolmen eri yhdistelmän sivuttaiskiihtyvyyden vahvistuminen valtatiellä 4 syyskuussa 2016. Yhdistelmät ovat olleet kuormattuja. Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmässä vahvistuminen on ollut suurin ja 76 t yhdistelmässä pienin. P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmän sivuttaiskiihtyvyyden vahvistuminen on ollut näiden yhdistelmien väliltä.

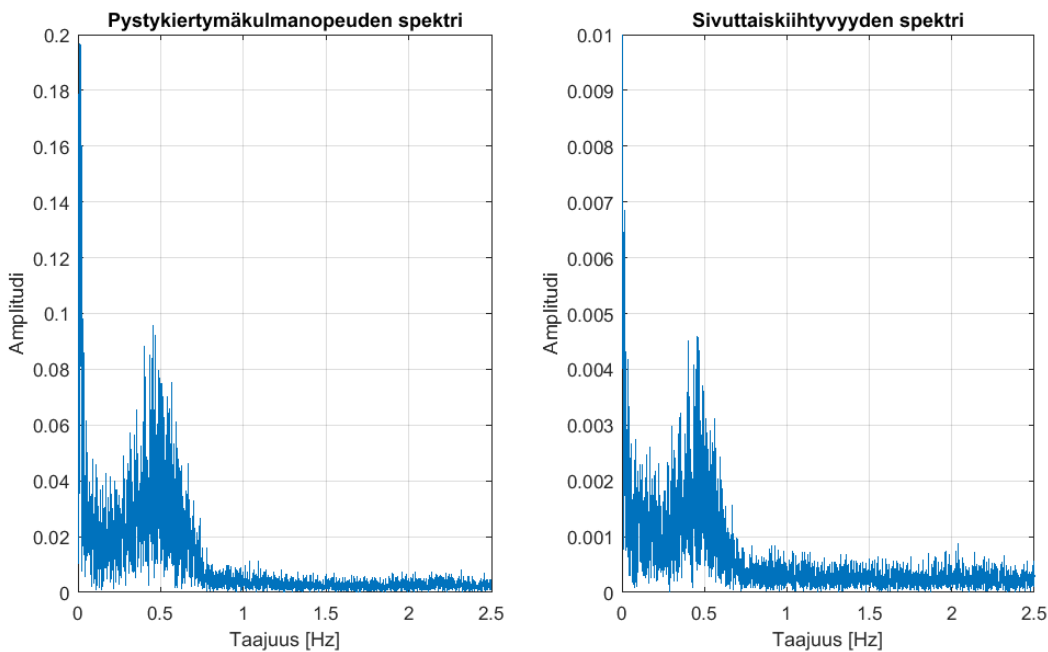


Kuva 19. Tutkimusyhdistelmien sivuttaiskiihtyvyyden vahvistuminen etuakselilta täysperävaunun takatelille, syyskuu 2016, valtatie 4.

Kuvissa 20 ja 21 on esitetty P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmän etuakselin ja täysperävaunun takatelin liiketilasuureiden taajuusspektrit. Tulokset on mitattu 20.9.2016 valtatieltä 4 Vajusen tekoaltaan pohjoispään ($67,8016^\circ$ leveyspiiri) ja Kersilön kylän ($67,5849^\circ$ leveyspiiri) väliltä. Tie kyseisellä välillä sisältää pitkäkökjä suorja ja niitä yhdistäviä kaarteita. Alueella ei ole merkittäviä nousuja tai laskuja. Tie on myös hyväkuntoinen. Havaitaan, että herätteet valtatiellä ovat hyvin matalataajuisia. Toisaalta perävaunusta mitatuista vasteista erottuu hieman alle 0,5 Hz liiketila. Tämä johtaa siihen, että taajuusvasteanalyysissä liiketilan vahvistuminen hieman alle 0,5 Hz taajuudella on suuri.



Kuva 20. P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmän etuakselilta mitattujen herätteiden taajuusspektrit 20.9.2016.

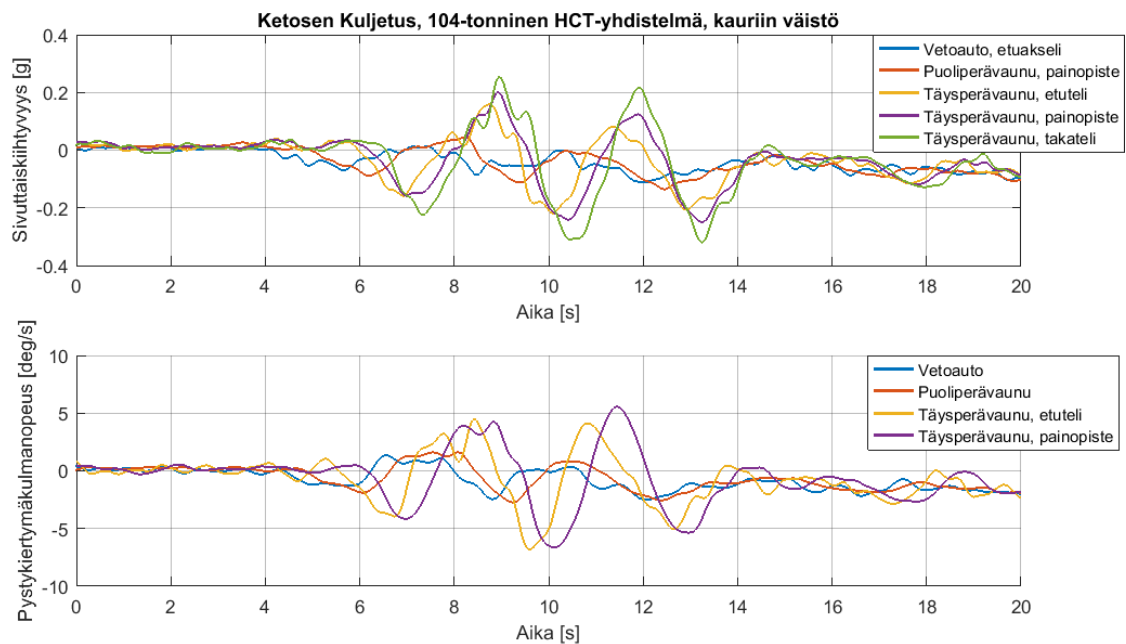


Kuva 21. P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmän täysperävaunun takateliltä mitattujen liikesuureiden taajuusspektrit 20.9.2016.

Liitteessä 5 on esitetty HCT-yhdistelmien pitkän ajan taajuusvasteanalyysien tulokset kuukausittain. Havaitaan, että P&A Transin HCT-yhdistelmän vahvistumisarvojen pääosa on alemmalla tasolla kuin Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmässä. Yksittäiset vahvistuksen huippuarvot ovat lähes yhtä suuria kummassakin yhdistelmässä.

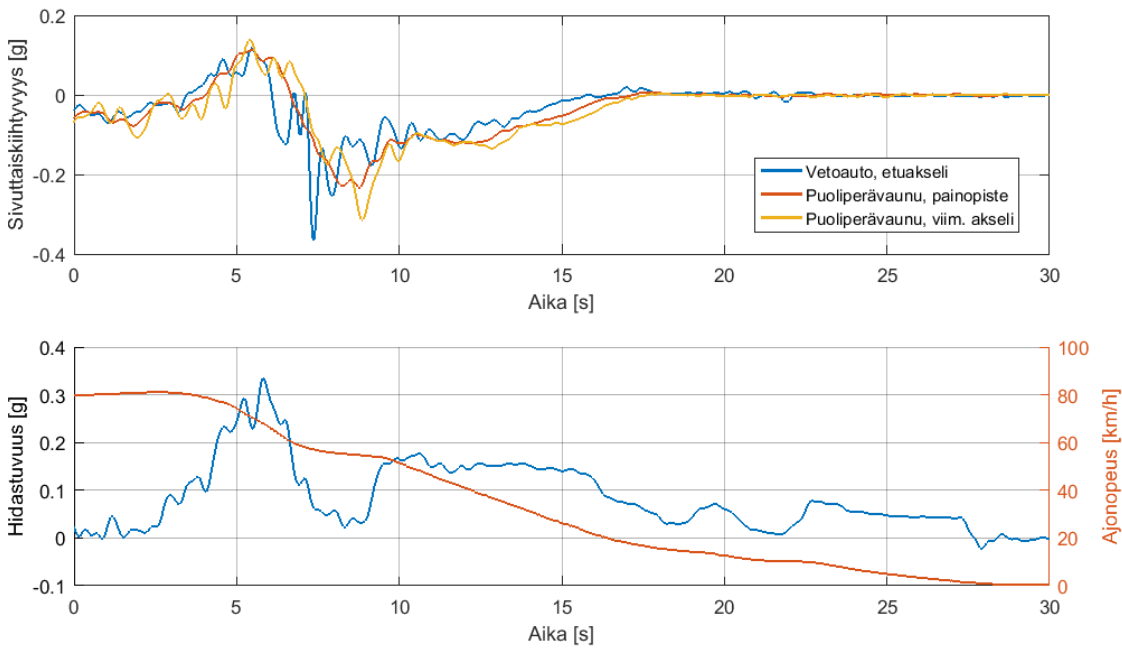
4.3 Erityistilanteita

Tässä kappaleessa on esitetty mittauksiin tallentuneita erityistilanteita. Ketosen Kuljetuksen 104 tonnin HCT-yhdistelmän mittauksissa tallentui kaksi poikkeavaa tilannetta, kauriin voimakas väistö 25.5.2016 aamuyöllä ja henkilöauton väistö 5.7.2017 päivällä. P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmä joutui 20.12.2016 aamuyöllä erittäin liukkaan kelin alueelle Sodankylän ja Rovaniemen välillä.



Kuva 22. Kauriin väistö Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmällä 25.5.2016.

Kuvassa 22 on esitetty Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmän tekemä kauriin väistö. Tapahtumapaikka on Rovaniemellä n. 2 km napapiiriltä pohjoiseen. Yhdistelmä on kyseisessä tilanteessa ajanut kuormattuna etelään päin. Ajonopeus oli 85 km/h. Täysperävaunun takateliltä mitattu suurin sivuttaiskiintiivvyden arvo on ollut 0,3 g. Liukkaissa olosuhteissa tämän suuruinen sivuttaiskiintiivvyys olisi hyvin suurella todennäköisyydellä johtanut ajoneuvon hallinnan menettämiseen. On tärkeää havaita, että yhdistelmän ajoneuvoyksiköiden liike on vaimentunut verrattain nopeasti heilahtelujen jälkeen.



Kuva 23. Henkilöauton väistö Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmällä 5.7.2017.

Kuvassa 23 on esitetty Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmän tekemä henkilöauton väistö 5.7.2017. Tämä tapahtui Nellimintien ja Veskonientien risteyksessä 8 km Ivalosta koilliseen. Yhdistelmä ajoi kuormattuna koillisen suunnasta, kun sivutieltä tullut henkilöauto ajoi yhdistelmän eteen. Yhdistelmän nopeus juuri ennen jarrutusta oli 81 km/h. Suurin sivuttaiskiihtyvyys etuakselilla oli 0,36 g ja puoliperävaunussa 0,31 g. Yhdistelmän suurin mitattu hetkellinen hidastuvuus oli 0,33 g.

P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmä joutui 20.12.2016 erittäin liukkaalle kelin olosuhteisiin Sodankylän ja Rovaniemen välillä. Liukas keli johtui sään lauhtumisesta ja vesisateesta. Sodankylän ja Rovaniemen väliseen matkaan kului aikaa 5,5 h, josta pysähdyksissä yhdistelmä oli 2 h 58 min. Keskinopeus Vuojärven ja Rovaniemen välillä (90 km) oli 37,7 km/h.

5 SULJETUN ALUEEN KOKEIDEN TULOKSET

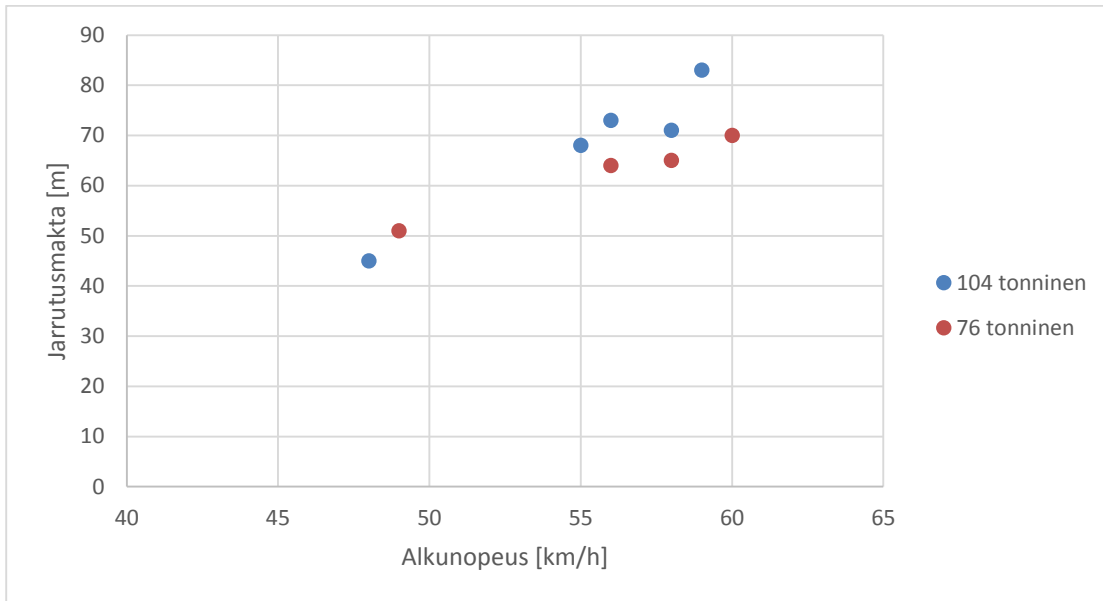
Yhdistelmillä suoritettiin suljetun alueen kokeita kahdesti, talvella 2016 ja syksyllä 2016. Maaliskuun 12. päivänä 2016 Ketosen Kuljetuksen 104 tonnin ja 76 tonnin yhdistelmillä suoritettiin Ivalon lentokentällä ajokokeet, jotka sisälsivät kaksoiskaistanvaihdon (ISO 3888-1), kaistanvaihdon, jarrutuksen, kiihdytyksen ja liikenneympyräajon. Syyskuun 21. päivänä 2016 Ketosen Kuljetuksen 104 tonnin ja 76 tonnin, P&A Transin 84 tonnin ja Lapin ammattiopiston 76 tonnin (ilman kuormaa) yhdistelmillä, sekä Oulun yliopiston tutkimuskuorma-autolla suoritettiin ajokokeet, jotka sisälsivät kaksoiskaistanvaihto- (ISO 3888-1) ja jarrutuskokeet.

5.1 Talvitestit Ivalossa 12.3.2016

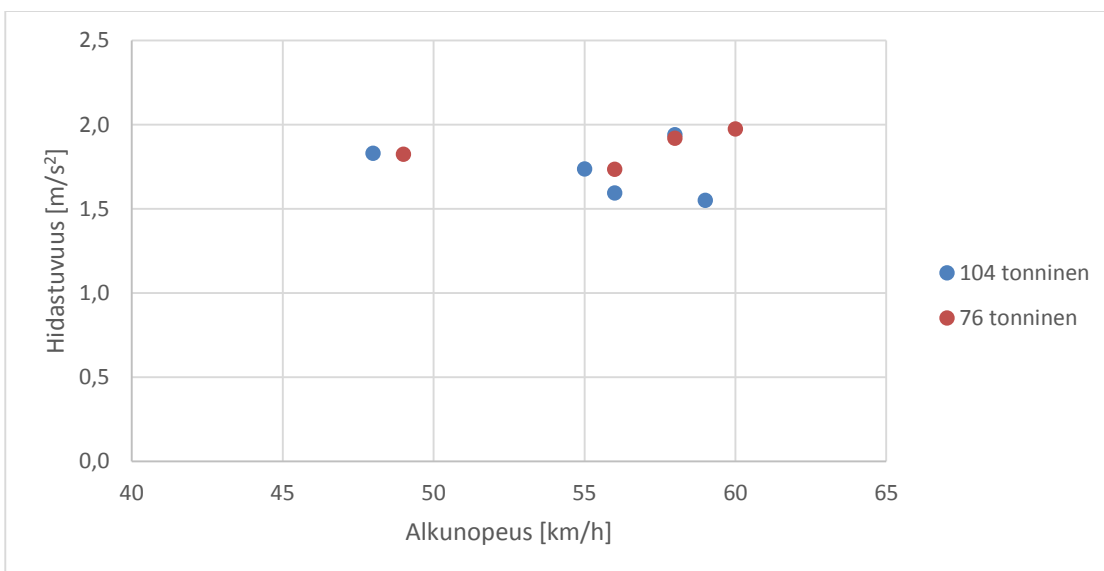
Tulokset jäivät väistökokeiden osalta vajavaisiksi, koska koeajoradan polanne petti raskaiden yhdistelmien alla ja 76 tonnisen yhdistelmän mittausten tulosten tallentamisessa oli paikan päällä havaitsemattomia katkeamisia (tiedon tallennus katkesi usein juuri ennen väistöliikettä). Kokeiden pöytäkirja on esitetty liitteessä 3.

5.1.1 Jarrutuskokeet

Kuvassa 24 on esitetty ajoneuvoyhdistelmillä suoritettujen jarrutuskokeiden tulokset. Havaitaan, että yli 55 km/h nopeuksilla HCT-yhdistelmän pysähtymismatka on pidempi kuin 76-tonnin täysperävaunuyhdistelmällä. HCT-yhdistelmän pysähtymismatka nopeusalueella 55–60 km/h on noin 10 % pidempi 76-tonnin yhdistelmään verrattuna.



Kuva 24. Jarrutusmatkat alkunopeuden funktiona.



Kuva 25. Yhdistelmien hidastuvuus jarrutuskokeessa alkunopeuden funktiona.

Kuvassa 25 on esitetty ajokokeissa mitatut hidastuvuudet alkunopeuden funktiona. Havaitaan, että molempien yhdistelmien hidastuvuudet ovat olleet lähes samat kaikilla alkunopeuksilla. Hidastuvuudet ovat vaihdelleet välillä 0,6–2,0 m/s^2 .

5.1.2 Väistökokeet

Väistökokeiden tulokset jäivät vajavaisiksi edellisellä sivulla esitetyistä syistä johtuen. ISO 3888-1 standardin mukainen kaksoiskaistanvaihtokoe suoritettiin 104 t HCT-yhdistelmällä 20, 28, 35 ja 35 km/h ajonopeuksilla ja 76 t yhdistelmällä 31 ja 34 km/h

nopeuksilla. Kaistanvaihtokoe suoritettiin molemmilla yhdistelmillä ajonopeuksilla 40 ja 43 km/h. Näissä nopeuksissa molempien yhdistelmien RA-arvot jäivät alle yhden. HCT-yhdistelmässä havaittiin ensimmäisessä 35 km/h nopeudella suoritettussa kaksoiskaistanvaihdossa lyhytaikainen pidon menetys vetävillä pyörillä. Muulloin kokeissa ei havaittu pidon menetystä.

5.1.3 Liikenneympyrä- ja kiihdytyskokeet

Koeajoradalle merkattiin keiloilla Ivalon pohjoista liikenneympyrää vastaava rata, jota kierrettiin yhdistelmillä. Tavanomainen 76-tonnin täysperävaunuyhdistelmä selviytyi liikenneympyrästä ongelmitta. HCT-yhdistelmä kykeni liikennekartioita hipoen kiertämään ympyrän. Ongelmana oli vetoauton aliohjautuminen lumisella polanteella.

Molemmilla yhdistelmillä suoritettiin kiihdytys pysähdyksistä nopeuteen 50 km/h. HCT-yhdistelmä kiihtyi 50 km/h nopeuteen 56 sekunnissa ja 76-tonninen yhdistelmä 36 sekunnissa. 76-tonnin yhdistelmä siis kiihtyi 56 % HCT-yhdistelmää nopeammin.

5.2 Syystestit Ivalossa 21.9.2016

HCT-ajoneuvoyhdistelmien kesäolosuhteiden ajokokeet suoritettiin Ivalon lentokentällä keskiviikkona 21.9.2016. Ajokokeisiin osallistui 2 täysin kuormattua HCT-puutavarayhdistelmää, 1 täysin kuormattu kokonaismassaltaan 76 tonnin puutavarayhdistelmä, 1 kuormaamaton kappaletavarayhdistelmä, 1 kuormaamaton kuorma-auto sekä 1 kuormaamaton henkilöauto. Ajoneuvoyhdistelmillä suoritettiin ISO 3888-1 standardin mukainen kaksoiskaistanvaihtokoe eri ajonopeuksilla sekä jarrutuskokeet eri ajonopeuksilla. Kuorma-autoa sekä henkilöautoa käytettiin vertailuajoneuvoina jarrutuskokeissa. Yhteensä ajosuoritteita kertyi 56 kappaletta. Kokeiden pöytäkirja on esitetty liitteessä 4.

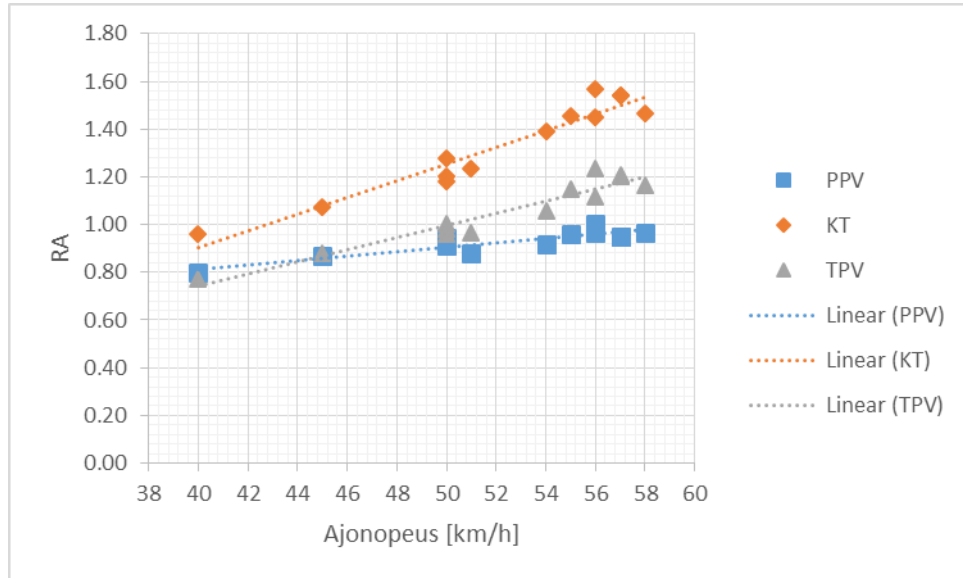
Ketosen Kuljetuksen ja P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmien lisäksi kokeisiin osallistui 3 muuta raskasta ajoneuvoa: Ketosen kuljetus Oy:n 76 t kuormattu puutavarayhdistelmä, joka muodostui 4-akselista vetoautosta ja 5-akselista täysperävaunusta; Lapin ammattiopiston 76 t kuormaamaton kappaletavarayhdistelmä avonaisilla kuormatiloilla,

joka muodostui 4-akselista vetoautosta ja 5-akselisesta täysperävaunusta, sekä Oulun yliopiston kuormaamaton 4-akselinen kuorma-auto.

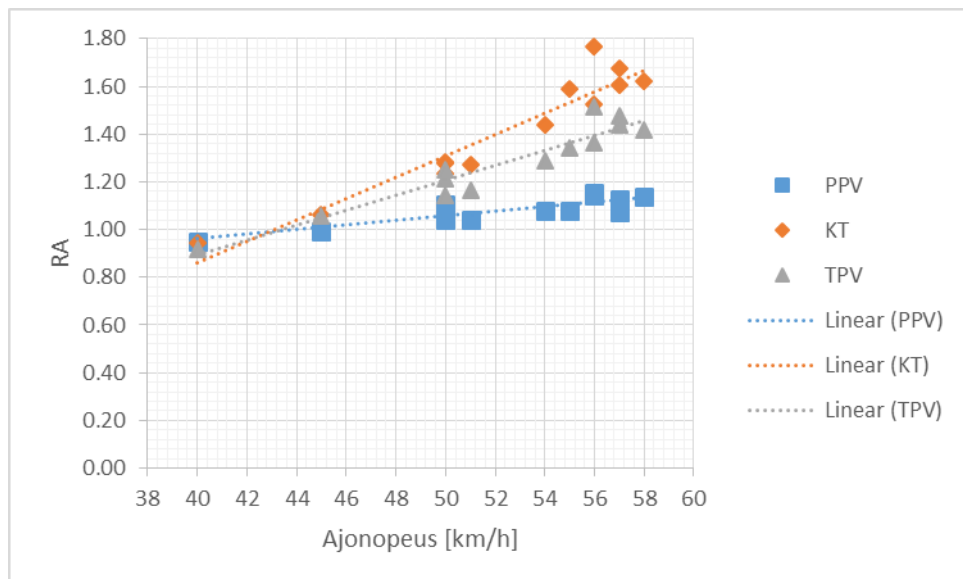
5.2.1 Kaksoiskaistanvaihtokokeet

Kaksoiskaistanvaihtokokeet aloitettiin kello 10:08 matalilla ajonopeuksilla, jolloin kuljettajat saivat mahdollisuuden harjoitella ajokokeen ajamista. Ajoneuvoyhdistelmät suorittivat kaksoiskaistanvaihtokokeen vuorotellen ajonopeudesta 40 km/h ajonopeuteen 50 km/h saakka 5 km/h ajonopeuden nostoilla. Tämän jälkeen kaksoiskaistanvaihtokoe suoritettiin useita kertoja peräkkäin yhdellä ajoneuvoyhdistelmällä kerrallaan toistojen saamiseksi. Kaikkiaan kaksoiskaistanvaihtokoe suoritettiin 104 t HCT-puutavarayhdistelmällä 13 kertaa, 84 t HCT-puutavarayhdistelmällä 12 kertaa, 76 t kuormatulla puutavarayhdistelmällä 11 kertaa ja 76 t kuormaamattomalla kappaletavarayhdistelmällä 7 kertaa.

Kuvassa 26 on esitetty 104 t HCT-puutavarayhdistelmän ajoneuvoyksiköiden, ts. puoliperävaunun (PPV), täysperävaunun kääntötelin (KT) ja täysperävaunun (TPV) RA-arvot määritettyinä ajoneuvoyksiköiden pystykiertymäkulmanopeuksista ajonopeuden funktiona. Kuvassa 27 on esitetty saman ajoneuvoyhdistelmän RA-arvot ajoneuvoyksiköiden sivuttaiskihtiyyksistä määritettynä. Molempien kuvien kuvaajissa on esitetty myös arvoihin sovitettu lineaarinen regressiokäyrä.



Kuva 26. 104 t HCT-puutavarayhdistelmän ajoneuvoyksiköiden RA-arvot ISO 3888-1 standardin mukaisessa kaksoiskaistanvaihtokokeessa määritettynä ajoneuvoyksiköiden pystykiertymäkulmanopeuksista.

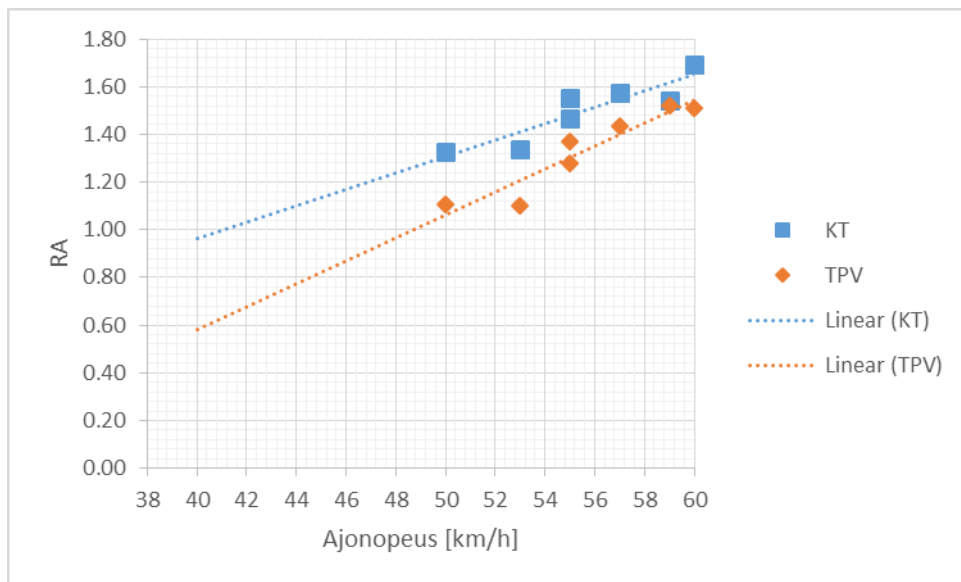


Kuva 27. 104 t HCT-puutavarayhdistelmän ajoneuvoyksiköiden RA-arvot ISO 3888-1 standardin mukaisessa kaksoiskaistanvaihtokokeessa määritettynä ajoneuvoyksiköiden sivuttaiskiivtyyksistä.

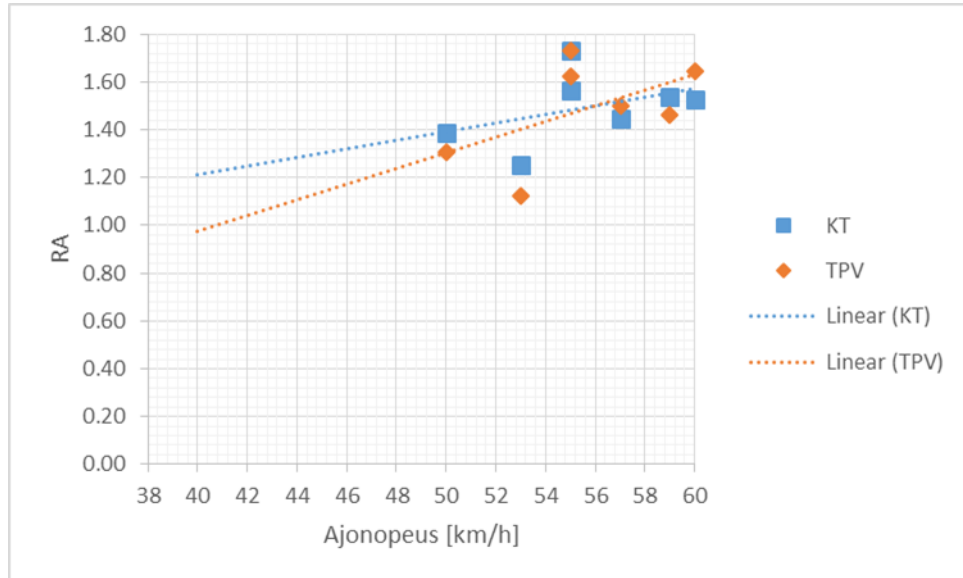
Kuvien 26 ja 27 kuvaajista havaitaan, että täysperävaunun kääntötelin vahvistuskertoimet ovat suurempia kuin muiden perävaunuyksiköiden, pois lukien sivuttaiskiivtyvyydestä määritetyt RA-arvot ajonopeudella 40 km/h. Puoliperävaunun RA-arvot ovat alhaisia, RA pienempi tai hieman suurempi kuin yksi. Täysperävaunun RA-arvot ovat pienempiä kuin kääntötelin kaksoiskaistanvaihtokokeessa käytetyillä ajonopeuksilla, tämän voidaan

tulkita johtuvan täysperävaunun aliohjautuvuudesta. Pystykiertymäkulmanopeuksista ja sivuttaiskiihtyvyyksistä määritetyt RA-arvot ovat samankaltaisia.

Kuvassa 28 on esitetty 84 t HCT-puutavarayhdistelmän ajoneuvoyksiköiden, ts. täysperävaunun kääntötelin (KT) ja täysperävaunun (TPV) RA-arvot määritettyinä ajoneuvoyksiköiden pystykiertymäkulmanopeuksista ajonopeuden funktiona. Kuvassa 29 on esitetty saman ajoneuvoyhdistelmän RA-arvot ajoneuvoyksiköiden sivuttaiskiihtyvyyksistä määritettynä. Molempien kuvien kuvaajissa on esitetty myös arvoihin sovitettu lineaarinen regressiokäyrä.



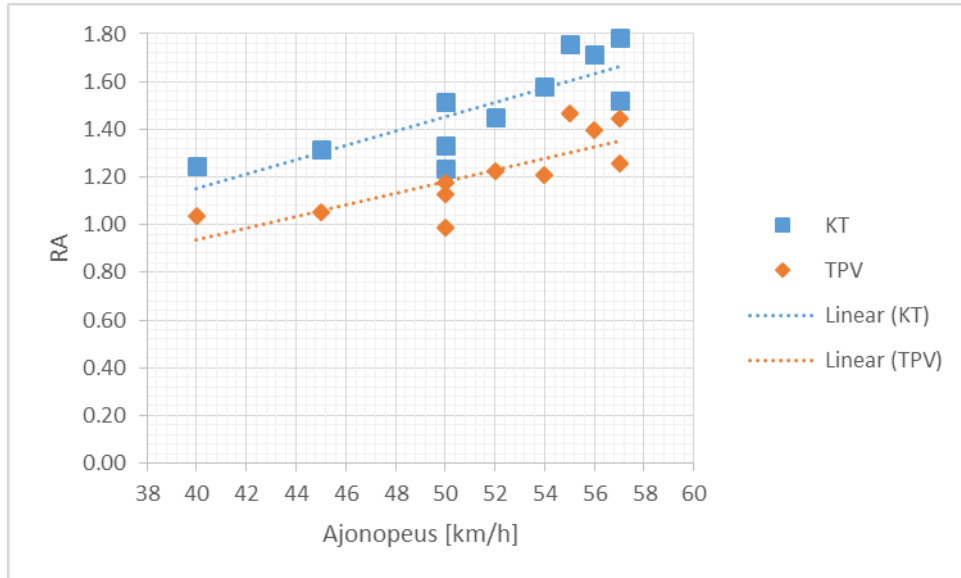
Kuva 28. 84 t HCT-puutavarayhdistelmän ajoneuvoyksiköiden RA-arvot ISO 3888-1 standardin mukaisessa kaksoiskaistanvaihtokokeessa määritettynä ajoneuvoyksiköiden pystykiertymäkulmanopeuksista.



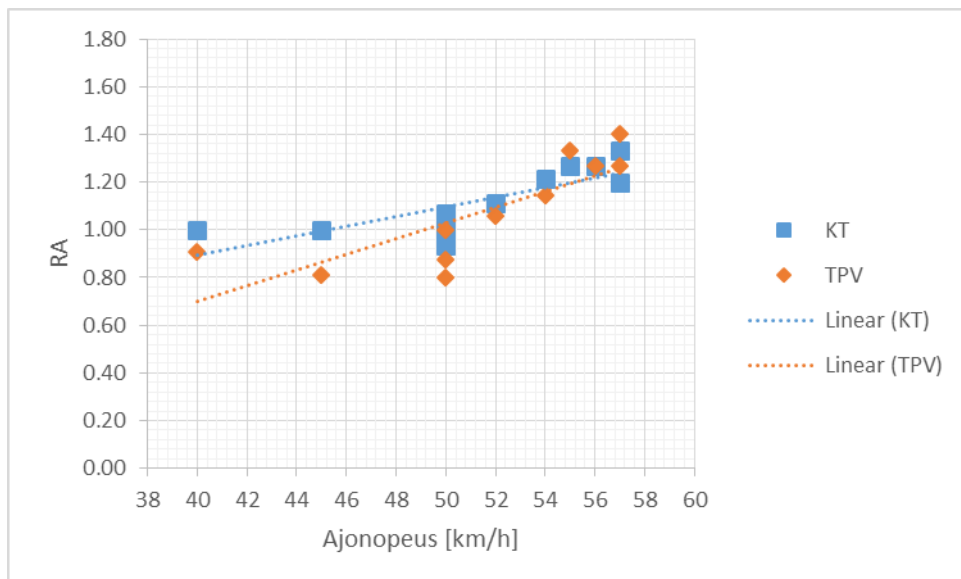
84 t HCT-puutavarayhdistelmän ajoneuvoyksiköiden RA-arvot ISO 3888-1 standardin mukaisessa kaksoiskaistanvaihtokokeessa määritettynä ajoneuvoyksiköiden sivuttaiskiihtyvyyksistä.

Kuvien 28 ja 29 kuvaajista havaitaan, että täysperävaunun kääntötelin vahvistuskertoimet ovat pääosin suurempia kuin täysperävaunun. Sivuttaiskiihtyvyydestä määritetyissä RA-arvoissa on hajontaa enemmän kuin pystykiertymäkulmanopeuksista määritetyissä RA-arvoissa, mutta RA-arvot ovat samassa suuruusluokassa.

Kuvassa 30 on esitetty 76 t kuormatun puutavarayhdistelmän ajoneuvoyksiköiden, ts. täysperävaunun kääntötelin (KT) ja täysperävaunun (TPV) RA-arvot määritettyinä ajoneuvoyksiköiden pystykiertymäkulmanopeuksista ajonopeuden funktiona. Kuvassa 31 on esitetty saman ajoneuvoyhdistelmän RA-arvot ajoneuvoyksiköiden sivuttaiskiihtyvyyksistä määritettynä. Molempien kuvien kuvaajissa on esitetty myös arvoihin sovitettu lineaarinen regressiokäyrä.



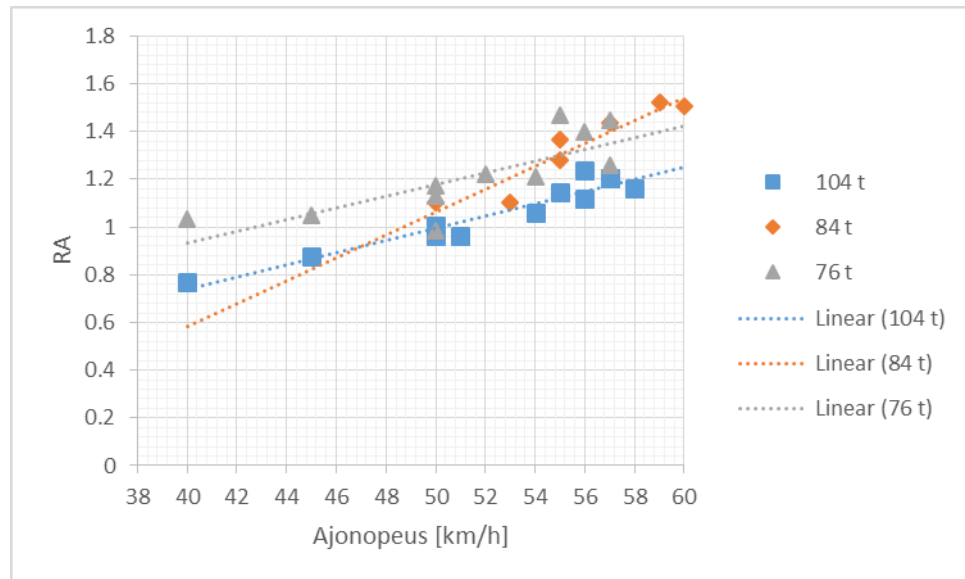
Kuva 29. 76 t kuormatun puutavarayhdistelmän ajoneuvoyksiköiden RA-arvot ISO 3888-1 standardin mukaisessa kaksoiskaistanvaihtokokeessa määritettynä ajoneuvoyksiköiden pystykiertymäkulmanopeuksista



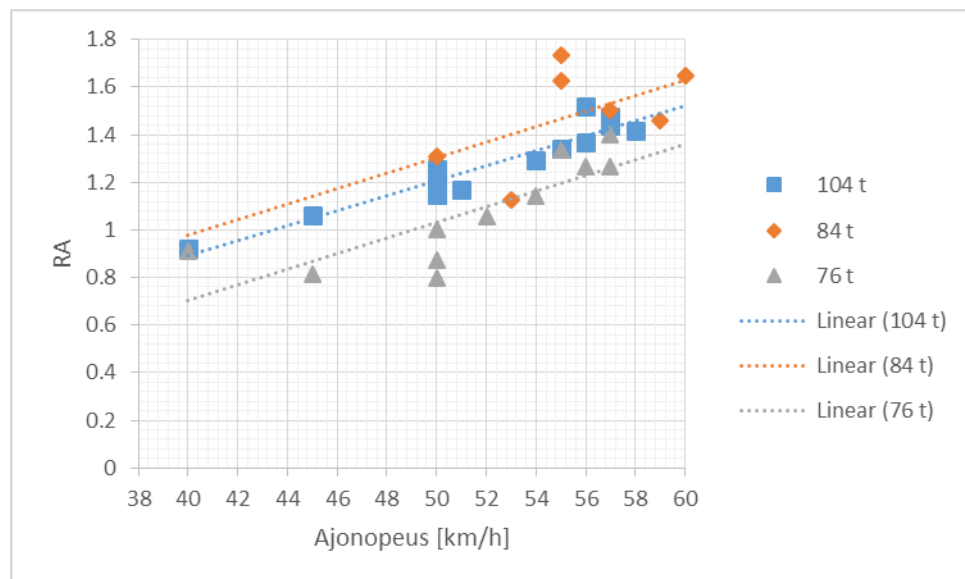
Kuva 30. 76 t kuormatun puutavarayhdistelmän ajoneuvoyksiköiden RA-arvot ISO 3888-1 standardin mukaisessa kaksoiskaistanvaihtokokeessa määritettynä ajoneuvoyksiköiden sivuttaiskihtiävyyksistä.

Kuvien 30 ja 31 kuvaajista havaitaan, että täysperävaunun kääntötelin vahvistuskertoimet ovat suurempia kuin täysperävaunun, kuten HCT-ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa. Sivuttaiskihtiävyydestä määritetyt RA-arvot ovat pääsääntöisesti matalampia kuin pystykiertymäkulmanopeuksista määritetyt RA-arvot.

Kuvan 32 kuvaajassa on esitetty 104 t HCT-puutavarayhdistelmän (104 t), 84 t HCT-puutavarayhdistelmän (84 t) ja 76 t kuormatun puutavarayhdistelmän (76 t) RA-arvot ajonopeuden funktiona kaksoiskaistanvaihtokokeessa määritettyinä pystykiertymäkulmanopeuksista. Kuvassa 33 on esitetty vastaavat RA-arvot sivuttaiskihtiävyyksistä määritettyinä.



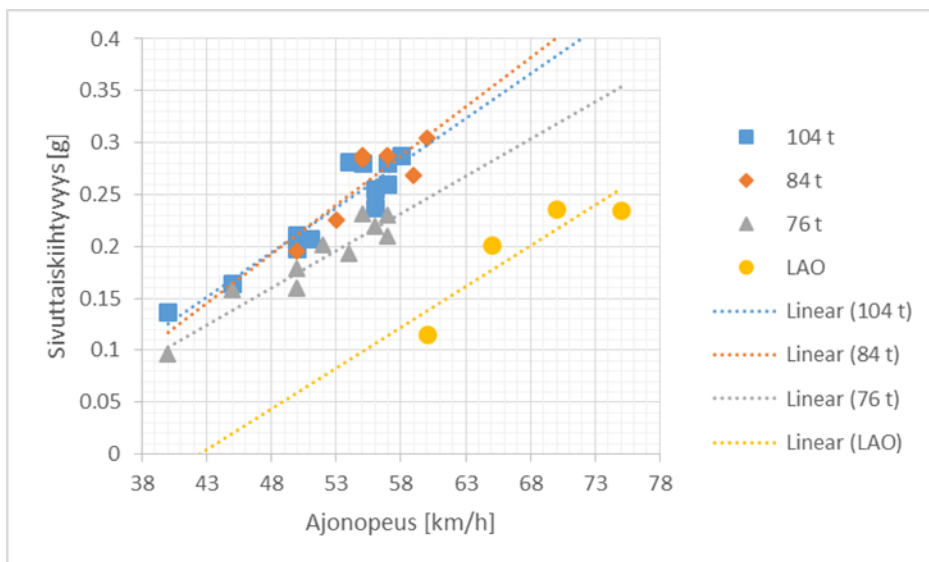
Kuva 31. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien RA-arvot ISO 3888-1 standardin mukaisessa kaksoiskaistanvaihtokokeessa pystykiertymäkulmanopeudesta määritettyinä.



Kuva 32. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien RA-arvot ISO 3888-1 standardin mukaisessa kaksoiskaistanvaihtokokeessa sivuttaiskihtiävyydestä määritettyinä.

Kuvista 32 ja 33 havaitaan, että pystykiertymäkulmanopeudesta määritettynä 104 HCT-puutavarayhdistelmän RA-arvot ovat matalampia kuin muilla ajoneuvoyhdistelmillä kaksoiskaistanvaihtokokeessa käytetyillä nopeuksilla. Pystykiertymäkulmanopeuksista määritetyt RA-arvot ovat kohtalaisia, $RA < 1,5$ kaikilla ajoneuvoyhdistelmillä. 76 t kuormatun puutavarayhdistelmän sekä 84 t HCT-puutavarayhdistelmän RA-arvot ovat hyvin samankaltaisia. Sivuttaiskiihtyvyydestä määritetyt RA-arvot ovat matalimpia 76 t kuormatulla puutavarayhdistelmällä.

Kuvassa 34 on esitetty 104 t HCT-puutavarayhdistelmän (104 t), 84 t HCT-puutavarayhdistelmän (84 t), 76 t kuormatun puutavarayhdistelmän (76 t) ja kuormaamattoman 76 t kappaletavarayhdistelmän (LAO) viimeisen akselin sivuttaiskiihtyvyyden huippuarvot kaksoiskaistanvaihtokokeessa ajonopeuden funktiona.



Kuva 33. Ajoneuvoyhdistelmien viimeisten akselien suurimmat sivuttaiskiihtyvyydet ISO 3888-1 standardin mukaisessa kaksoiskaistanvaihtokokeessa.

Kuvasta 34 voidaan havaita, että HCT-puutavarayhdistelmien viimeisten akselien suurimmat sivuttaiskiihtyvyydet ovat samankaltaisia kaksoiskaistanvaihtokokeessa. 76 t kuormatun puutavarayhdistelmän viimeisen akselin sivuttaiskiihtyvyyden huippuarvot ovat pienempiä kuin HCT-puutavarayhdistelmillä. Kuormaamattoman kappaletavarayhdistelmän viimeisen akselin sivuttaiskiihtyvyyden huippuarvot ovat huomattavasti pienempiä kuin kuormatuilla ajoneuvoyhdistelmillä.

5.2.2 Jarrutuskokeet

Jarrutuskokeet aloitettiin kaksoiskaistanvaihtokokeiden suorittamisen jälkeen kello 14:29. Kuormattujen ajoneuvoyhdistelmien ensimmäiset jarrutukset suoritettiin jarrutusradan pinnan puhdistamiseksi ja ajoneuvoyhdistelmien jarrujen lämmittämiseksi, ts. ajoneuvoyhdistelmän ensimmäisellä jarrutuskerralla ei pyritty suurimpaan mahdollisimpaan hidastuvuuteen, jolloin jarrutusmatkoissa oli suurta hajontaa ajoneuvoyhdistelmien välillä.

Käytettyjen ajoneuvoyhdistelmien jarrujärjestelmissä oli eroja, joiden havaittiin vaikuttavan jarrutustehoon sekä hidastuvuuteen. Puutavarayhdistelmistä 104 t HCT-puutavarayhdistelmä sekä 76 t kuormattu puutavarayhdistelmä olivat varustettu levyjarruin kaikilla akseleilla. 84 t HCT-puutavarayhdistelmän vetoauto oli varustettu rumpujarruilla ja perävaunu levyjarruilla. Kuormaamaton kappaletavarayhdistelmä oli varustettu levyjarruin kaikilla akseleilla. Jarrut olivat kaikissa yhdistelmissä sähköohjatut (EBS, Electronic Brake System).

Mittauslaitteistoilla varustettujen ajoneuvoyhdistelmien pysähtymismatkat ja hidastuvuuden huippuarvot on määritetty mitatusta datasta, muiden ajoneuvojen/ajoneuvoyhdistelmien pysähtymismatkat on arvioitu silmämääräisesti. Taulukkoon 2 on koottu ensimmäisten jarrutusten aloitusnopeudet, pysähtymismatkat, näistä määritetty keskimääräinen hidastuvuus sekä hidastuvuuden huippuarvot.

Taulukko 2. Ensimmäisten jarrutuskokeiden jarrutusmatkat, niistä määritetyt keskimääräiset hidastuvuudet ja hidastuvuuden huippuarvot.

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

Taulukossa 2 esitetyistä tuloksista havaitaan, että kuormatuilla ajoneuvoyhdistelmillä ei suoritettu täysjarrutusta, ts. keskimääräinen hidastuvuus oli huomattavasti pienempi kuin

jarrutuksen aikana esiintynyt hidastuvuuden huippuarvo. P&A Trans Oy:n auto ei jarruttanut pysähdyksiin saakka, joten jarrutusmatkan ja keskimääräisen hidastuvuuden määrittäminen oli mahdotonta. Lapin ammattiopiston kuormaamattomalla ajoneuvoyhdistelmällä suoritettu täysjarrutus on ollut tehokas.

Toiset jarrutukset aloitettiin kello 14:41 ja ensimmäisenä ajoneuvoyhdistelmänä jarrutuksen suoritti Ketosen Kuljetus Oy:n 104 t HCT-puutavarayhdistelmä ajonopeudesta 60 km/h. Täysjarrutuksen aikana kuormankiinnitys ei ollut riittävä pitämään puutavarannippuja paikoillaan, jolloin ajoneuvoyhdistelmän kuljettaja keskeytti täysjarrutuksen ja pysäytti ajoneuvoyhdistelmän hitaasti.

Nippujen siirtymisen vuoksi jarrutuskokeet 104 t HCT-puutavarayhdistelmällä sekä 76 t puutavarayhdistelmällä lopetettiin. P&A Trans Oy:n kuljettaja oli halukas jatkamaan jarrutuskokeita, joten jarrutuskoe suoritettiin 84 t HCT-puutavarayhdistelmällä nopeuksilla 40 ja 48 km/h. Nopeudella 48 km/h suoritettua jarrutuksen jälkeen havaittiin myös 84 t HCT-puutavarayhdistelmän nippujen siirtyneen, joten jarrutuskokeet lopetettiin myös kyseisen ajoneuvoyhdistelmän osalta. Toisten jarrutusten aloitusnopeudet, jarrutusmatkat, keskimääräiset hidastuvuudet sekä hidastuvuuksien huippuarvot on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Toisien jarrutuskokeiden jarrutusmatkat, niistä määritetyt keskimääräiset hidastuvuudet sekä hidastuvuuden huippuarvot.

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

Taulukon 3 tuloksista havaitaan, että täysjarrutuksen keskeyttämisestä huolimatta 104 t HCT-puutavarayhdistelmän keskimääräinen jarrutushidastuvuus oli suurempi kuin ensimmäisellä jarrutuskerralla. Jarrutuksen alkupuolella saavutettu 0,71 g:n hidastuvuuden huippuarvo on erittäin korkea hidastuvuuden arvo kuormatulle ajoneuvoyhdistelmälle. 84 t HCT-puutavarayhdistelmän keskimääräinen jarrutushidastuvuus oli hieman yli 0,2 g pienempi kuin kuormaamattoman

ajoneuvoyhdistelmän keskimääräinen hidastuvuus ensimmäisessä jarrutuksessa. Keskimääräinen jarrutushidastuvuus on myös lähellä hidastuvuuden huippuarvoa, joten yhdistelmällä on jarrutettu tehokkaasti pysähtymiseen saakka.

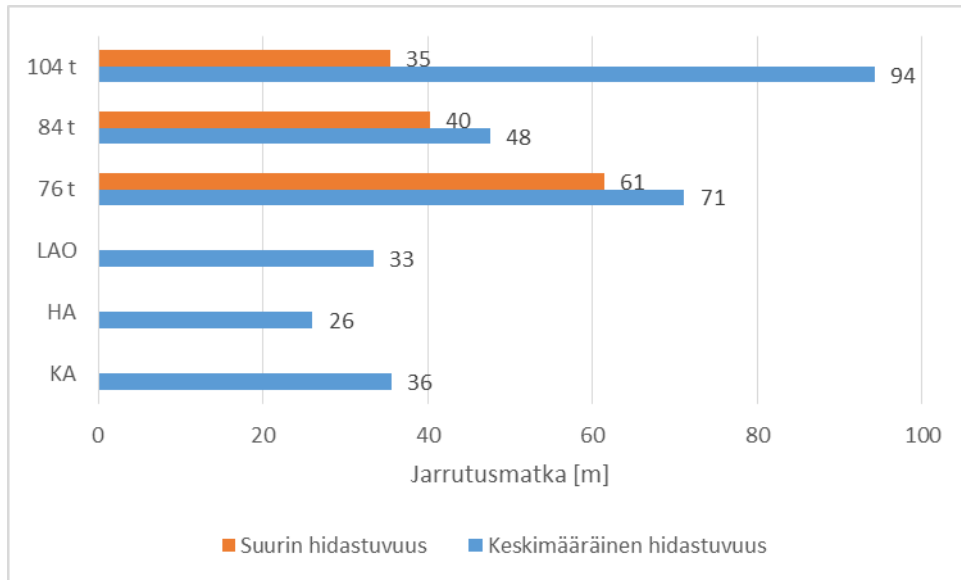
Jarrutuskoe suoritettiin kuormattujen puutavarayhdistelmien lisäksi kuormaamattomalla kuorma-autolla sekä henkilöautolla. Tulokset on koottu taulukkoon 4.

Taulukko 4. Kuorma-auton ja henkilöauton silmämääräiset jarrutusmatkat ja niistä määritetyt keskimääräiset hidastuvuudet.

Ajoneuvo	Aloitusnopeus [km/h]	Jarrutusmatka [m]	Keskim. hidastuvuus [g]
Kuorma-auto	81	36	0,717
Kuorma-auto	82	38	0,696
Henkilöauto	80	26	0,968
Henkilöauto	80	26	0,968

Taulukon 4 tuloksista havaitaan, että henkilöauton jarrutushidastuvuus on ollut erittäin hyvä. Myös kuormaamattoman kuorma-auton hidastuvuus on ollut hyvällä tasolla, mutta huomattavaa on se, että Lapin ammattiopiston kuormaamattoman kappaletavarayhdistelmän jarrutushidastuvuus oli hieman suurempi kuin kuormaamattoman kuorma-auton.

Kuvaan 35 on koottu eri ajoneuvojen/ajoneuvoyhdistelmien laskennalliset jarrutusmatkat 80 km/h nopeudesta. Jarrutusmatkat on määritetty saavutetuille keskimääräisille hidastuvuuksille sekä suurimmille hidastuvuuksille niiden ajoneuvoyhdistelmien osalta, jotka olivat varustettu mittauslaitteistolla. Jarrutuskokeissa koettujen ongelmien vuoksi tuloksia voidaan pitää suuntaa-antavina.



Kuva 34. Ajoneuvojen sekä ajoneuvoyhdistelmien laskennalliset jarrutusmatkat määritettynä keskimääräiselle sekä suurimmalle hidastuvuudelle nopeudesta 80 km/h.

Kuvasta 35 havaitaan, että keskimääräisellä hidastuvuudella 104 t HCT-puutavarayhdistelmän jarrutusmatka on huomattavasti suurempi kuin jarrutusmatka suurimmalla hidastuvuudella. Myös 76 t kuormatun puutavarayhdistelmän laskennalliset jarrutusmatkat ovat huomattavan suuria niin keskimääräisellä kuin suurimmalla hidastuvuudella. Kyseisten ajoneuvoyhdistelmien pitkät laskennalliset jarrutusmatkat johtuvat kuitenkin siitä, ettei ajoneuvoyhdistelmillä suoritettu tehokasta ja pysähtymiseen saakka kestävää täysjarrutusta. 84 t HCT-puutavarayhdistelmällä voitiin suorittaa kaksi täysjarrutusta ja ero laskennallisessa jarrutusmatkassa keskimääräisen ja suurimman hidastuvuuden välillä on 8 metriä. HCT-puutavarayhdistelmien suurimmista hidastuvuuksista määritetyt jarrutusmatkat ovat 104 t HCT-puutavarayhdistelmällä 2 metriä ja 84 t HCT-yhdistelmällä 7 metriä pidempiä kuin kuormaamattoman kappaletavarayhdistelmän keskimääräisestä hidastuvuudesta määritetty jarrutusmatka.

6 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa on selvitetty kahden HCT-yhdistelmän ajovakautta ja liikkuvuutta ajoseurannan ja muiden kokeellisten menetelmien avulla. Tätä varten yhdistelmät varustettiin kattavalla ajodynamiikan mittausjärjestelmällä. Toinen yhdistelmä oli Ketosen Kuljetus Oy:n 104 t kokonaismassan HCT-yhdistelmä ja toinen P&A Trans Oy:n 84 t kokonaismassan HCT-yhdistelmä. Suljetun alueen ajokokeissa käytettiin vertailuyhdistelminä tavanomaisia täysperävaunuyhdistelmiä. Niistä Ketosen Kuljetuksen 76 tonnin kokonaismassan yhdistelmä varustettiin ajodynamiikan mittausjärjestelmällä. Ajokoetapahtumien yhteydessä kyseistä yhdistelmää mitattiin myös normaalissa jokapäiväisessä käytössä.

Yhdistelmien liikkuvuus tyydytti tavanomaisen liikennöinnin vaatimukset. Hetkellistä, mutta voimakasta, luistoa esiintyi Ketosen Kuljetuksen 104 t HCT yhdistelmässä liikkeellelähdoissä ja satunnaisesti Magneettimässä yhdistelmän ollessa kuormattu. Kuormaamattomana ei yhdistelmässä havaittu luistoa. P&A Trans Oy:n 84 t HCT-yhdistelmässä luistoa havaittiin enimmäkseen yhdistelmän ollessa kuormaamaton. Tällöin hetkellistä, voimakasta luistoa esiintyi liikkeelle lähdoissä ja satunnaisesti maantienopeudessa. Kuormattuna hetkellistä luistoa esiintyi lähinnä metsäautoteillä liikkeellelähdoissä.

Ajovakautta maantiellä tarkasteltiin määrittämällä ajodynamiikan mittaussuureiden jakaumia ja liiketilän vahvistumista taajuustasossa. Jakaumista havaittiin, että Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmässä liiketilasuureet jakautuivat täysperävaunun osalta laajemmalle alueelle kuin P&A Transin HCT-yhdistelmässä. Liiketilasuureiden jakautumista tarkasteltiin myös määrittämällä 0,1 g ja 0,2 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitysten lukumäärät ajettuun matkaan suhteutettuna. Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmässä 0,1 ja 0,2 g sivuttaiskiihtyvyydet esiintyivät suurimmassa osassa mittausjaksoista useammin kuin P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmässä.

Taajuusvasteanalyysissä P&A Trans Oy:n HCT-yhdistelmän vahvistumiskertoimet olivat pääasiassa pienemmät kuin Ketosen Kuljetuksen HCT-yhdistelmässä.

Suljetun alueen ajokokeissa suoritettiin jarrutuskokeita ja väistökokeita. Talvella 104 t HCT-yhdistelmän jarrutusmatkat olivat n. 10 % 76 t yhdistelmän jarrutusmatkoja pidemmät. Pitävän kitkaolosuhteen ajokokeissa täysimittaista jarrutusta ei voitu suorittaa 104 t HCT-yhdistelmällä kuorman liikkumisen vuoksi. Varotoimenpiteenä muilla yhdistelmillä kokeissa ei suoritettu voimakkainta jarrutusta. P&A Transin HCT-yhdistelmällä saavutettiin kuitenkin 0,53 g keskimääräinen hidastuvuus. Väistökokeet talviolosuhteissa jäivät vajavaisiksi koeradon polannepinnan pettämisen vuoksi. Tehtiin kuitenkin havainto, että 104 t HCT-yhdistelmässä vetoauton teli pyrkii ensimmäisen menettämään sivuttaispidon. Syyskuun kaksoiskaistanvaihtokokeissa yhdistelmät suoriutuivat hyvin. Pystykiertymäkulmanopeuksista määritetyissä RA-arvoissa 104 t HCT-yhdistelmä oli vakain ja 84 t HCT-yhdistelmä ja 76 t yhdistelmä olivat yhtä vakaita. Sivuttaiskiihtyvyyksistä määritetyillä RA-arvoilla arvioiden vakain yhdistelmä oli 76 t yhdistelmä. 104 t yhdistelmä oli sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvoilla toiseksi vakain ja 84 t HCT-yhdistelmä epävakain.

7 LÄHTEET

ISO 3888-1 (1999) Passenger cars – Test track for a severe lane-change manoeuvre – Part 1: Double lane-change. ISO: 5 s.

LIITTEET

Liite 1. Mittausjärjestelmien komponentit.

Liite 2. Mittausjärjestelmien rakenne.

Liite 3. 12.3.2016 ajokokeiden pöytäkirja.

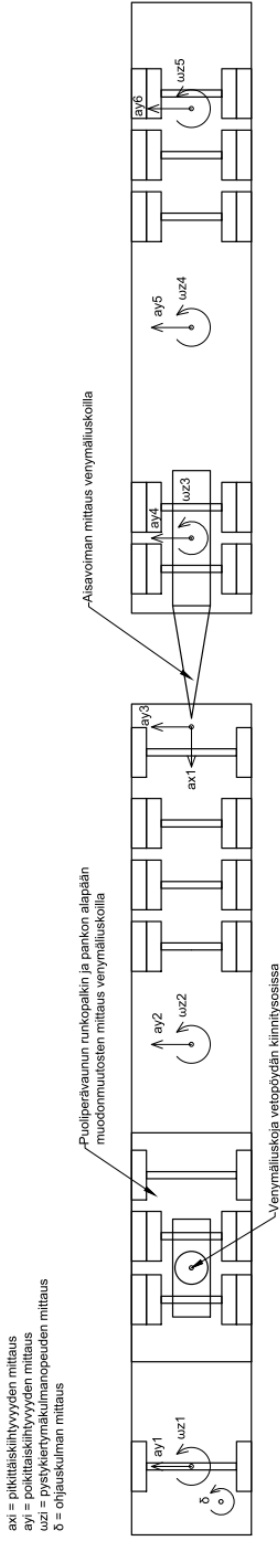
Liite 4. 23.9.2016 ajokokeiden pöytäkirja.

Liite 5. Taajuusvasteanalyysin tulokset.

Liite 1. Mittausjärjestelmän komponentit.

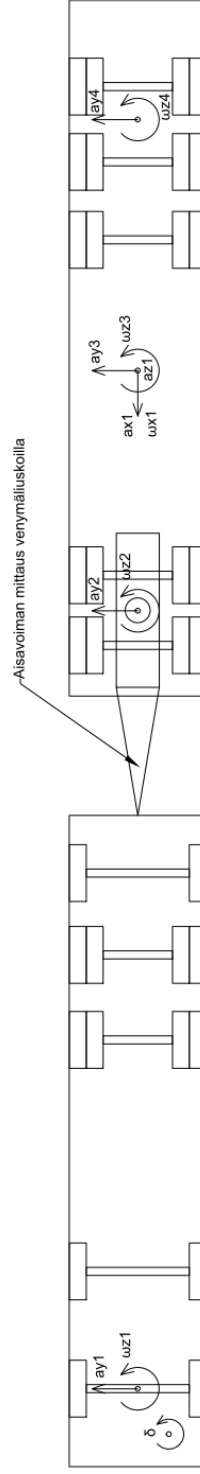
Komponentti	Merkki ja tyyppi	Käyttökohde
Ketosen Kuljetus ja P&A Trans HCT-yhdistelmät		
Tiedonkeruuyksikkö	MoTeC ACL	Tiedonkeruu
A/D-muuntimet	MoTeC SVIM	Anal. signaalin muunnos CAN-väyläviestiksi
CAN-väylätoistimet	ADFweb HD67405-E7R-YYA	CAN-viestin tunnisteiden muuttaminen, CAN- väylien yhdistäminen
Liiketila-anturit	Bosch DRS-MM3.R7k	Liiketilän mittaus
Liiketila-anturi	Bosch IMU-MM5.10	Liiketilän mittaus P&A Trans HCT-yhd. tpv:n painopisteessä
Kiihtyvyyssanturi	DIS Sensors QG40-KAXY-1,7- AV-K	Ketosen Kuljetus HCT- yhd. ppv:n viim. akselin kohta
Vaijeritoiminen lineaarianturi	UniMeasure JX-PA-40-N11-11S- 32N	Ohjaukskulman mittaus
Venymäliuskat	Kyowa KFG-5-120-D16- 11L3M3S	Muodonmuutosten/voimien mittaus
GPS	MoTeC GPS-L10	
Tietokone	Compulab Fitlet-GI-C64-D4- M256S	
Ketosen Kuljetus vertailuyhdistelmä 76-t		
Vaijeritoiminen lineaarianturi	UniMeasure JX-PA-80-N11-11S- 323	Ohjaukskulman mittaus
Kulmanopeus-anturit	Silicon Sensing Systems CRS 03- 02S	
Kiihtyvyyssanturit	Analog Devices ADXL203	
GPS	MoTeC GPS-L10	
Mittalaitteiston runko (ajokokeet 03/2016)	National Instruments NI cRIO- 9014	
Mittausmoduulit (ajokokeet 03/2016)	National Instruments NI cRIO- 9215	
Tiedonkeruu & mittaus (ajokokeet 09/2016)	MoTeC C185 mittaava näyttö	

Liite 2. Mittausjärjestelmien rakenne.



Ketosen Kuljetus 104 t HCT

$ax1$ = pitkittäskiihtyvyyden mittaus
 $ay1$ = poikittäskiihtyvyyden mittaus
 $az1$ = pystykiihtyvyyden mittaus
 $\omega x1$ = kierymäkulmanopeuden mittaus pitkittäksellin (x) ympäri (roll velocity)
 $\omega z1$ = pystykierymäkulmanopeuden mittaus (yaw velocity)
 δ = ohjauksulman mittaus



P&A Trans 84 t HCT

Liite 3. 12.3.2016 ajokokeiden pöytäkirja.

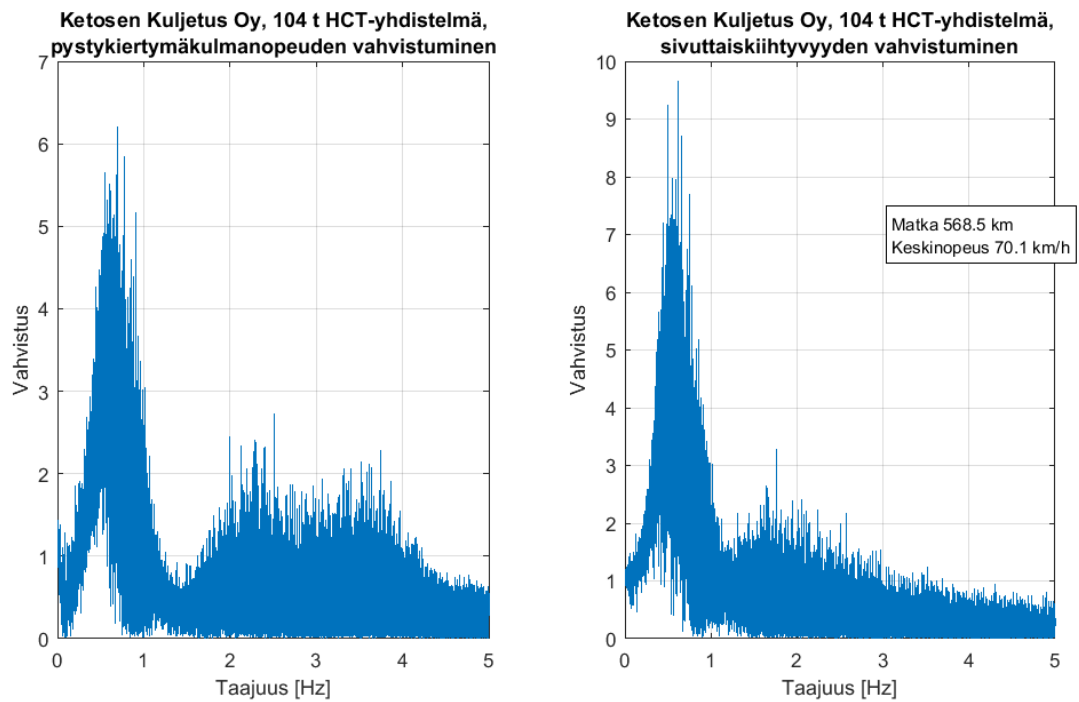
12.3.2016

testi	auto	klo	nopeus	kommentti	
väistö	104	8:45	20	tolanne alkoi hiouta	
	104	8:54	28 28	ok	
	76	9:01	37 37	ok	
	104	9:05	35	ok, vaihti epätasainen vetäviltä häviöä pit	
	76	9:08	34	ok	
	104	9:12	35	ok	
	jarru	104	9:20	49	45m
		76	9:25	48	51m
		104	9:28	55	68m
		76	9:32	56	64m
104		9:36	55	73m	
76 76		9:45	60	70m	
704		9:49	59	83m	
76		9:56	59	65m	
isä kahvatas testi		104	10:00	59	71m
		76	10:08	0-50	
	104	10:11	0-50		
käänne	76	10:14		ok	
	104	10:36			
	104	10:43		penkkua, puskep, luvat päällä	
	104	10:48		ei lykkäys testi	
1 kääntä väistö	76	14:04	40	ok	
	76	14:11	43	ok	
	104	14:58	40	ok	
	104	15:03	43	ok	

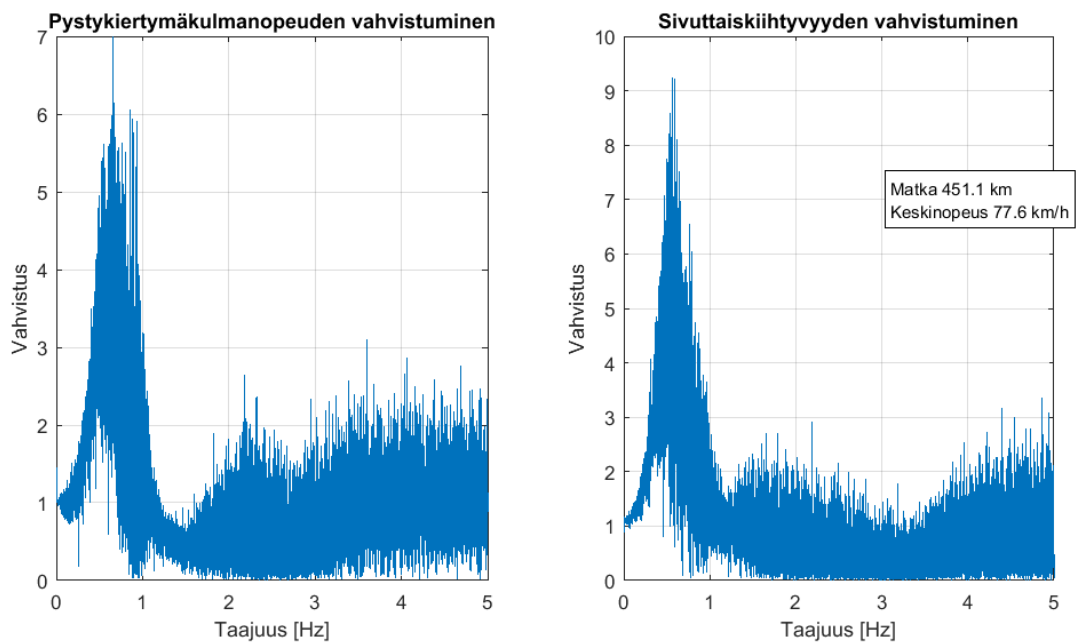
Liite 4. 23.9.2016 ajokokeiden pöytäkirja.

Mittauspöytäkirja HCT-ajoneuvoyhdistelmien kesäolosuhteiden ajokokeista				
Paikka:	Ivalon lentokenttä			
Aika:	21.9.2016 klo 09:30-1700			
Pöytäkirjan laatija:	Miro-Tommi Tuutijärvi			
Käytetyt ajokokeet:	ISO 3888-1 standardin mukainen kaksoiskaistanvaihtokoe (DLC) 2.55 metriä leveälle ajoneuvolle Jarrutuskoe aloitusnopeudesta pysähdyksiin			
Olosuhteet:	Mittauspäivän lämpötila +9...+10 astetta, pilvistä ja ajoittaista tiikusadetta. Tuulennopeus 0...2 m/s.			
Auto	Koe	Kello	Nopeus	Kommentit
SISU	DLC	9:57	40 km/h	Hyväksytty
SISU	Jarrutus	10:04	60 km/h	
Ketosen 104 t	DLC	10:08	40 km/h	Hyväksytty
P&A Trans 84 t	DLC	10:12	40 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 2
Ketosen 76 t	DLC	10:14	40 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 2
Lapin ammattiopisto	DLC	10:17	40 km/h	Hyväksytty
Ketosen 104 t	DLC	10:19	45 km/h	Hyväksytty
P&A Trans 84 t	DLC	10:22	45 km/h	1. ja 2. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 76 t	DLC	10:25	45 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 1
Lapin ammattiopisto	DLC	10:27	45 km/h	Hyväksytty
Ketosen 104 t	DLC	10:29	50 km/h	Hyväksytty
P&A Trans 84 t	DLC	10:32	50 km/h	1. ja 2. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 76 t	DLC	10:36	50 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 1
Lapin ammattiopisto	DLC	10:38	50 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 104 t	DLC	10:40	50 km/h	1. vaiheen keila kaatui x 1
P&A Trans 84 t	DLC	10:43	50 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 76 t	DLC	10:45	50 km/h	Hyväksytty
Ketosen 76 t	DLC	11:07	50 km/h	Hyväksytty
Ketosen 76 t	DLC	11:20	52 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 76 t	DLC	11:25	54 km/h	Hyväksytty
Ketosen 76 t	DLC	11:29	56 km/h	1. ja 3. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 76 t	DLC	11:33	57 km/h	Hyväksytty
Ketosen 76 t	DLC	11:37	57 km/h	1. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 76 t	DLC	11:39	55 km/h	1. vaiheen keilan kosketus x 1
Ketosen 104 t	DLC	13:07	50 km/h	3. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 104 t	DLC	13:09	51 km/h	3. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 104 t	DLC	13:12	54 km/h	Hyväksytty
Ketosen 104 t	DLC	13:16	56 km/h	3. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 104 t	DLC	13:20	56 km/h	2. vaiheen keilan kosketus x 1
Ketosen 104 t	DLC	13:28	57 km/h	3. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 104 t	DLC	13:31	57 km/h	3. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 104 t	DLC	13:37	58 km/h	3. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 104 t	DLC	13:41	55 km/h	Hyväksytty
P&A Trans 84 t	DLC	13:50	50 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 1
P&A Trans 84 t	DLC	13:53	53 km/h	Hyväksytty
P&A Trans 84 t	DLC	13:56	55 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 1
P&A Trans 84 t	DLC	13:59	57 km/h	Hyväksytty
P&A Trans 84 t	DLC	14:01	59 km/h	1. ja 2. vaiheen keila kaatui x 1
P&A Trans 84 t	DLC	14:04	60 km/h	1. ja 2. vaiheen keila kaatui x 1
P&A Trans 84 t	DLC	14:08	55 km/h	1. vaiheen keila kaatui x 1
P&A Trans 84 t	DLC	14:26	48 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 1
Ketosen 104 t	Jarrutus	14:29	50 km/h	30 metriä
P&A Trans 84 t	Jarrutus	14:31	60 km/h	Ei jarruttanut pysähdyksiin
Ketosen 76 t	Jarrutus	14:35	60 km/h	40 metriä
Lapin ammattiopisto	Jarrutus	14:38	77 km/h	31 metriä
Ketosen 104 t	Jarrutus	14:41	60 km/h	40 metriä, jarrutus lopetettu kesken kuormankiinnityksen pettämisen vuoksi
P&A Trans 84 t	Jarrutus	15:02	40 km/h	12 metriä
P&A Trans 84 t	Jarrutus	15:18	48 km/h	17 metriä
VW Touran	Jarrutus	15:30	80 km/h	26 metriä
VW Touran	Jarrutus	15:32	80 km/h	26 metriä
SISU	Jarrutus	15:37	81 km/h	36 metriä
SISU	Jarrutus	15:40	82 km/h	38 metriä
Lapin ammattiopisto	DLC	16:49	60 km/h	Hyväksytty
Lapin ammattiopisto	DLC	16:52	65 km/h	2. vaiheen keila kaatui x 2
Lapin ammattiopisto	DLC	16:56	70 km/h	1. vaiheen keila kaatui x 1 ja 2. vaiheen keila kaatui x 2
Lapin ammattiopisto	DLC	16:59	75 km/h	1. ja 2. vaiheen keila kaatui x 2

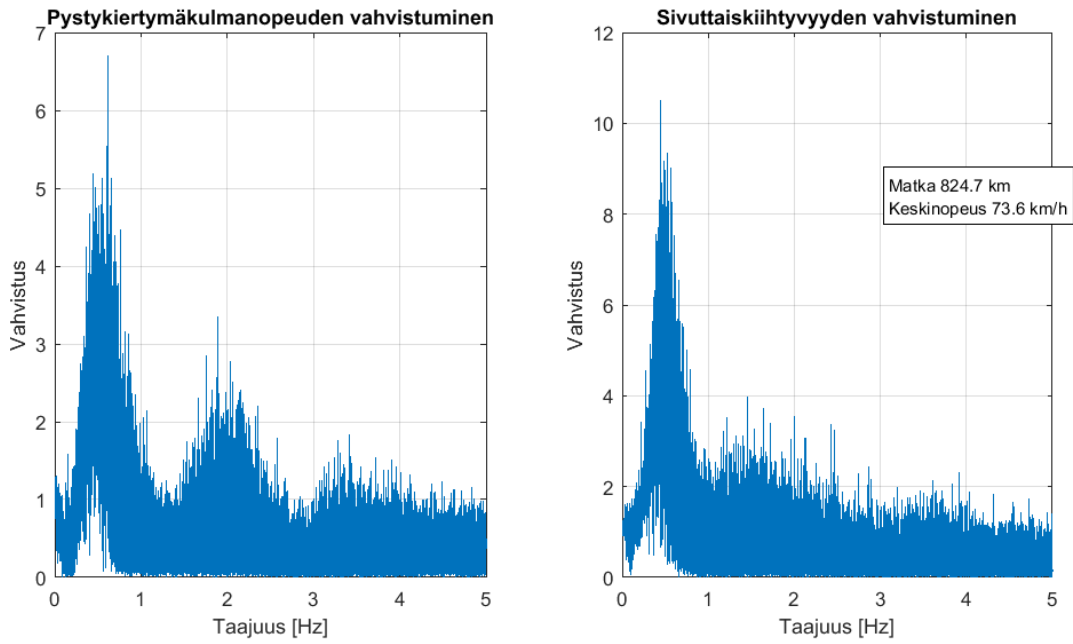
Liite 5. Taajuusvasteanalyysin tulokset.



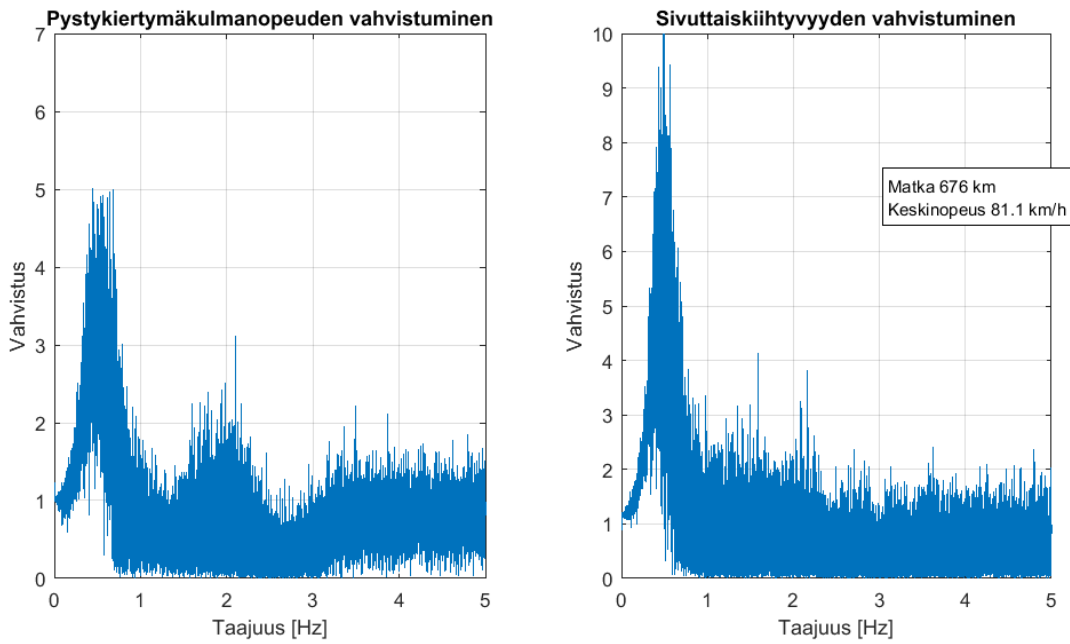
Kuva 1. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä tammikuussa 2016, kaikki ajonopeudet huomioitu.



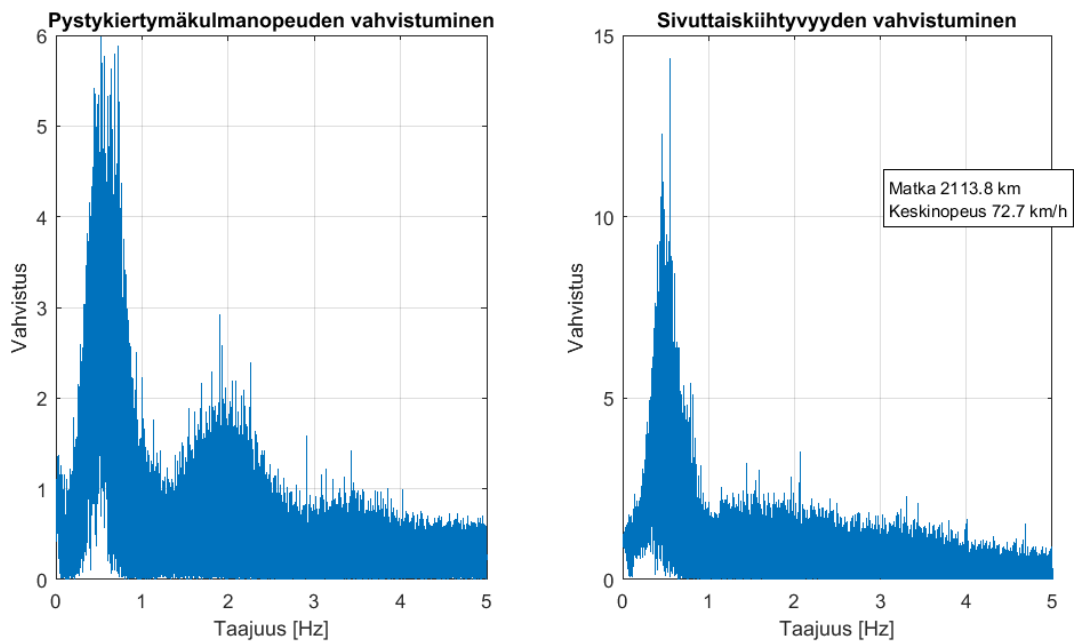
Kuva 2. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä tammikuussa 2016, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



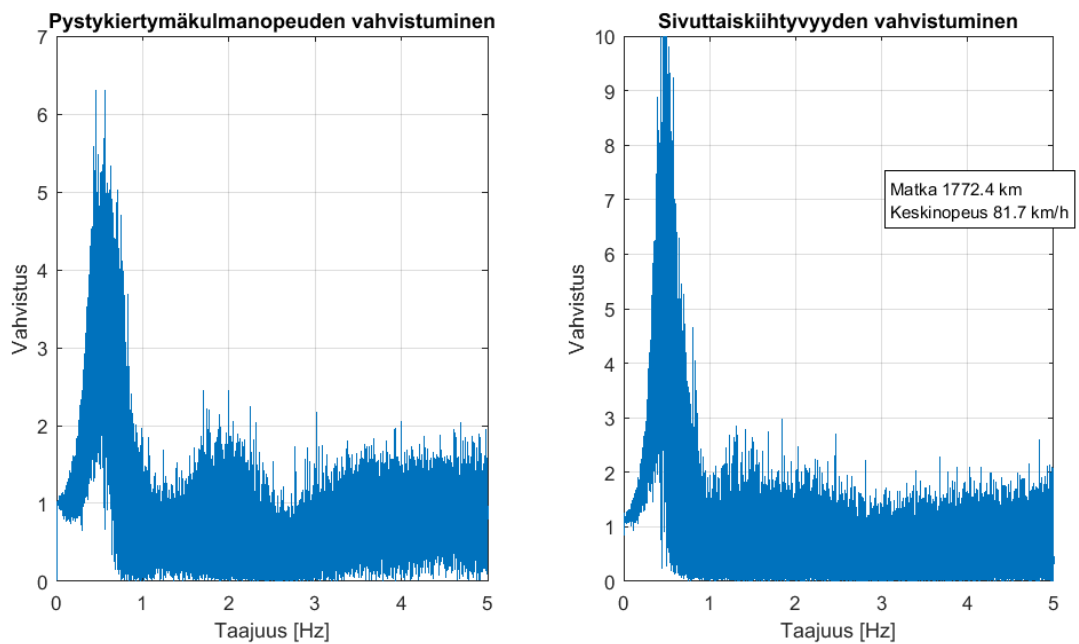
Kuva 3. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä helmikuussa 2016, kaikki ajonopeudet huomioitu.



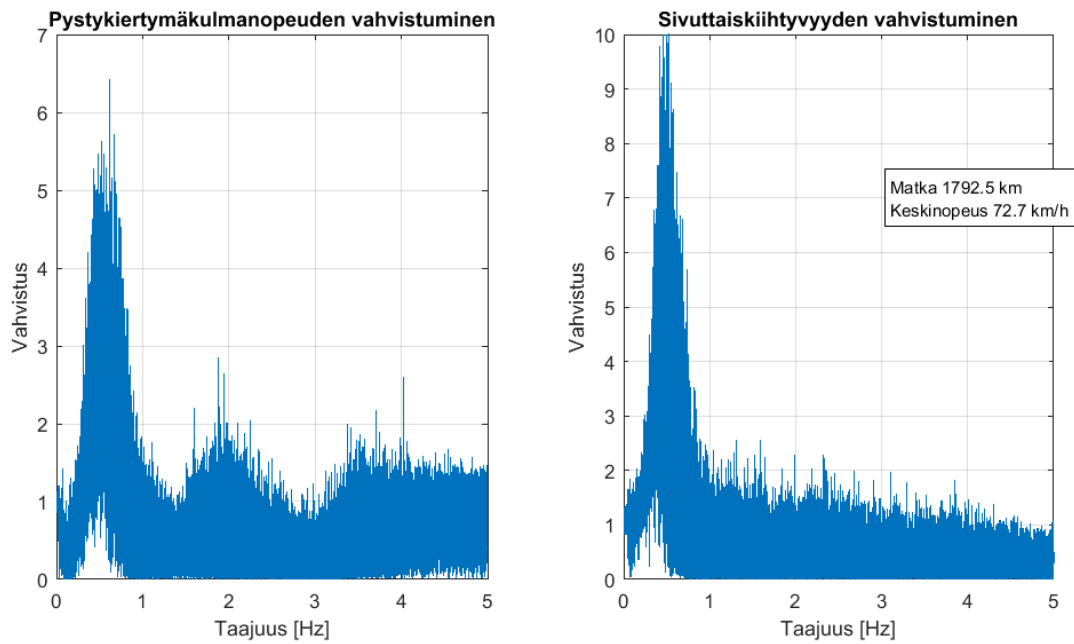
Kuva 4. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä huhtikuussa 2016, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



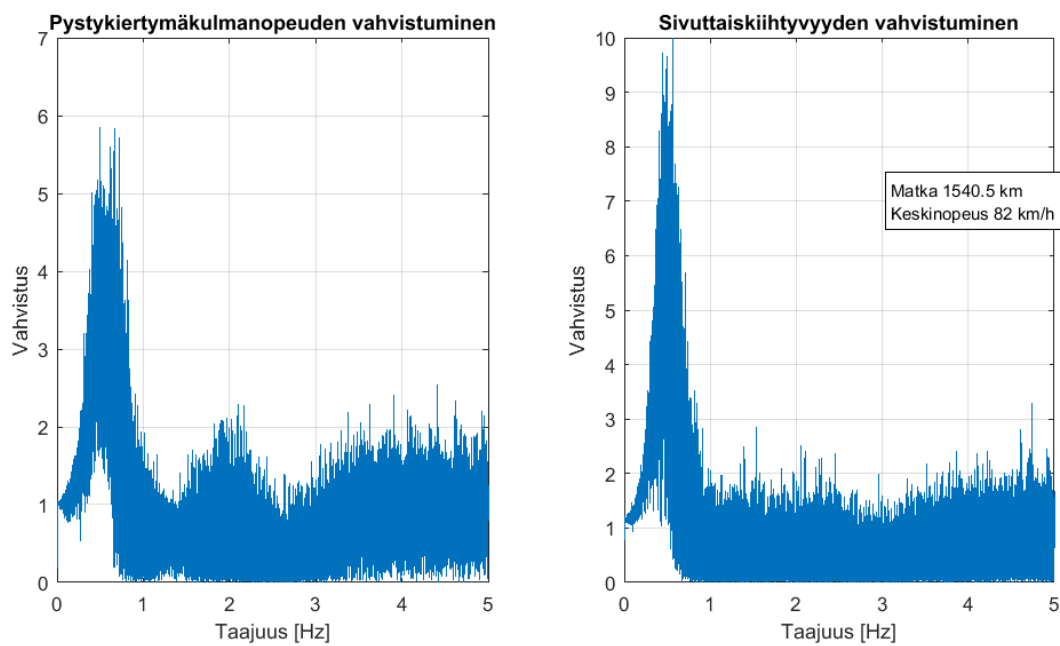
Kuva 5. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä toukokuussa 2016, kaikki ajonopeudet huomioitu.



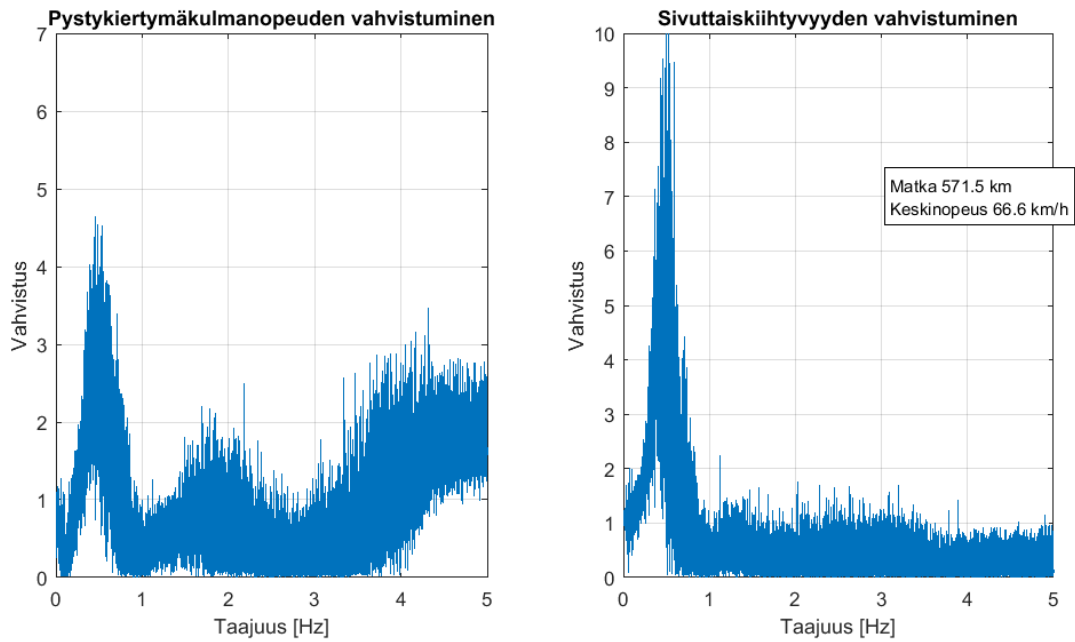
Kuva 6. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä toukokuussa 2016, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



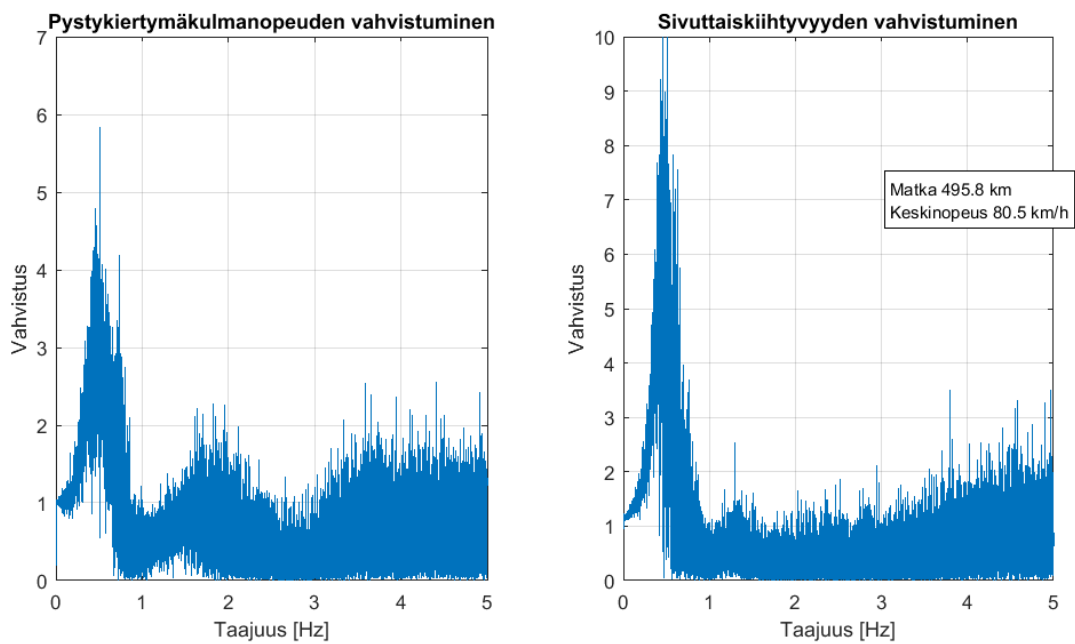
Kuva 7. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä kesäkuussa 2016, kaikki ajonopeudet huomioitu.



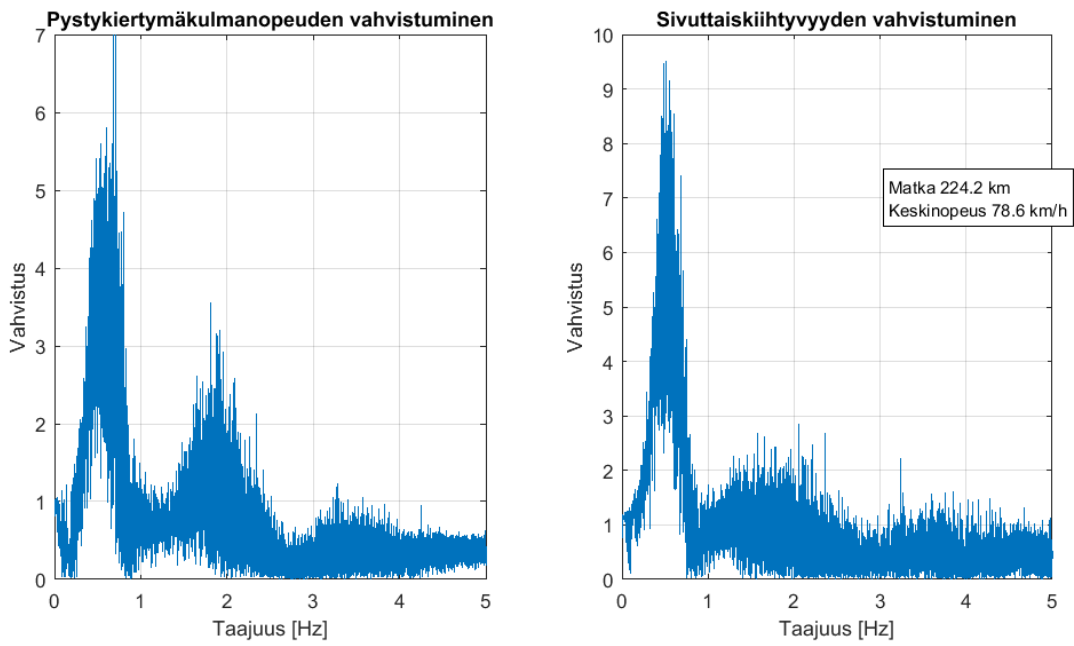
Kuva 8. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä kesäkuussa 2016, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



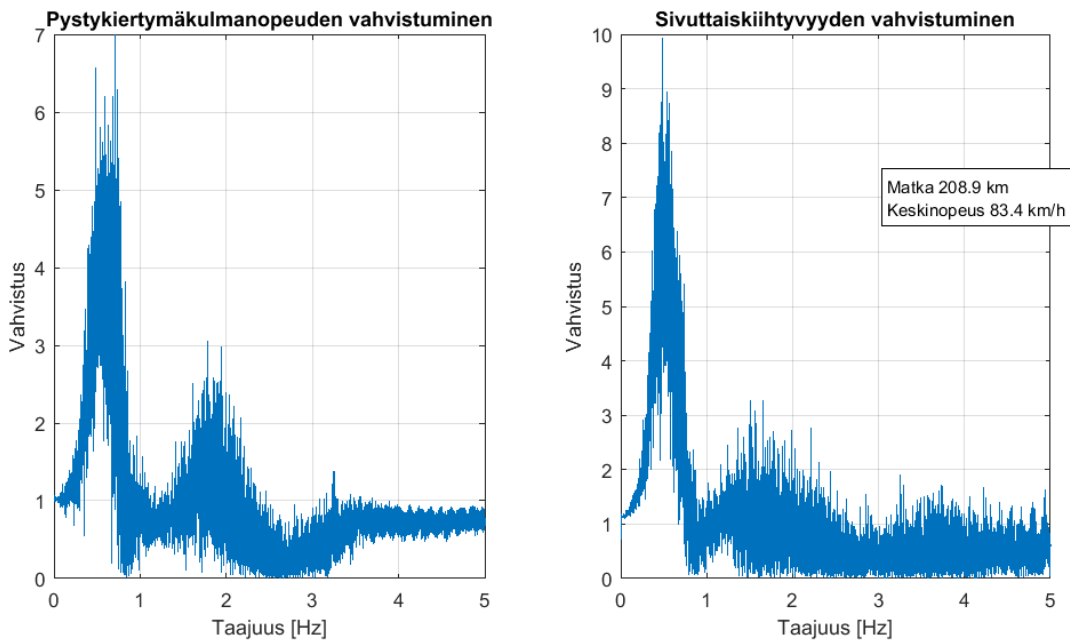
Kuva 9. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä heinäkuussa 2016, kaikki ajonopeudet huomioitu.



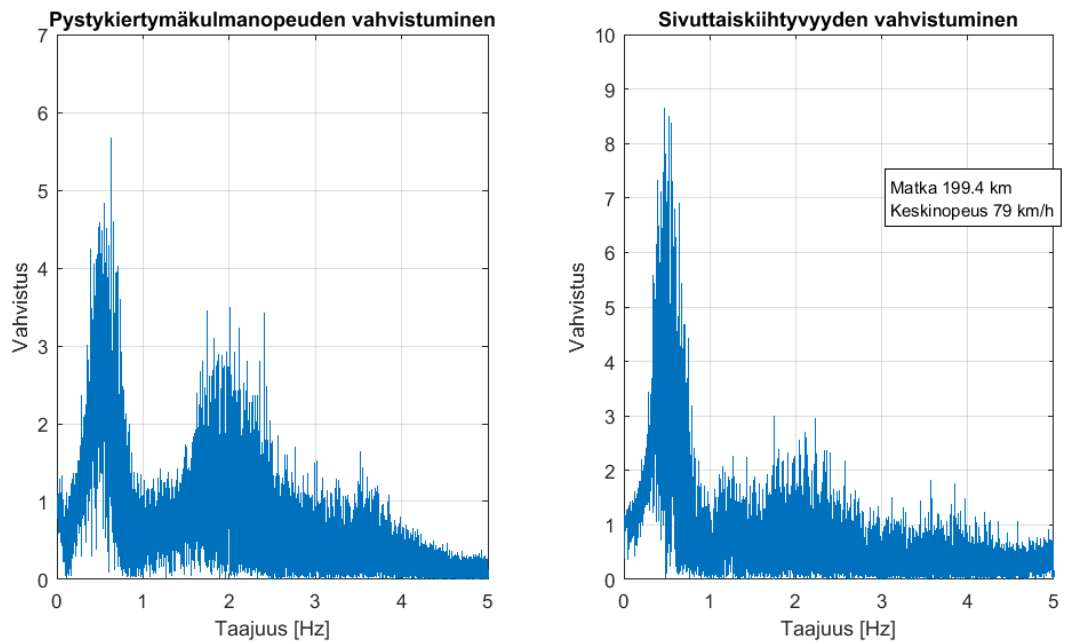
Kuva 10. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä heinäkuussa 2016, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



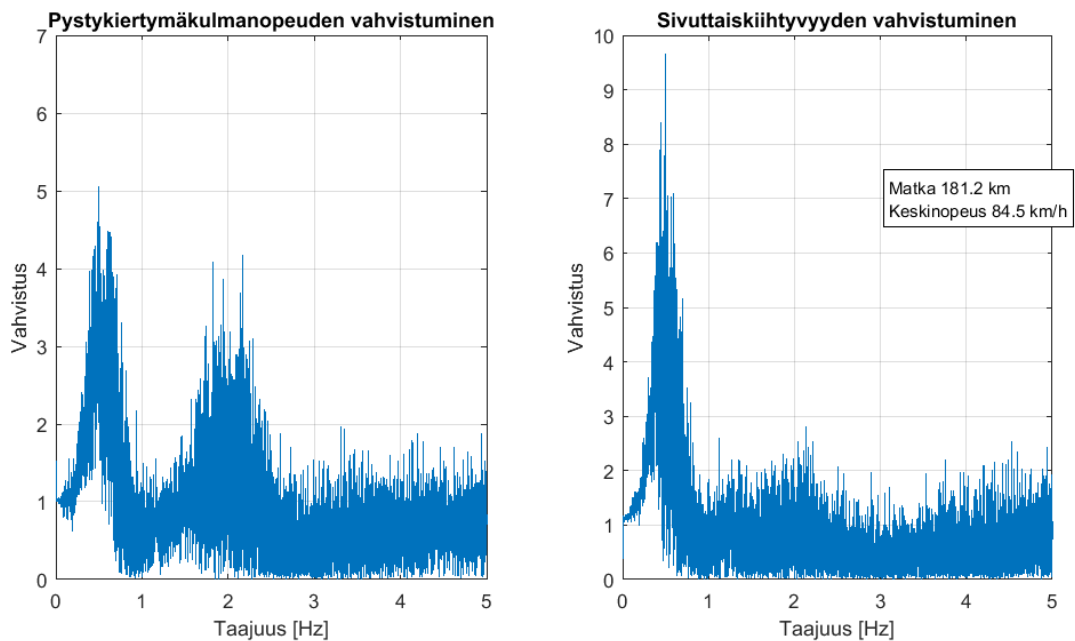
Kuva 11. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä syyskuussa 2016, kaikki ajonopeudet huomioitu.



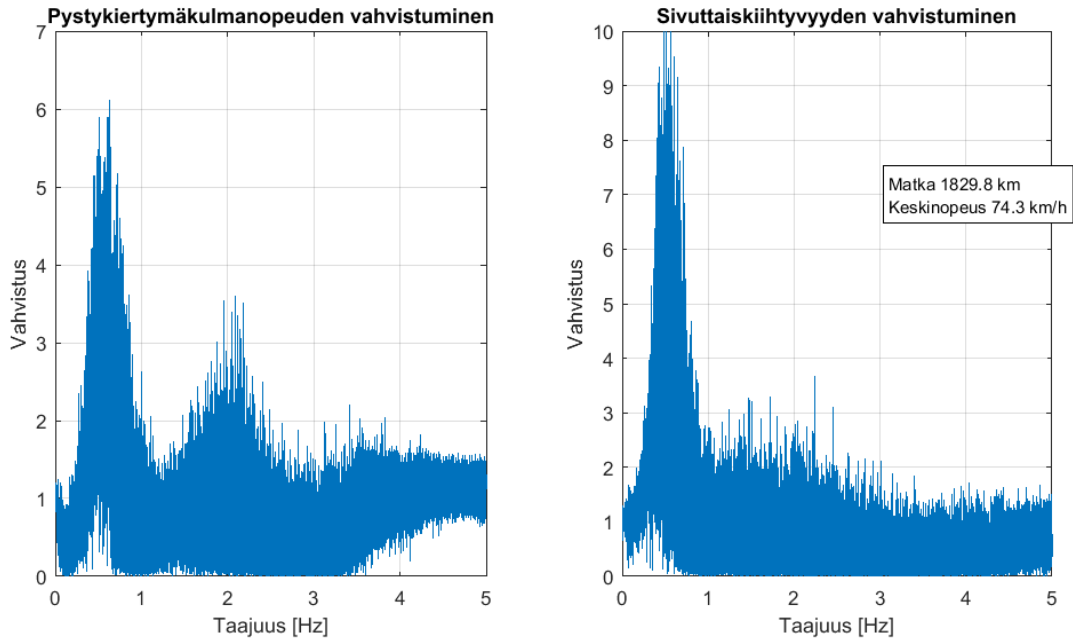
Kuva 12. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä syyskuussa 2016, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



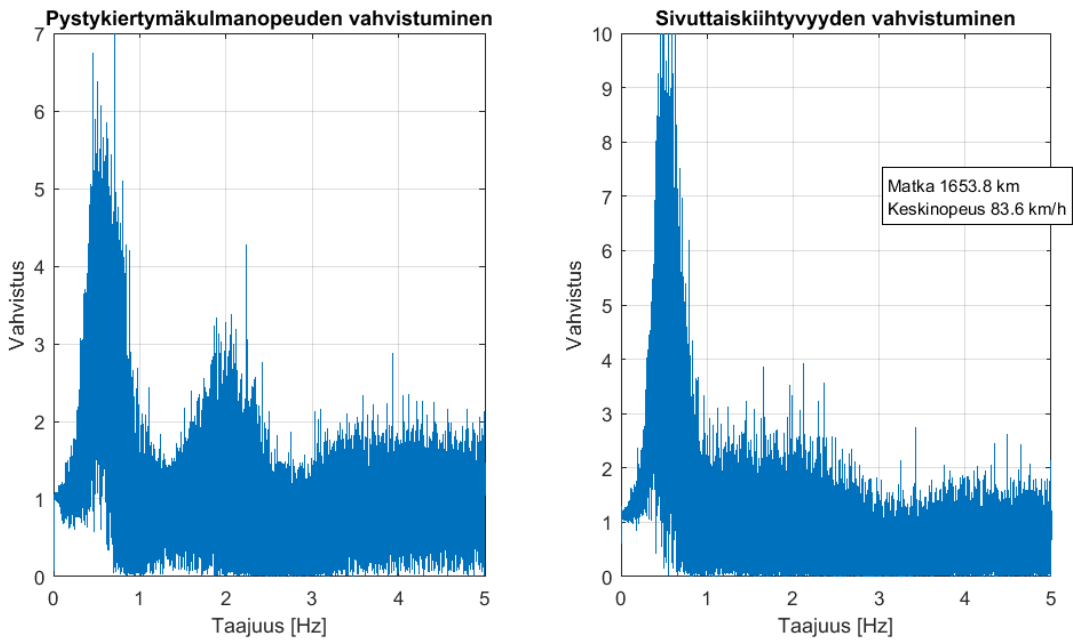
Kuva 13. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä tammikuussa 2017, kaikki ajonopeudet huomioitu.



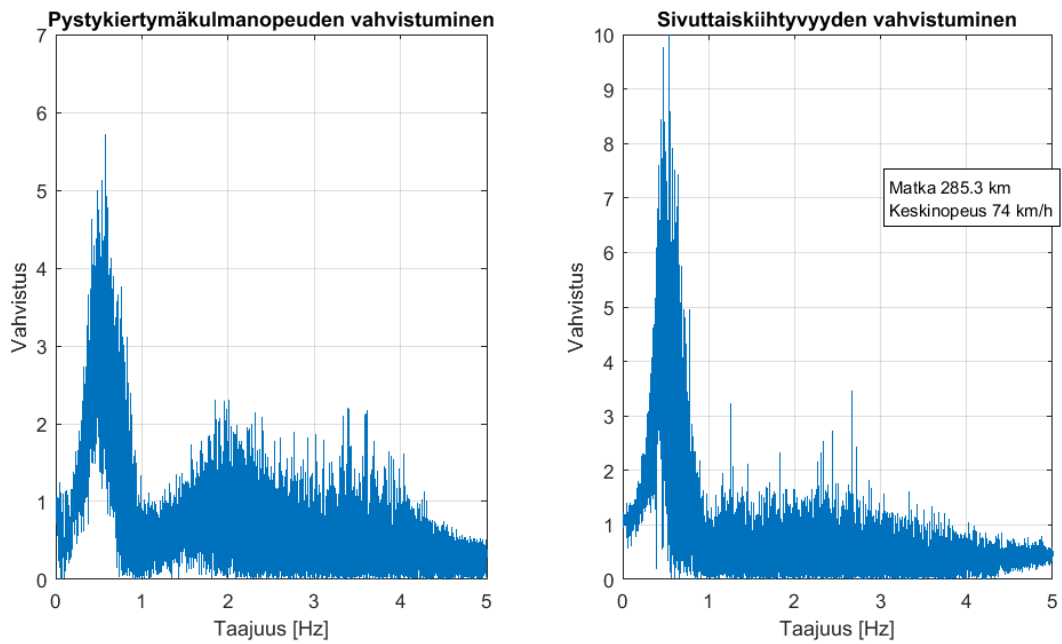
Kuva 14. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä tammikuussa 2017, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



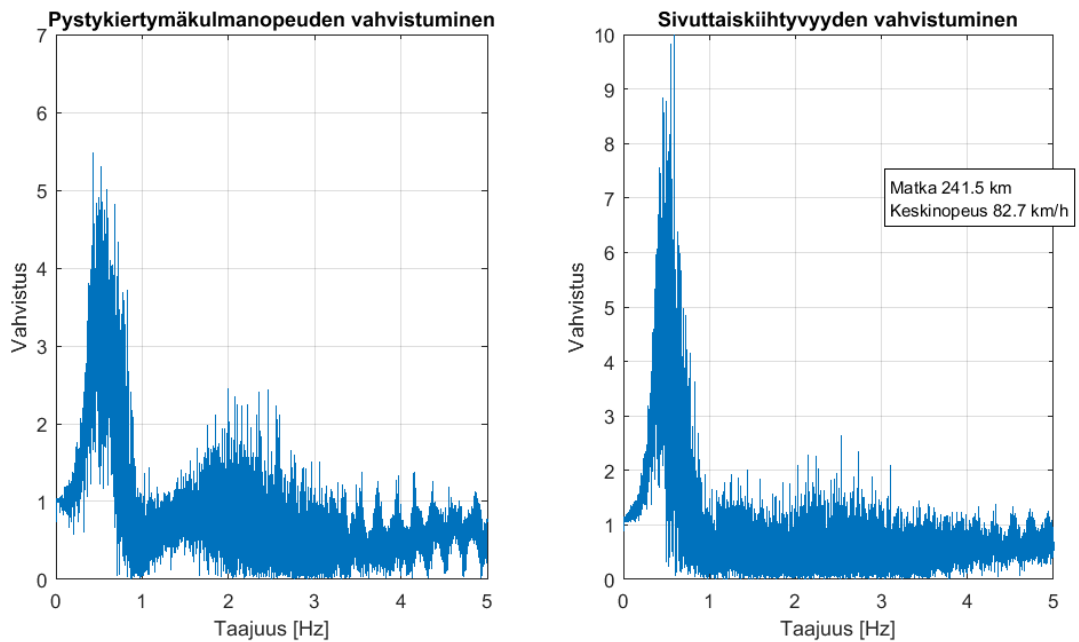
Kuva 15. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä helmikuussa 2017, kaikki ajonopeudet huomioitu.



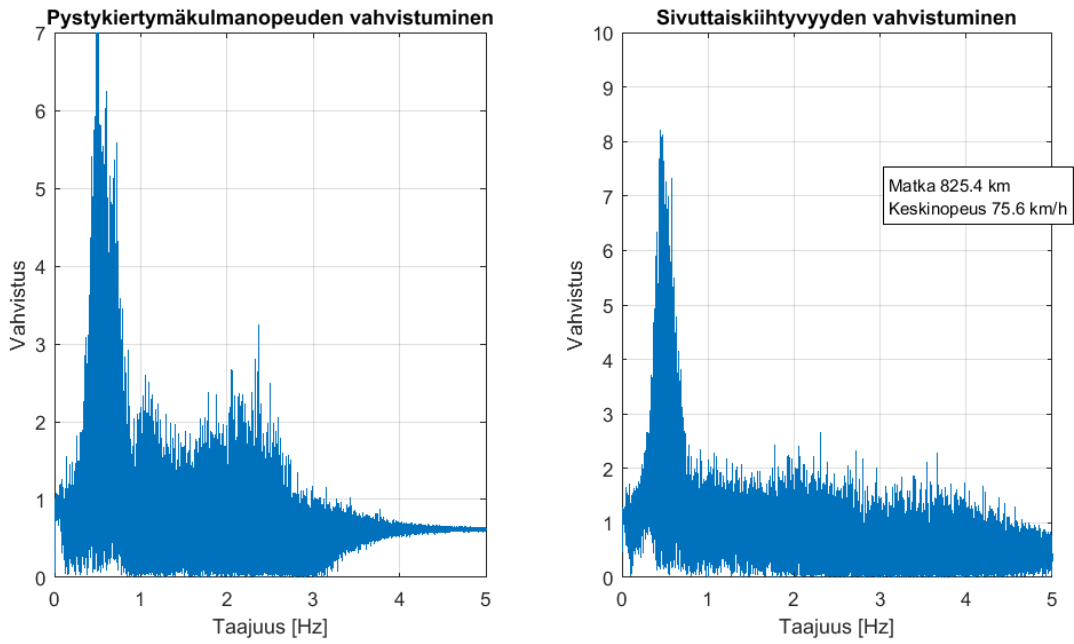
Kuva 16. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä helmikuussa 2017, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



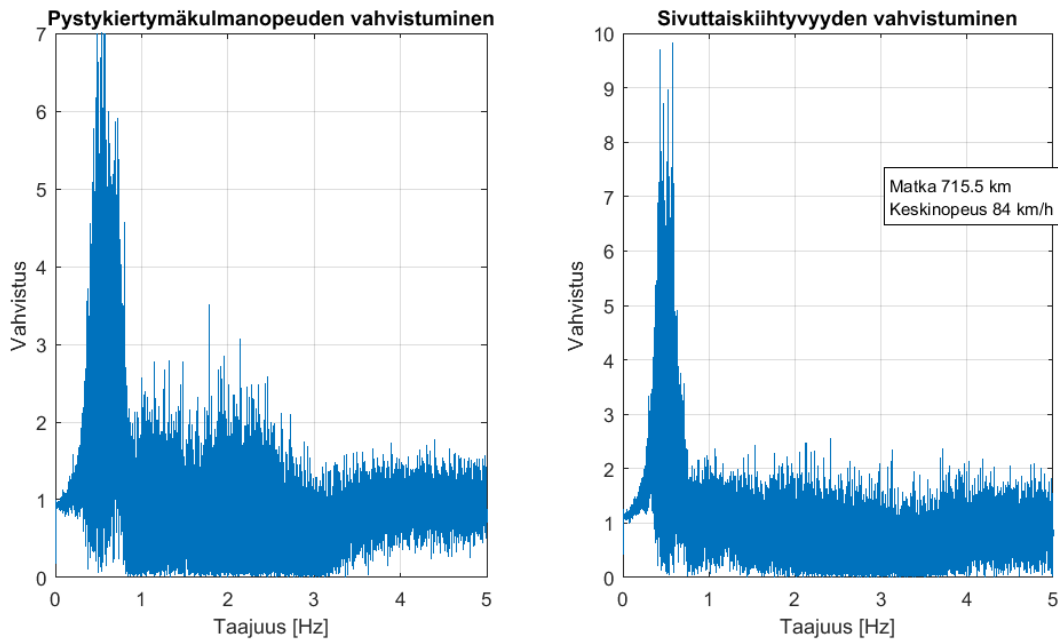
Kuva 17. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä maaliskuussa 2017, kaikki ajonopeudet huomioitu.



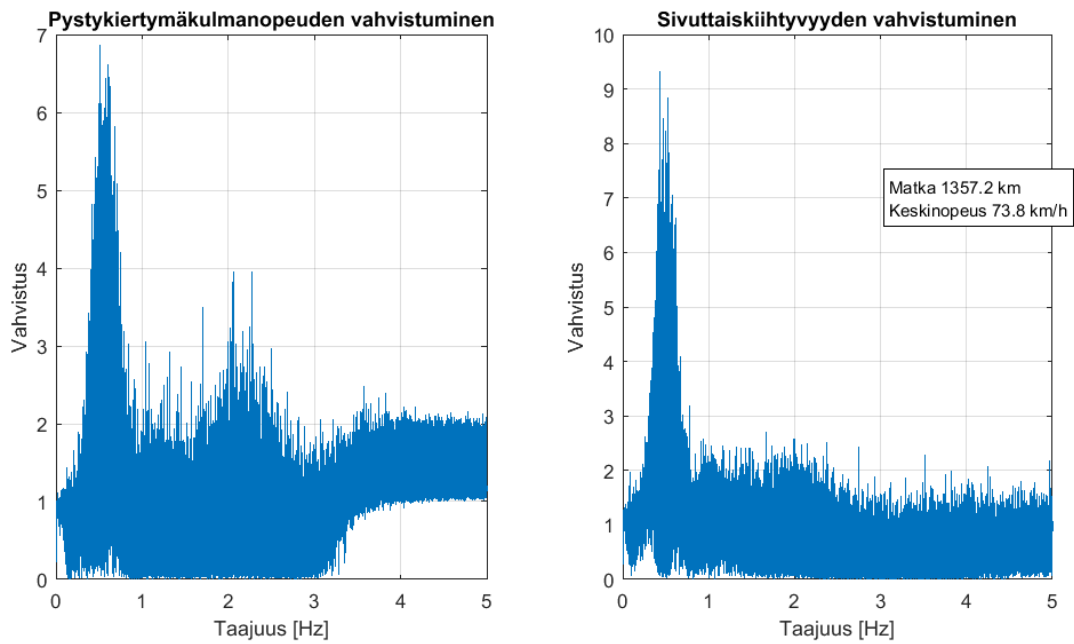
Kuva 18. Ketosen Kuljetus 104 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä maaliskuussa 2017, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



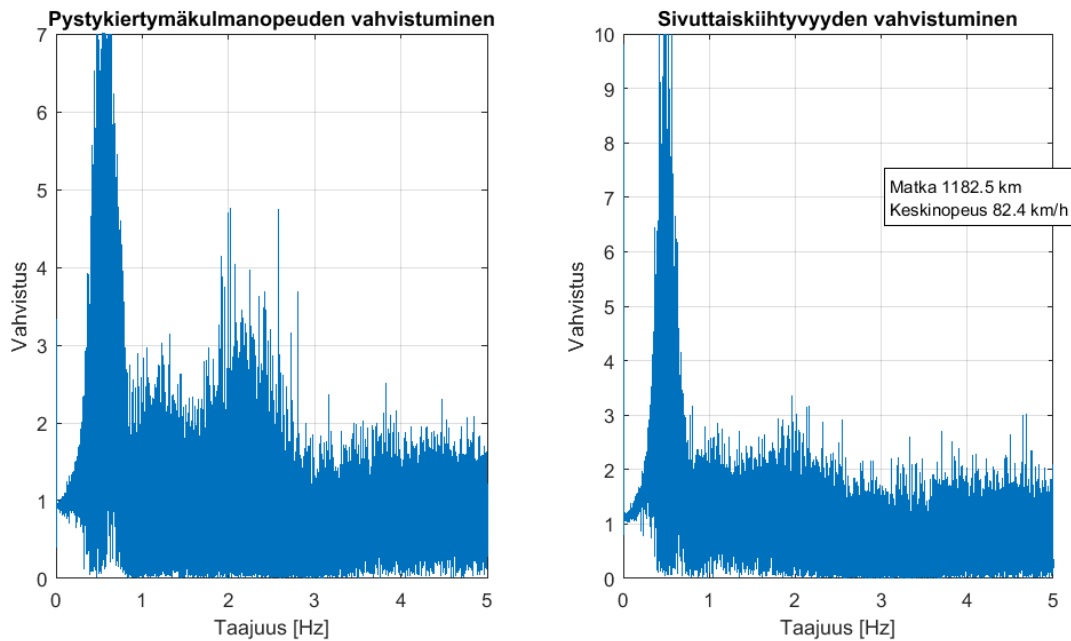
Kuva 19. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä elokuussa 2016 valta- ja kantateillä, kaikki ajonopeudet huomioitu.



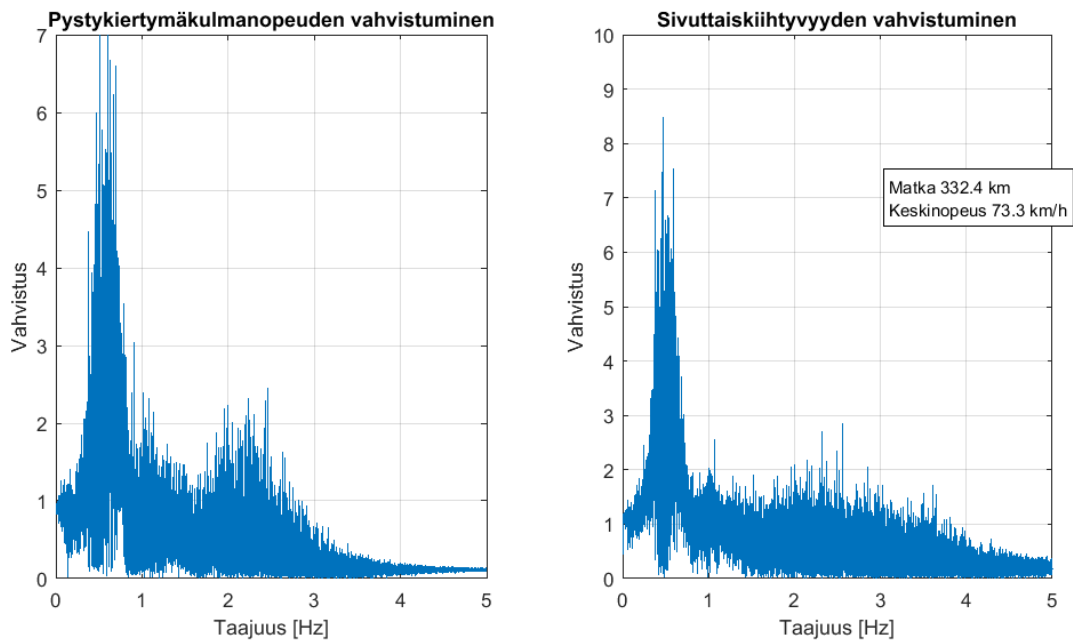
Kuva 20. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä elokuussa 2016 valta- ja kantateillä, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



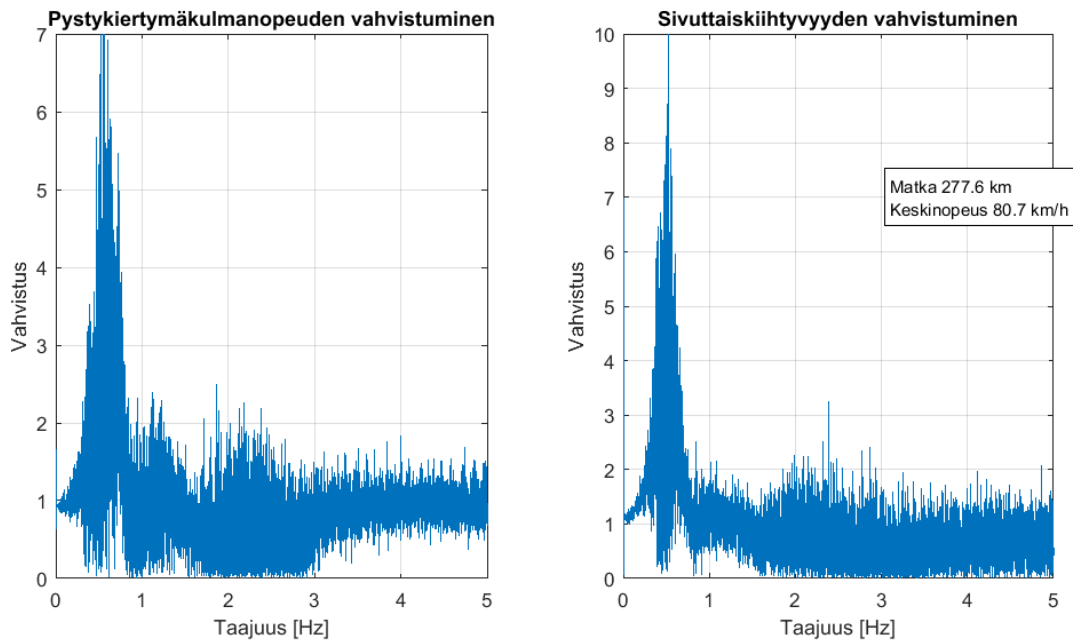
Kuva 21. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä syyskuussa 2016 valta- ja kantateillä, kaikki ajonopeudet huomioitu.



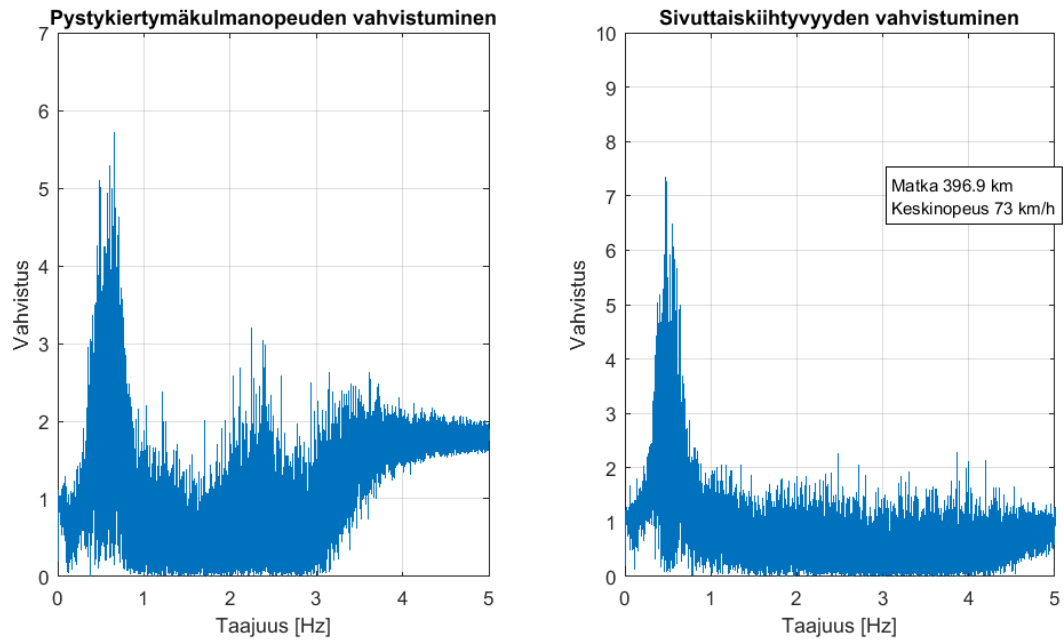
Kuva 22. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä syyskuussa 2016 valta- ja kantateillä, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



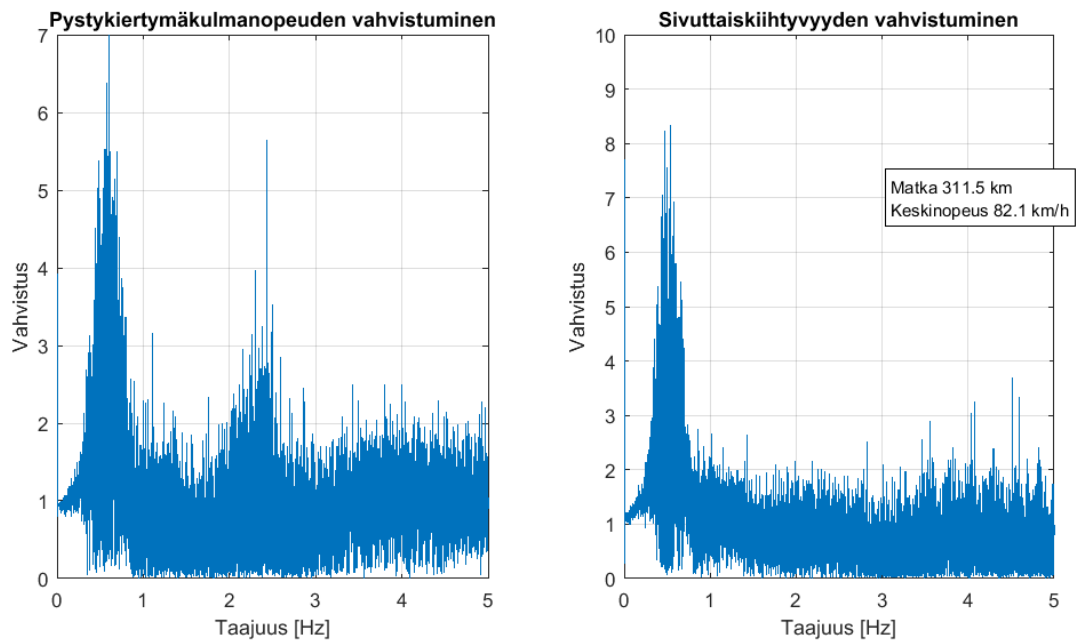
Kuva 23. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä lokakuussa 2016 valta- ja kantateillä, kaikki ajonopeudet huomioitu.



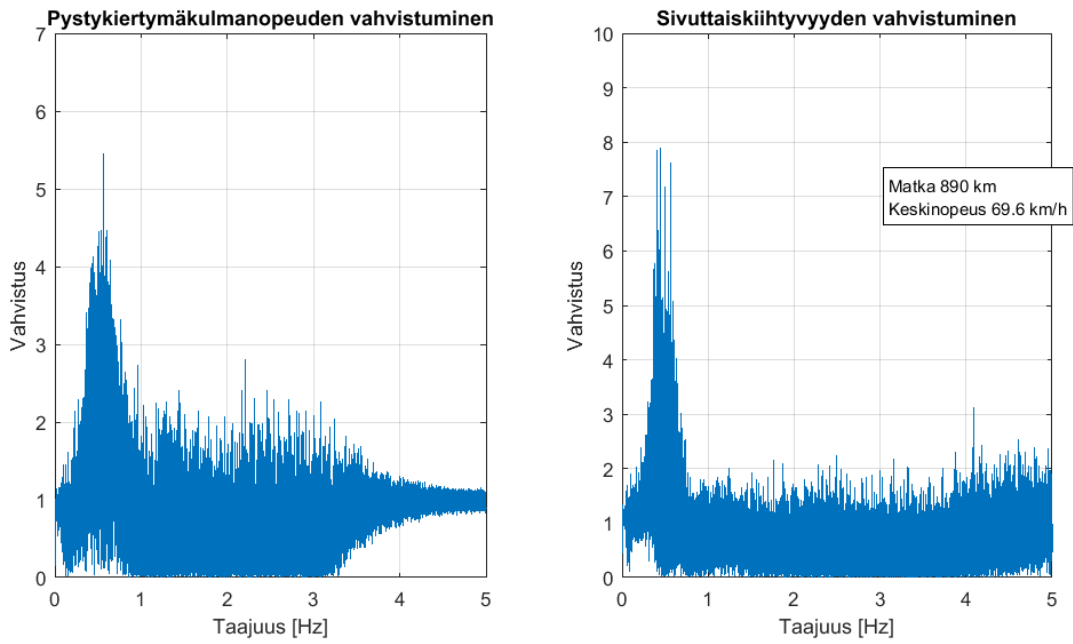
Kuva 24. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä lokakuussa 2016 valta- ja kantateillä, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



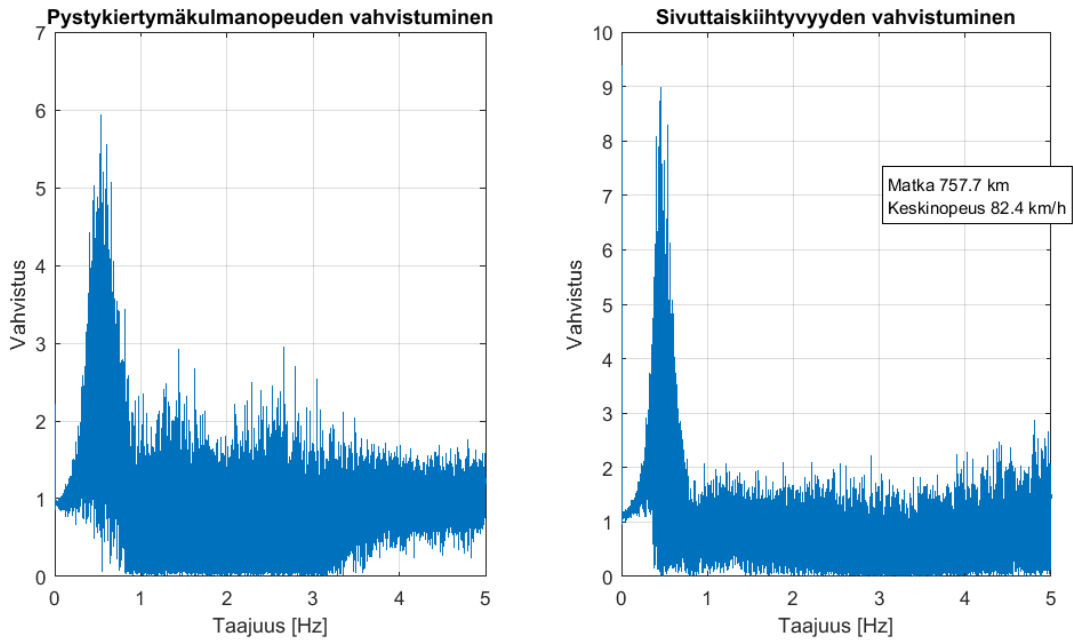
Kuva 25. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä marraskuussa 2016 valta- ja kantateillä, kaikki ajonopeudet huomioitu.



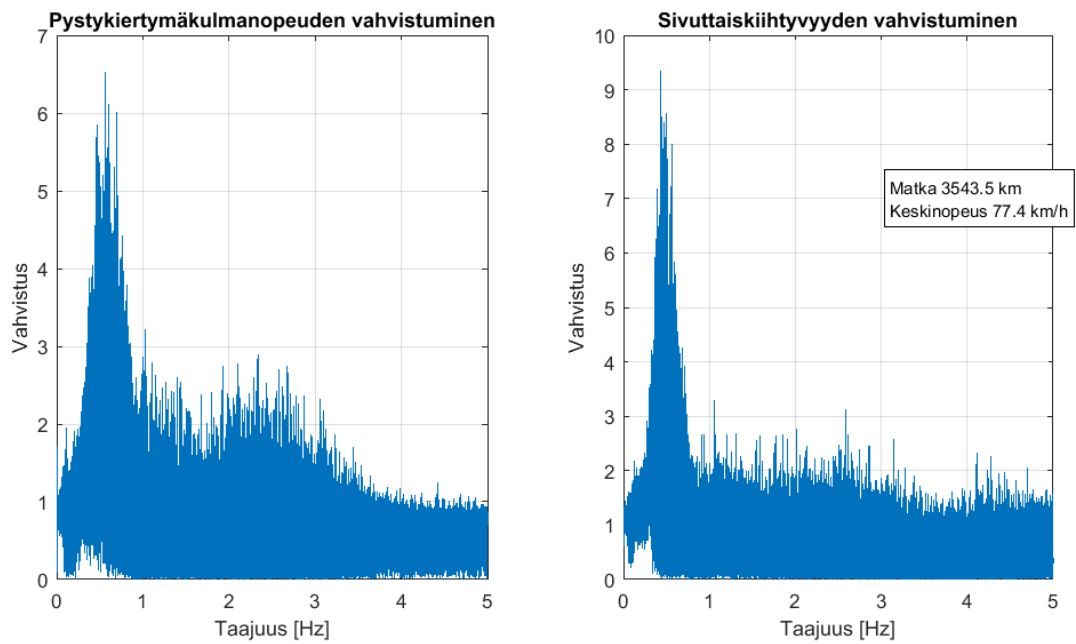
Kuva 26. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä marraskuussa 2016 valta- ja kantateillä, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



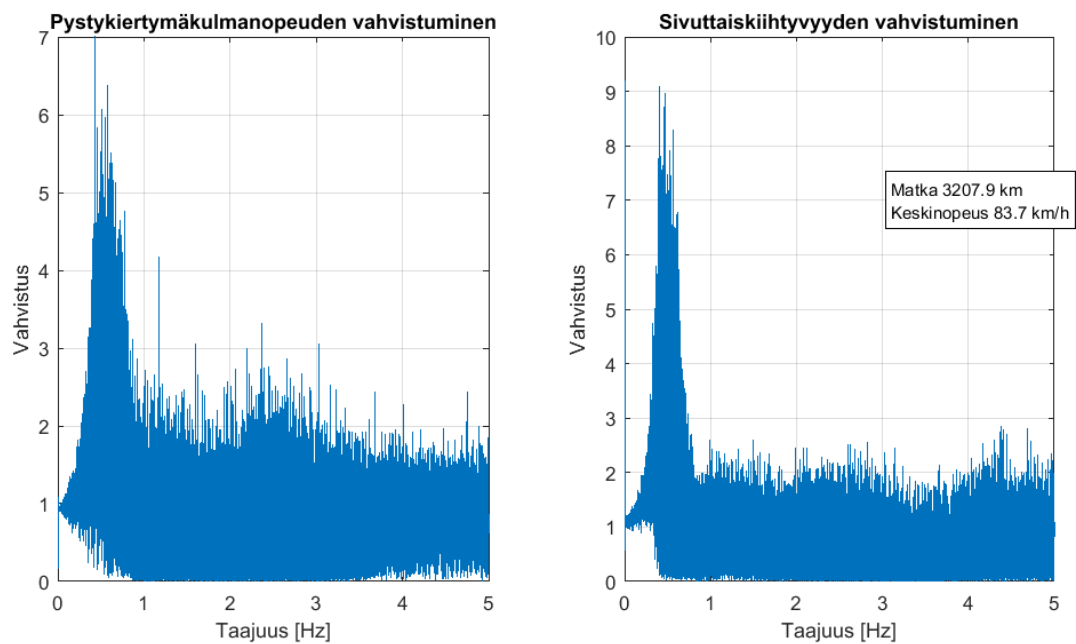
Kuva 27. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä joulukuussa 2016 valta- ja kantateillä, kaikki ajonopeudet huomioitu.



Kuva 28. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä joulukuussa 2016 valta- ja kantateillä, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.



Kuva 29. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä tammikuussa 2017 valta- ja kantateillä, kaikki ajonopeudet huomioitu.



Kuva 30. P&A Trans Oy 84 t HCT-yhdistelmä, liiketilan vahvistuminen kuormatussa yhdistelmässä tammikuussa 2017 valta- ja kantateillä, vain yli 70 km/h ajonopeudet huomioitu.