

HCT-puutavarayhdistelmien ajoseuranta- ja stabiliteettitutkimus 2015-2018

Mauri Haataja, Emeritusprofessori

Perttu Niskanen, Projektipäällikkö

Ville Pirnes, Projektitutkija

Miro-Tommi Tuutijärvi, Projektitutkija

Veikko Pekkala, Projektitutkija

Jari Erkkilä, Projektitutkija

Kalervo Vähätaini, Laboratorioteknikko

Auto- ja työkonetekniikka

Koneensuunnittelun tutkimusyksikkö

Oulun yliopisto



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Hankkeen sisältö ja tavoite

Hankkeen tavoitteena on ollut määrittää tiettyjen käytössä olevien HCT-yhdistelmien ajostabiliteetti ja rakenteiden kuormituksia käytännön mittauksin ja simulointimenetelmiä hyödyntäen. Lisäksi hankkeessa on jonkin verran tutkittu HCT puutavarayhdistelmien aiheuttamaa tierasitusta. Hankkeen yhtenä tavoitteena on ollut myös kerätä ja tuottaa tietoa jota voidaan käyttää ajoneuvoyhdistelmien suunnittelun apuna tulevaisuudessa

Tutkimusmenetelmät

- Ajoneuvojen mittaukset eri käyttöolosuhteissa
- Ajoneuvojen ajostabiliteetin simulointi ADAMS ohjelmistolla
- Tiettyjen ajoneuvorakenteiden rasitusmittaukset
- Tierasitusmittaukset
- Tutkimustiedon ja mittaustiedon yhdistäminen ja aiempaa tarkempien simulointimallien luominen oli yksi tavoite, jotta jatkossa simuloimalla on mahdollista tarkastella uudenlaisten yhdistelmien ominaisuuksia eri ajotilanteissa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



HCT-puutavarayhdistelmien mitoitustarkastelut

HCT-foorumi 14.2.2018

Miro-Tommi Tuutijärvi
Auto- ja työkonetekniikka
Koneensuunnittelun tutkimusyksikkö
Oulun yliopisto



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Sisältö

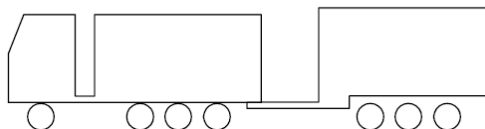
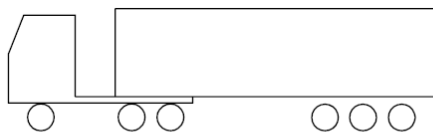
- Tarkoitus?
- Tarkasteltavia ajoneuvoyhdistelmiä
- Ajoneuvoyhdistelmien laatimisen lähtökohdat
- Simulointimallit
- Simuloinnissa käytettävät ajokokeet
- Erityyppisten ajoneuvoyhdistelmien stabiliteetista
- Mittaoptimointi

Tarkoitus

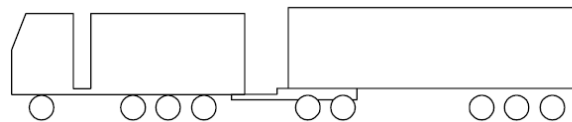
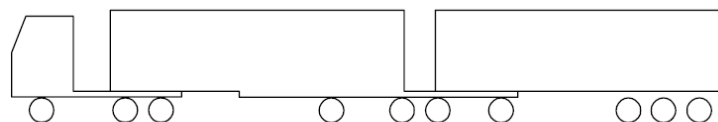
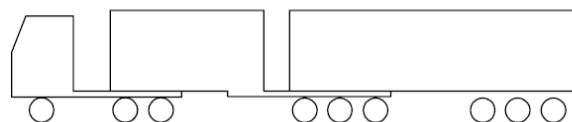
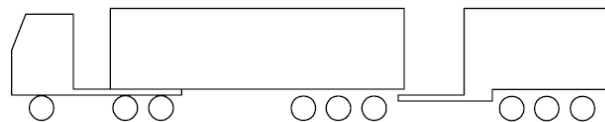
- Arvioida erityyppisten ajoneuvoyhdistelmien ajostabiliteettia
- Tarkastella miten eri mitoitusparametrit vaikuttavat tietyn tyyppisen ajoneuvoyhdistelmän ajostabiliteettiin ja kääntyvyyteen

Tarkasteltavia ajoneuvoyhdistelmiä

- Yksinivelisiä

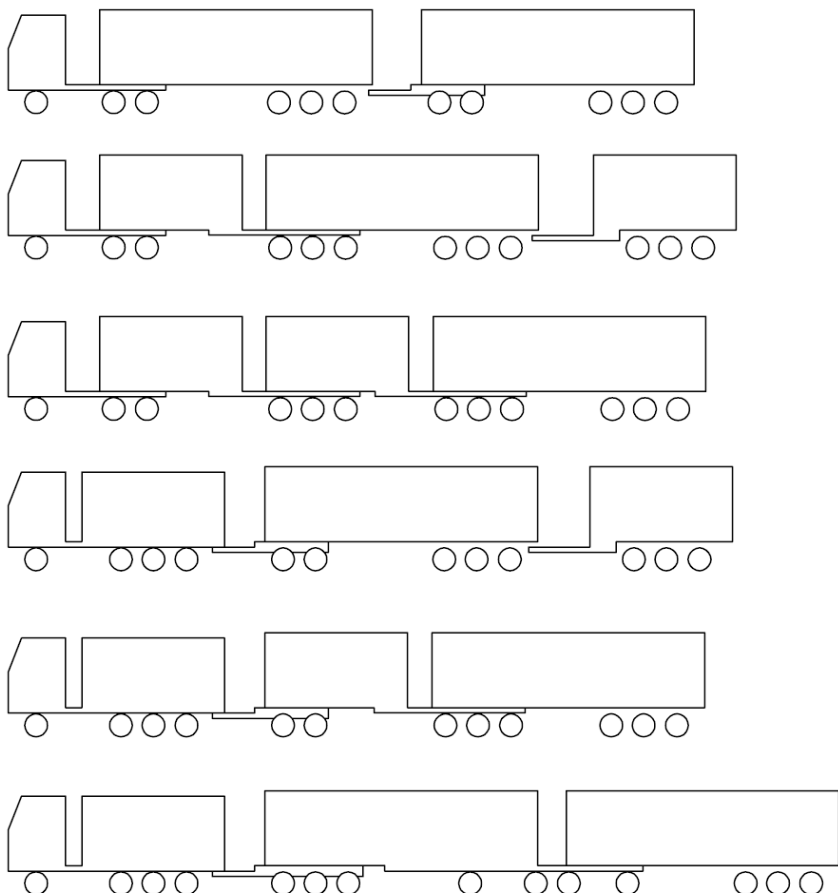


- Kaksinivelisiä

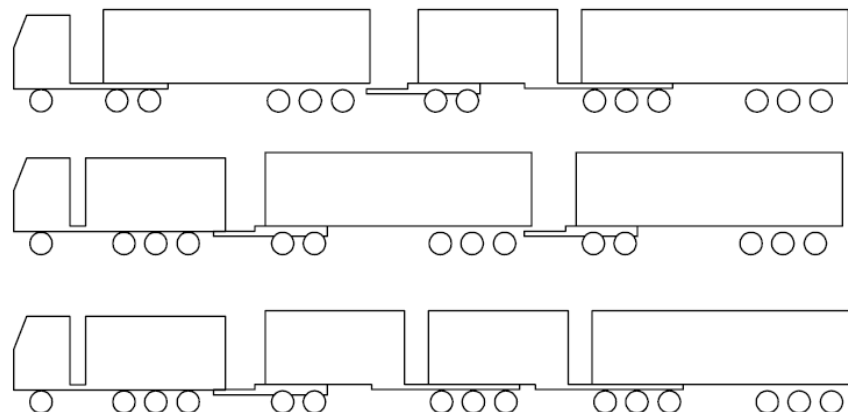


Tarkasteltavia ajoneuvoyhdistelmiä

- Kolminivelisiä

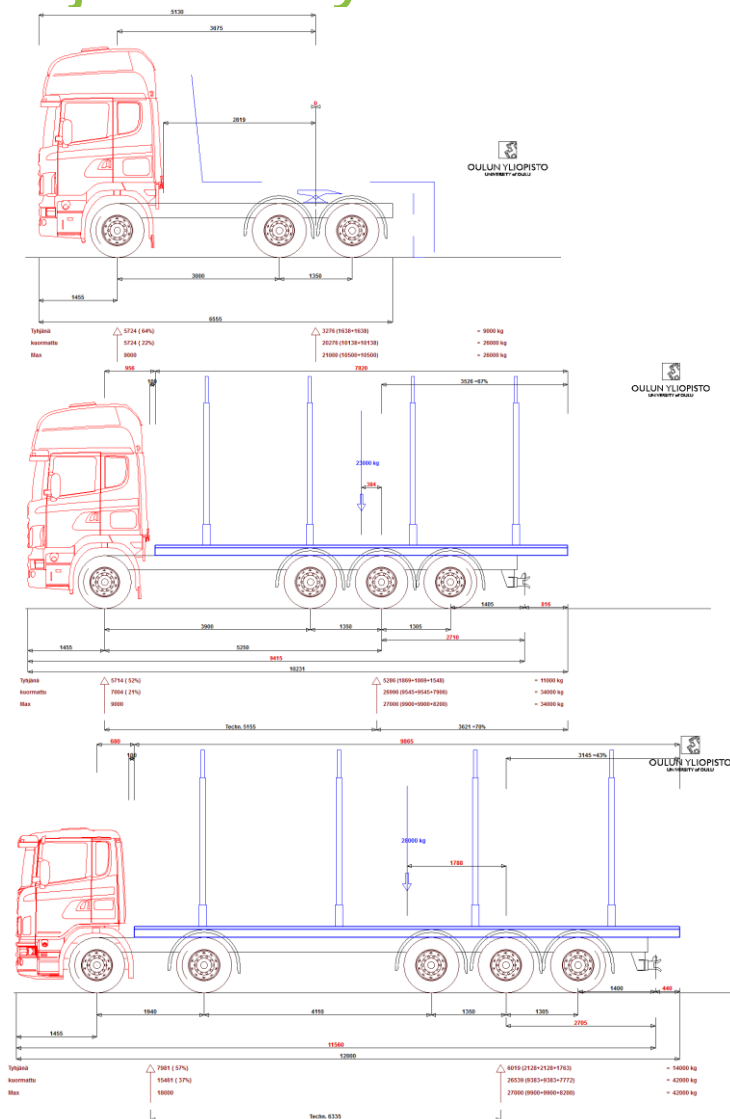


- Nelinivelisiä

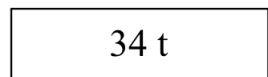


Ajoneuvoyhdistelmien laatimisen lähtökohdat

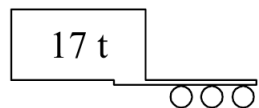
- Vetoautoja kolme eri tyyppiä
- Kolmeakselinen telivetoinen rekkaveturi, omamassa 9 t
- Neliakselinen kuorma-auto, omamassa 11 t ja kokonaismassa 34 t
- Viisiakselinen kuorma-auto, omamassa 14 t ja kokonaismassa 42 t



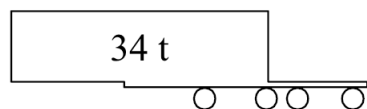
Ajoneuvoyhdistelmien laatimisen lähtökohdat



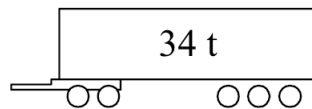
$$6\text{ t} + 34\text{ t} = 40\text{ t}$$



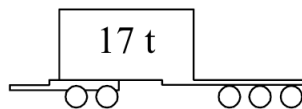
$$7\text{ t} + 17\text{ t} = 24\text{ t}$$



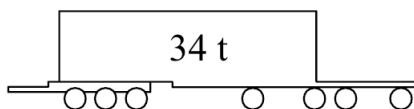
$$7\text{ t} + 34\text{ t} = 41\text{ t}$$



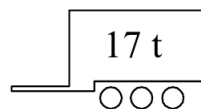
$$8\text{ t} + 34\text{ t} = 42\text{ t}$$



$$9\text{ t} + 17\text{ t} = 25\text{ t}$$



$$10\text{ t} + 34\text{ t} = 44\text{ t}$$



$$5\text{ t} + 17\text{ t} = 22\text{ t}$$

- Täydet akselimassat tasan jakautuneella kuormalla
- Akseliväli määräytyy kuormatilan pituuden ja etuylityksen perusteella
- Kuormatiloja kahta perustyyppiä (lyhyet ja pitkät) sekä kolme perusmittaa
 - 5250 mm ja 10500 mm
 - 6250 mm ja 12500 mm
 - 7820 mm ja 13600 mm
- Kuorma vastaa yhtä tai kahta 17000 kg puutavaranippua

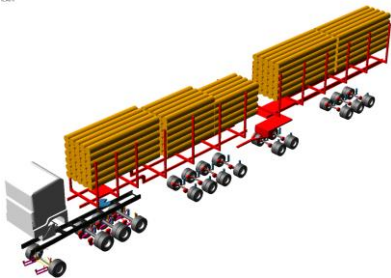
Ajoneuvoyhdistelmien laatimisen lähtökohdat

- Mitoitustarkasteluun otettavien ajoneuvoyhdistelmien osalta tarkastetaan mm. siltasääntö ja ajoneuvoyhdistelmän kääntyminen
- Pidemmillä kuormatiloilla varustetuilla perävaunuilla akseliväli/oikaisupituus kasvaa huomattavan suureksi
- Kääntyvyys:
 - Niiden yhdistelmien osalta, joilla päästään R12,5/2 m kääntävyyteen, käytetään sitä.
 - Pidemmillä yhdistelmillä käytetään mahdollisesti R15/2 m ympyrää
 - Tarkastelu osalle tapauksia myös R12,5 90 astetta sekä R16,5 120 astetta
- Ohjautuvat akselit kääntävyystarkasteluissa mukaan tarvittaessa, kiinteillä akseleilla siihen asti kuin se on mahdollista.

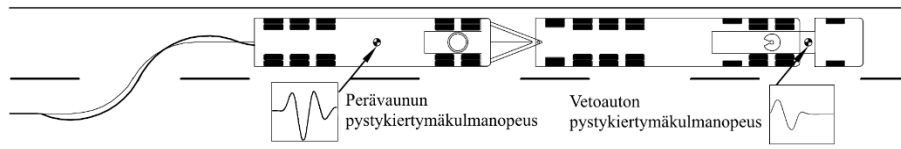
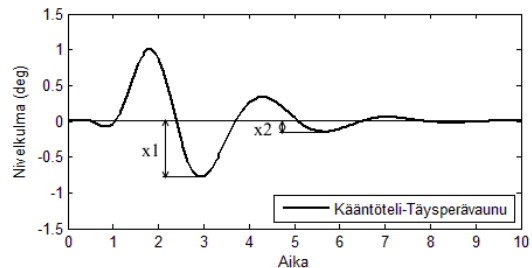
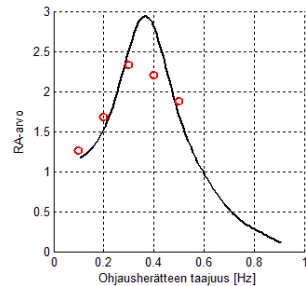
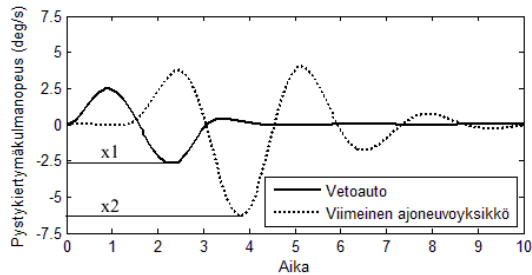
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Simulointimallit

- Simulointiohjelmistona Adams/CAR, Ajoneuvoyksiköiden rungot jäykkiä, massat keskitettyjä ja kytkentä kinemaattinen
- Jousitetut mallit, jouset mallinnettu Adams/CAR ilmajousielementeillä
- Ajoneuvomallin osajärjestelmät määritetty mittakuvien ja ajoneuvoista mitatuista tiedoista
- Rengasmalli PAC2002 (Magic Formula) puhtaille pitkittäis- ja sivuttaisluistoille, määritetty renkaiden voimantuottoon perustuen
- Ajoneuvoyksiköiden massahitausmomentit arvioita, määritetty ajoneuvojen geometriasta
- Kuorman massahitausmomentti geometriasta ja tiheydestä
- Mallit validoidaan ajoneuvokokeissa mitattuun dataan perustuen

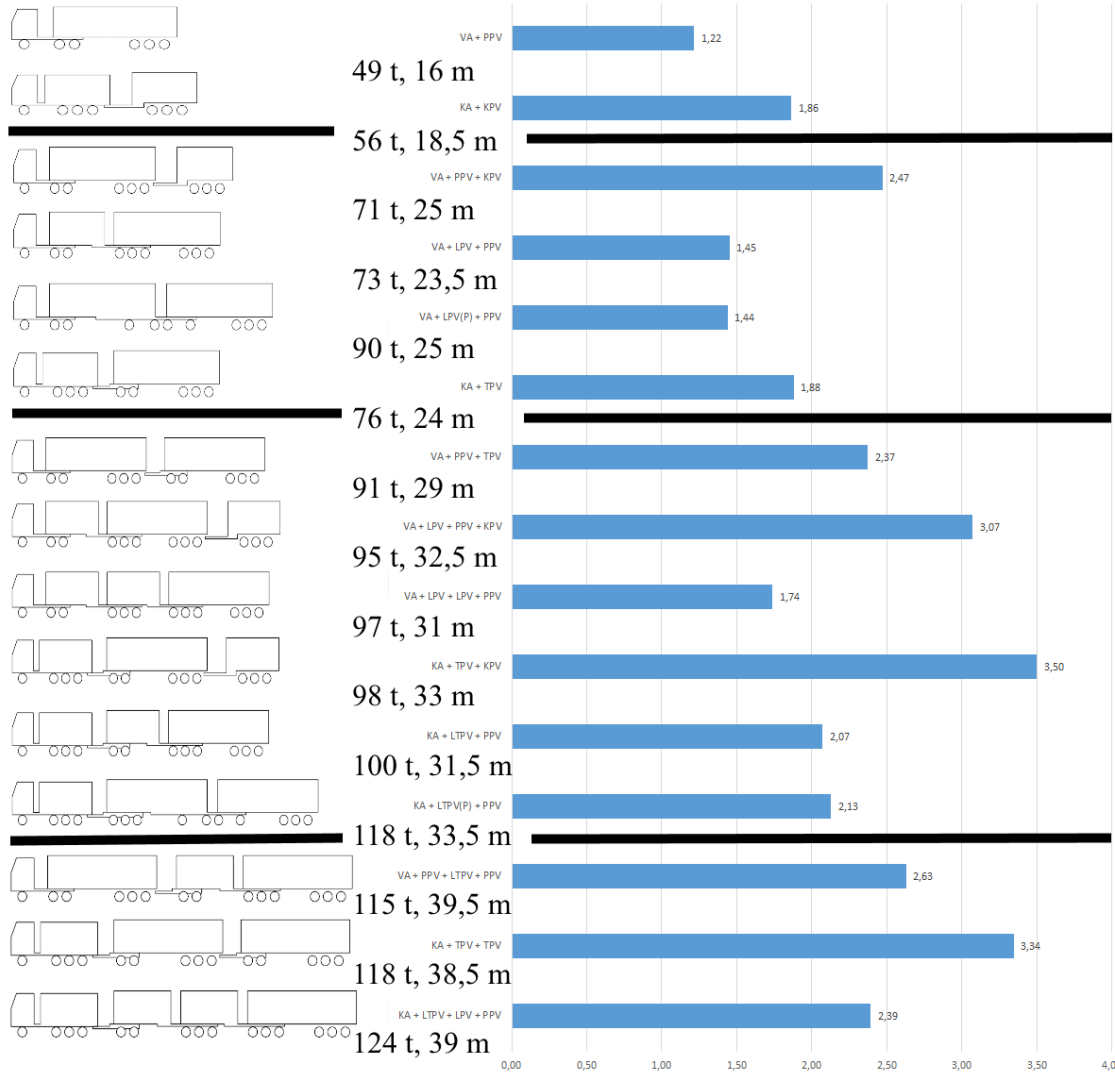


Simuloinneissa käytettävät ajokokeet



- ISO 14791 standardin mukaiset open-loop kaistanvaihto- sekä pulssiohjaus-heräteajokokeet
- Muuttuvan siniaaltoherätteen koe ajoneuvoyhdistelmätyyppien ohjausherätteen taajuusvasteen selvittämiseksi
- Ajokokeissa käytettävä ajonopeus 80 km/h
- Määritetään RA-arvot, kiertoheilahtelun vaimennuskerroin (YDC), kuormansiirtymäkerroin (LTR) ja taka-akselin poikkeama vetoauton etuakselin kulku-urasta stabiliteetin määrittämiseksi

Erityyppisten ajoneuvoyhdistelmien stabiliteetista



- Esimerkki 12500 mm kuormatiloilla
- Ohessa esitetty 1, 2, 3 ja 4-nivelisten ajoneuvoyhdistelmien YAW RA-arvoja kaistanvaihtokokeessa ajonopeudella 80 km/h

Mittaoptimointi

- Mittaoptimointi tavanomaista pidemmille yhdistelmillä, etusijalla tällä hetkellä kolminiveliset yhdistelmät (A-double, ETT, B-triple)
- Määritetään ajostabiliteetti eri mitoitusparametreilla (Perävaunujen akselivälit, aisan pituus, vetopöytien sijoittelu linkeissä)
- Ohjelmistona Adams/Insight ja Adams/CAR:n
- Tavoitteena selvittää, millaisella mitoituksella hyvään kompromissiin kääntyvyyden ja ajostabiliteetin suhteen:
 - Mahdollisimman pitkät akselivälit?
 - Vetoaisan pituuden vaikutus?
 - ...
- Ts. miten laaditaan stabiliteetiltaan riittävän hyvä yhdistelmä halutulle kääntyvyydelle.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Mittaoptimointi

Puoliperävaunun akseliväli	Täysperävaunun akseliväli	Täysperävaunun A-mitta										
		3500	3600	3700	3800	3900	4000	4100	4200	4300	4400	4500
6364	6364	2,93	2,92	2,91	2,90	2,89	2,88	2,87	2,85	2,84	2,83	2,81
	6538	2,85	2,84	2,83		2,81	2,80	2,78	2,77	2,76	2,74	2,73
	6713	2,77	2,76	2,75	2,74		2,72	2,71	2,69	2,68	2,67	2,65
	6887	2,70	2,69	2,68	2,67	2,66	2,65	2,63	2,62	2,61	2,60	2,58
	7062	2,63	2,62	2,61	2,60	2,59	2,58	2,57	2,56		2,53	2,52
	7236	2,57	2,56	2,55	2,54	2,53	2,52	2,51	2,49	2,48	2,47	2,46
	7410	2,51	2,50	2,49	2,48	2,47	2,46	2,45	2,43		2,41	2,40
6538	6364	2,90	2,89	2,88	2,87	2,86	2,84	2,83	2,82	2,81	2,80	2,78
	6538	2,82	2,81	2,80	2,79	2,77	2,76	2,75	2,74	2,73	2,71	2,70
	6713	2,74	2,73	2,72	2,71	2,70	2,68	2,67	2,66	2,65		2,62
	6887	2,67	2,66	2,65	2,64	2,62	2,61	2,60	2,59	2,58	2,57	2,55
	7062	2,60	2,59	2,58	2,57	2,56	2,55	2,54	2,52	2,51	2,50	
	7236	2,54	2,53	2,52	2,50	2,49	2,49	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43
	7410	2,48	2,47	2,46	2,44	2,44	2,43	2,42	2,40	2,39	2,38	2,37
6713	6364	2,86	2,86	2,85	2,84	2,83	2,81	2,80	2,79	2,78	2,76	
	6538	2,78	2,77	2,76	2,75	2,74	2,73	2,72	2,70	2,69	2,68	
	6713	2,70	2,69	2,69	2,68	2,66	2,65	2,64	2,63	2,62	2,61	2,59
	6887	2,63	2,62	2,61	2,60	2,59	2,58	2,57	2,56	2,55	2,54	2,52
	7062	2,56	2,56	2,55	2,54	2,53	2,51	2,50	2,49	2,48	2,47	
	7236	2,50	2,49	2,48	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,41	2,40
	7410	2,44	2,44	2,43	2,42	2,40	2,39	2,38	2,37	2,36	2,35	2,34
6887	6364	2,83	2,82	2,81	2,80	2,79	2,78	2,77	2,76	2,74	2,73	2,72
	6538	2,75	2,74	2,73	2,72	2,71	2,70	2,69	2,67		2,65	2,64
	6713	2,67	2,66	2,65	2,64	2,63	2,62	2,61	2,60	2,58	2,57	2,56
	6887	2,60	2,59	2,58	2,57	2,56	2,55	2,54	2,53		2,50	2,49
	7062	2,53	2,52	2,52	2,51	2,50	2,48	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43
	7236	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,41	2,40	2,39	2,38	2,37
	7410	2,41	2,40	2,40	2,39	2,38	2,36	2,35	2,34	2,33	2,32	2,31
7062	6364	2,80	2,79	2,78	2,77	2,76	2,75	2,74	2,73	2,71	2,70	2,68
	6538	2,72	2,71	2,70	2,69	2,68	2,67	2,66	2,64	2,63	2,62	2,61
	6713	2,64	2,63	2,62	2,61	2,60	2,59	2,58	2,57	2,55	2,54	2,53
	6887	2,57	2,56	2,55	2,54	2,53	2,52	2,51	2,50	2,48	2,47	2,46
	7062	2,50	2,49	2,48	2,47	2,47	2,45	2,44	2,43		2,41	2,40
	7236	2,44	2,43	2,42	2,41	2,40	2,39	2,38	2,37	2,36	2,35	2,34
	7410	2,38	2,37	2,36	2,36	2,35	2,34	2,32	2,31	2,30	2,29	2,28
7236	6364	2,77	2,76	2,75	2,74				2,70	2,68	2,67	2,65
	6538	2,69	2,68	2,67	2,66	2,65	2,64		2,61	2,60	2,59	2,57
	6713	2,61	2,60	2,59	2,58	2,57		2,55	2,54	2,53	2,51	2,50
	6887	2,54	2,53	2,52	2,51	2,50	2,49	2,48	2,47	2,46	2,44	2,43
	7062	2,47	2,46	2,45	2,44	2,44	2,43	2,41	2,40	2,39	2,38	2,37
	7236	2,41	2,40	2,39	2,38	2,37	2,36	2,35	2,34	2,33	2,32	2,31
	7410	2,35	2,34	2,34	2,33	2,32	2,31	2,30	2,29	2,27	2,26	2,25
7410	6364	2,74	2,73	2,72	2,71	2,70	2,69	2,68	2,67	2,65	2,64	2,63
	6538	2,65	2,65	2,64	2,63	2,62	2,61	2,60	2,58	2,57	2,56	2,55
	6713	2,58	2,57	2,56	2,55	2,54	2,53	2,52	2,51	2,50	2,49	2,47
	6887	2,51		2,49	2,48	2,47	2,46		2,44	2,43	2,42	2,40
	7062	2,44	2,44	2,43	2,42	2,41	2,40	2,39	2,38	2,36	2,35	2,34
	7236	2,38	2,37		2,35	2,35	2,34	2,33	2,32	2,30	2,29	2,28
	7410	2,33	2,32	2,31	2,30	2,29	2,28	2,27	2,26	2,25	2,24	2,23

- Esimerkki A-double, 7 eri perävaunun akseliväliä/etuylytystä ja 11 aisanpituutta
- Tällöin tarkasteltavia vaihtoehtoja $7 \times 7 \times 11 = 539$ per kuormatilanmitta
- Kuvassa YAW RA-arvot 10500 mm kuormatiloilla

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Kiitos mielenkiinnostanne!

Kysymyksiä?

Miro-Tommi.Tuutijarvi@oulu.fi

13.2.2018



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



HCT-puutavarayhdistelmien ajoseuranta- ja stabiliteettitutkimus

Mittaukset ajoneuvoyhdistelmissä
HCT-foorumi 14.2.2018

Projektitutkija Ville Pirnes /
Auto- ja työkonetekniikka /
Koneensuunnittelun tutkimusyksikkö / Oulun
yliopisto

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Sisältö

- Yhdistelmien anturointi
- Ajovakauden mittaukset maantiellä, tuloksia
- Vetoaisavoimamittaukset



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

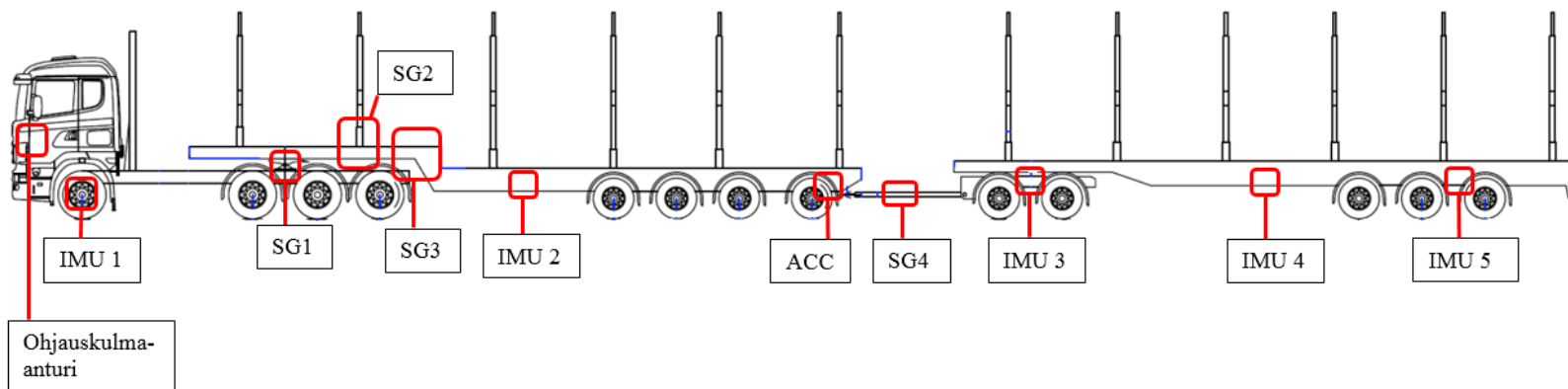
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



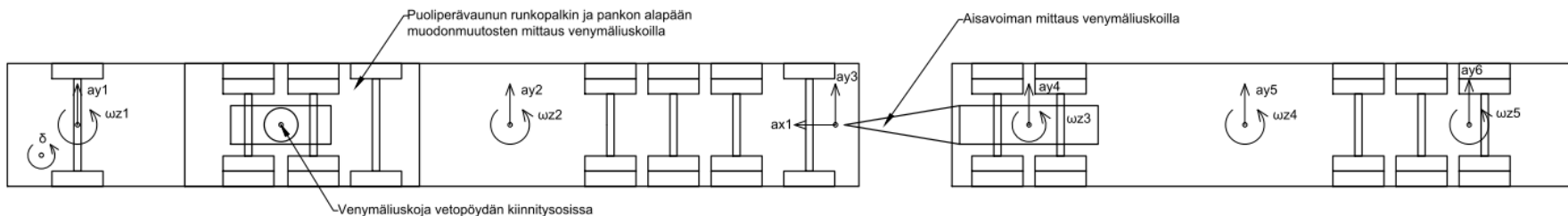
Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Yhdistelmien anturointi

- GPS
- FMS-liityntä (auton CAN-väylä)
- tiedonkeruuyksikkö
- Fitlet miniPC



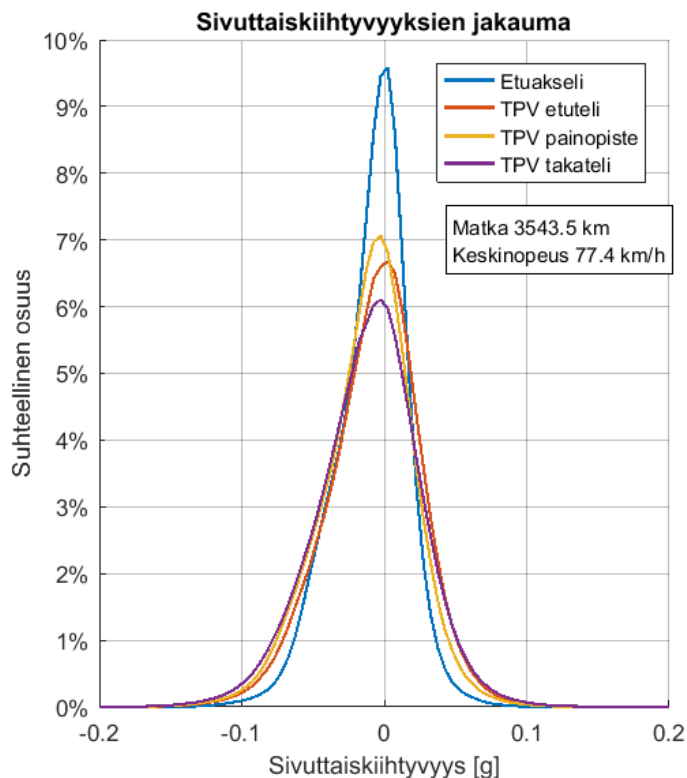
axi = pitkittäiskiihtyvyyden mittausta
ayi = poikittäiskiihtyvyyden mittausta
wzi = pystykiertymäkulmanopeuden mittausta
 δ = ohjauskulman mittausta



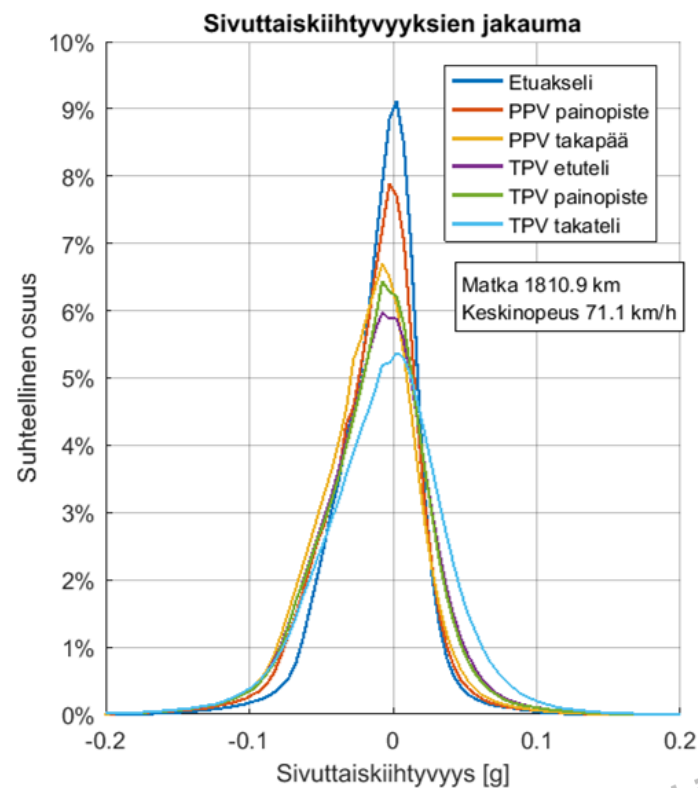
- Ketosen Kuljetus 104 t ja P&A Trans 84 t toisiaan vastaavilla mittausjärjestelmillä
- Kuljetusliike O Malisen yhdistelmissä (84 t ja 76 t) ainoastaan vetoaisavoimamittaus
- Ketosen Kuljetuksen 76 vertailuyhdistelmässä ajodynamiikan mittaus suljetun alueen kokeissa

Ajovakaus, sivuttaiskiihtyvyyksien jakauma

P&A Trans, 84 t yhdistelmä, tammikuu 2017



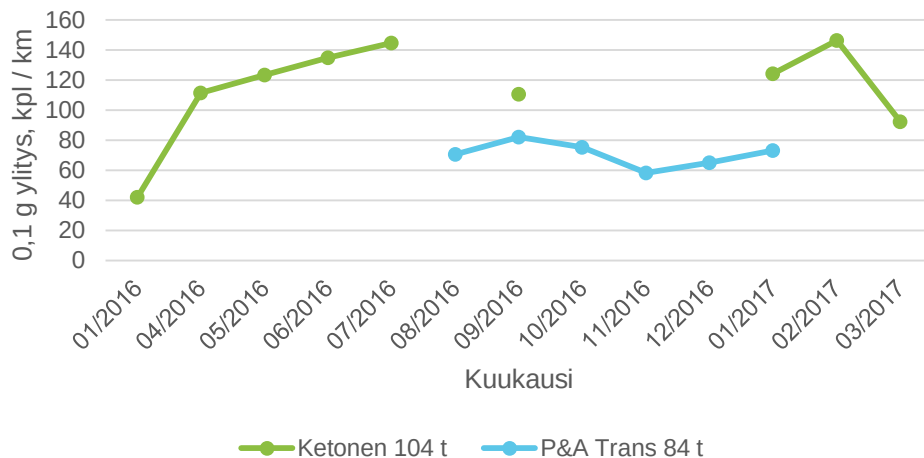
Ketosen Kuljetus, 104 t yhdistelmä, helmikuu 2017



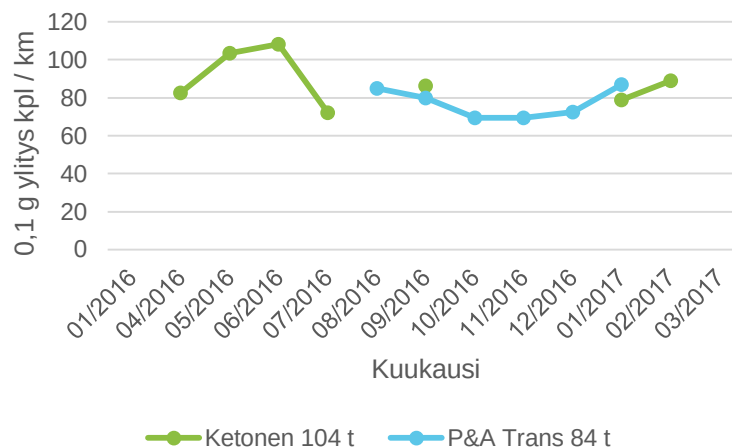
- 104 t yhdistelmässä sivuttaiskiihtyvyydet jakaantuneet laajemmalle alueelle
- Samankaltaiset jakaumat muiltakin ajankohdilta
 - Tämän sivun kuvaajissa on mukana paljon mittausdataa

Ajovakaus, sivuttaiskiihtyvyyksien kertymä

0,1 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitys ajomatkaan suhteutettuna, yhdistelmät kuormattu



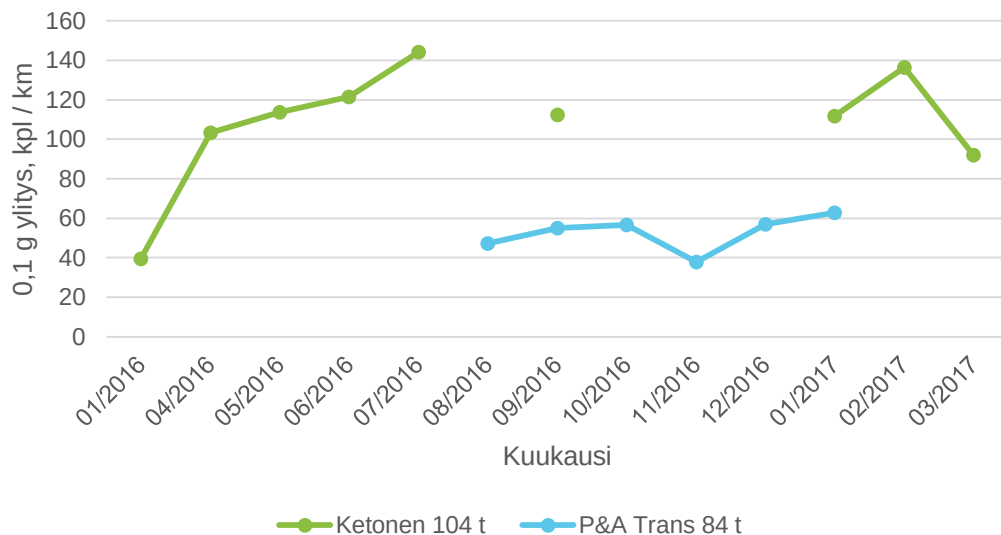
0,1 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitys ajomatkaan suhteutettuna, yhdistelmät ilman kuormaa



- Mittausjaksolla esiintyneiden yli 0,1 g ja alle -1 g sivuttaiskiihtyvyyksien lukumäärä jaettu mittausjaksolla kuljetulla matkalla => vastaa kysymykseen: kuinka monta kertaa tietty sivuttaiskiihtyvyys ylitetään ajettua kilometriä kohti?
- Kuvaajissa esitetty yhdistelmien viimeisen sivuttaiskiihtyvyyden mittauspisteen tulokset (täysperävaunun takateli)

Ajovakaus, sivuttaiskiihtyvyyksien kertymä

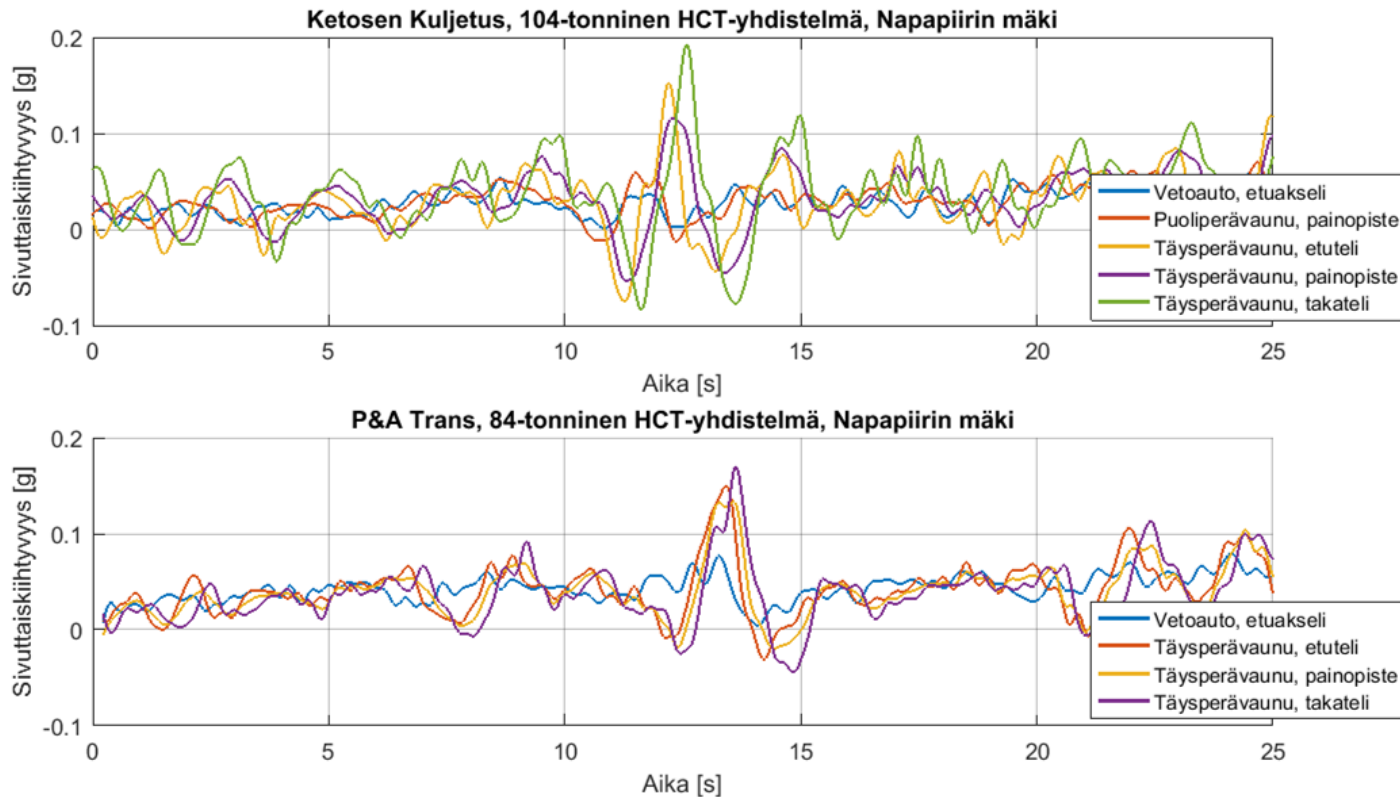
0,1 g sivuttaiskiihtyvyyden ylitys ajomatkaan suhteutettuna, kuormattu, nopeus yli 70 km/h



- Kuvaajassa otettu huomioon vain yli 70 km/h ajonopeus
- Molemmissa yhdistelmissä kertymä on pienempi verrattuna kaikkien ajonopeuksien tuloksiin,
- 84 t HCT-yhdistelmässä ero on suurempi kuin 104 t HCT-yhdistelmässä

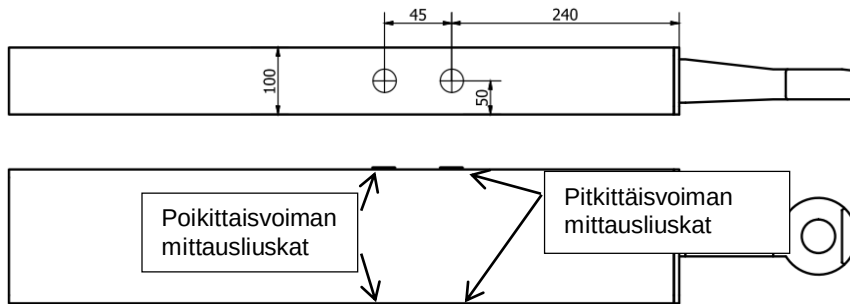
Ajovakaus, heilahtelu Napapiirin mäessä

- Matkan suurin sivuttaiskiintoisuus useimmiten kyseisellä tienkohdalla

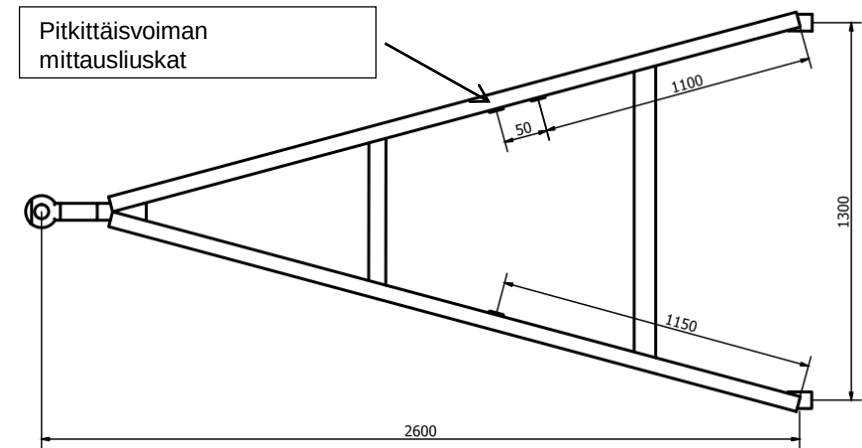


Vetoaisavoimat

- 104 t HCT-yhdistelmä ja 84 t HCT-yhdistelmät:



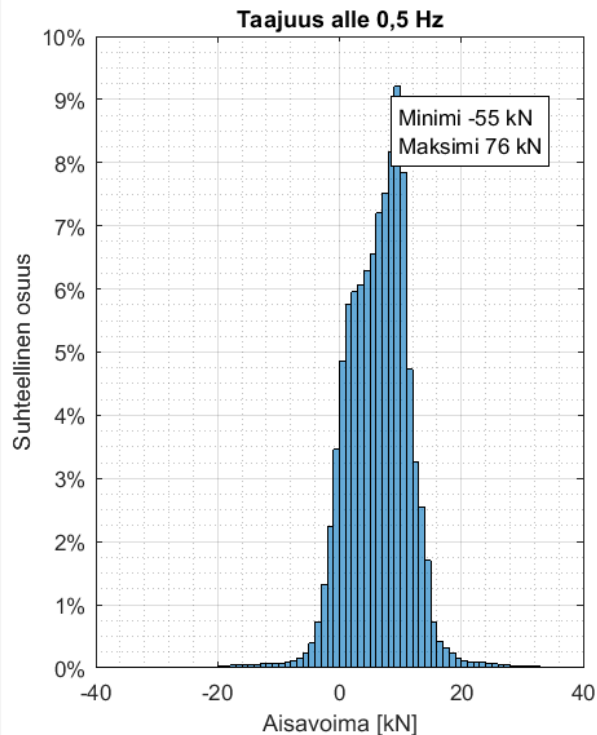
- Malinen 76 t yhdistelmä:



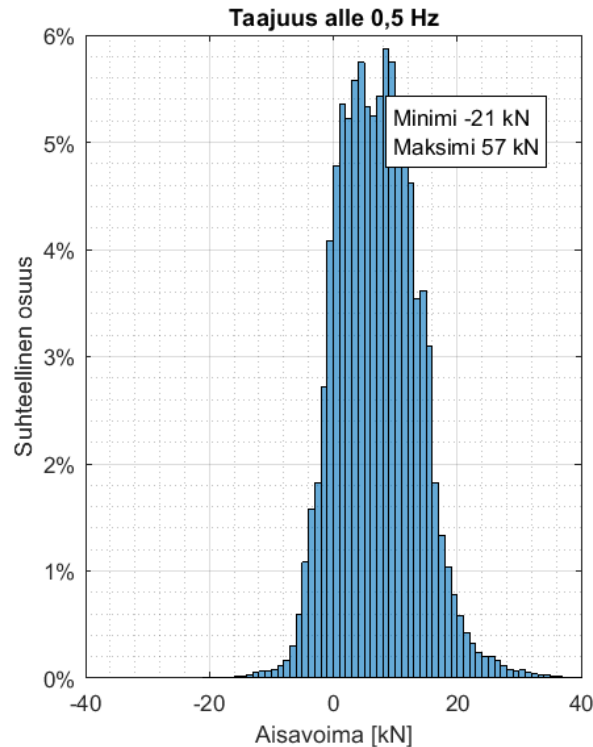
- Tulosten käsittelyssä voimat jaettu matalataajuisiin (alle 0,5 Hz) ja korkeampitaajuisiin (0,5-10 Hz) voimiin
 - Matalataajuiset aiheutuvat kiihdytyksistä, jarrutuksista ja ajovastuksista, korkeampitaajuiset tien epätasaisuuksista

Vetoaisavoimat

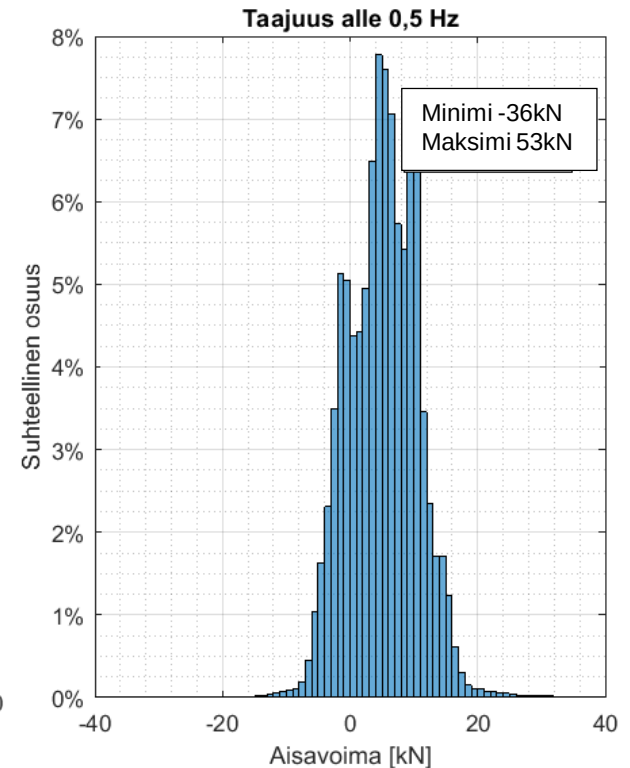
- Matalataajuiset voimat (valta- ja kantatiet, talviolosuhteet)



Malinen, 76 t yhdistelmä
(vain suorat tie osuudet)



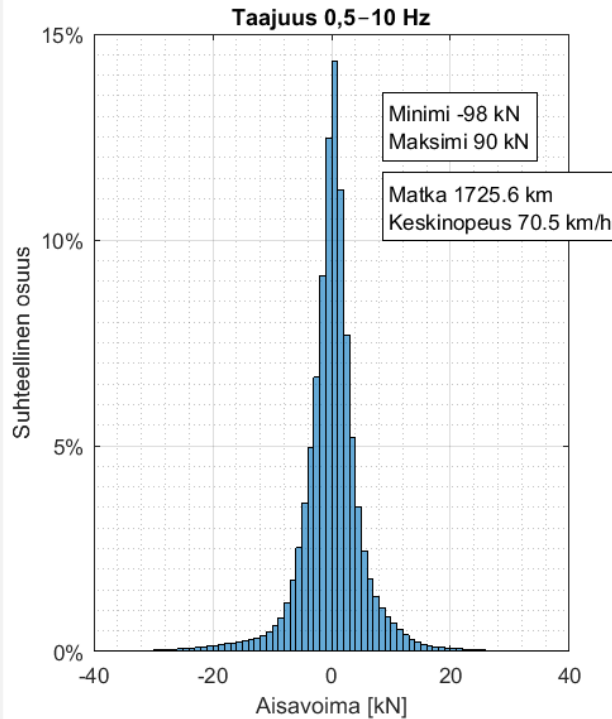
Malinen, 84 t yhdistelmä



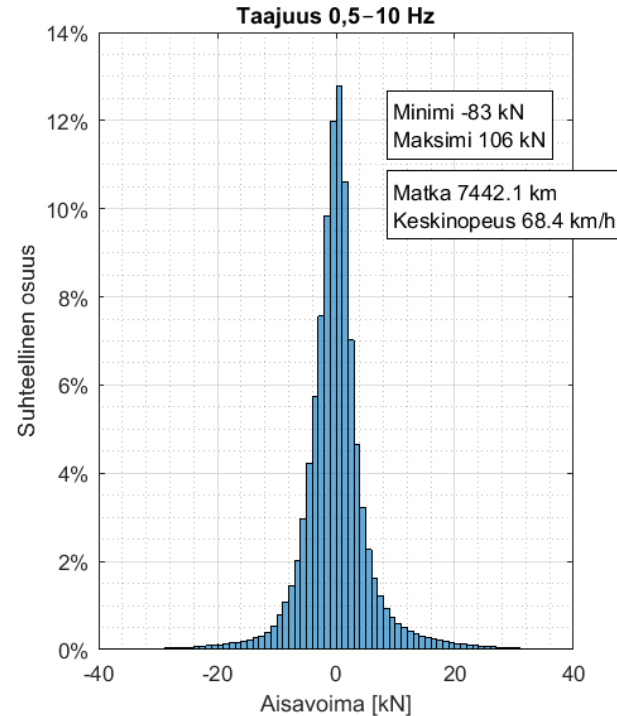
P&A Trans, 84 t yhdistelmä

Vetoaisavoimat

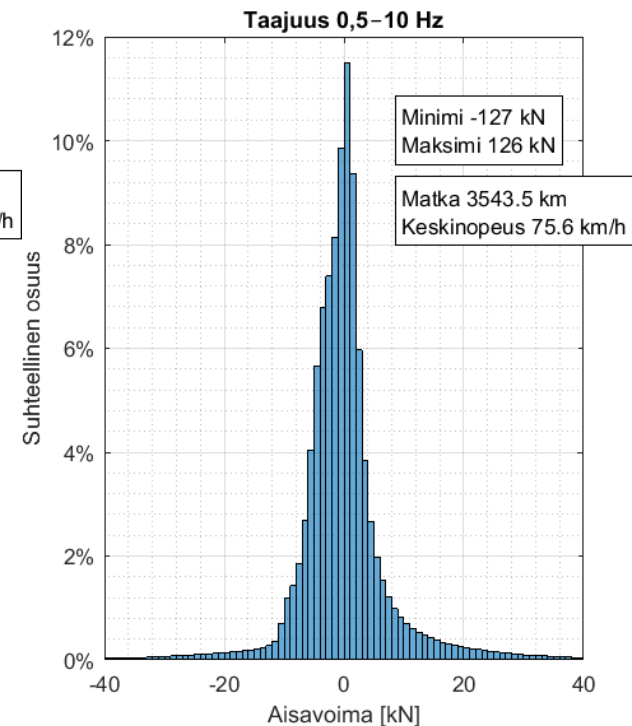
- Korkeataajuiset voimat (valta- ja kantatiet, talviolosuhteet)



Malinen, 76 t yhdistelmä



Malinen, 84 t yhdistelmä

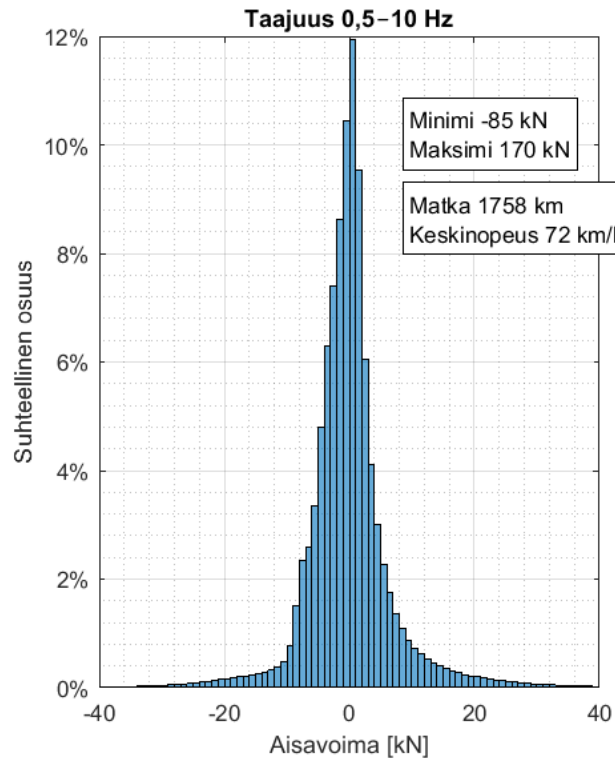
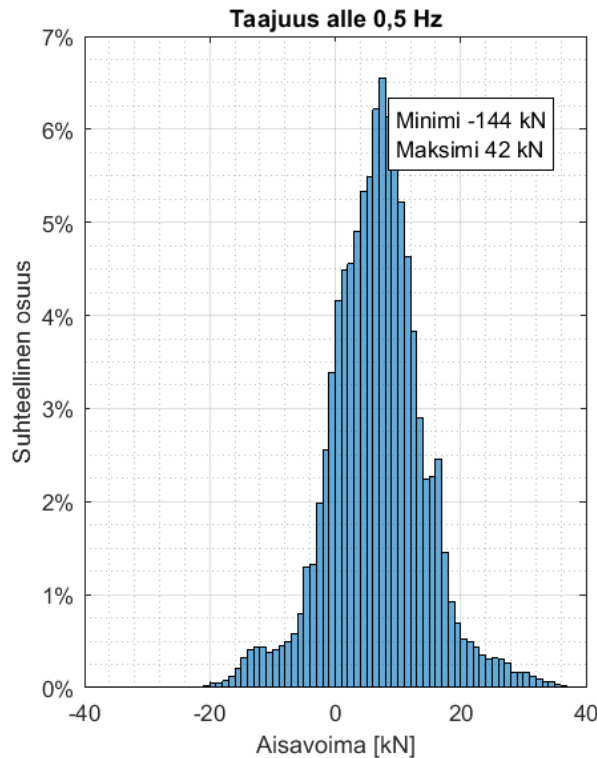


P&A Trans, 84 t yhdistelmä

- Samankaltaiset jakaumat

Vetoaisavoimat

Ketosen Kuljetus, 104 t HCT-yhdistelmä, aisavoimat, talvi 2017



- Samankaltainen jakauma korkeammilla taajuuksilla muiden yhdistelmien kanssa
- Matalalla taajuudella puristusta enemmän kuin muissa yhdistelmissä

Kiitos mielenkiinnostanne

Kysymyksiä ?

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

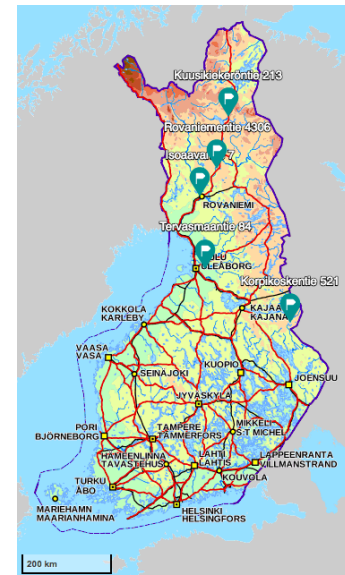


Tienrasitukset tieverkossa: Mittaukset + Tulokset 2017

Soratie



Asfalttipäällysteinen tie



 **OULUN YLIOPISTO**

Veikko Pekkala
Perttu Niskanen
Mauri Haataja

Tavoitteet lyhyesti

- Verrata referenssi- ja HCT puunkuljetusyhdistelmän tien rakenteisiin aiheuttamien vasteiden ja muodonmuutosten suuruuksia toisiinsa ja arvioida eri yhdistelmien aiheuttamaa tierasitusta kyseiselle tielle/tietyypille.
- Tarkastelu lähtökohtaisesti yhdistelmittäin ja mahdollisuuksien mukaan akseleittain.

- Mittaukset suoritettiin vuoden 2017 aikana Pohjois-Suomen tiestössä viidessä mittauskohteessa, jotka pyrittiin valitsemaan HCT-yhdistelmien ajoreittien*) perusteella.
- Vuotso (Kuusikiekeröntie 213, vanha 4-tie)
 - Vähäliikenteinen tie
 - Ohut päällysterakenne
 - Turvepohjamaa
- Vuojärvi (Rovaniementie 4306, 4-tie)
 - Varalaskupaikka
 - Vilkasliikenteinen tie
 - Erittäin vahva rakenne
 - Kitkapohjamaa
- Rovaniemi (Isoaavantie 7)
 - Vilkasliikenteinen tie teollisuusalueella
 - Vahvistettu pohjamaa
- Ylikiiminki (Tervasmaantie 84)
 - Turvetuotantoalueella oleva turvemaalle perustettu soratie
- Kuhmo (Korpikoskentie 521)
 - Metsähallituksen soratie



*) https://www.trafi.fi/tieliikenne/luvat_ja_hyvaksynnat/hct-rekat/kuljetusyrityksille_myonnetyt_luvat

Ajoneuvoyhdistelmät ja netto/hyötykuormat

YHDISTELMÄT		Paino mittauspäivänä kuormattuna (kg)				Paino tyhjänä (kg)	Kuorman nettopaino (kg)			
		Vuojärvi 1)	Vuotso 1)	Ylikiminki	Kuhmo		Vuojärvi 1)	Vuotso 1)	Ylikiminki	Kuhmo
HCT: 13-ax (4ax-ka+4ax-pk+5ax-pk) 104 t	Ketosen Kuljetus Oy	103500	104000			29420	74080	74580		
HCT: 10-ax (5ax-ka-5ax-pk) 84 t	P&A Trans Oy	84000	84300			21730	62270	62570		
7-ax (3ax-ka+4ax-pk) 64 t	Lapin ammattiopisto (LAO)	<u>64220</u>	<u>64360</u>			19960	44260	44400		
HCT: 10-ax (5ax-ka-5ax-pk) 84 t	O Malinen Oy			82820	83060	<u>26300</u>			56520	56760
9-ax (4ax-ka-5ax-pk) 76 t	O Malinen Oy			76080	74820	<u>26800</u>			49280	48020
7-ax (3ax-ka+4ax-pk) 60 t	Oulun seudun ammattiopisto (OSAO)			57080		<u>23500</u>			33580	
7-ax (3ax-ka+4ax-pk) 60 t	Kainuun ammattiopisto (KAO)				61120	<u>22700</u>				38420

alleiviattu = nosturi (3500 kg) nupissa mittauspäivänä

Nettokuorman suhde mittauspäivänä				
	Vuojärvi	Vuotso	Ylikiminki	Kuhmo
13ax/7ax	1,7	1,7		
10ax/7ax	1,4	1,4	1,7	1,5
9ax/7ax			1,5	1,2

1) Vuojärvi ja Vuotso: Vain 7-akselisessa yhdistelmässä oli nosturi ja se sisällytettiin yhdistelmän nettokuormaan

- Ylikiminki ja Kuhmo: kaikkien yhdistelmien nosturit sisällytetty painoon tyhjänä.

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Mittaukset

- Rovaniemeä lukuun ottamatta mittauskohteissa järjestettiin **mittauspäivä**. Mittauspäivän aikana puutavarayhdistelmät ajoivat mittaussuoran ylittäen samalla mittauspisteen useampaan (21-24) kertaan ennalta määrätyllä keskinopeudella samalla seuraten tiehen maalattua ajolinjaviivaa. Muuta liikennettä ei suoralla mittauspäivän aikana ollut.
- Tien rasitusta kasvatettiin mittauspäivän aikana laskemalla keskinopeutta ja tihentämällä yliajojen välistä aikaa.
- Lisäksi asfalttatiekohteissa ajettiin kolme kertaa ”maksimikuorma” peräkkäin ajavien yhdistelmien muodostamana jonona.
- Poikkeuksena oli Rovaniemi, jossa jatkuvatoiminen mittausjärjestelmä mittasi venymäliuskoilla kaikkea mittauspisteen yli menevää liikennettä 10 viikon aikana. Mittaustuloksista analysoitiin lopulta 96 ylitystä.

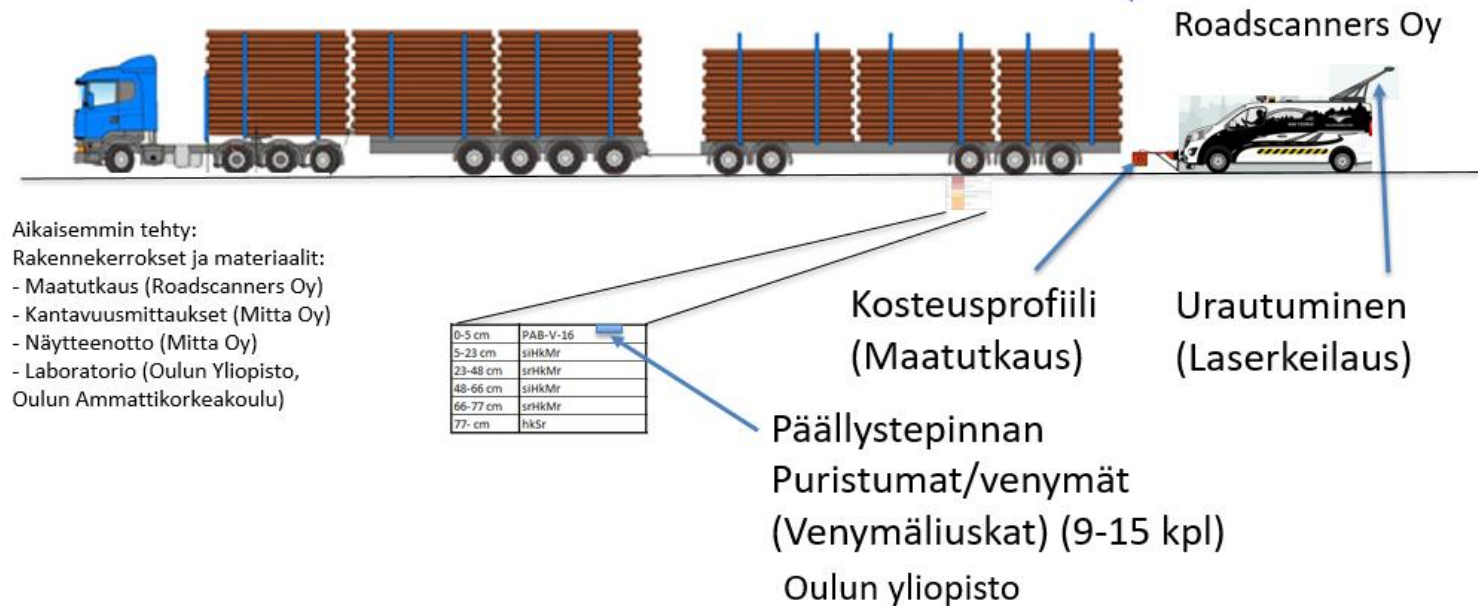
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

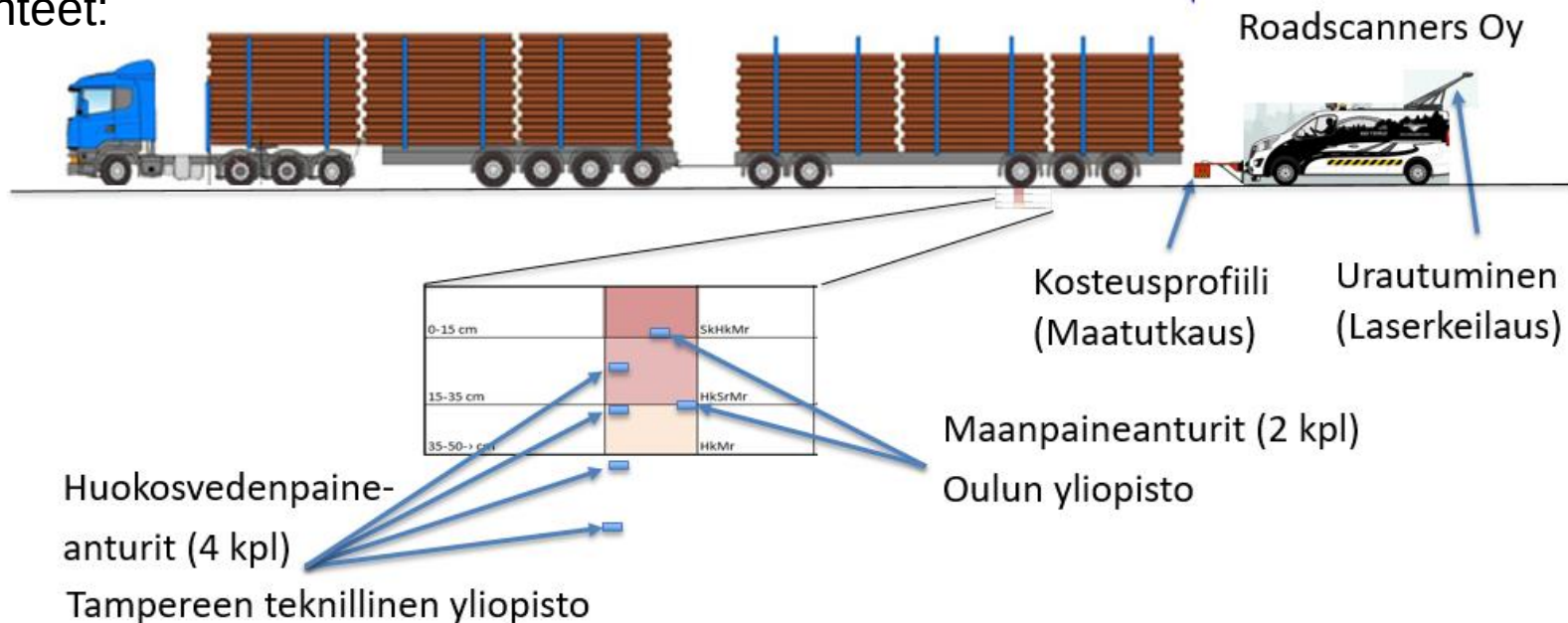


Mittaukset

Päällystetiekohteet:



Soratietekohteet:



PÄÄLLYSTETTY TIET

Vuotso

Tien pintaan maalattu
ajolinja



Vuojärvi

Ajolinja = tien keskiviivat



Tien pintaan maalattu
ajolinja



Rovaniemi

Urasyyvyys ja Kosteusprofiilin muutokset

- Urasyyvyyden kehittyminen oli odotusten mukaisesti suurinta turvemaalle perustetussa ohutpäälysteisessä Vuotsossa (2 mm paikallisesti mittauspäivän aikana), jossa suurimmat urakasvut mitattiin mittaussuoralla samoissa paikoissa kuin kosteusprofiilin suurimmat muutoksetkin: todennäköisesti pehmeikön päissä.
- Kapealla Vuotson tiellä mm. tien sivukaltevuudesta johtuen yhdistelmien renkaita oli vaikea ajaa samaa ajolinjaa (tiehen maalattu viiva) pitkin varsinkin mittauspisteen kohdalla. Maksimissaan ensimmäisen ja viimeisen renkaan ajolinjojen hajonta yhdistelmillä oli 21-36 cm.
- Paksupäälysteisessä ja –rakenteisessa tiellä Vuojärvellä ei tapahtunut urakehitystä. Mittaukset suoritettiin kuumana kesäpäivänä, jolloin päälyste on ollut pehmeimmillään. Kuormittavien rekkojen ajolinjojen luonnollinen hajonta on saanut aikaan jopa lievää päälysteen urien silottumista.
- Kosteusprofiilin muutoksia havaittiin Vuojärvellä lähellä tien pintaa poikkisuuntaisten halkeamien ympäristössä. Todennäköisesti tämä johtui lämpimän päälysteen pinnan tiivistymisestä / muokkautumisesta kuormitusten alla.

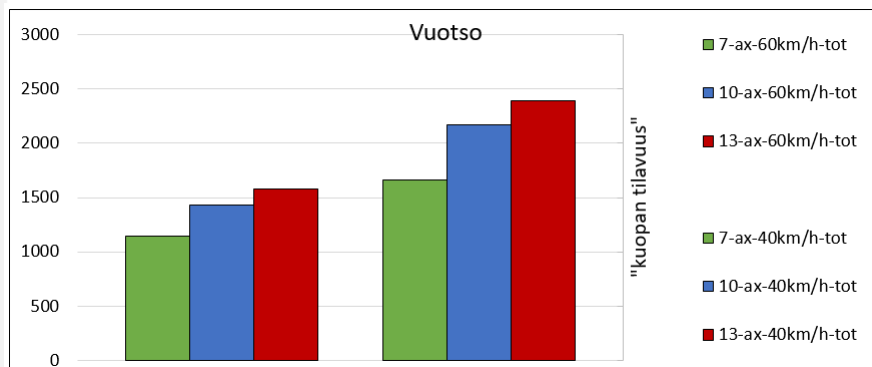
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

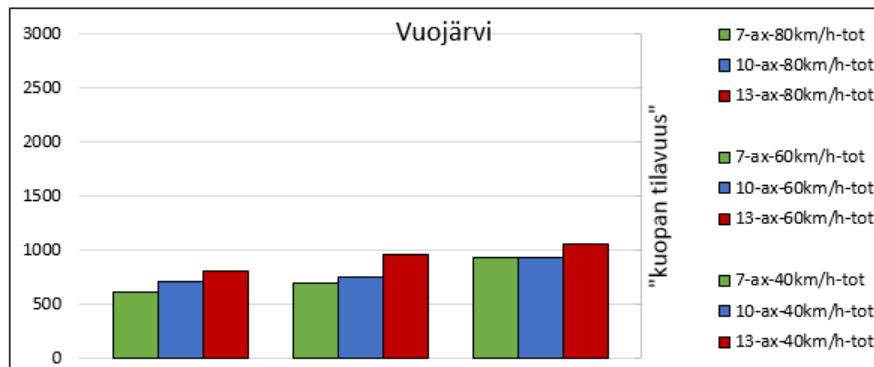


Venymäliuskatulokset: Kuormituksen aikainen hetkellinen ”kuopan tilavuus” yhdistelmittäin

Vuotso



Vuojärvi



HUOM: Kuvissa mittaustuloksia ei ole suhteutettu nettokuormiin

Suhteutettaessa ”kuopan tilavuus” sivulla 32 esitettyihin yhdistelmien hyöty/nettokuormiin on Vuotson ja Vuojärven osalta suhdeluku (13-ax vs. 7-ax ja 10-ax vs. 7-ax) on välillä 0,7-0,9. **Suhdelukua ei kuitenkaan voi käyttää sellaisenaan** osoittamaan yhdistelmien kuormitusvaikutuksia koska ”kuopan syvyydelle” ei ole määriteltyä vauriokerrointa.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

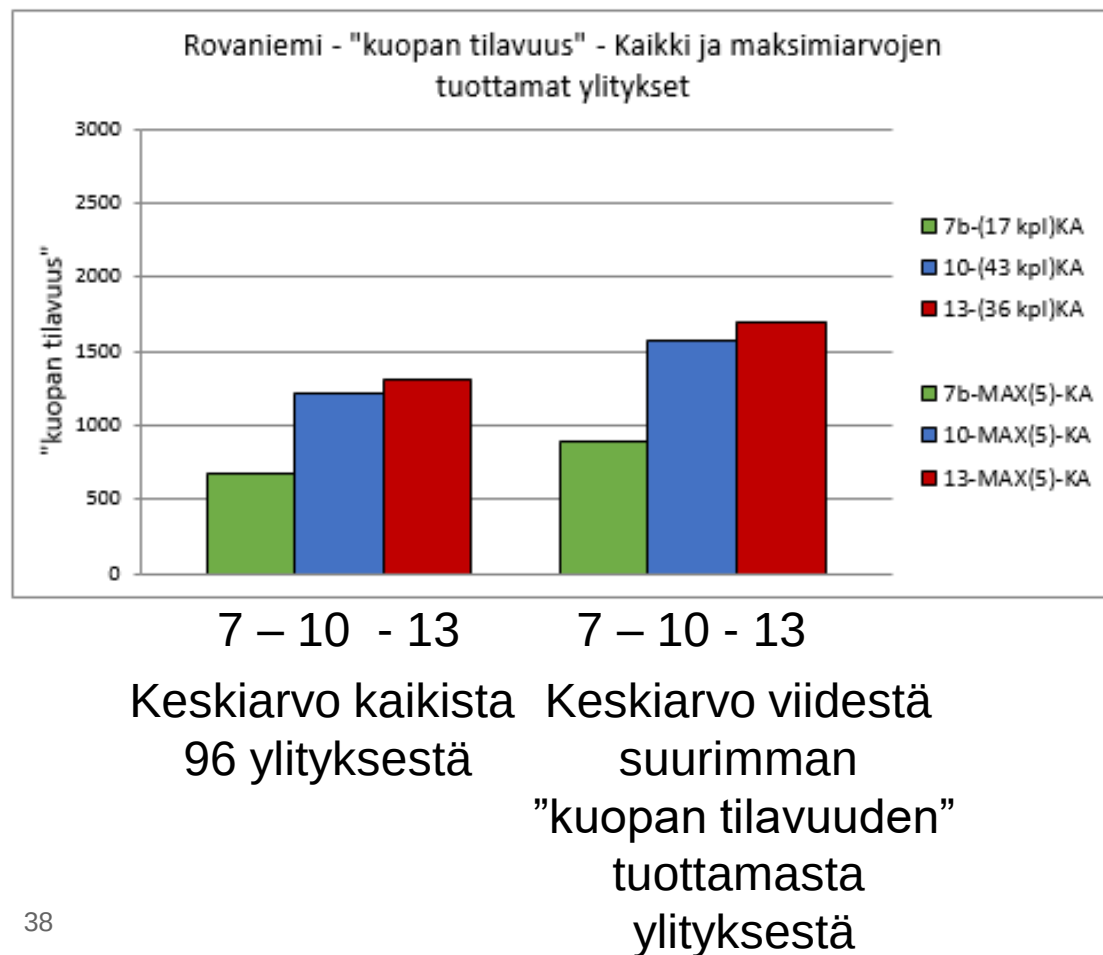
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Venymäliuskatulokset: Kuormituksen aikainen hetkellinen "kuopan tilavuus" yhdistelmittäin

ROVANIEMI

HUOM: Kuvan mittaustuloksia ei ole suhteutettu nettokuormiin



- Rovaniemellä suuret erot "kuopan tilavuudessa" 7-akselisen ja 10/13-akselisen välillä johtuu osaltaan siitä, että 7-akseliset yhdistelmät ovat ajaneet vaihtelevasti eri kohdilla kaistaa
- 7-akselisten yhdistelmien kokonaispainoista ei ole tarkkaa tietoa eli ne vaihtelevat ylityskerroittain

SORATIET

Ylikiiminki

Kuhmo

**Mittauspiste ja –suora
mittauksia edeltävällä viikolla**



**Mittauspiste ja –suora
mittausten jälkeen**



Tien pintaan maalattu
ajolinja

**Mittauspiste ja –suora
mittauksia edeltävällä viikolla**



**Mittauspiste ja –suora
mittausten jälkeen**



Tien pintaan maalattu
ajolinja

Soratiekohteet - Lähtökohdat

- Soratiekohteissa tien rakennekerrokset vaihtelivat lyhyelläkin matkalla. Tämä näkyy selvästi maatutkakuvissa ja kantavuusmittaustuloksissa.
- Soratiellä rakennemateriaaleilla ja sääolosuhteilla oli selvä vaikutus mittaustuloksiin, varsinkin Kuhmossa tien hienorakeinen pintamateriaali oli kuivunut kovaksi antureiden asentamispäivän ja mittauspäivän välisenä aikana.
- Mittauksilla etsittiin eroja erilaisten ajoneuvoyhdistelmien välille.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Urasyyvyys ja Kosteusprofiilin muutokset

- Ylikiimingissä urakasvu mitattiin paikallisesti enimmillään jopa yli 10 mm, joten urasyyvyyden kasvua tapahtui varsin merkittävästi kuormitusten aikana. Osasyynä oli lanatun tien pinnan **alkutiivistyminen** rasituksen alussa. Kosteuden kasvua havaittiin niissä kohdissa, missä rakenteen kokonaispaksuus on ohuimmillaan.
- Kuhmossa urakasvua oli paikallisesti enimmillään noin 8 mm. Urasyyvyys kasvoi kohteen alkuosalla, mutta loppuosalla se monin paikoin pienentyi. **Todennäköisesti rekat ovat ajaneet tarkemmin samassa ajourassa kohteen alkuosalla ennen mittausantureita, ja antureiden jälkeisellä osalla ajolinjoissa on ollut enemmän hajontaa, mikä selittää urien tasoittumista.** Kosteusprofiileissa ei havaittu oleellisia muutoksia kuormitusten edetessä, eikä näin ollen myöskään viitteitä kosteuden kasvusta / pumppautumisesta.

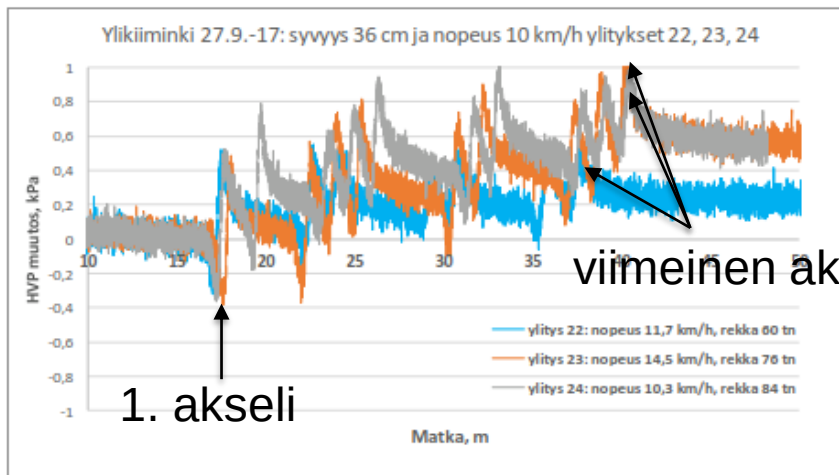
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



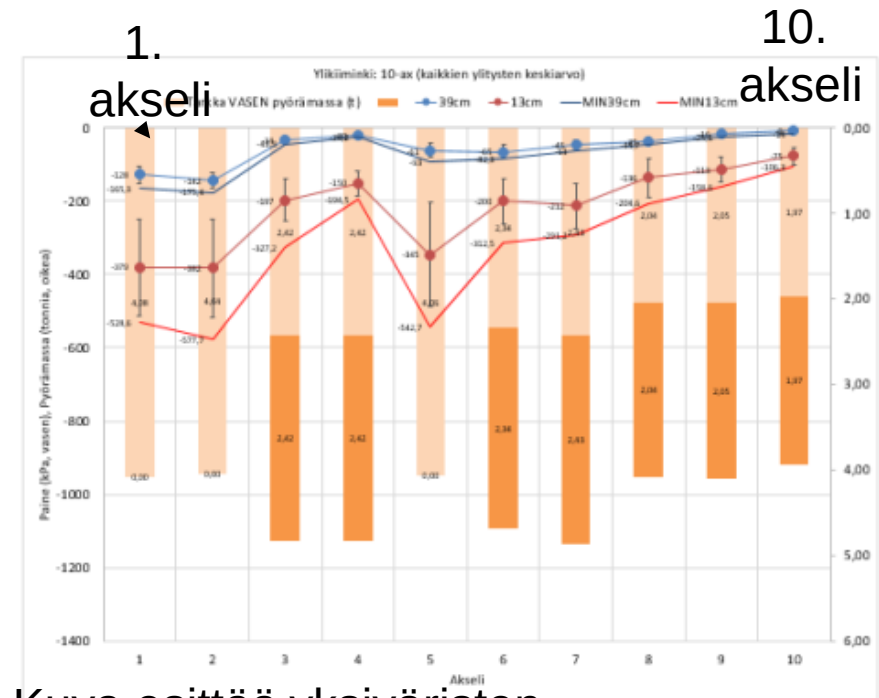
Huokosvedenpaine

- Tavoitteena havainnoida veden pumppautumista tierakenteen pintaa kohden yliajavan ajoneuvon vaikutuksesta
- Soratiemittauksissa huokosvedenpaineen muutokset eivät suuruudeltaan olleet kovin merkittäviä näissä mittauskohteissa
- Ajonopeuden alentaminen suurentaa huokosvedenpainetta tierakenteessa
- Kummassakin kohteessa havaittiin viitteitä, että 76 ja 84 tn tukkirekalla on suurempi potentiaali heikentää tierakennetta huokosvedenpaineen kasvamisen myötä kuin 60 tn rekalla. 76- tonnisen ja 84-tonnisen ajoneuvoyhdistelmän välinen ero oli pieni.
- Mittaukset viittaavat siihen, että isojen kokonaispainojen yhteydessä soratien vaurioitumisriski kasvaa otollisissa olosuhteissa (kosteutta paljon tierakenteessa, erittäin hidas ajonopeus, samat ajolinjat)



Maanpaine – kuormituksen aikaisen hetkellisen pystysuuntaisen jännityksen jakaantuminen

- Kuvaa tierakenteessa tietyllä syvyydellä esiintyvää pystyjännitystä kun ajoneuvo ajaa anturin yli.
- Syvemmällä tien (noin 40 cm) rakenteissa mitatulla rasituksella näyttäisi olevan vaikutus 7-akselisen ja 9- sekä 10-akselisen väliseen suhdelukuun. Suhteutettaessa sivulla 32 esitettyihin yhdistelmien hyöty/nettokuormiin on Ylikiimingin ja Kuhmon osalta suhdeluku (10-ax vs. 7-ax ja 9-ax vs. 7-ax) on 1,6-2.
Suhdelukua ei kuitenkaan voi käyttää sellaisenaan osoittamaan yhdistelmien kuormitusvaikutuksia koska jännityksen jakaantumiselle ei ole määriteltyä vauriokerrointa.



Kuva esittää yksiväristen pylväiden eli ykköspyöräakselin aiheuttaman suuremman paineen maaperässä

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Soratiet

- Tien rakennemateriaalien ominaisuuksilla ja vallitsevilla ympäristöolosuhteilla (lämpötila, kosteus) oli sorateilla merkitystä tuloksiin.
- Mittaustulosten perusteella erot 7-akselisen ja 9/10-akselisten välillä olivat todennettavissa mittauspäivän olosuhteissa ajettaessa erittäin hitaasti (10 km/h) samoja ajolinjoja.
- Käytetyillä mittausmenetelmillä mittauspäivän olosuhteissa ei 9-akselisen ja 10-akselisen välille saatu merkittäviä eroja (vaatii pidempiaikaista tutkimusta vaihtelevissa olosuhteissa).
- Mittauspäivien olosuhteissa ei pumppautumisilmiötä tien rakenteissa havaittu Kuhmossa mittaussuoralla eikä Ylikiimingissä mittauspisteessä.
- Mittaussuoralla oli mittauspisteitä selvästi huonompia kohtia joiden voidaan olettaa vaurioituvat huonoissa olosuhteissa nopeammin kuin mittauspisteiden kohdat.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Kiitos mielenkiinnostanne

Kysymyksiä ?