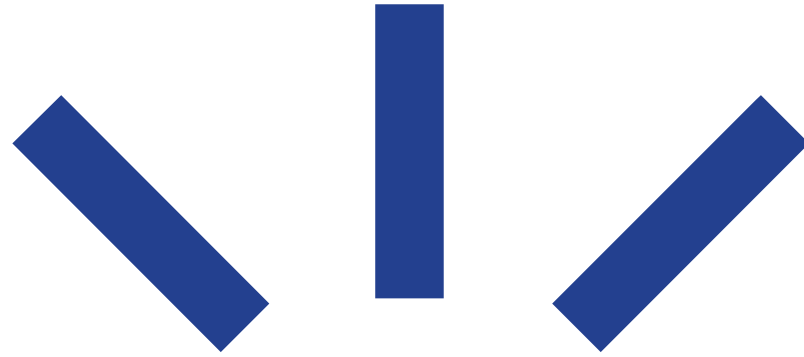




Puutavara- ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu, mitoitus tarkastelut ja mittaustulokset

Miro-Tommi Tuutijärvi



Sisältö

- Tarkoitus
- Ajoneuvoyhdistelmien määrittäminen
- Simulointimallit
- Ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu
- Mitoitustarkastelut
- A-double tyyppisen ajoneuvoyhdistelmän mitoitusarkastelut
- ETT tyyppisen ajoneuvoyhdistelmän mitoitusarkastelut

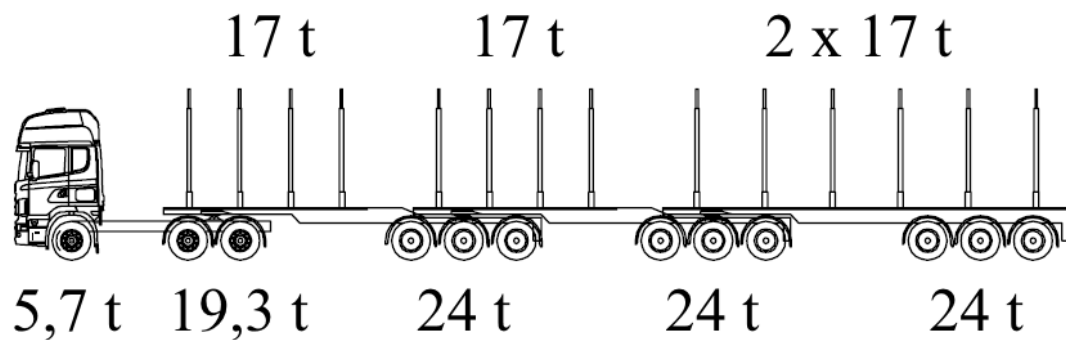
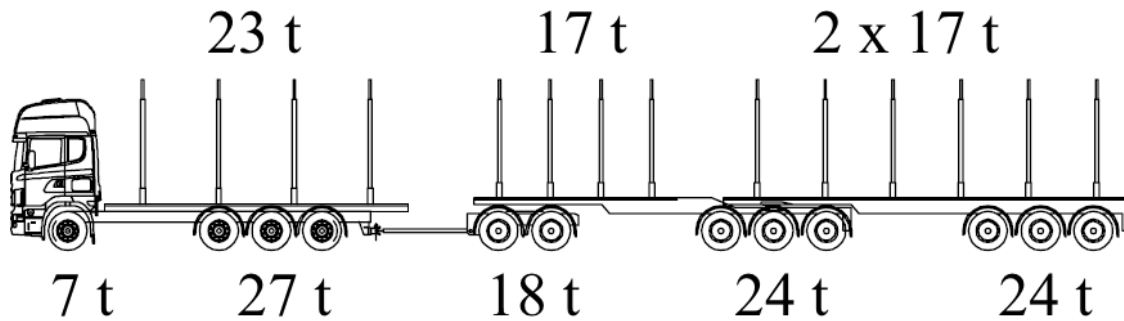


Tarkoitus

- Tutkimuksen tarkoituksena on pyrkiä vertailemaan erityyppisten ajoneuvoyhdistelmien ajostabiliteettia mahdollisimman tasapuolisesti
- Lisäksi tutkimuksen tarkoituksena on arvioida stabiliteetiltaan riittäviä mitoitusvaihtoehtoja A-double ja ETT-tyyppisille ajoneuvoyhdistelmille



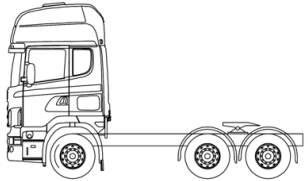
Ajoneuvoyhdistelmien määrittäminen



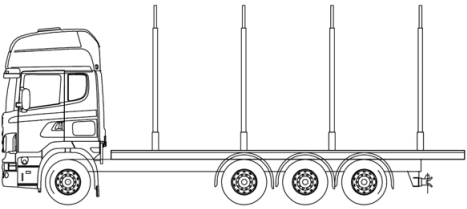
- Ajoneuvoyhdistelmien määrittämisessä on pyritty siihen, että ajoneuvoyhdistelmät muodostuvat mahdollisimman pitkälle samanlaisista ajoneuvoyksiköistä
- Samalla on pyritty muodostamaan ajoneuvoyhdistelmät täysille akselistomassoille
- Tällöin voidaan tarkastella erityyppisten ajoneuvoyhdistelmien suorituskykyä mahdollisimman tasapuolisesti
- Myös mitoitus tarkasteluissa painonjakauma pidetään samana



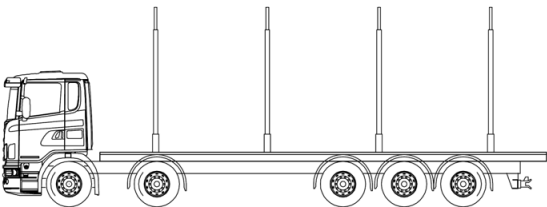
Ajoneuvoyhdistelmien määrittäminen



Ajoneuvon päämitat	1. akseli	2. akseli	3. akseli	vetopöytä telin kuormituspisteestä
Omamassa	5724 kg	1638 kg	1638 kg	
Massa kuormattuna	5724 kg	9638 kg	9638 kg	
Akseliväli	0 mm	3000 mm	1350 mm	0 mm



	1. akseli	2. akseli	3. akseli	4. akseli	vetokytin viimeisestä akselista
Omamassa	5714 kg	1869 kg	1869 kg	1548 kg	
Massa kuormattuna	7004 kg	9545 kg	9545 kg	7906 kg	
Akseliväli	0 mm	3900 mm	1350 mm	1305 mm	1405 mm

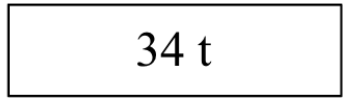


	1. akseli	2. akseli	3. akseli	4. akseli	5. akseli	vetokytin viimeisestä akselista
Omamassa	3991 kg	3991 kg	2128 kg	2128 kg	1763 kg	
Massa kuormattuna	7731 kg	7731 kg	9383 kg	9383 kg	7772 kg	
Akseliväli	0 mm	1940 mm	4110 mm	1350 mm	1305 mm	1405 mm

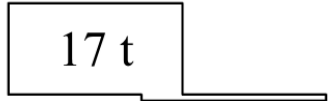
- Ajoneuvoyhdistelmiä varten laadittiin kolme vetoajoneuvoa
- Kolmeakselinen telivetoinen vetoauto, ns. ”rekkaveturi”, omamassa 9 t ja kokonaismassa 16 t tappipainolla 25 t.
- Neljäakselinen telivetoinen kuorma-auto 7820 mm pitkällä kuormatilalla, omamassa 11 t ja kokonaismassa 34 t
- Viisiakselinen telivetoinen kuorma-auto 9865 mm pitkällä kuormatilalla, omamassa 14 t ja kokonaismassa 42 t
- **Kuorma-autojen puutavarakuorman alalaita 1350 mm ja ylälaita 4400 mm maanpinnan tasosta**



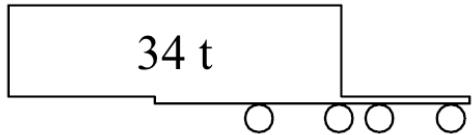
Ajoneuvoyhdistelmien määrittäminen



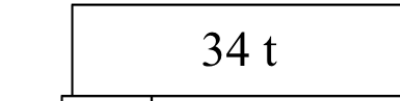
$$6 \text{ t} + 34 \text{ t} = 40 \text{ t}$$



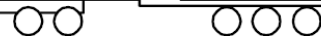
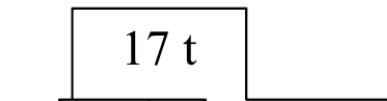
$$7 \text{ t} + 17 \text{ t} = 24 \text{ t}$$



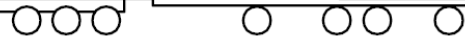
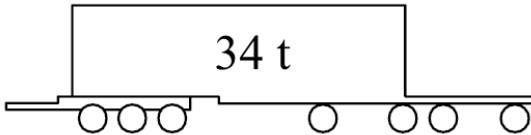
$$7 \text{ t} + 34 \text{ t} = 41 \text{ t}$$



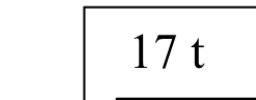
$$8 \text{ t} + 34 \text{ t} = 42 \text{ t}$$



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



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

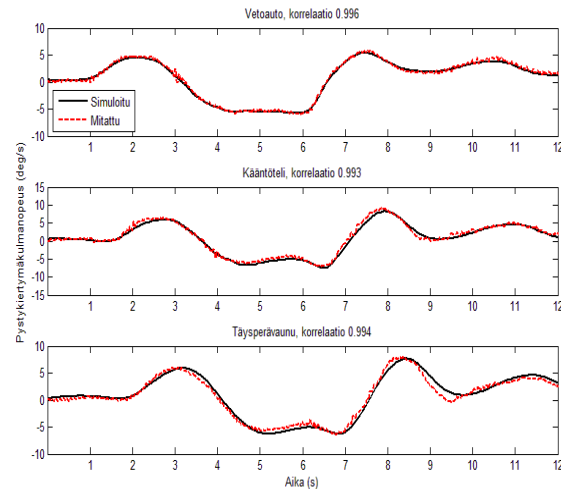
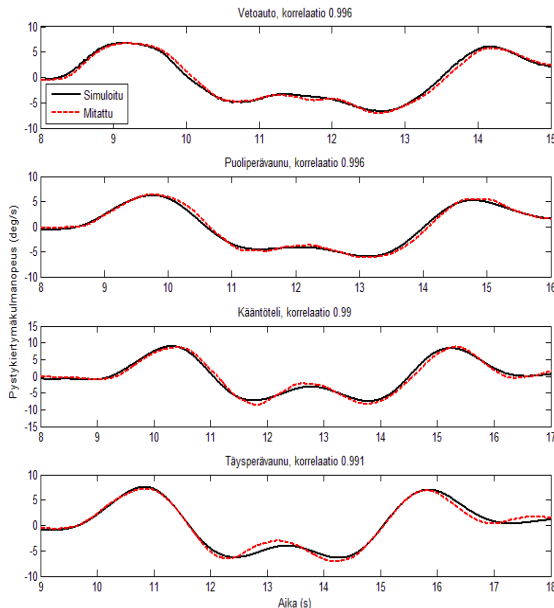
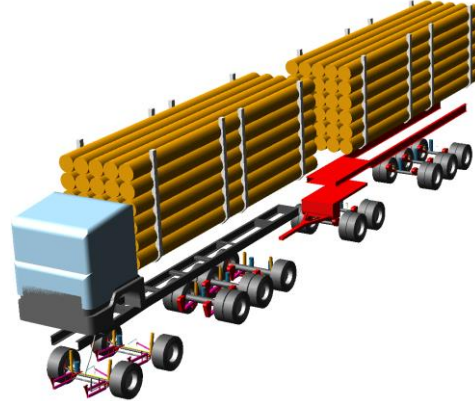
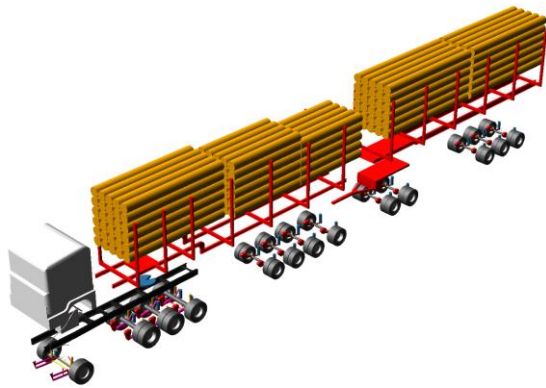


$$5 \text{ t} + 17 \text{ t} = 22 \text{ t}$$

- Perävaunujen laatimisessa on pyritty täysiin akselimassoihin tasan jakautuneella kuormalla
- Akseliväli määräytyy kuormatilan pituuden ja etuylityksen perusteella
- Kuormatiloja kolmea eri perusmittaa
 - Lyhyet kuormatilat: 5250 ja 10500 mm
 - Keskipitkät kuormatila: 6250 ja 12500 mm
 - Pitkät kuormatilat: 7820 ja 13600 mm
- Kuormana yksi tai kaksi 17000 kg puutavaraniippua
- Perävaunujen puutavarakuorman alalaita 1350 mm ja ylälaita 4400 mm maanpinnan tasosta



Simulointimallit



- Simulointiohjelmistona Adams/Car, ajoneuvoyksiköiden rungot jäykkiä, massat keskitettyjä ja ajoneuvoyksiköiden välinen kytkentä kinemaattinen
- Mallit jousitettuja, jousitus mallinnettu Adams/Truck ilmajousielementeillä
- Ajoneuvomallien osajärjestelmät määritetty aiempien tutkimusten ohessa mittakuvien ja ajoneuvon mittausten perusteella
- Ajoneuvoyksiköiden massahitausmomentit arvioita
- Kuormien massahitausmomentit kuorman geometriasta ja tiheydestä
- Mallinnusperiaatteet validoitu ajokokeissa mitattuun dataan tukeutuen (kuvaajat)

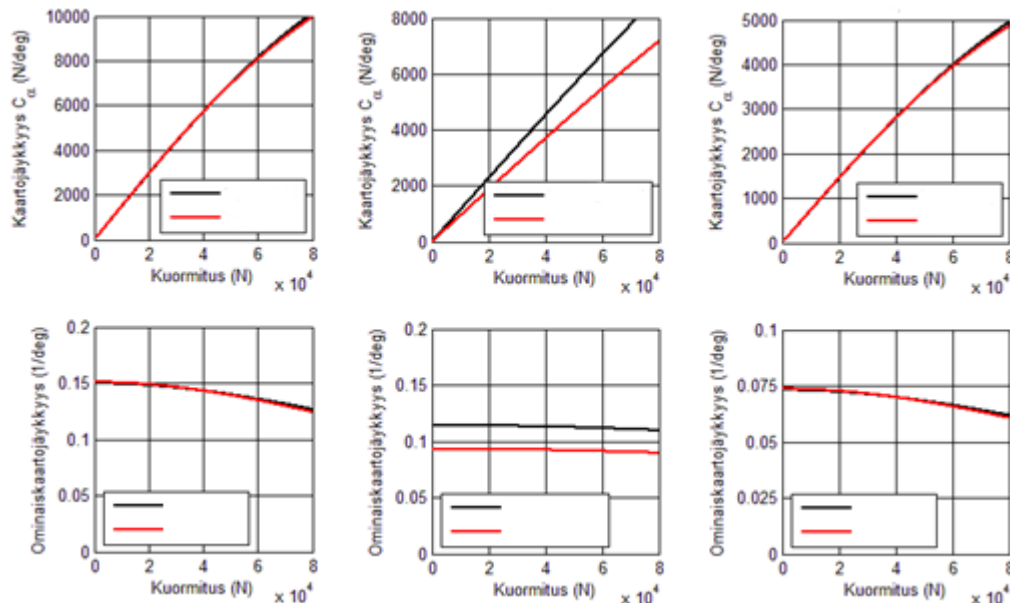


Simulointimallit

Rengasmallien kaartojäykkyydet ja ominaiskaartojäykkyydet. Vasemmalta oikealle:

- Ohjaavan akselin rengas
- Vetävän akselin rengas
- Perävaunun akselin rengas

Musta viiva ympärivuotinen rengas ja punainen viiva talvirengas



- Rengasmalli PAC2002 (Magic Formula) puhtaille pitkittäis- ja sivuttaisluistoille kuivalla asfaltilla, määritetty ohjaavien ja vetorenkaiden osalta renkaiden voimantuoton kokeellisiin mittauksiin perustuen
- Vetoauton ohjaavat renkaat 385/55R22.5, vetävät renkaat 315/70R22.5
- Perävaunujen renkaat 285/70R19.5, määritetty vetoauton ohjaavien rengasmalleista käyttäen skaalauskerroimia simulointimallin validoinnin yhteydessä



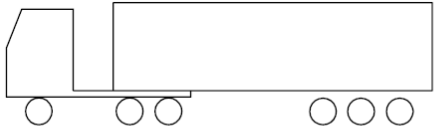
Ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu

- Ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailemiseksi laadittiin 13 erityyppistä ajoneuvoyhdistelmää
- Ajoneuvoyhdistelmistä laadittiin versiot eri mittaisilla kuormatiloilla ja vastaavilla akseliväleillä, jolloin vertailussa tarkasteltavia ajoneuvoyhdistelmiä muodostui 48
- Tarkasteltavilla ajoneuvoyhdistelmillä simuloitiin ISO 14791 –standardin mukaisia ajokokeita ja niiden kääntyvyyttä tarkasteltiin kiinteillä akseleilla 4:ssä kääntymistilanteessa

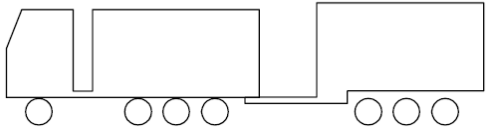


Ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu

- Yksinivelisiä

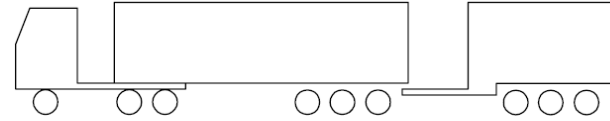


VA + PPV

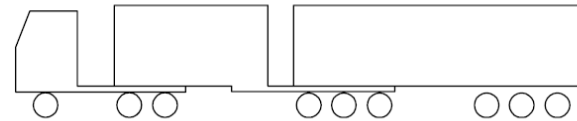


KA + KPV

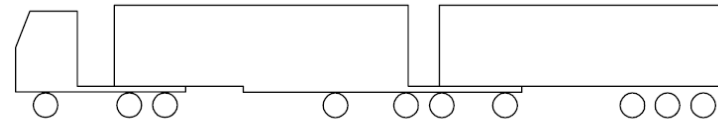
- Kaksinivelisiä



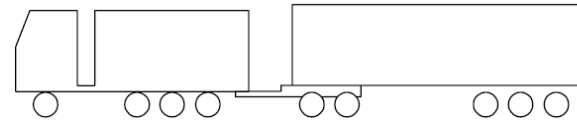
VA + PPV + KPV



VA + LPV + PPV,
B-double



VA + LPV(P) +
PPV, B-double

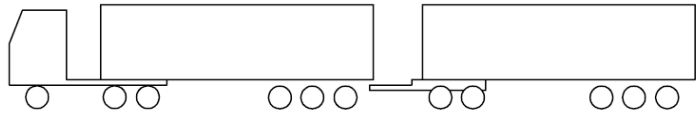


KA + TPV

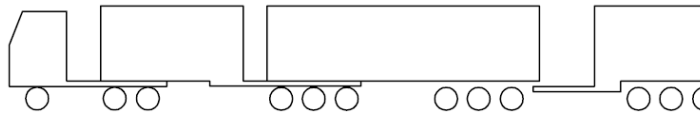


Ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu

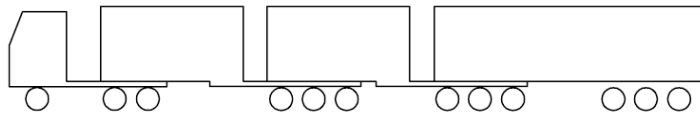
• Kolmenivelisiä



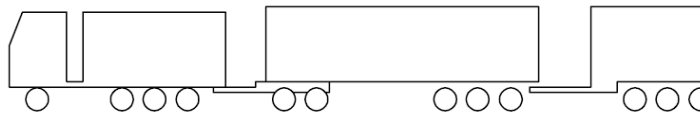
VA + PPV + TPV,
A-double



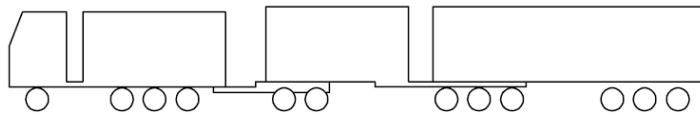
VA + LPV + PPV
+ KPV, C-juna



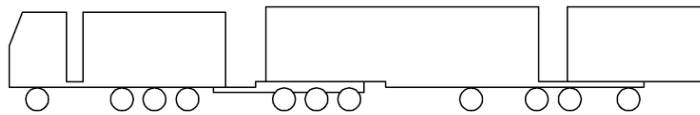
VA + LPV + LPV
+ PPV, B-triple



KA + TPV + KPV

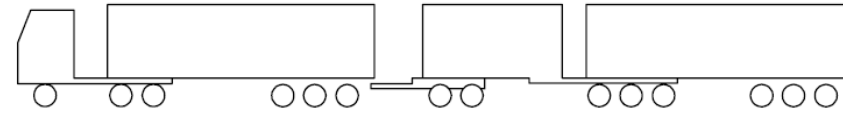


KA + LTPV +
PPV, ETT



KA + LTPV(P) +
PPV, ETT

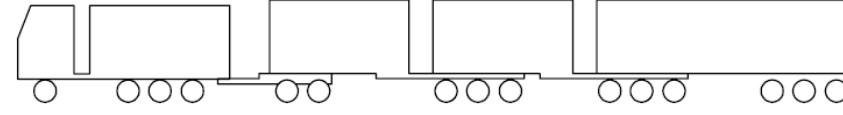
• Neljänivelisiä



VA+ LTPV + PPV,
AB-triple



KA + TPV + TPV



KA + LTPV +
LPV + PPV



Ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu

Ajoneuvoyhdistelmä	YAW RA	ACC RA	Poikkeama [m]	LTR	YDC
VA+PPV, 3+3 akselia, 14.33 m, 49 t	1.26	2.45	0.19	0.37	0.53
KA+KPV, 4+3 akselia, 16.84 m, 56 t	1.96	3.29	0.48	0.93	0.24
VA+PPV+KPV, 3+3+3 akselia, 21.56 m, 71 t	2.68	4.48	0.53	0.89	0.16
VA+LPV+PPV, 3+3+3 akselia, 20.77 m, 73 t	1.58	2.65	0.32	0.36	0.48
VA+LPV(P)+PPV, 3+4+3 akselia, 25.59 m, 90 t	1.37	2.20	0.38	0.42	0.39
KA+TPV, 4+5 akselia, 22.45 m, 76 t	2.08	4.33	0.60	0.88	0.27
KA+TPV, 5+5 akselia, 24.60 m, 84 t	2.19	3.50	0.64	0.89	0.26
VA+PPV+TPV, 3+3+5 akselia, 27.16 m, 91 t	2.63	5.08	0.67	0.86	0.25
KA+TPV+KPV, 4+5+3 akselia, 29.67 m, 98 t	4.13	9.82	1.04	1.00	0.12
KA+LTPV+PPV, 4+5+3 akselia, 28.88 m, 100 t	2.36	4.96	0.78	0.73	0.30
KA+LTPV+PPV, 5+5+3 akselia, 31.03 m, 108 t	2.47	4.02	0.82	0.73	0.29
VA+LPV+LPV+PPV, 3+3+3+3 akselia, 27.20 m, 97 t	1.94	3.16	0.48	0.39	0.41
VA+LPV+PPV+KPV, 3+3+3+3 akselia, 27.99 m, 95 t	3.41	5.52	0.72	1.00	0.17
KA+LTPV(P)+PPV, 4+7+3 akselia, 33.70 m, 118 t	2.08	4.51	0.66	0.55	0.38
KA+LTPV(P)+PPV, 5+7+3 akselia, 35.85 m, 126 t	2.13	3.62	0.72	0.57	0.36
KA+TPV+TPV, 4+5+5 akselia, 35.28 m, 118 t	4.01	8.20	1.18	1.00	0.14
KA+LTPV+LPV+PPV, 4+5+3+3 akselia, 35.32 m, 124 t	2.78	5.91	1.00	0.64	0.30
VA+PPV+LTPV+PPV, 3+3+5+3 akselia, 33.60 m, 140 t	3.00	5.96	0.78	0.67	0.26

- Ajoneuvoyhdistelmillä simuloitiin ISO 14791 – standardin mukaiset open-loop kaistanvaihtokokeet 0,40 Hz ohjausherätteen taajuudella ja tarvittaessa pulssiohjausherätekokeet ajonopeudella 80 km/h. Simulointituloksista määritettiin:
 - YAW RA, ensimmäisen ja viimeisen ajoneuvoyksikön pystykiertymäkulmanopeuksista määritetty RA-arvo
 - ACC RA, ensimmäisen ja viimeisen akselin sivuttaiskihtiävyyksistä määritetty RA-arvo
 - Poikkeama, viimeisen akselin kulku-uran poikkeama ensimmäisen akselin kulku-urasta
 - LTR, kuormansiirtymäkerroin viimeisen akselin renkaiden pystykuormituksista
 - YDC, ajoneuvoyksiköiden välisten kiertoheilahtelujen vaimennuskerroin
- Tasapuolisen vertailun vuoksi ohjausherätteen amplitudi määritettiin ajoneuvoyhdistelmille niin, että ajoneuvoyhdistelmän etuakselin sivuttaissiirtymä oli kaksi metriä
- Taulukossa esitetty tulokset lyhyillä (5250 ja 10500 mm kuormatiloilla)
- Tulokset pisteytettiin ja asetettiin paremmuusjärjestykseen



Ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu

Ajoneuvoyhdistelmä	Stabiliteettipisteet
VA+PPV, 3+3 akselia	229
VA+LPV+PPV, 3+3+3 akselia	226
VA+LPV+LPV+PPV, 3+3+3+3 akselia	211
KA+LTPV+PPV, 5+5+3 akselia	136
KA+LTPV+PPV, 4+5+3 akselia	134
KA+KPV, 4+3 akselia	133
KA+TPV, 4+5 akselia	133
KA+LTPV+LPV+PPV, 4+5+3+3 akselia	131
KA+TPV, 5+5 akselia	122
VA+PPV+LTPV+PPV, 3+3+5+3 akselia	99
VA+PPV+TPV, 3+3+5 akselia	94
VA+PPV+KPV, 3+3+3 akselia	92
VA+LPV+PPV+KPV, 3+3+3+3 akselia	68
KA+TPV+TPV, 4+5+5 akselia	27
KA+TPV+KPV, 4+5+3 akselia	18

- Vertailtaessa erityyppisten ajoneuvoyhdistelmien stabiliteettia, voidaan havaita, että vetopöytäkytkettyjen ajoneuvoyhdistelmien stabiliteetti on hyvällä tasolla
 - Vetopöytäkytkentä mahdollistaa vetokytkimen tuomisen edemmäs kuin vetokytkinkytkentä, jonka lisäksi vetopöytäkytketyt ajoneuvoyksiköt ovat kallistuskytkettyjä
- Kolmenivelisten ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa ETT tyyppisen ajoneuvoyhdistelmän stabiliteetti vaikuttaa paremmalta kuin A-double tyyppisen ajoneuvoyhdistelmän
 - Ajoneuvoyhdistelmän viimeisten ajoneuvoyksiköiden kallistuskytkennän voidaan tulkita parantavan ajoneuvoyhdistelmän stabiliteettia
- Kuorma-auton ja täysperävaunun ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa ei ole 4- ja 5-akselisten kuorma-autojen välillä ei ole merkittävää eroa
 - 5-akselisen kuorma-auton voidaan tulkita tosin parantavan ajoneuvoyhdistelmän hallittavuutta kuorma-auton ja perävaunun ”paremman” painonjakauman vuoksi
- Keskiakseliperävaunu on tulosten perusteella huono vaihtoehto stabiliteetin kannalta



Ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu

Ajoneuvoyhdistelmä		R 12,5 m	R 15 m	R 12,5 m 90 ast	R 16,5 m 120 ast	R 12,5 m 120 ast
VA+PPV, 3+3 akselia, 14.33 m, 49 t		6374	9728	7270	11555	6887
KA+KPV, 4+3 akselia, 16.84 m, 56 t		7971	10885	8084	12389	7967
VA+PPV+KPV, 3+3+3 akselia, 21.56 m, 71 t		5044	8849	6603	10895	6033
VA+LPV+PPV, 3+3+3 akselia, 20.77 m, 73 t		2858	7650	5924	10156	5134
VA+LPV(P)+PPV, 3+4+3 akselia, 25.59 m, 90 t		-	4267	4638	8612	3354
KA+TPV, 4+5 akselia, 22.45 m, 76 t		5539	9156	6759	11108	6311
KA+TPV, 5+5 akselia, 24.60 m, 84 t		3161	7742	5912	10251	5226
VA+PPV+TPV, 3+3+5 akselia, 27.16 m, 91 t		-343	6690	5431	9598	4462
KA+TPV+KPV, 4+5+3 akselia, 29.67 m, 98 t		4003	8224	6145	10465	5504
KA+LTPV+PPV, 4+5+3 akselia, 28.88 m, 100 t		964	6934	5501	9741	4639
KA+LTPV+PPV, 5+5+3 akselia, 31.03 m, 108 t		-	5040	4742	8914	3625
VA+LPV+LPV+PPV, 3+3+3+3 akselia, 27.20 m, 97 t		-	4908	4755	8806	3525
VA+LPV+PPV+KPV, 3+3+3+3 akselia, 27.99 m, 95 t		-	6540	5358	9519	4358
KA+LTPV(P)+PPV, 4+7+3 akselia, 33.70 m, 118 t		-	2978	4255	8225	2909
KA+LTPV(P)+PPV, 5+7+3 akselia, 35.85 m, 126 t		-	-	3561	7450	1960
KA+TPV+TPV, 4+5+5 akselia, 35.28 m, 118 t		-	5878	5034	9199	3997
KA+LTPV+LPV+PPV, 4+5+3+3 akselia, 35.32 m, 124 t		-	-	-	-	-
VA+PPV+LTPV+PPV, 3+3+5+3 akselia, 33.60 m, 140 t		-	3432	4491	8530	3243

- Ajoneuvoyhdistelmillä suoritettiin kääntövyystarkastelut viidessä tapauksessa:
 - R12,5 m, jatkuva ympyrä 12,5 metrin ulkosäteellä
 - R 15 m, jatkuva ympyrä 15 metrin ulkosäteellä
 - R12,5 m 90 ast, 90 asteen käännös 12,5 metrin ulkosäteellä
 - R16,5 m 120 ast, 120 asteen käännös 16,5 metrin ulkosäteellä
 - R12,5 m 120 ast, 120 asteen käännös 12,5 metrin ulkosäteellä
- Tuloksissa on ilmoitettu ajoneuvoyhdistelmän sisäsäde erityyppisissä käännöksissä ilman ohjautuvia akseleita, - merkki ruudussa tarkoittaa, ettei kääntövyystarkastelu ole mahdollinen
- Taulukossa esitetty tulokset lyhyillä (5250 ja 10500 mm kuormatiloilla)
- Tulokset pisteytettiin ja asetettiin paremmuusjärjestykseen



Ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu

Ajoneuvoyhdistelmä	Kääntävyyspisteet
KA+KPV, 4+3 akselia	225
VA+PPV, 3+3 akselia	210
KA+TPV, 4+5 akselia, 22.45 m	195
VA+PPV+KPV, 3+3+3 akselia	170
KA+TPV, 5+5 akselia, 24.60 m	150
KA+TPV+KPV, 4+5+3 akselia	139
VA+LPV+PPV, 3+3+3 akselia	109
VA+PPV+TPV, 3+3+5 akselia	96
KA+LTPV+PPV, 4+5+3 akselia	96
KA+TPV+TPV, 4+5+5 akselia	69
VA+LPV+PPV+KPV, 3+3+3+3 akselia	68
KA+LTPV+PPV, 5+5+3 akselia	48
VA+LPV+LPV+PPV, 3+3+3+3 akselia	35
VA+PPV+LTPV+PPV, 3+3+5+3 akselia	26

- Kääntävyystarkastelun tuloksista voidaan havaita, että lyhyet ja vetokytkintyyppisellä kytkennällä varustettujen ajoneuvoyhdistelmien kääntävyys on hyvällä tasolla
 - Vetokytkintyyppisessä kytkennässä vetokytkin voidaan sijoittaa huomattavan taakse, jolla on ajoneuvoyhdistelmän ketteryyttä parantava vaikutus. Samasta syystä kyseisten ajoneuvoyhdistelmien stabiliteetti on usein vetopöytäkytkettyä heikommalla tasolla
- Tarkastelluista kolmenivelisistä ajoneuvoyhdistelmistä A-double ja ETT tyyppiset ajoneuvoyhdistelmät ovat kääntävyydeltään varsin samankaltaisia
 - B-triple tyyppisen ajoneuvoyhdistelmän kääntävyys on huomattavasti heikompi



Ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailu

Ajoneuvoyhdistelmä	Kokonaispisteet
VA+PPV, 3+3 akselia	439
KA+KPV, 4+3 akselia	358
VA+LPV+PPV, 3+3+3 akselia	335
KA+TPV, 4+5 akselia	328
KA+TPV, 5+5 akselia	272
VA+PPV+KPV, 3+3+3 akselia	262
VA+LPV+LPV+PPV, 3+3+3+3 akselia	246
KA+LTPV+PPV, 4+5+3 akselia	230
VA+PPV+TPV, 3+3+5 akselia	190
KA+LTPV+PPV, 5+5+3 akselia	184
KA+TPV+KPV, 4+5+3 akselia	157
VA+LPV+PPV+KPV, 3+3+3+3 akselia	136
VA+PPV+LTPV+PPV, 3+3+5+3 akselia	125
KA+TPV+TPV, 4+5+5 akselia	96

- Tarkasteltaessa ajoneuvoyhdistelmätyyppien vertailun tuloksia yhdistettyjen stabiliteetti- ja kääntävyyspisteiden osalta, voidaan havaita, että ajoneuvoyhdistelmien järjestys on nivelmäärän mukainen
- Kolmenivelisten ajoneuvoyhdistelmien osalta A-double ja ETT-tyyppiset ajoneuvoyhdistelmät vaikuttavat verraten hyviltä kompromisseilta kääntävyyden ja stabiliteetin suhteen
 - B-triple tyyppisen ajoneuvoyhdistelmän osalta stabiliteetti on huomattavasti em. paremmalla tasolla, mutta kääntävyys on ongelmallinen
- Puutavarayhdistelmien osalta kolmenivelisiin ajoneuvoyhdistelmiin ei ole liikenneturvallisuuden kannalta kannattavaa kytkeä keskiakseliperävaunua

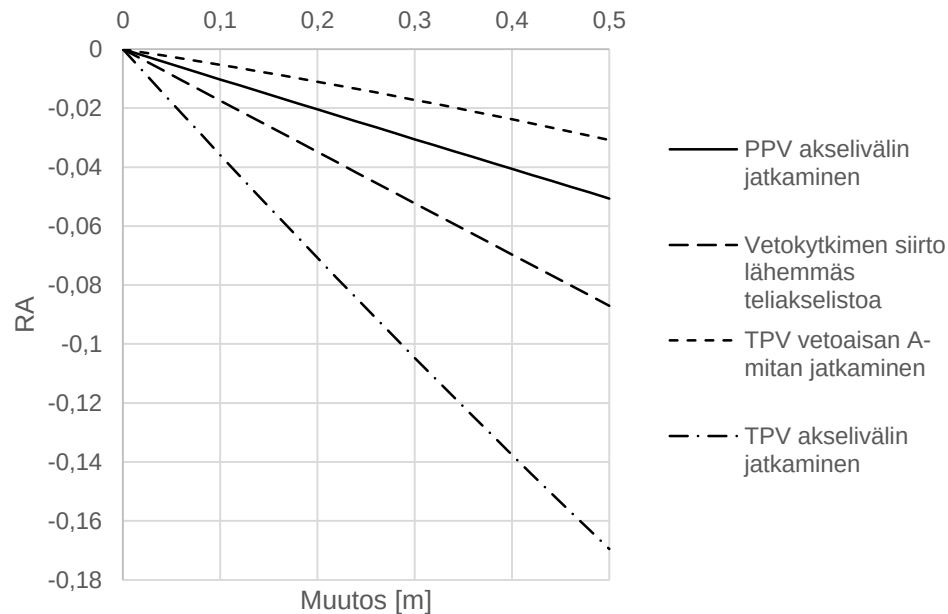
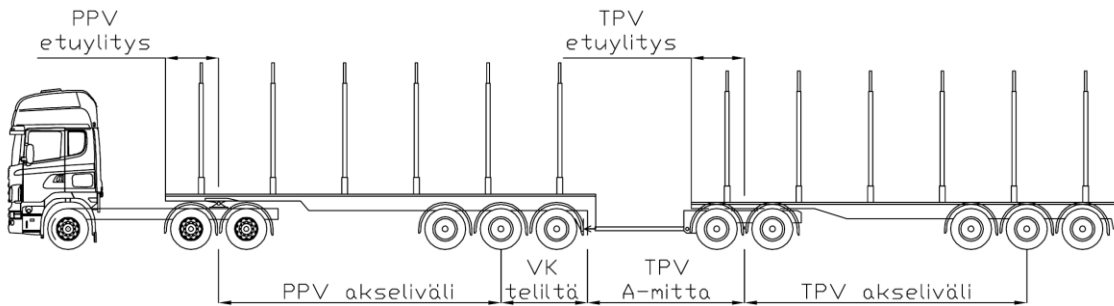


Mitoitus- tarkastelut

- Mitoitustarkastelussa tarkasteltiin mitoitusparametrien vaikutusta A-double ja ETT tyyppisten ajoneuvoyhdistelmien stabiliteettiin ja kääntyvyyteen
- Mitoitustarkastelut suoritettiin simuloimalla ISO 14791 –standardin mukainen open-loop kaistanvaihtokoe lukuisilla mitoitusvaihtoehdoilla, jonka jälkeen tuloksiin sovitettiin lineaariregressiomalli
 - Ajokokeena ISO 14791 –standardin mukainen open-loop kaistanvaihtokoe 0,40 Hz ohjauseräteen taajuudella ja ajonopeudella 80 km/h. Ohjauseräteen amplitudi samanlainen eri mitoitusvaihtoehdoilla määritettynä niin, että eri variaatioilla viimeisen akselin sivuttaiskihtiäisyys suurimmillaan noin $2,75 \text{ m/s}^2$
- Stabiliteetin lisäksi tarkasteltiin ajoneuvoyhdistelmän kääntyvyyttä erilaisella määrällä ohjautuvia akseleita kahdessa käännöstopauksessa:
 - R12,5 m 120 ast, 120 asteen käännös 12,5 metrin ulkosäteellä
 - R12,5 m 90 ast, 90 asteen käännös 12,5 metrin ulkosäteellä
- Kääntyvyydestarkasteluissa määritettiin ajoneuvoyhdistelmien kääntyvyys muutamilla kymmenillä mitoitusvaihtoehdoilla ja sovitettiin tuloksiin lineaariregressiomalli



A-double tyypin ajoneuvoyhdistelmän mitoitusstarkastelut



- A-double tyypin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa simuloitiin 2940 kpl:tta kaistanvaihtokokeita eri mitoitusvaihtoehdoilla
- Kääntyvyystarkasteluissa 235 eri mitoitusvaihtoehtoa
- Muutettavat mitoitusparametrit PPV:n akseliväli, vetokytkimen etäisyys teliltä, TPV:n A-mitta sekä akseliväli.
- Tuloksiin sovitettu lineaariregressiomallit, esimerkkinä parametrien vaikutus pystykiertymäkulmanopeuden RA-arvoon keskipitkillä kuormatiloilla



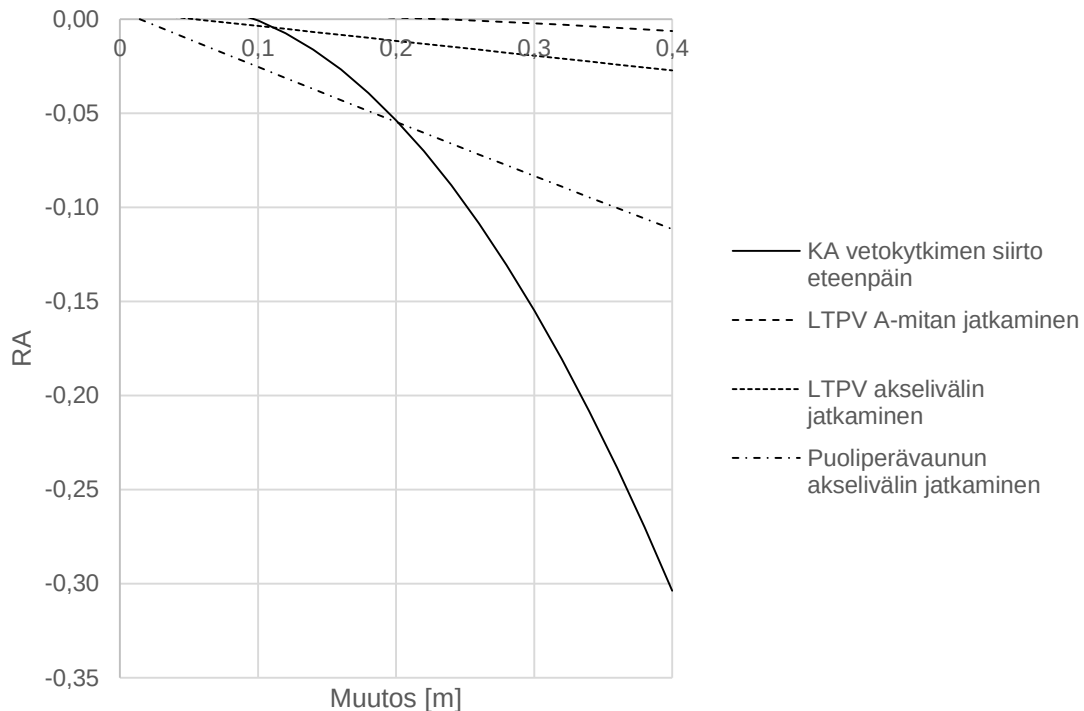
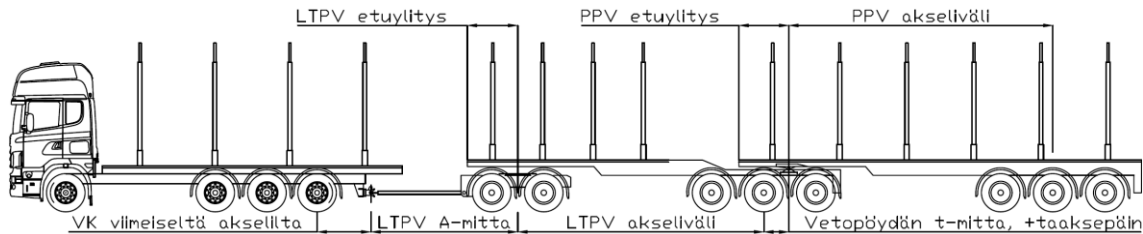
A-double tyyppisen ajoneuvoyhdistelmän mitoitusarkastelut

12.5 m kuormatilat					Pystykiertymäkulmanopeuden RA					
PPV akseliväli	PPV Etuylitys	TPV akseliväli	TPV Etuylitys	VK teliltä	VK allaolomitta	TPV A-mitta				
						3.5	3.75	4	4.25	4.5
8.70	1.26	8.10	1.60	2.60	-0.06	2.31	2.29	2.28	2.26	2.24
				2.46	0.08	2.28	2.27	2.25	2.24	2.21
				2.32	0.22	2.26	2.25	2.23	2.21	2.19
				2.18	0.36	2.24	2.23	2.21	2.19	2.17
				2.04	0.50	2.22	2.20	2.19	2.17	2.15
				1.90	0.64	2.19	2.18	2.17	2.15	2.13
		8.30	1.49	2.60	-0.06	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17
				2.46	0.08	2.21	2.20	2.18	2.17	2.14
				2.32	0.22	2.19	2.18	2.16	2.15	2.12
				2.18	0.36	2.17	2.16	2.14	2.12	2.10
				2.04	0.50	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08
				1.90	0.64	2.13	2.11	2.10	2.08	2.06
		8.50	1.38	2.60	-0.06	2.17	2.16	2.14	2.12	2.10
				2.46	0.08	2.15	2.13	2.12	2.10	2.08
				2.32	0.22	2.13	2.11	2.10	2.08	2.06
				2.18	0.36	2.11	2.09	2.08	2.06	2.04
				2.04	0.50	2.08	2.07	2.06	2.04	2.02
				1.90	0.64	2.06	2.05	2.04	2.02	2.00
		8.70	1.26	2.60	-0.06	2.11	2.09	2.08	2.06	2.04
				2.46	0.08	2.09	2.07	2.06	2.04	2.02
				2.32	0.22	2.06	2.05	2.04	2.02	2.00
				2.18	0.36	2.04	2.03	2.02	2.00	1.98
				2.04	0.50	2.02	2.01	2.00	1.98	1.96
				1.90	0.64	2.00	1.99	1.98	1.96	1.94
		8.90	1.15	2.60	-0.06	2.05	2.03	2.02	2.00	1.98
				2.46	0.08	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96
				2.32	0.22	2.01	2.00	1.98	1.96	1.94
				2.18	0.36	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93
				2.04	0.50	1.97	1.96	1.94	1.93	1.91
				1.90	0.64	1.95	1.94	1.92	1.91	1.89
		9.10	1.03	2.60	-0.06	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93
				2.46	0.08	1.97	1.96	1.95	1.93	1.91
				2.32	0.22	1.95	1.94	1.93	1.91	1.89
				2.18	0.36	1.94	1.92	1.91	1.89	1.87
				2.04	0.50	1.92	1.91	1.89	1.88	1.86
				1.90	0.64	1.90	1.89	1.87	1.86	1.84
2.65	RA-arvo korkea, RA > 2.00									
2-65	Kulmaväli < 0.1 m, VK allaolomitta < 0 m tai siltasääntö ei täyty 91 t kokonaismassalle									
	Sisäsäde > 4 m kiinteillä akseleilla									
	Sisäsäde > 4 m, kun PPV:n viimeinen akseli ohjautuvia									
	Sisäsäde > 4 m, kun PPV:n ja TPV:n viimeiset akselit ohjautuvia									
	Sisäsäde > 4 m, kun PPV:n kaksi viimeistä akselia ohjautuvia									
	Sisäsäde > 4 m, kun PPV:n kaksi viimeistä ja TPV:n viimeinen akseli ohjautuvia									
	Sisäsäde > 4 m, kun PPV:n ja TPV:n kaksi viimeistä akselia ohjautuvia									
	Sisäsäde < 4 m, kun PPV:n ja TPV:n kaksi viimeistä akselia ohjautuvia									
ISO 14971 standardin mukainen open-loop kaistanvaihtokoe, f=0.40 Hz ja v = 80 km/h.										
Kääntävyydestarkastelu 120 asteen käännöksessä, ulkosäde 12.5 metriä										

- Tulosten perusteella A-double tyyppisestä puutavara-ajoneuvoyhdistelmästä voidaan saada stabiliteetiltaan riittävä, mutta 120 asteen käänнос 12,5 metrin ulkosäteellä on ajoneuvoyhdistelmälle kyseisillä mitoilla varsin haastava
 - Tulosten perusteella vaaditaan perävaunuilla vähintään noin 8,7 metrin tehollisia akselivälejä, kun akselivälit ovat samanlaiset molemmissa perävaunuissa
 - Kyseinen akseliväli on pitkä, jolloin n. 5 metrin puutavaranipuile räätelöity ajoneuvoyhdistelmä lyhyillä kuormatiloilla ei ole välttämättä toteutettavissa
- Käytännössä riittävän kääntävyyden varmistaminen vaatii perävaunujen osalta useita ohjautuvia tai kevennettäviä akseleita, ts. kääntävyyttä parantavia apulaitteita



ETT tyypin ajoneuvoyhdistelmän mitoitusstarkastelut



- ETT tyypin ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa simuloitiin 2880 kpl:tta kaistanvaihtokokeita eri mitoitusvaihtoehdoilla
- Kääntövyystarkasteluissa 97 eri mitoitusvaihtoehtoa
- Muutettavat mitoitusparametrit vetokytimen etäisyys kuorma-auton viimeiseltä akselilta, LTPV:n A-mitta, LTPV akseliväli, vetopöydän t-mitta sekä PPV:n akseliväli
- Tuloksiin sovitettu lineaariregressiomallit, esimerkkinä parametrien vaikutus pystykiertymäkulmanopeuden RA-arvoon keskipitkillä kuormatiloilla



ETT tyypin ajoneuvoyhdistelmän mitoitusarkastelut

5.25 m ja 10.5 m kuormatilat										
VK viimeiseltä akselilta	PPV akseliväli	PPV etuylitys	LTPV etuylitys	LTPV A-mitta	Pystykiertymäkulmanopeuden RA-arvo					
					LTPV akseliväli					
					7	7.2	7.4	7.6	7.8	8
1.20	7.20	1.12	1.60	3.50	2.23	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11
				4.00	2.21	2.19	2.17	2.15	2.13	2.10
				4.50	2.19	2.17	2.15	2.13	2.10	2.08
			1.40	3.50	2.16	2.14	2.12	2.10	2.08	2.06
				4.00	2.14	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05
				4.50	2.11	2.10	2.08	2.06	2.04	2.02
			1.20	3.50	2.10	2.08	2.06	2.05	2.03	2.01
				4.00	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00
				4.50	2.05	2.03	2.02	2.00	1.99	1.97
			1.00	3.50	2.04	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96
				4.00	2.02	2.01	1.99	1.98	1.97	1.95
				4.50	1.98	1.97	1.96	1.95	1.93	1.92
	7.40	1.01	1.60	3.50	2.16	2.14	2.11	2.09	2.07	2.04
				4.00	2.15	2.13	2.11	2.09	2.06	2.04
				4.50	2.12	2.10	2.08	2.06	2.04	2.02
			1.40	3.50	2.10	2.08	2.06	2.04	2.02	2.00
				4.00	2.09	2.07	2.05	2.03	2.01	1.99
				4.50	2.06	2.04	2.02	2.00	1.99	1.97
			1.20	3.50	2.04	2.03	2.01	1.99	1.97	1.95
				4.00	2.03	2.01	1.99	1.98	1.96	1.94
				4.50	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93	1.92
			1.00	3.50	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93	1.91
				4.00	1.97	1.96	1.94	1.93	1.92	1.90
				4.50	1.93	1.92	1.91	1.90	1.89	1.87
2.65	RA-arvo korkea, RA > 2.00									
2.65	LTPV:n ja PPV:n kulmaväli < 0.1 m tai siltasääntö ei täyty 100 t kokonaismassalle									
	Kääntövyystarkastelun sisäsäde > 4 m kiinteillä aksleilla									
	Kääntövyystarkastelun sisäsäde > 4 m, kun LTPV:n viimeinen akseli ohjautuva									
	Kääntövyystarkastelun sisäsäde > 4 m, kun LTPV:n ja PPV:n viimeiset akselit ohjautuvia									
	Kääntövyystarkastelun sisäsäde > 4 m, kun LTPV:n kaksi viimeistä akselia ohjautuvia									
	Kääntövyystarkastelun sisäsäde > 4 m, kun LTPV:n kaksi viimeistä ja PPV:n viimeinen akselia ohjautuvia									
	Kääntövyystarkastelun sisäsäde > 4 m, kun LTPV:n ja PPV:n kaksi viimeistä akselia ohjautuvia									
	Kääntövyystarkastelun sisäsäde < 4 m, kun LTPV:n ja PPV:n kaksi viimeistä akselia ohjautuvia									
ISO 14791 standardin mukainen open-loop kaistanvaihtokoe, f = 0.40 Hz ja v = 80 km/h. Kääntövyystarkastelu 120 asteen käännöksessä, ulkosäde 12.5 metriä										

- Tulosten perusteella ETT tyypisistä puutavara-ajoneuvoyhdistelmästä voidaan saada stabiliteetiltaan riittävä, mutta 120 asteen käännös 12,5 metrin ulkosäteellä on ajoneuvoyhdistelmälle kyseisillä mitoilla haastava
 - Tulosten perusteella ajoneuvoyhdistelmän linkkitäysperävaunun ja puoliperävaunun akseliväleiksi vaaditaan noin 7,4 metriä, kun vetoauton vetokytkimen sijoitus on riittävän edessä, Tällöin vaaditaan vähintään yksi ohjautuva akseli linkkitäysperävaunun viimeiselle akselille
 - Noin 5 metrin puutavaranipuille räätälöity ajoneuvoyhdistelmä on mahdollisesti toteutettavissa stabiliteetin kannalta
- Käytännössä riittävän kääntövyvyyden varmistaminen vaatii linkkitäysperävaunuun vähintään yhden ohjautuvan tai kevennettävän akselin, ts. kääntövyvyyttä parantavan apulaitteen



Yhteenveto simuloin- neista

- **Kuorma-auton ja täysperävaunun ajoneuvoyhdistelmän tapauksessa ei ole huomattavaa eroa ajoneuvoyhdistelmän stabiiliteetissa 4- ja 5-akselisten kuorma-autojen tapauksessa**
 - On kuitenkin huomioitava, että perävaunu vaikuttaa todennäköisesti 5-akselisen kuorma-auton ohjattavuuteen vähemmän kuin 4-akseliseen kuorma-autoon
- **Ajoneuvoyhdistelmien nivelmäärän lisääminen asettaa haasteita ajoneuvoyhdistelmien stabiiliteettiin**
 - Stabiiliteetin kannalta on kuitenkin huomioitava, että stabiiliteetiltaan hyvä kolmenivelinen ajoneuvoyhdistelmä voi olla parempi kuin stabiiliteetiltaan huono kaksinivelinen ajoneuvoyhdistelmä
- **Stabiiliteetin ja riittävän kääntyvyyden yhdistäminen pitkässä kolmenivelisessä ajoneuvoyhdistelmässä vaatii kääntyvyyttä parantavia apulaitteita**
- **Kolmenivelisten ajoneuvoyhdistelmien osalta ETT ja A-double tyyppiset ajoneuvoyhdistelmät ovat tulosten perusteella käyttökelpoisia kompromisseja, tosin B-triple tyyppinen ajoneuvoyhdistelmä on huomattavasti parempi stabiiliteetiltaan**
- **Jatkotutkimuksen kannalta olisi hyödyllistä selvittää:**
 - Erilaisten vetoaisaratkaisujen (nivelöidyt puolisuunnikasaisat, kiinteät kaksoisaisat, ohjaavat dollyt) vaikutukset ajoneuvoyhdistelmien stabiiliteettiin ja käytettävyyteen
 - 19,5 ja 22,5 tuumaisten renkaiden erot voimantuotossa. Kuormatilan kasvattamisen myötä 19,5 tuumaiset paripyörät ovat yleistyneet, jolloin olisi stabiiliteetin kannalta selvítettävä miten kyseisten renkaiden suorituskyky eroaa 22,5 tuumaisten paripyörien suorituskyvystä



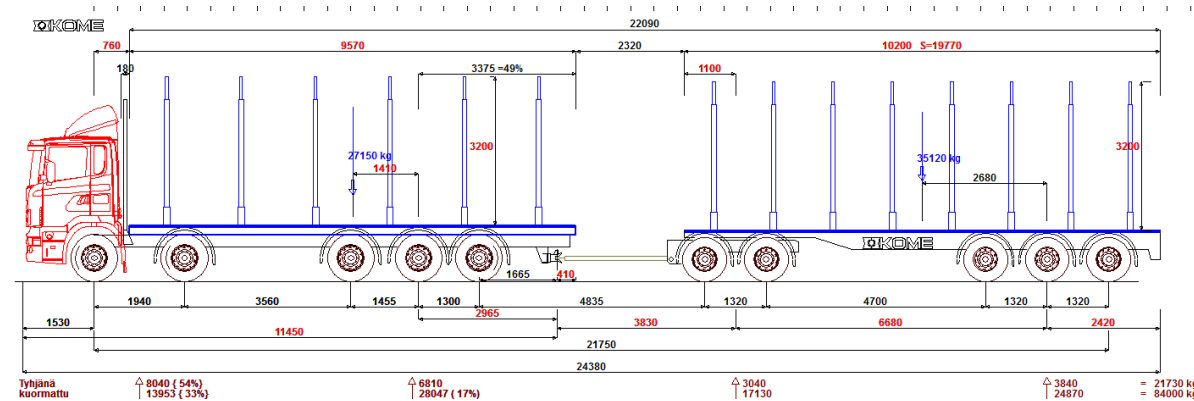
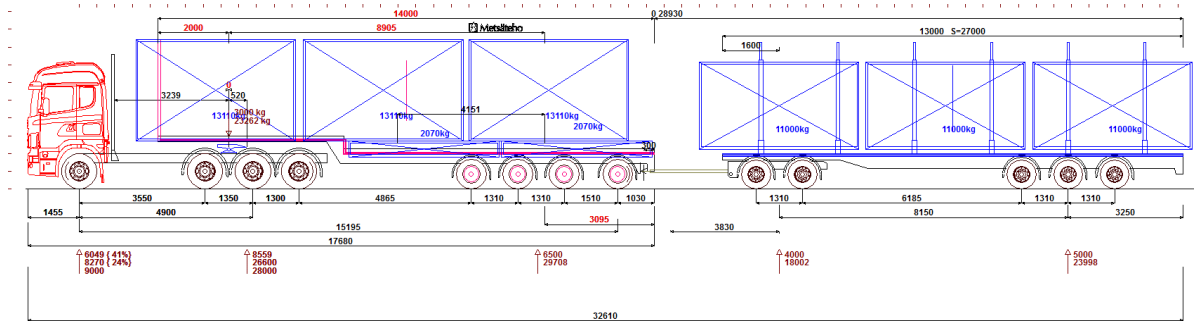
Mittaukset HCT-yhdistelmillä

Sisältö

- Yhdistelmät
- Mittausjärjestelmät
- Suljetun alueen kokeet
- Mittaukset maantiellä
 - Aiovakaus
 - Vetoaisavoimat
- Yhteenveto



Yhdistelmät



– Ketosen Kuljetus Oy

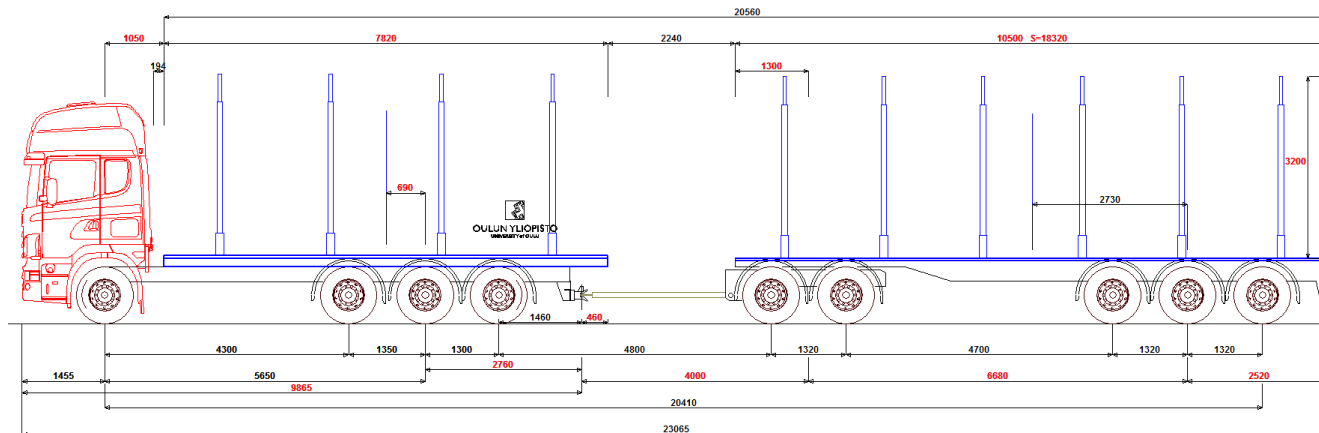
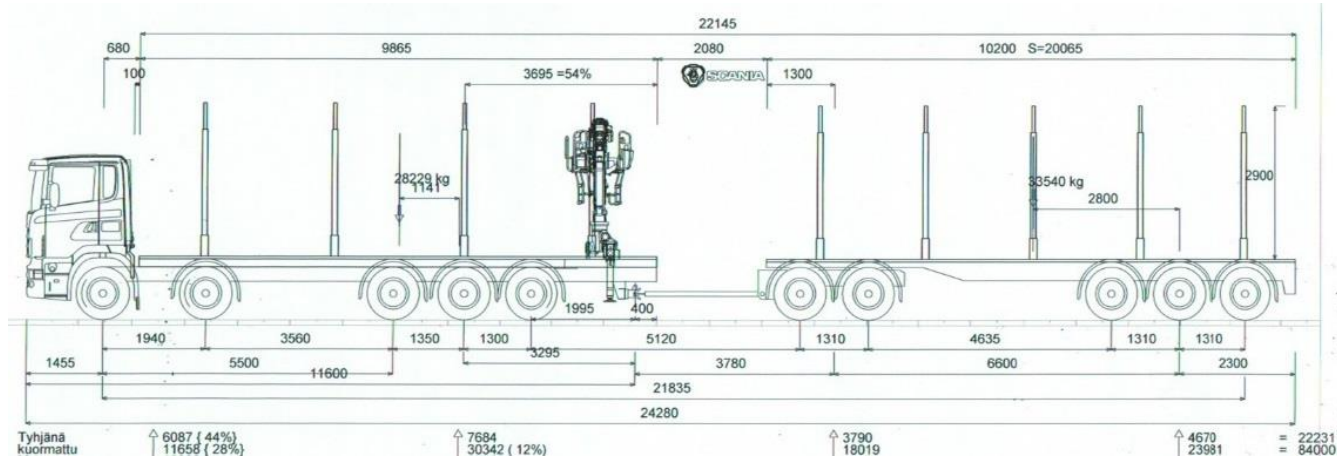
- 104 t (35 t + 27 t + 42 t)
- 4+4+5=13 akselia
- Reitti: Valtatie 4, Rovaniemi – Ivalo – Rovaniemi
- Mittaustuloksia tallessa ajalta 01/2016 – 11/2017
- Vetoaisavoimamittaukset touko-, kesä, heinä ja syyskuussa 2016 and tammi-helmikuussa 2017
- Käytössä 4 varsinaista perävaunua, mittausjärjestelmä yhdessä niistä

– P&A Trans Oy

- 84 t (42 t + 42 t)
- 5+5 akselinen
- Teräsjouset vetoautossa, ilmajouset perävaunussa
- Reitti: metsäautotieverkosto Rovaniemi – Ivalo välillä
- Mittaustuloksia tallessa ajalta 08/2016 – 01/2017
- Vetoaisavoimamittaukset marras-joulukuussa 2016 ja tammikuussa 2017



Yhdistelmät



– Kuljetusliike O Malinen

– HCT-yhdistelmä:

- 84 t (42 t + 42 t)
- Ilmajousitus kaikissa ajoneuvoyksiköissä
- 5+5 akselinen
- Reitti: Kainuu – puunjalostustehtaat
- Vetoaisavoimamittaukset joulukuussa 2016 ja tammikuussa 2017

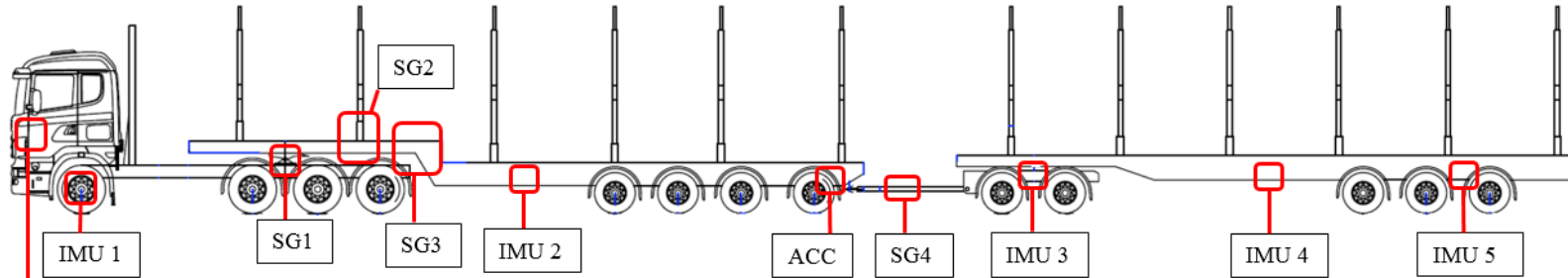
– Vertailuyhdistelmä:

- 76 t (34 t + 42 t)
- 4+5 akselinen
- Reitti sama kuin HCT-yhdistelmällä
- Vetoaisavoimamittaukset tammikuussa 2017



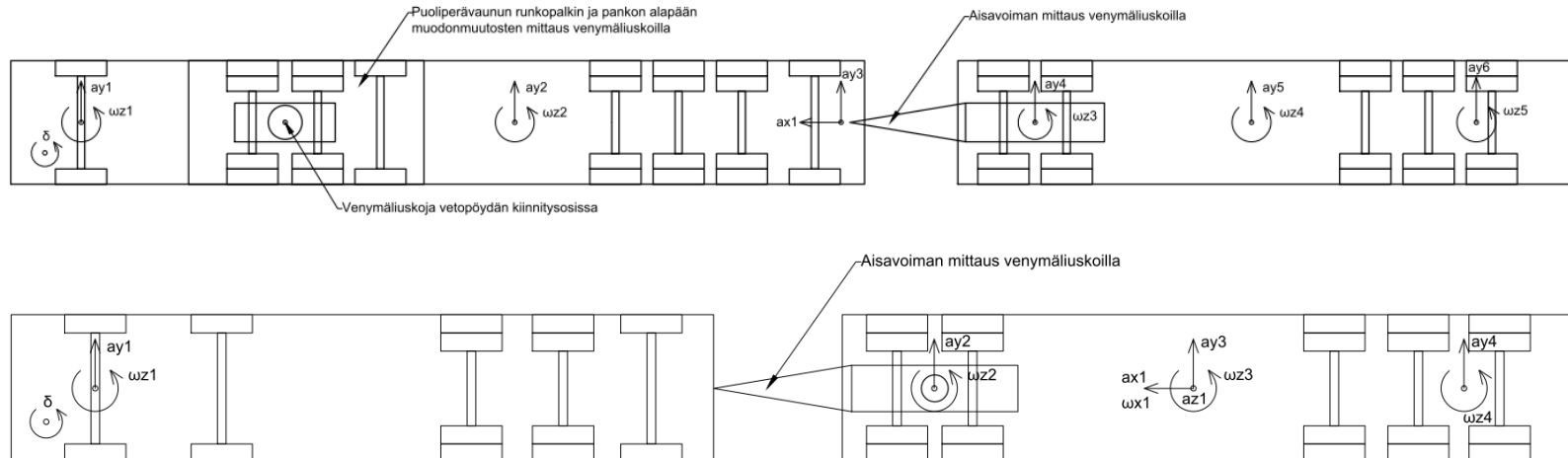
Mittausjärjestelmät

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



Ohjauskulma-anturi

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



- **MoTeC tiedonkeruujärjestelmä**
 - Tiedonkeruuyksikkö ACL ohjaamossa
 - SVIM-moduulit: jännitesignaalin digitointi
- **CompuLab Fitlet mini PC mittauslaitteiston etäkäyttöä varten**
- **Antureita**
 - Bosch liiketila-anturit (IMU): sivuttaiskiihtyvyyden [g] ja pystykiertymäkulmanopeuden mittausta [°/s]
 - Vajeritoiminen lineaarianturi: ohjauskulman mittausta
 - Venymäliuskat: metallin muodonmuutoksen mittausta => signaali voidaan muuttaa voimaksi



Mittausjärjestelmät

- Liityntä ajoneuvon FMS-liityntään (Fleet Management System, CAN-väylä)

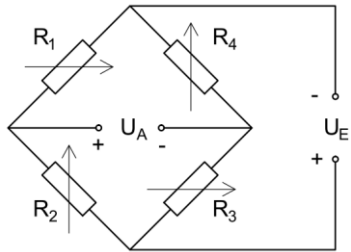
FMS-liitynnän tieto	Ketosen Kuljetus 104 t HCT	P&A Trans 84 t HCT
Ajonopeus (etuakseli) [km/h]		X
Ajonopeus (vetävä akseli) [km/h]	X	X
Moottorin kierrosluku [r/min]	X	X
Kaasupolkimen asento [%]	X	X
Jarrupolkimen käyttö [on/off]	X	X
Jarrupolkimen asento [%]		X
Cruise control [on/off]	X	X
Polttoaineen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



Mittausjärjestelmät

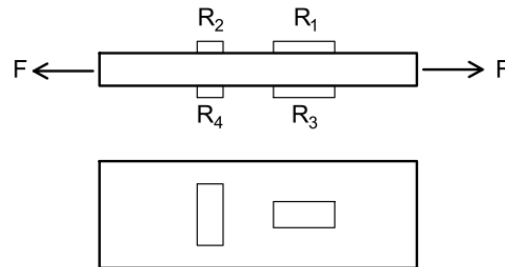
- Voiman mittaus venymäliuskoilla

Venymäliuskojen kytkentäperiaate:

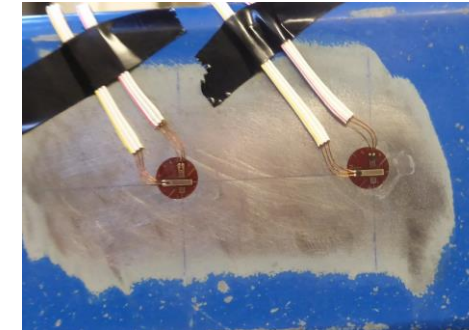
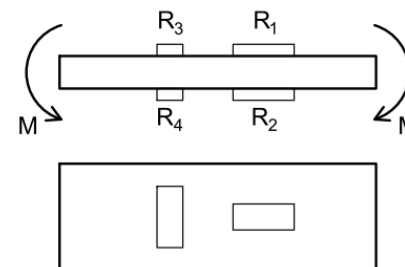


R_1, R_2 jne. venymäliuskoja

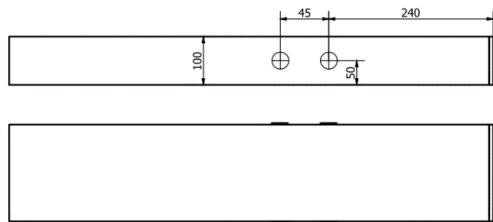
Pituussuuntaisen venymän mittaus:



Taivutuksen mittaus (poikittaisvoima):



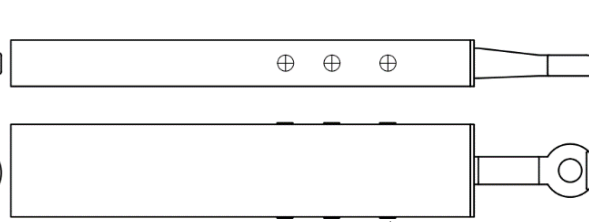
Ketonen 104 t



Poikittaisvoiman mittausliuskat

Pitkittäisvoiman mittausliuskat

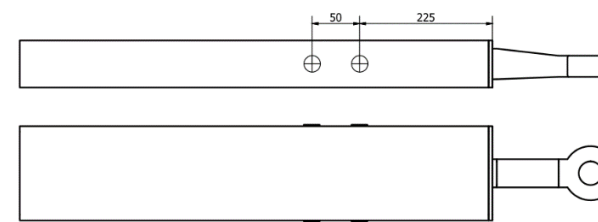
P&A Trans 84 t



Poikittaisvoiman mittaus

Pitkittäisvoiman mittaus

Malinen 84 t

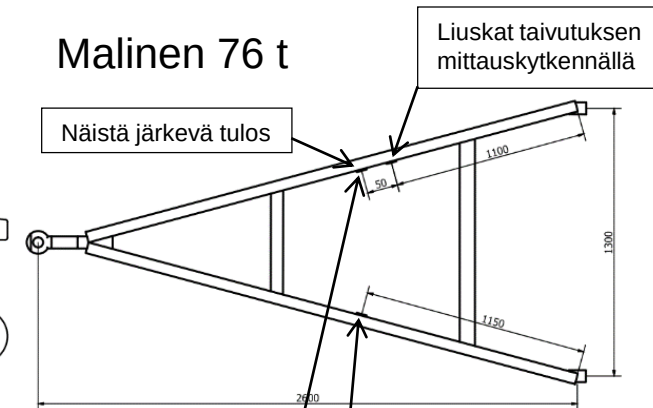


Poikittaisvoiman mittaus

Pitkittäisvoiman mittaus

Malinen 76 t

Näistä järkevä tulos



Liuskat taivutuksen mittauskytkennällä

Liuskat pituussuuntaisen venymän mittauskytkennällä



Mittausjärjestelmät



– Vetoaisavoimamittausten kalibrointi voima-anturilla

- Aisan veto pyöräkuormaajalla tai yhdistelmän vetoautolla voima-anturin kanssa
- Tuloksena kerroin, jolla mitattu jännite muunnetaan voimaksi

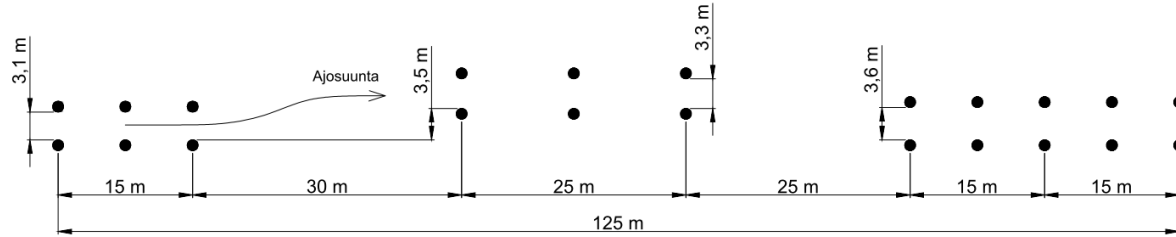
Mittauskohde	Kerroin
Ketonen 104 t HCT, vetoaisa, pitkittäisvoima	525,2 kN/mV/V
Ketonen 104 t HCT, vetoaisa, poikittaisvoima	85,6 kN/mV/V
P&A Trans 84 t HCT, vetoaisa, pitkittäisvoima	601,4 kN/mV/V
P&A Trans 84 t HCT, vetoaisa, poikittaisvoima	103,8 kN/mV/V
Kuljetusliike O Malinen 84 t HCT, aisa, pitkittäisvoima	540,2 kN/mV/V
Kuljetusliike O Malinen 84 t HCT, aisa, poikittaisvoima	220,4 kN/mV/V
Kuljetusliike O Malinen 76 t yhdistelmä, aisa, pitkittäisvoima	648,9 kN/mV/V

(mV/V on mittaussillasta mitattu ulostulojännite (U_A) jaettuna mittaussillan syöttöjännitteellä (U_E))

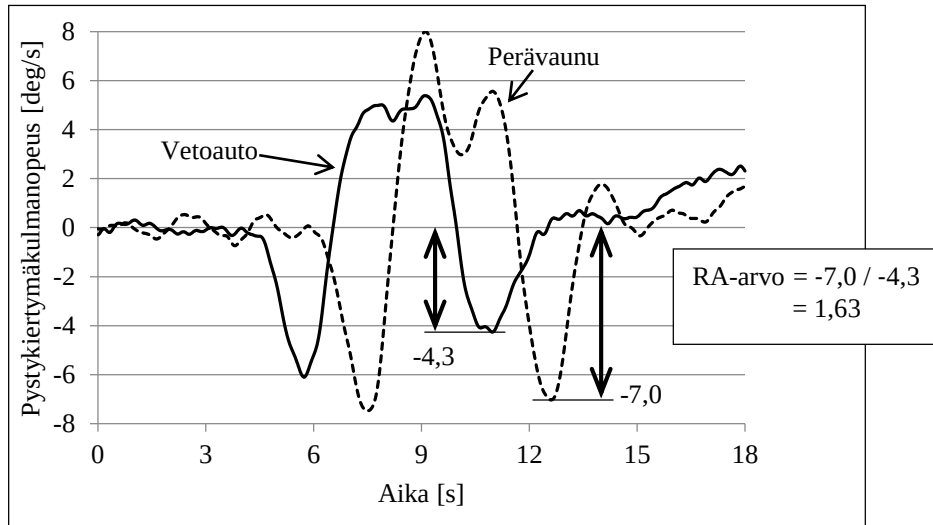


Suljetun alueen kokeet

ISO 3888-1 kaksoiskaistanvaihto:



RA-arvon määrittysperiaate:

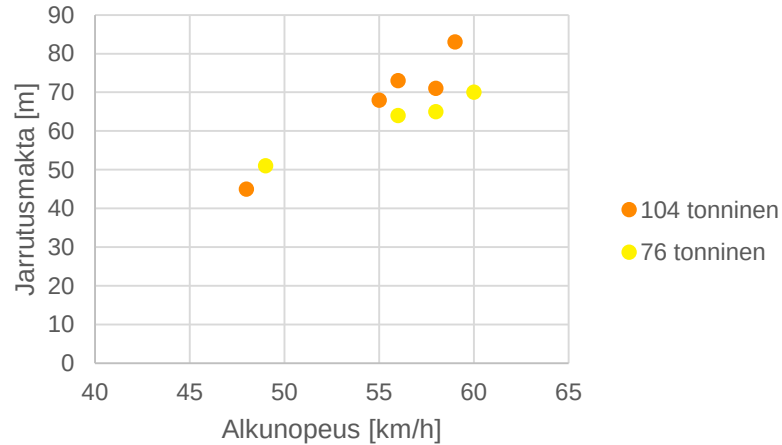


- Ivalossa maaliskuussa ja syyskuussa 2016
- Väistökokeet
 - ISO 3888-1 kaksoiskaistanvaihto
 - Kaistanvaihto-osuus ko. radasta
 - RA-arvot (Rearward Amplification, vahvistuskertoimen):
 - RA alle 1 => perävaunun liike vetoauton liikettä vaimeampi, RA suurempi kuin 1 => perävaunun liike vetoauton liikettä voimakkaampi
- Jarrutus
- Kiihdytys talvella
- Liikenneympyräajo talvella

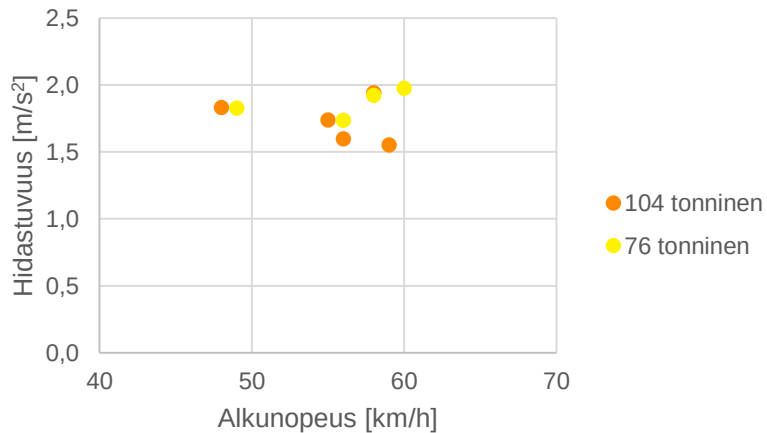


Tulokset, suljetun alueen kokeet, talvi

Jarrutusmatkat:



Hidastuvuudet:



– Jarrutukset

- HCT-yhdistelmän jarrutusmatkat 5-15 metriä pidemmät

– Kiihdytys

- 76 t yhdistelmät kiihtyi 50 km/h nopeuteen 56 % HCT-yhdistelmää nopeammin

– Väistökokeet

- Vajavaiset tulokset polanteen pettämisen vuoksi
- Kuljettajan tunteen mukaan HCT-yhdistelmän vetoauton takateli pyrkii menettämään pidon ensimmäisenä

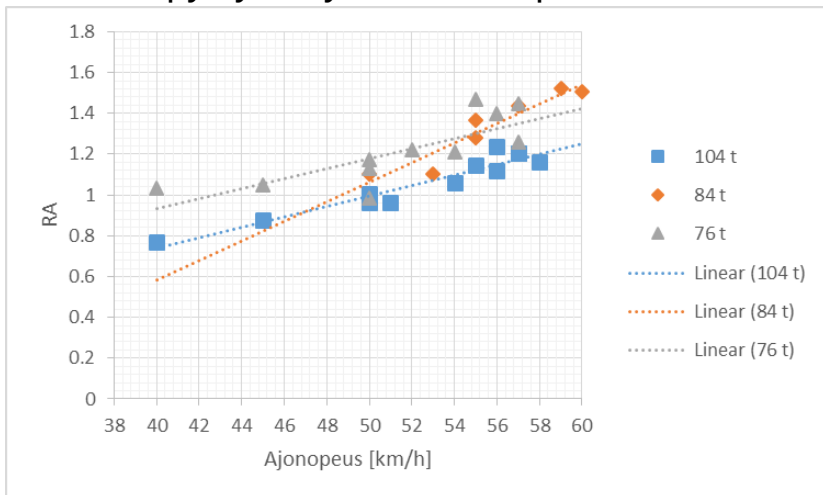
– Liikenneympyrä

- HCT-yhdistelmällä taipumus aliohjautua

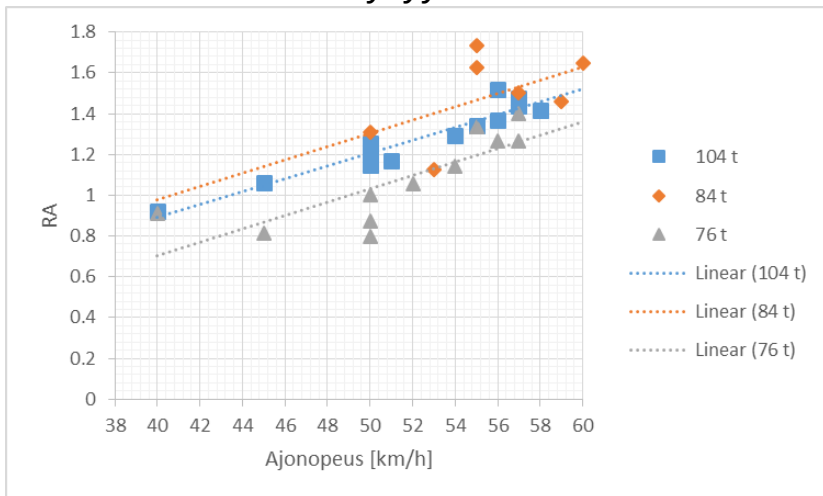


Tulokset, suljetun alueen kokeet, syksy

RA-arvot pystykiertymäkulmanopeudesta



RA-arvot sivuttaiskiihtyvyydestä



– Väistökokeet

- Kaikki yhdistelmät suoriutuivat kokeista hyvin

– Jarrutuskokeet

- HCT-yhdistelmän kuorman sidonta ei ollut riittävä ylimääraisistäkin kiristysliinoista huolimatta
- Yhdistelmillä hyvä hidastuvuus

Lämmittelyjarrutukset

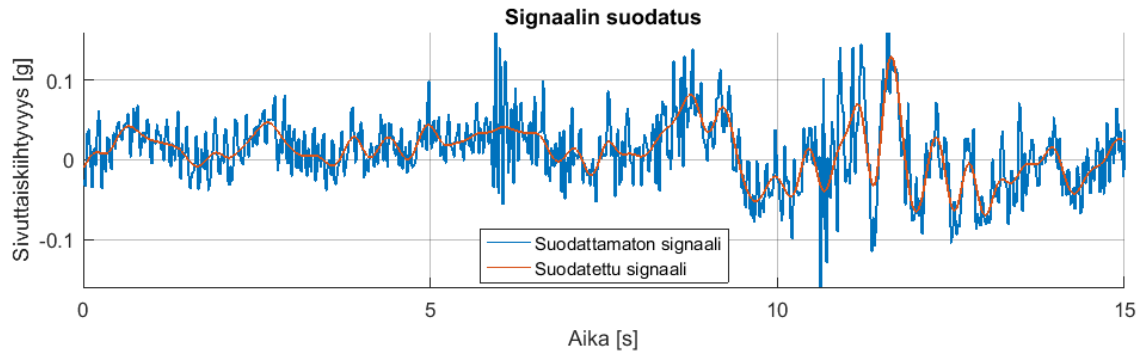
Ajoneuvo-yhdistelmä	Aloitusnopeus [km/h]	Jarrutus-matka [m]	Keskimääräinen hidastuvuus [g] (huippuarvo)	Huomio
104 t Ketonen	50	39	0,252 (0,45)	
84 t P&A Trans	60	-	- (0,47)	
76 t Ketonen	60	40	0,354 (0,41)	
Lapin ammattiopisto	77	31	0,752	

Täysjarrutukset

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



Tulosten käsittely



– Tulostiedostojen esitarkastelu ja jakaminen osiin MoTeC i2Pro-ohjelmistolla

- Jako kuormaamaton/kuormattu, eri tietyypit eroteltu P&A Trans ja Kuljetusliike O Malinen yhdistelmissä

– Muunnos Matlab-ohjelman tiedostomuotoon

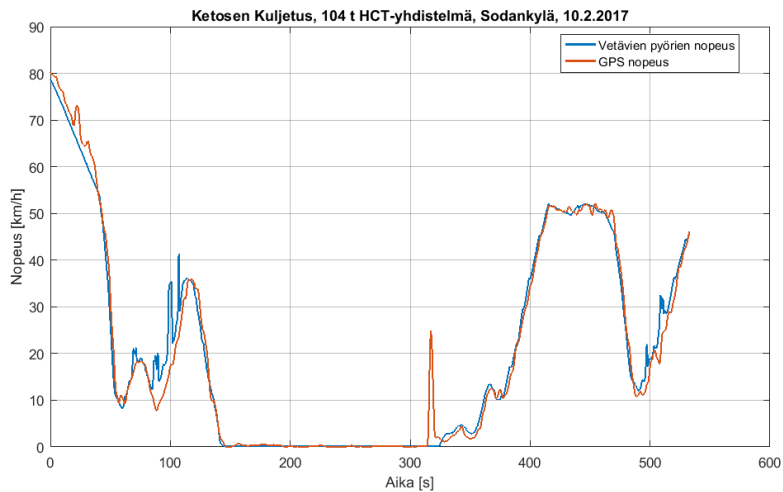
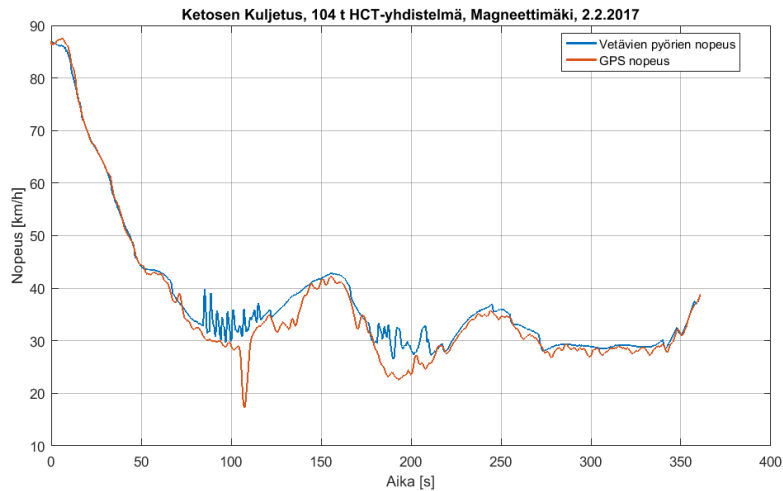
– Käsittely Matlabilla

- Liiketilamittausten (kiihtyvyys & kulmanopeus) suodattaminen 4. asteen 2,5 Hz Butterworth alipäästösuodattimella (ISO 14791 ajokoestandardin mukainen suodatus)
- Tulosten koonta kuukauden ajanjaksoilta
 - Histogrammit (mittaussuureiden jakauma)
 - Ajettuun matkaan suhteutetut tulokset

– Tulostiedostot helposti hyödynnettävissä mahdollisissa tulevilla tutkimuksissa



Tulokset, maantie, liikkuvuus

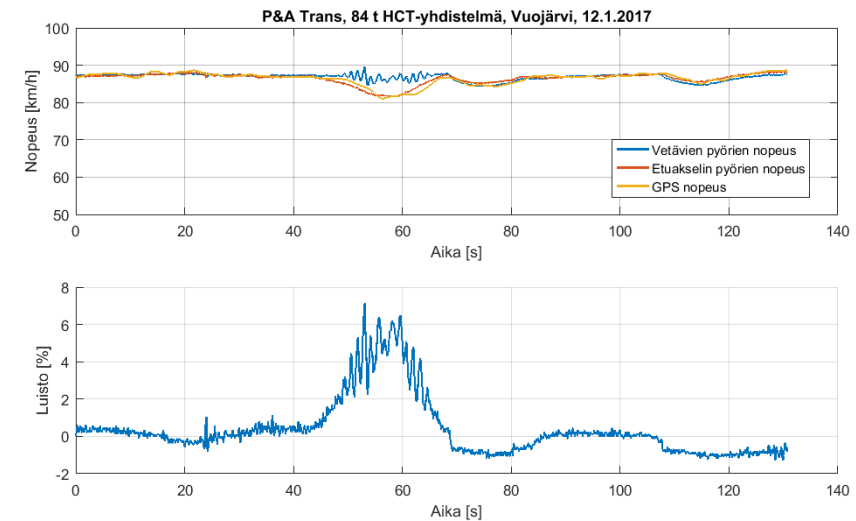


– 104 t HCT-yhdistelmässä luistoa etenkin liikkeellelähdöissä (talviolosuhteet)

- Luistoa enemmän kuormatussa yhdistelmässä
- Satunnaisesti Magneettimäessä

– 84 t HCT-yhdistelmässä harvoin luistoa liikkeellelähdöissä

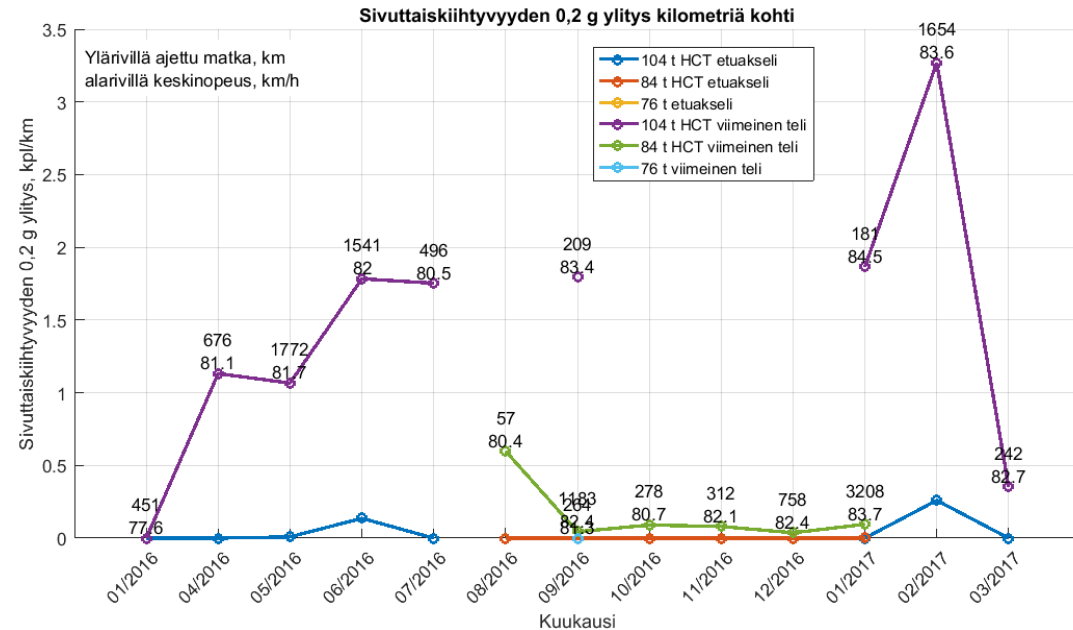
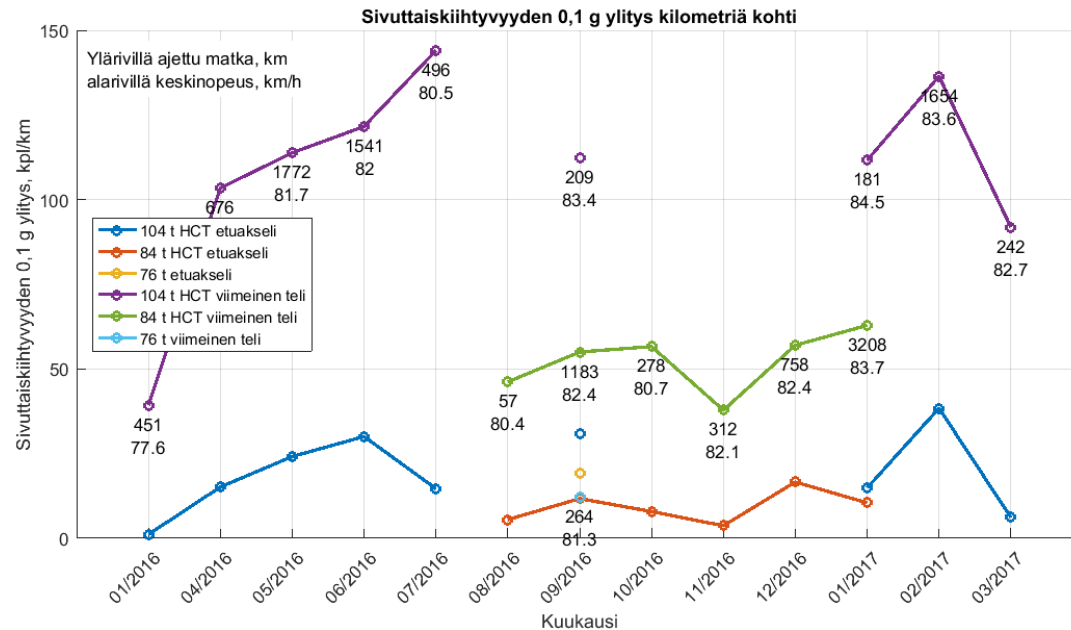
- Luistoa enemmän kuormaamattomalla yhdistelmällä
- Satunnaisesti jopa maantienopeudessa





Tulokset, maantie, vakaus

- Sivuttaiskiihtyvyyden 0,1 g ja 0,2 g ylityskertojen lukumäärät jaettuna ajomatkalla => kpl/km
 - Mittaustaajuus 100 krt/s => 100 kpl/km $\approx$ 1 s/km
- **104 t HCT-yhdistelmässä valittujen sivuttaiskiihtyvyyssrajojen ylityksiä enemmän kuin 84 t HCT-yhdistelmässä**
 - 50 krt/km on tavanomainen arvo 0,1 g ylityksissä esim. säiliöajoneuvoyhdistelmissä hyväkuntoisilla tiellä





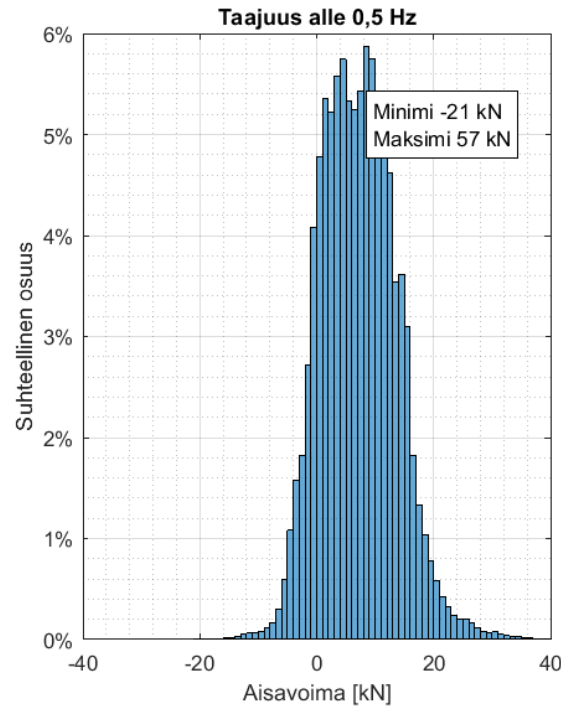
Tulokset, vetoaisavoimat

- Vetoaisavoimat jaettu matalataajuisiin (alle 0,5 Hz) voimiin ja korkeampitaajuisiin (0,5–10 Hz) voimiin

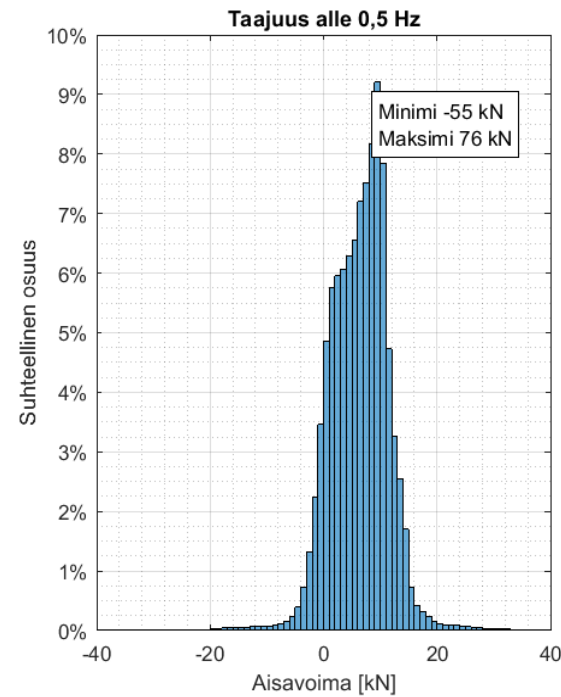
- Matalataajuiset: jarrutus, kiihdytys, vaihteen vaihto
- Korkeampitaajuiset: tien epätasaisuus, nykäykset

Vetoaisvoimien jakauma, talviolosuhteet, valta- ja kantatiet

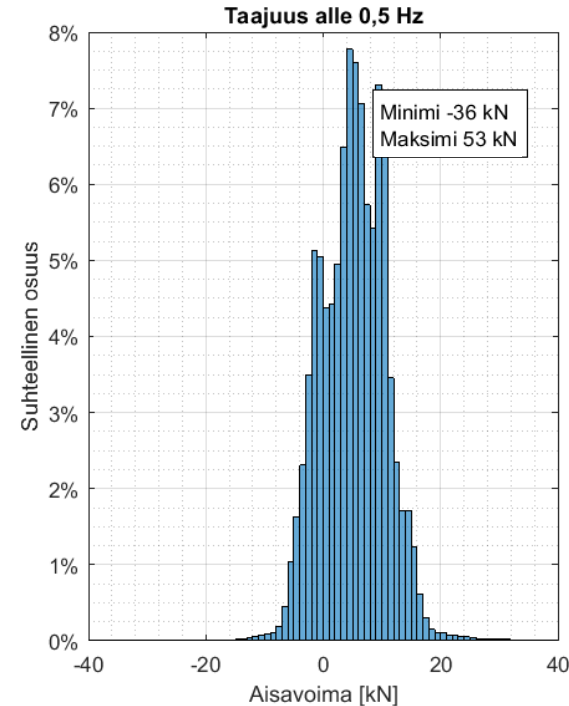
Malinen 84 t



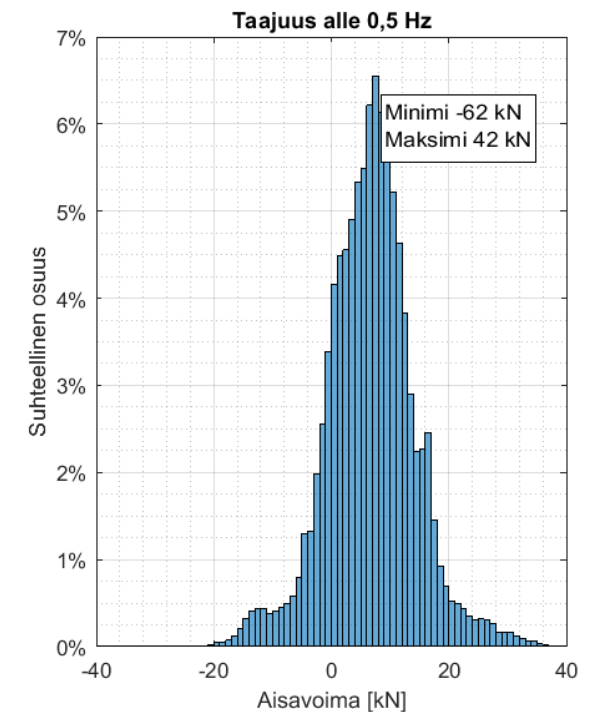
Malinen 76 t (vain suoraan ajo)



P&A Trans 84 t



Ketonen 104 t



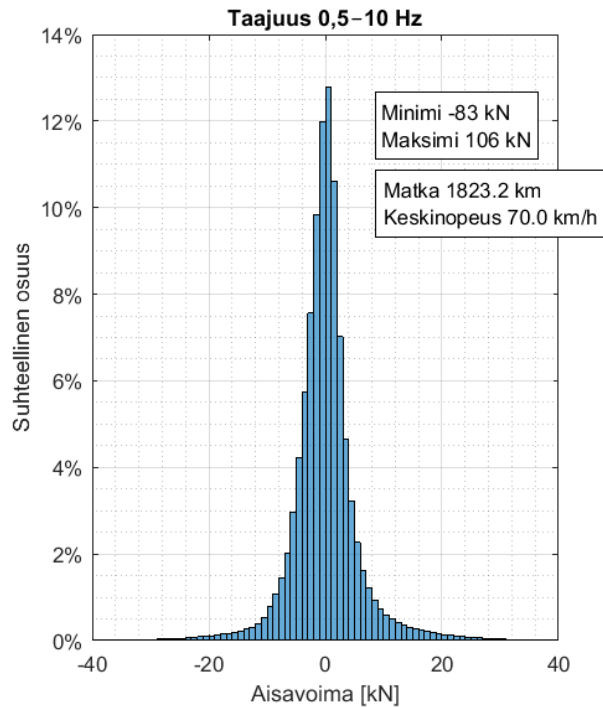


Tulokset, vetoaisavoimat

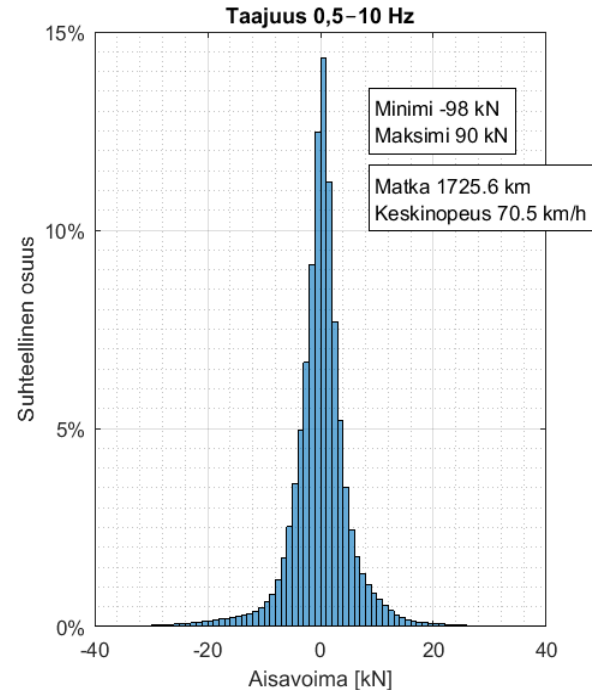
- Samanmuotoiset jakaumat korkeammilla taajuuksilla

Vetoaisvoimien jakauma, talviolosuhteet, valta- ja kantatiet

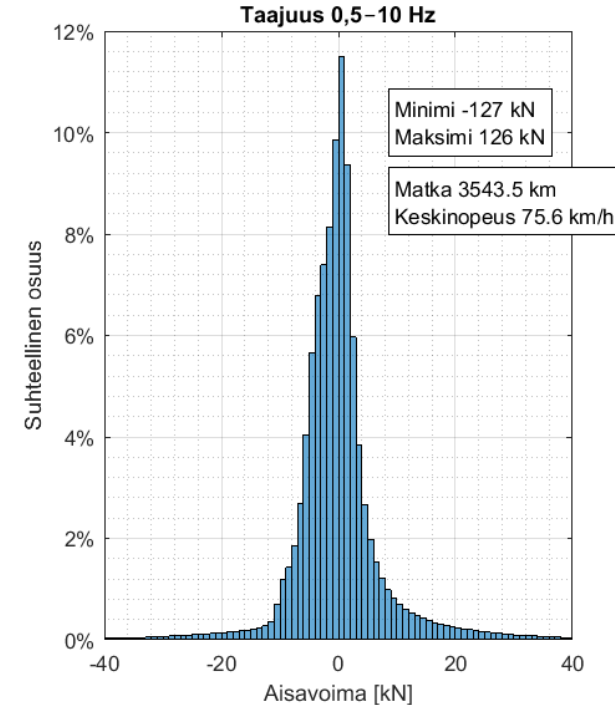
Malinen 84 t



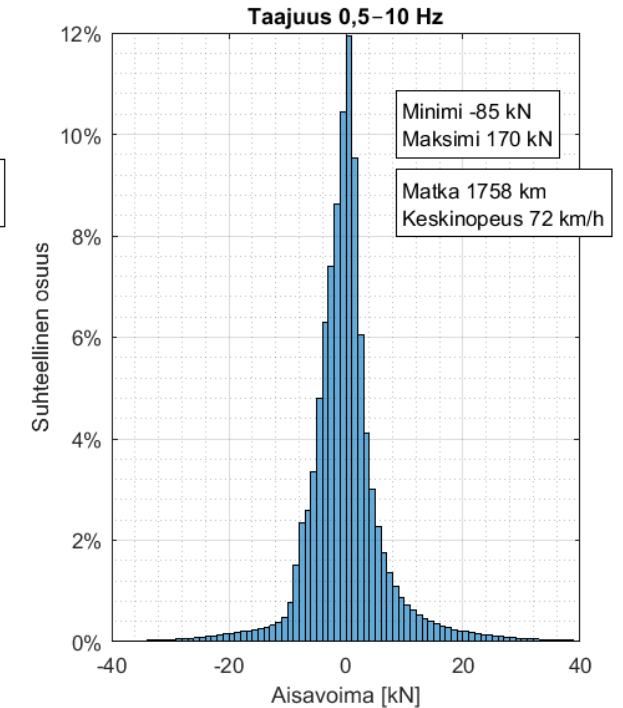
Malinen 76 t (vain suoraan ajo)



P&A Trans 84 t



Ketonen 104 t





Yhteenveto

- **Talvikokeet, Ivalo maaliskuu 2016**
 - 104 t HCT-yhdistelmässä 10 % pidempi jarrutusmatka 76 t yhdistelmään verrattuna
 - 104 t HCT-yhdistelmässä aliohjautuvuutta ympyräajossa
 - Ei merkittäviä eroja kaksoiskaistanvaihtokokeessa ja kaistanvaihtokokeessa 104 t yhdistelmän ja 76 t yhdistelmän välillä alhaisella ajonopeudella (polanteen pettäminen rajoitti ajonopeutta)
- **Syyskokeet, Ivalo syyskuu 2016**
 - Kaikki yhdistelmät (104 t, 84 t, 76 t) käyttäytyivät hyvin ISO 3888-1 kaksoiskaistanvaihtokokeessa
 - Jarrutuskyky kaikilla yhdistelmillä erittäin hyvä
- **Mittaukset maantiellä**
 - Yhdistelmien liikkuvuus talvella hyvä
 - 104 t yhdistelmässä luistoa kuormattuna kiihdytyksissä
 - 84 t luistoa ilman kuormaa kiihdytyksissä (rautajouset vetoautossa)



Yhteenveto

– Mittaukset maantiellä (jatkuu)

- 104 t yhdistelmän ajovakaus huonompi 84 t yhdistelmään verrattuna
 - 84 t yhdistelmä erittäin vakaa maantiellä
- Vetoaisavoimamittaukset
 - Yli 0,5 Hz taajuisissa voimissa (nykäykset yms. korkeammissa ajonopeuksissa) ei merkittäviä eroja yhdistelmien välillä
 - Nämä voimat kuluttavat ja väsyttävät vetolaitetekonstruktoita eniten
 - Alle 0,5 Hz voimissa (yhdistelmien kiihdytys ja hidastus, vaihteenvaihto) eroja yhdistelmien välillä
 - HCT-yhdistelmissä esiintyy enemmän suurempia matalataajuisia voimia kuin 76 t yhdistelmässä (76 t yhdistelmässä vain suoraan ajetut osuudet tulosten käsittelyssä)
 - 104 t yhdistelmässä enemmän puristusvoimia kuin muissa yhdistelmissä talvikaudella