

Puutavarayhdistelmien akselimassat ja kuormatilan koko



Metsätehon tuloskalvosarja 9/2015

Olli-Pekka Näsärö

Antti Korpilahti

Sisällys

1. Tutkimuksen taustaa ja aiemmat tutkimukset
2. Tutkimuksen tavoite ja menetelmät
3. Yhdistelmätyypit ja akselimassat
4. Tiersitustarkastelu
5. Kuormakoko ja ajoneuvomassat
6. Tarkastelua
7. Kirjallisuusviitteet

Tutkimuksen taustaa

- Liikennevirasto toteutti raskaiden ajoneuvojen akselimassatutkimuksen joulukuu 2013 – marraskuu 2014 välisenä aikana eri puolilla maata kaikkiaan 16 eri kerralla (Toikka & Virtala 2015).
- Puutavara-ajoneuvoista kerättiin tuossa yhteydessä lisätietoja, kuten kuormaa ja kuormatilaa koskevia tietoja (Näsärö 2015).
- Puutavara-ajoneuvojen tutkiminen toteutettiin tehdaspaikkojen läheisyyteen sijoittuneilla mittauspaikoilla Etelä- ja Keski-Suomessa.
- Tähän esitykseen on lisäksi otettu mukaan sellaisia Metsätehon hallussa olevia ajoneuvojen punnitustietoja, jotka valottavat yli 60-tonnisten yhdistelmien ajoneuvo- ja akselimassojen suuruutta.

Puutavara-autojen aiemmat massatutkimukset

- Aiempaan ajoneuvopainojen korotukseen ja punnitsemalla tehtävään massojen määrittämiseen liittyen 1990-luvun alussa tarkasteltiin puutavara-ajoneuvojen kokonaismassojen muodostumista ja kuormituksen tarkkuutta (Pennanen 1988, Korpilahti 1988).
- Vuonna 2004 Peltola tutki puutavara-autojen varusteita ja niiden vaikutusta ajoneuvojen omamassaan (Metsätehon raportti 176). Tutkimus perustettiin tehdasvastaanoton punnitukiin eikä niissä saatu tietoja akselimassoista.
- Tiehallinnon aiempi akselimassatutkimus tehtiin 1998 (Räty & Pursiainen). Tuossa yhteydessä ei kuitenkaan tutkittu erikseen puutavara-ajoneuvoja.

Tutkimuksen tavoite

- Vuonna 2013 toteutettu ajoneuvoasetuksen muutos mahdollisti erilaisten yli 60-tonnisten ajoneuvoyhdistelmien käyttöönnoton. Uusien 68 ja 76 tonnin yhdistelmien ajoneuvokohtaisten (auton ja perävaunun) kuormien vaihtelut voivat nyt olla pienemmät kuin 60 tonnin yhdistelmillä.
- Tarkastelut ovat lisäksi osoittaneet, että ajoneuvojen enimmäismassaa ei kaikilla puutavaralajeilla saavuteta, eli kantavuutta jää hyödyntämättä (Korpilahti ja Koskinen 2013, Korpilahti 2013).
- Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa puutvara-ajoneuvojen
 - ajoneuvo- ja akselimassoista
 - kuormatilan riittävyydestä suhteessa ajoneuvojen kokonaismassoihin
 - erityisesti 4- ja 5-akselisilla ajoneuvoilla ja kuitupuukuormilla
 - eri yhdistelmätyyppien aiheuttamasta tiersituksesta.

$$25\ 100 + 36\ 300 = 61\ 400 \text{ kg}$$



$$33\ 800 + 42\ 100 = 75\ 900 \text{ kg}$$



Menetelmät

- Tietoa kerättiin yhdessä Liikenneviraston Destia Oy:llä teettämän akselimassatutkimuksen kanssa.
 - Akselimassat mitattiin ylijajettavilla pyöräpainovaakoilla
 - Akselivälit mitattiin laserretäisyysmittarilla
 - Lisäksi mitattiin kuormatilan ulkomitat ja kuljetettava puutavararanipun koko
 - Kirjattiin ajoneuvon varusteet
 - Muun muassa rengastus, telin rakenne, puutavaravarustus, kuormain
 - Ajoneuvojen omamassoja ja kuorman massoja pyrittiin selvittämään tehtaan vastaanotosta
- Laskennat ja analyysit toteutettiin taulukkolaskentaohjelmaa apuna käyttäen.



Puutavara-autotyypit

- Ajoneuvoasetuksen muutos 2013 mahdollisti useampiakselisten ajoneuvoyhdistelmien käytön.
 - Aiemmin 7-akseliset, 60-tonniset puutavara-autot olivat rakenteeltaan 3+4-akselisia yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta.
- 8-akseliset yhdistelmät, suurin sallittu kokonaismassa 68 tonnia.
 - 3+5- ja 4+4-akselisia
- 9-akseliset yhdistelmät, suurin kokonaismassa 76 tonnia.
 - 4+5-akselisia
- Siirtymäaikana 7-akseliset 64 t.
 - Auto 28 tonnia

Ajoneuvojen ja yhdistelmien sallitut massat

- Ajoneuvomassat voivat vaihdella esitetyissä rajoissa ja toteuttavat yhdistelmien suurimmat sallitut massat.
- Perävaunun/vetoauton painosuhteet on laskettu ensin auton maksimimassan mukaisesti (lihavoiduilla luvuilla) ja vastaavasti jos perävaunu olisi maksimikuormassa.

Yhdistelmätyyppi	Vetoauto	Perävaunu	Yhdistelmä	Painosuhde		
3+4 1.10.2013	22 - 26	34 - 38	60	1.31	-	1.73
3+4 1.10.2013 alkaen	26 - 28	36 - 38	64	1.29	-	1.46
3+5	26 - 28	40 - 42	68	1.43	-	1.62
4+4	30 - 35	33 - 38	68	0.94	-	1.27
4+5	34 - 35	41 - 42	76	1.17	-	1.24

Uusien yhdistelmätyyppien heikkoudet

- Ennakkotutkimuksissa sekä empiirisen tiedon perusteella ongelmia kuormituksessa suurimpaan sallittuun massaan saattaa ilmetää:
 - kuitupulla, joka pituutensa puolesta täyttää kuormatilaan huonosti
 - kesääikaan
 - ilman nosturia
 - 4-akselisella vetoautolla
 - 5-akselisella perävaunulla.
- On epätietoisuutta siitä, kuinka tierahtus muuttuu kun sallitaan aiempaa suuremmat ajoneuvomassat.
 - Eriiset yhdistelmät aiheuttavat eri suuruisia tierahtuksia.

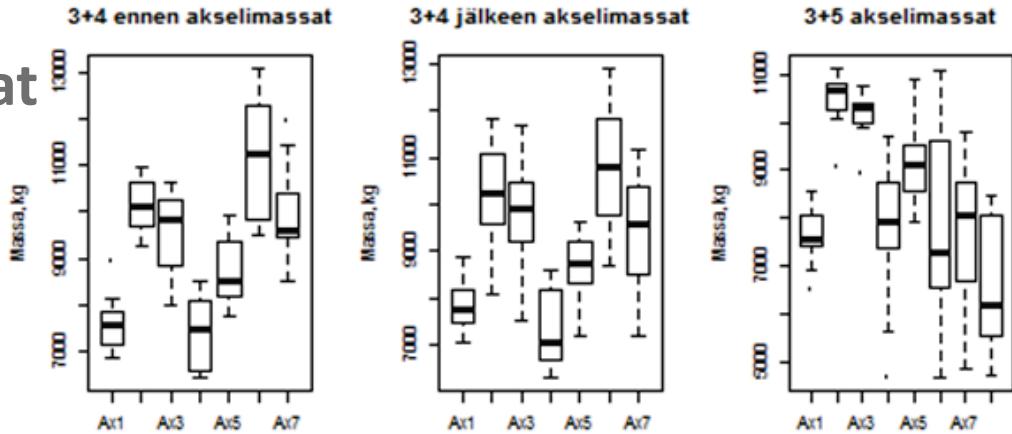
Ajoneuvomassat

	Vetoauto				Perävaunu			
	3+4 ennen	3+4 jälkeen	3+5	4+4	3+4 ennen	3+4 jälkeen	3+5	4+4
n	12	21	15	6	12	21	15	6
Min	25 380	25 650	27 110	30 590	34 780	29 980	32 490	34 940
Keskiarvo	27 436	28 151	28 487	31 977	36 851	36 612	40 497	37 245
Mediaani	27 500	28 290	28 490	32 170	36 760	36 930	41 785	37 615
Max	29 210	31 050	30 520	33 360	38 630	39 770	45 870	38 880
Hajonta	1 181	1 841	1 064	1 012	1 640	2 561	3 259	1 396

- Taulukossa on koko aineiston kaikki ajoneuvot.
 - Kuljettaja on itse pyrkinyt saamaan ajoneuvonsa mahdollisimman oikein kuormattua.
 - Valtaosalla autoista kuormain on mukana.
 - Neliakseliset vetoautot ovat joko trippeli- tai tridemautoja.
 - Ajoneuvojen kokonaiskorkeus on 95 %:ssa ajoneuvoja enintään 420 cm.

3-akselisten vетоautojen yhdistelmien akselimassat

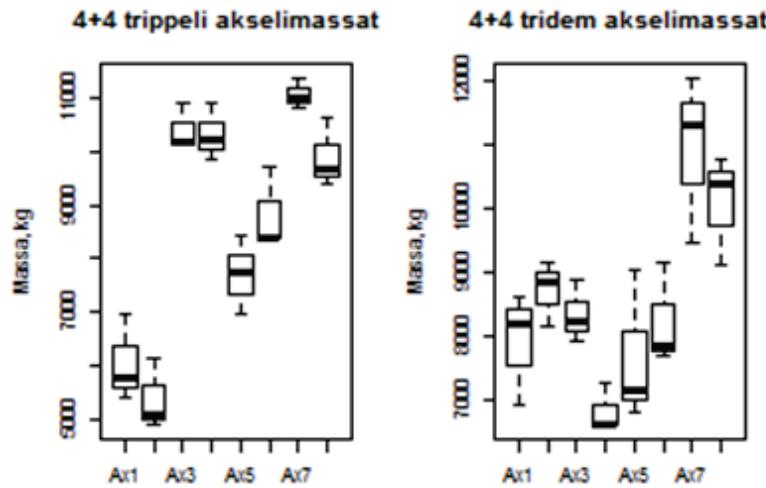
- Ennen-akselimassa tarkoittaa 60-tonnin yhdistelmää ja jälkeen siirtymään 64 tonnin yhdistelmää, jossa autolle sallitaan 28 tonnin massa.
- Auton sallitut teliakselimassat ovat 26-tonnisella 9,5 t ja 28-tonnisella 10,5 t.
- Perävaunun etutelin akseleille sallitaan 9 tonnia ja 4-akselisen takakseleille 10 t.
- Perävaunun 3 akselin ryhmässä sallittu akselimassa on 8 tonnia.
- Taulukossa akselit ovat järjestyksessä etuakselista alkaen ja paksu viiva erottaa auton ja perävaunun.



	3+4 ennen (n=10)		3+4 jälkeen (n=18)		3+5 (n=11)	
	keskiarvo	hajonta	keskiarvo	hajonta	keskiarvo	hajonta
Akseli 1	7 616	617	7 843	538	7 665	630
Akseli 2	10 132	559	10 299	1 062	10 475	565
Akseli 3	9 579	894	9 859	1 160	10 168	480
Akseli 4	7 446	814	7 301	824	7 795	1 521
Akseli 5	8 699	717	8 714	658	9 095	850
Akseli 6	11 180	1 209	10 827	1 240	7 978	2 052
Akseli 7	9 900	1 110	9 430	1 035	7 740	1 528
Akseli 8					6 689	1 438

4-akselisten vетоautojen yhdistelmien akselimassat

- Auton *trippeli*-telissä kantava akseli on vetävien edessä ja *tridem*-telissä kantava akseli on viimeisenä.
- Auton 3-akseliselle telille sallitaan 27 t massa.
- Tässä aineistossa on vain 4-akselisia perävaunuja.



	4+4 trippeli (n=3)		4+4 tridem (n=3)	
	keskiarvo	hajonta	keskiarvo	hajonta
Akseli 1	6 037	838	7 913	898
Akseli 2	5 360	683	8 720	514
Akseli 3	10 410	435	8 343	490
Akseli 4	10 343	536	6 827	384
Akseli 5	7 713	745	7 667	1 194
Akseli 6	8 843	759	8 230	800
Akseli 7	11 077	283	10 943	1 329
Akseli 8	9 913	650	10 103	876

Huomioita akselimassoista

- Uusien yhdistelmätyyppien akselimassat ovat keskimäärin pienemmät kuin aiempien 60-tonnisten yhdistelmien akselimassat.
- Uusilla yhdistelmissä akselimassojen ääriarvot pienenevät.
- 3-akselisen telin kantavan akselin kuormitus on säädetty tiettyyn suhteeseen vetävien akselien massasta tai sallittuun maksimiin ja kantava akseli kuormittuu vähemmän kuin etuakseli.
- Tämän aineiston mukaan
 - perävaunujen etutelin takimmainen akseli kuormittuu enemmän kuin etummainen akseli
 - perävaunun takapäässä sen sijaan etummainen akseli kuormittuu eniten.

Tierasituksen laskenta

- Arvointiin käytetään ESAL-arvoa (Equivalent Single Axis Load).
- Kokeellisesti määritellyn eksponentin arvona on yleisesti käytetty arvoa 4.
 - Perustuu alun perin AASHO-kokeisiin (1961).
 - Suomessa aiheeseen ovat perehtyneet muun muassa Koskinen & Sauna-aho (2001) ja Pihlajamäki (2001).
- Yhdistelmän rasitus saadaan laskemalla rasitusyksiköiden summa.

$$E = \left(\frac{m}{M}\right)^X \times 2^{\frac{s}{n}}$$

jossa

E on ekvivalenttiakseliluku, -

m on akseliin tai akseliryhmän välittämä massa, kg

M on standardiakselin tai akseliryhmän massa, kg

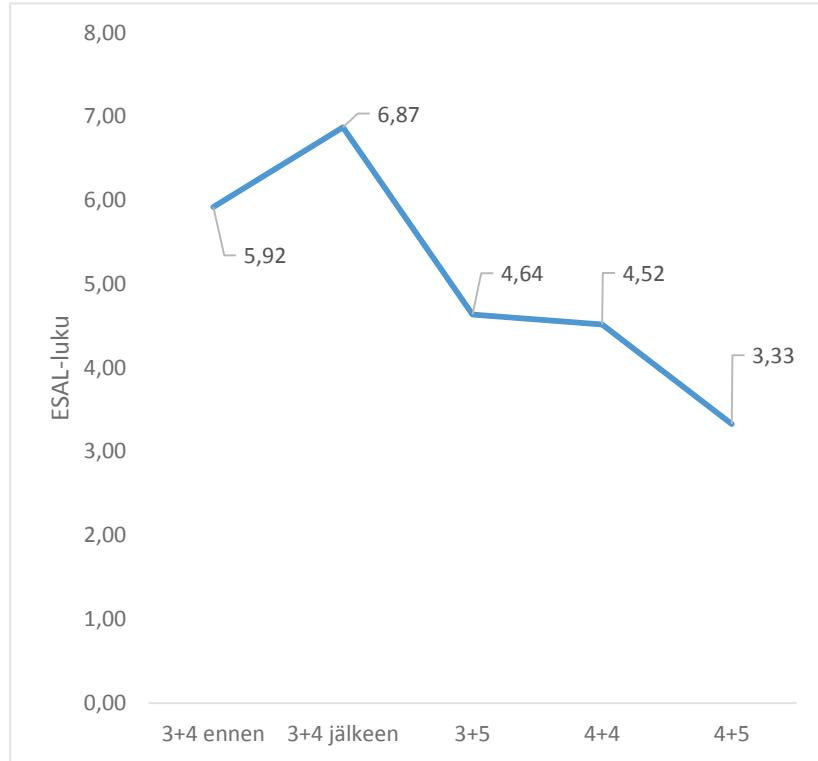
X on kokeellisesti määritelty eksponentti, -

s on singlepyörien lukumäärä, kpl

n on akselin tai akseliryhmän pyörien lukumäärä, kpl

Standardimassa [t]
Yksittäinen akseli ykköspyörin 8
Yksittäinen akseli paripyörin 10
2-akselinen teli ilmajousin 18,5
2-akselinen teli rautajousin 17,5
3-akselinen teli 25

Tierasitus akselimassatutkimuksen yhdistelmissä



	Auto	Perävaunu	Yhdistelmä	Enimmäisakselista	60 t:n yhdistelmästä
3+4 ennen (n=10) keskiarvo	2.51	3.41	5.92	85 %	100 %
Hajonta	0.40	0.88	0.90		
3+4 jälkeen (n=18) keskiarvo	3.85	3.02	6.87	98 %	116 %
Hajonta	1.22	0.90	1.95		
3+5 (n=11) keskiarvo	3.02	1.62	4.64	58 %	78 %
Hajonta	0.84	0.44	1.03		
4+4 (n=6) keskiarvo	1.70	2.82	4.52	56 %	76 %
Hajonta	0.31	0.62	0.91		
4+5 (n=1)	1.47	1.86	3.33	42 %	56 %

Tarkastelu – Tiersitus

- Pitkällä aikavälillä 8- ja 9-akselisten ajoneuvojen yleistymisen myötä tiersitus vähenee.
- 64-tonniset yhdistelmät ongelmallisia.
 - Massa kasvaa, eikä akselistoon tule muutoksia.
- Ykköspyörät aiheuttavat huomattavasti suuremman tiersituksen kuin paripyörät. Puutavara-autojen perävaunuissa käytetäänkin lähes yksinomaan paripyöriä. Paripyörät ovatkin edellytys suurimmille kokonaismassioille.

Yhteenvetö – Akselimassat ja tierasitus

- Akselimassat alenevat asetusmuutoksen myötä, joka vaikuttaa myös tierasitukseen.
- Paripyörävaatimus vähentää tierasitusta.
 - Alemalla tieverkolla paripyörien käyttö muutenkin perusteltua.
- Verrattuna muuhun tavaraliikenteeseen 60-tonnisten puutavarayhdistelmien ekvivalenttiakseliluvut ovat suurempia mutta uusilla yhdistelmissä päästään parempiin tuloksiin.

	KAIP	KAPP	KAVP
Kaikki tavaralajit			
1999	0,58	1,48	2,63
1999-2009	0,68	1,79	3,29
Raaka-ainekuljetukset			
1999	1,06	2,84	4,68
1999-2009	1,595	2,79	4,9
Muut kuin raaka-ainekuljetukset			
1999	0,62	1,67	2,54
1999-2009	0,76	1,95	2,56

Lähde: Pursiainen, 2001

KAIP kuorma-auto ilman perävaunu

KAPP kuorma-auto ja puoliperävaunu

KAVP kuorma-auto ja varsinainen perävaunu

Kuormatilan koon vaikutus ajoneuvomassaan

Vain kuitupuu ja kokonaiskorkeus 420
Kuormain mukana vетоautoissa

	Minimi	Keskiarvo	Keskihajonta
60 t: auto (n=9)	27 510	30 845	3 152
60 t: perävaunu (n=9)	34 800	40 252	5 309
64 t: auto (n=11)	26 160	29 808	2 362
64 t: perävaunu (n=11)	32 640	38 144	2 286
68 t: auto (3-aks., n=15)	27 660	30 936	2 158
68 t: perävaunu (n=15)	35 860	43 484	4 656
68 t: auto (4-aks., n=2)	32 050	33 782	2 450

Vain kuitupuu ja kokonaiskorkeus 440
Kuormain mukana vетоautoissa

	Minimi	Keskiarvo	Keskihajonta
60 auto (n=9)	28 671	32 243	3 620
60 perävaunu (n=9)	36 730	43 231	6 042
64 auto (n=12)	27 668	31 295	2 575
64 perävaunu (n=12)	34 456	41 572	3 973
68 auto (3-aks.) (n=15)	28 519	32 039	2 307
68 perävaunu (n=15)	37 887	45 833	4 897
68 auto (4-aks.) (n=2)	33 245	35 083	2 600

Kuvia ajoneuvoista

30 600 kg (kuormain mukana)



42 700 kg



33 100 kg (kuormain mukana)



43 100 kg



Kuvia ajoneuvoista

Kuormain vie suuren tilan kuormasta



26 – 28 tonnin autoille riittää matalampikin lasti



Tridem-akselistossa kantava akseli on takimmaisenä ja trippelissä vetävien etupuolella



4-akseliset vетоautot

- 2013 voimaan tulleen ajoneuvoasetuksen ns. siltasäännön mukaan 4-akselisen vетоauton ääriakselivälin on oltava vähintään 6500 mm, jotta vетоauton massa saa olla 35 tonnia.
- Akselimassatutkimuksen aineistosta todettiin, että 4-akselisista autoista puolet oli ääriakseliväliltään riittävän pitkiä 35-tonnisiksi. Varsinkin trippeli-tyyppisten autojen ääriakseliväli oli liian pieni:

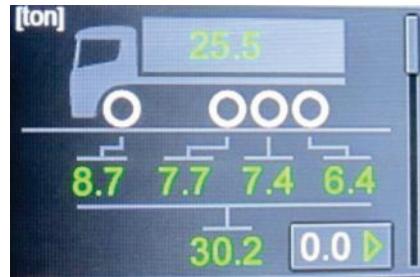
	Trippeli	Tridem	Summa
Rajoittaa	5	0	5
Ei rajoita	1	4	5
Summa	6	4	10

Tarkastelu – Kuormatilan koko ja ajoneuvomassat

- Kokonaiskorkeuden lisääminen 20 cm:llä eli 420:stä 440:een suurentaa kuormia noin 2 000 kg.
 - Akselimassat eivät yli 8-akselisilla yhdistelmillä asettune rajoittavaksi tekijäksi.
- 5-akseliset perävaunut voidaan yleensä kuormata suurimpaan sallituun 42 tonnin massaan.
- Ongelmia on lähinnä 4-akselisilla ajonevoilla kuitupuukuormilla.
 - Varsinkin ilman kuormainta elevat ajoneuvot.
- Neliakselisten autojen ääriakseliväli voi rajoittaa suurinta sallittua massaa ns. siltasäännön vuoksi.
 - Ero on yleisempää trippeli- kuin tridem-akselistossa.
 - Mikäli auton perusakseliväli on tavanomaisen 26-tonnisen mukainen, ja siihen on lisätty trippeliakseli, auton sallittu kokonaismassa voi jäädä 33-34 tonniin.
 - Maksimikantavuuden omaavat vetoautot ovat kuitenkin vain vähän aiempia pitimiä, ja niiden käytettävyys ei oleellisesti poikkea muista.

Tarkastelu

- Varsinkin 76-tonnisen yhdistelmän kuormaus vaatii tarkkuutta, koska auton ja perävaunun kuormituksessa on vain yhden tonnin vaihteluvara:
 - auto 34 + perävaunu 42 tai
 - auto 35 + perävaunu 41 tonnia.
- Oikean kuormituksen varmistamiseksi käyttöön on yleistymässä ajoneuvon tietojärjestelmään kuuluva akselimassamittaus.



Johtopäätökset

- Vajaita kuormia tullee esiintymään
 - ilman nosturia olevissa 4-akselisisissä vетоautoissa
 - kuitupuulla ja kesällä.
- Puunkuljetus (myös tukkien) on perinteisesti painottunut talvisaikaan.
 - Vajaiden kuormien vaikutukset kokonaisuuteen pienenevät.
- Vетоauton vajausta voidaan kompensoida perävaunun lastaamisella.
 - Yhdistelmän painosuhde huononee hieman.
- Vaikka siirrytään kokonaismassaltaan aiempaa suurempien yhdistelmien käyttöön, niin akselimassat eivät käytännössä suurene ja tierasituksen pitäisi vähentyä.

Kirjallisuus

- Koskinen, O. & Sauna-aho, J. 2001. Nordic vs. Central European Vehicle Configuration; Fuel Economy, Emissions, Vehicle Operating Costs and Road Wear. 7th International Symposium on Heavy Vehicle Weights & Dimensions.
- Korpilahti, A. 2013. Puutavara-autot mitta- ja massamuutoksen jälkeen. Metsätehon tuloskalvosarja 11/2013.
- Korpilahti, A. & Koskinen, O. 2013. Uusien mittojen ja massojen puutavara-auto. Metsätehon tuloskalvosarja 02/2013.
- Korpilahti, A. 1988. Ajoneuvopainojen korotuksen ja painoperusteisen kuormituksen vaikutus puutavaran autokuljetukseen. Metsätehon katsaus 19/1988.
- Näsärö, O-P. 2015. Puutavarayhdistelmien akselimassat, tiersitus ja kuljetuskustannukset. Maisterintutkielma. Metsätieteiden laitos. Helsingin yliopisto.
- Peltola, J. 2004. Puutavara-autojen rakenteen vaikutus omamassaan. Metsätehon raportti 176.
- Pennanen, O. 1988. Puutavarakuormien painoperusteinen kuormitustarkkuus. Metsätehon muistio.
- Pihlajamäki, J. 2001. Liikennerasituksen laskeminen. Tiehallinnon TPPT-projektiin menetelmäkuvaus nro 3.
- Pursiainen, J. 2001. Ajoneuvojen ekvivalentit 2009, Akselimassatutkimus 1998-raportin aineistosta.
- Räty, P. & Pursiainen, J. 1999. Akselimassatutkimus 1998. Tielaitoksen julkaisuja.
- Toikka, J & Virtala, P. 2015. Akselimassatutkimus 2013-2014. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä x/2015. (Julkaisunumero ei selville).