



Metsäteho

Puutavaran autokuljetus tehokkaammaksi



Antti Korpilahti, Metsäteho Oy

Olavi H. Koskinen, Liikennevirasto

Metsätehon tulokalvosarja 1/2012

Taustaa

Tässä kalvosarjassa esitellään puutavara-autoyhdistelmien akseli-, teli- ja kokonaismassan määräytymistä ja kokonaismassaltaan nykyistä suurempia puutavarankuljetukseen soveltuvia yhdistelmiä.

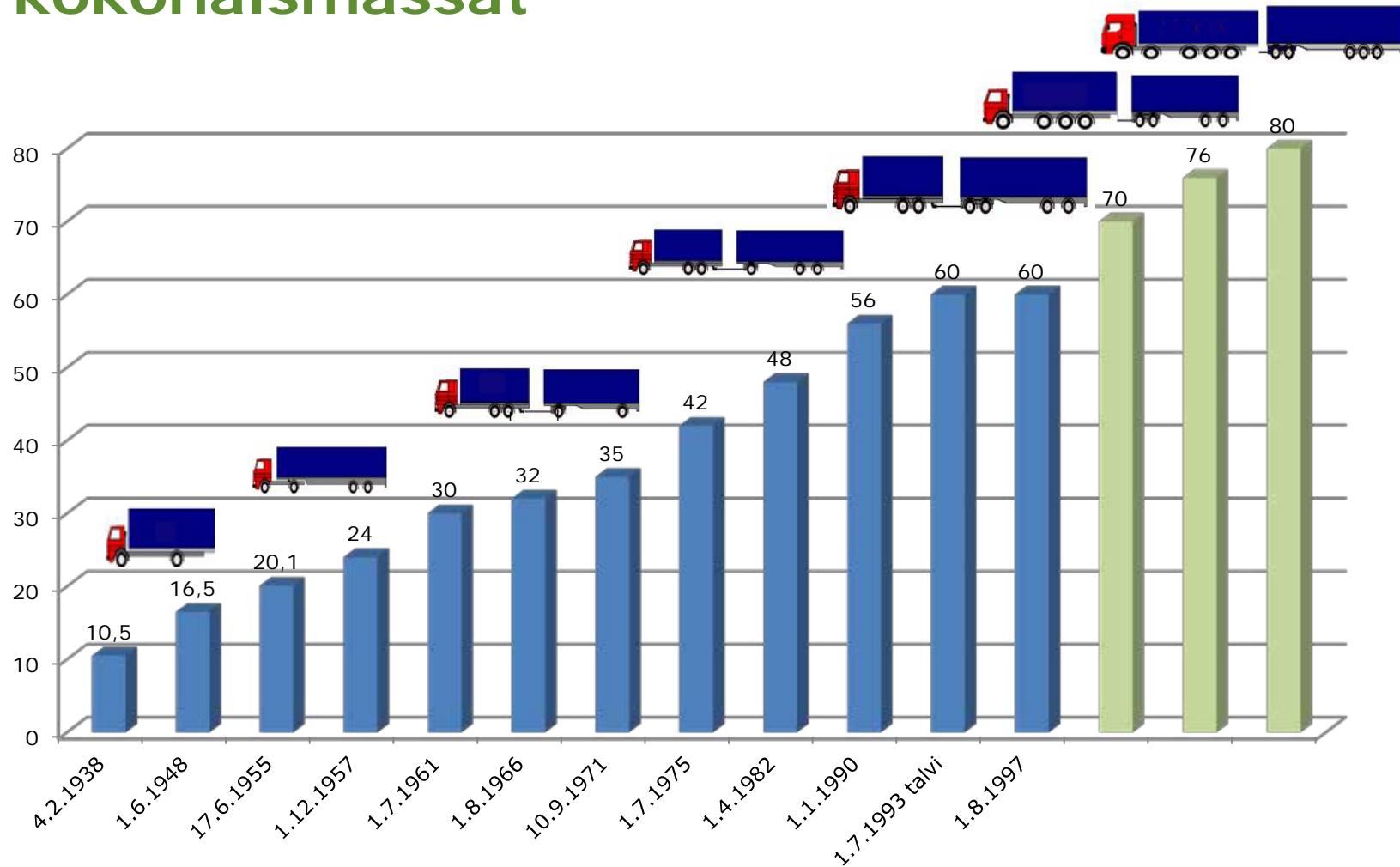
Lähtöajatuksena on, että kuormatilaa ja kuljetuskalustoa voitaisiin hyödyntää nykyistä tehokkaammin sallimalla kuormitus akseli- ja telimassojen mukaan. Nykyisin yhdistelmien kokonaismassat ovat pienempiä kuin ajoneuvojen ja akselien yhteenlasketut enimmäismassat.

Suurempien kokonaismassojen yhdistelmät olisivat nykyisten kaltaisia auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmiä ja myös enimmäispituudeltaan nykyisten säädösten mukaisia.

Yhdistelmät, jotka varustettaisiin nykyiseen nähden lisäakseleilla, olisivat ajovakaudeltaan parempia ja myös tierasitus vähentyisi.

Tehokkaammat ajoneuvoyhdistelmät vähentäisivät kuljetuksen päästöjä selvästi.

Ajoneuvojen rakenne ja kokonaismassat



Tyypillinen puutavara-auto

- 3-akselinen auto ja 4-akselinen perävaunu
- Sallitut kokonaismassat
 - Auto 26 t
 - Perävaunu 38 t
 - Yhdistelmän sallittu kokonaismassa on 60 tonnia
 - Auton ja perävaunun enimmäismassojen summa on 64 tonnia

Sallitut akseli- ja telimassat

auto

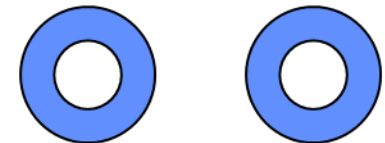
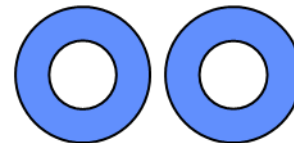
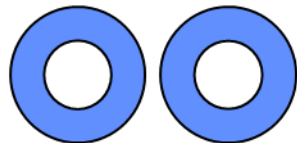
10 / 8

18 / 19

perävaunu

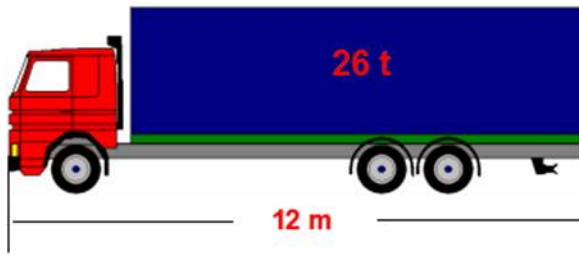
18 / 19

20



- Autossa rautajouset; ilmajousin ja paripyörin sallittu telimassa 19 tonnia
- Teliakselien väli yli 1,3 mutta alle 1,8 m: telimassa 18 t
- Teliakselien väli yli 1,8 m: telimassa 20 t (perävaunun takateli)
- **Akselipainojen mukaan kokonaismassa voisi olla 64 tai jopa 68 tonnia**
- Käytännössä etuakselin kuormitus on 7,5 – 8 tonnia, mutta yksittäisakselin sallittu massa on 10 t

Auton akseli-, teli- ja kokonaismassat



10 + 18 tai 19 = 28 tai 29 t; sallittu 26 t



10 + 24 = 34 t; sallittu 32 t

- Telin akseliväli vähintään 1,3 m
- Ääriakselien etäisyys vähintään 6,3 m



10 + 10 + 24 = 44 t; sallittu 37 tai 38 t

- Telin akseliväli vähintään 1,3 m
- 37 t kun ääriakselien etäisyys 6,7 m
- 38 t kun ääriakselien etäisyys 7,0 m

Ajoneuvoyhdistelmien massat

Seitsemän ja kahdeksan akselia $G = 60\text{ t}$



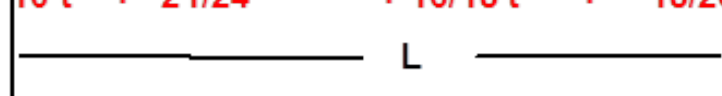
$$10\text{ t} + 18/19\text{ t} + 16/18\text{ t} + 18/20\text{ t} = 60\text{ t}$$



$$10\text{ t} + 18/19\text{ t} + 16/18\text{ t} + 21/24\text{ t} = 60\text{ t}$$



$$10\text{ t} + 21/24 + 16/18\text{ t} + 18/20\text{ t} = 60\text{ t}$$



$L = 16.3\text{ m}$, kok.massa 59 t

$L = 16.7\text{ m}$, kok.massa 60 t

$G = 20\text{ t} + (L - 1.8\text{ m})/0.1\text{ m} \times 0.27\text{ t}$

Akselimassojen mukaan:

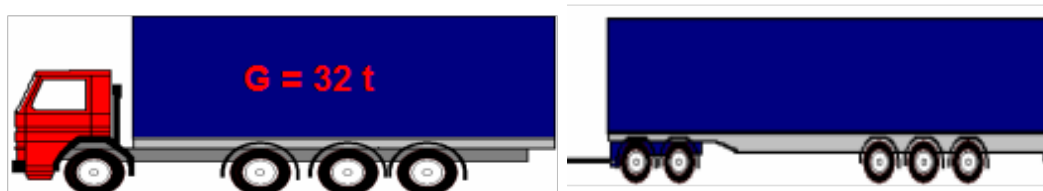
Auto 28 + perävaunu 38 = 64 t

Auto 28 + perävaunu 42 = 70 t

Auto 34 + perävaunu 38 = 72 t

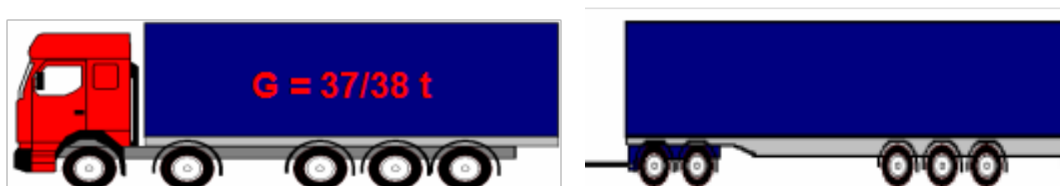
9- ja 10-akseliset yhdistelmät

Akselimassojen mukaan:



Auto 34 + perävaunu 42 = 76 t

10 + 24 t + 18 + 24 t



Auto 44 + perävaunu 42 = 86 t

10 + 10 + 24 t + 18 + 24 t

Esimerkkejä mahdollisista puutavarayhdistelmistä

Akselit	Auton omamassa	Perävaunun omamassa	Omamassa yhteensä	Kokonaismassat	Massasuhde perävaunu / auto	Kantavuus t	Kuorma m ³
3 + 4	12,3	7,5	19,8	26 + 34 = 60	1,31	40,2	45,9
3 + 4	12,3	7,5	19,8	26 + 38 = 64	1,46	44,2	50,5
3 + 5	12,3	8,5	20,8	26 + 42 = 68	1,62	47,2	53,9
4 + 4	14,0	7,5	21,5	32 + 38 = 70	1,19	48,5	55,4
4 + 5	14,0	8,5	22,5	32 + 42 = 74	1,31	51,5	58,8
5 + 4	15,6	7,5	23,1	38 + 38 = 76	1,00	52,9	60,4
5 + 5	15,6	8,5	24,1	38 + 42 = 80	1,11	55,9	63,9

Auto + varsinainen perävaunu

Noudatetaan akselien ja telien nykyisiä enimmäismassoja

Ajoneuvoyhdistelmien pituudet nykyisten säädösten mukaiset

Kuormatilan hyödyntäminen – 60 t

Nykyinen 3 + 4 akselia: 26 + 34 = 60 t

Vetoauto

Perävaunu

**Yhdistelmä
yhteensä**

**Kantavuuden mukainen
kuormatilan täyttöaste**

Puu- tavara	Kantavuus 13700			Kuorma kanta- vuudesta %	Kantavuus 26500			Kuorma kanta- vuudesta %	Yhdistelmä yhteensä		Kantavuuden mukainen kuormatilan täyttöaste	
	Nippuja kpl	Kuorma kg	Koko massa kg		Nippuja kpl	Kuorma kg	Koko massa kg		Kuorma kg	Koko massa kg	Auto %	Perävaunu %
KUT	1	16435	28735	120	2	34058	41558	129	50493	70293	83	78
MÄT	1	18100	30400	132	2	37506	45006	142	55606	75406	76	71
kuk 3	2	21162	33462	154	3	32889	40389	124	54051	73851	65	81
kuk 5	1	16795	29095	123	2	34802	42302	131	51597	71397	82	76
mäk 3	2	23130	35430	169	3	35946	43446	136	59076	78876	59	74
mäk 5	1	18357	30657	134	2	38038	45538	144	56395	76195	75	70

- **Kuorma kantavuudesta** osoittaa tilannetta, jossa kuormatilat on lastattu täyteen. Sekä auton että perävaunun nykyisin sallitut kantavuudet ylittyvät reilusti.
- **Kantavuuden mukainen kuormatilan käyttöaste** osoittaa sen, kuinka paljon kantavuuden mukainen kuorma täyttää kuormatilaa.
- Tukkien keskipituus on 4,7 m.

Kuormatilan hyödyntäminen – 70 t

4-akselinen auto ja 4-akselinen perävaunu: 32 + 38 = 70 t

Vetoauto

Perävaunu

Yhdistelmä yhteensä

Kantavuuden mukainen
kuormatilan täyttöaste

Puu- tavara	Kantavuus 18000			Kuorma kanta- vuudesta %	Kantavuus 30500			Kuorma kanta- vuudesta %	Yhdistelmä yhteensä		Kantavuuden mukainen kuormatilan täyttöaste	
	Nippuja kpl	Kuorma kg	Koko massa kg		Nippuja kpl	Kuorma kg	Koko massa kg		Kuorma kg	Koko massa kg	Auto %	Perävaunu %
KUT	1	16435	30435	91	2	34058	41558	112	50493	71993	110	90
MÄT	1	18100	32100	101	2	37506	45006	123	55606	77106	99	81
kuk 3	2	21162	35162	118	3	32889	40389	108	54051	75551	85	93
kuk 5	1	16795	30795	93	2	34802	42302	114	51597	73097	107	88
mäk 3	2	23130	37130	129	3	35946	43446	118	59076	80576	78	85
mäk 5	1	18357	32357	102	2	38038	45538	125	56395	77895	98	80

- Jos vetoauto olisi 4-akselinen, tulisi sen kantavuus varsin tehokkaasti hyödynnetyksi täydellä kuormalla kaikilla puutavaralajeilla. Tosin pitkän kuitupuun pitäisi olla keskipituudeltaan 5-metristä.
- Perävaunu on tässä tapauksessa kokonaismassaltaan nykyinen 38-tonninen.
- Tässä vaihtoehdossa vetoauton ja perävaunun massojen suhde olisi selvästi parempi kuin nykyisen 3 + 4 –akselisen yhdistelmän.

Kuormatilan hyödyntäminen – 76 t

5-akselinen auto ja 4-akselinen perävaunu: 38 + 38 = 76 t

Vetoauto

Perävaunu

Yhdistelmä yhteensä

Kantavuuden mukainen kuormatilan täyttöaste

Puu-tavara	Kantavuus 22400			Kuorma kanta-vuudesta %	Kantavuus 30500			Kuorma kanta-vuudesta %	Yhdistelmä yhteensä		Kantavuuden mukainen kuormatilan täyttöaste	
	Nippuja kpl	Kuorma kg	Koko massa kg		Nippuja kpl	Kuorma kg	Koko massa kg		Kuorma kg	Koko massa kg	Auto %	Perävaunu %
KUT	1	16 435	32 035	73	2	34 058	41 558	112	50 493	73 593	136	90
MÄT	1	18 100	33 700	81	2	37 506	45 006	123	55 606	78 706	124	81
kuk 3	2	21 162	36 762	94	3	32 889	40 389	108	54 051	77 151	106	93
kuk 5	1	16 795	32 395	75	2	34 802	42 302	114	51 597	74 697	133	88
mäk 3	2	23 130	38 730	103	3	35 946	43 446	118	59 076	82 176	97	85
mäk 5	1	18 357	33 957	82	2	38 038	45 538	125	56 395	79 495	122	80
KUT	1 pitkä	17 485	33 085	78	2 hajapitkää	34 058	41 558	112	51 543	74 643	128	90
MÄT	1 pitkä	19 255	34 855	86	2 hajapitkää	37 506	45 006	123	56 761	79 861	116	81
KUT	2 lyhyttä	29 806	45 406	133	2 pitkää	36 232	43 732	119	66 038	89 138	75	84
MÄT	2 lyhyttä	32 824	48 424	147	2 pitkää	39 900	47 400	131	72 724	95 824	68	76

- 5-akselisen auton tehokas hyödyntäminen edellyttää sitä, että vetoautoon lastataan 2 nippua tukkeja joiden pituus on enintään 4,3 m. Sitä pidemmät tukit kuormataan perävaunuun.
- Kuitupuu pitäisi tehdä esimerkiksi 3-metriseksi ja kuormata 2 nippua autoon ja 3 nippua perävaunuun. Pitkällä kuitupuulla auton kantavuutta ei saada hyödynnetyksi.
- Perävaunu on tässä tapauksessa kokonaismassaltaan nykyinen 4-akselinen lastattuna 38 tonniin.
- Tässä vaihtoehdossa auton ja perävaunun massojen suhde olisi selvästi parempi kuin nykyisellä 3 + 4 -akselisella yhdistelmällä.

Kuormatilan hyödyntäminen – 80 t

5-akselinen auto ja 5-akselinen perävaunu: 38 + 42 = 80 t

Vetoauto				Perävaunu				Yhdistelmä yhteensä		Kantavuuden mukainen kuormatilan täyttöaste		
Kantavuus 22400		Koko massa		Kuorma kanta- vuudesta %	Kantavuus 33500		Koko massa	Kuorma kanta- vuudesta %	Kantavuuden mukainen kuormatilan täyttöaste			
Puutavara	Nippuja	Kuorma	kg		Nippuja	Kuorma			kg	Auto %	Perävaunu %	
KUT	1	16435	32035	73	2	34058	42558	102	50493	74593	136	98
MÄT	1	18100	33700	81	2	37506	46006	112	55606	79706	124	89
kuk 3	2	21162	36762	94	3	32889	41389	98	54051	78151	106	102
kuk 5	1	16795	32395	75	2	34802	43302	104	51597	75697	133	96
mäk 3	2	23130	38730	103	3	35946	44446	107	59076	83176	97	93
mäk 5	1	18357	33957	82	2	38038	46538	114	56395	80495	122	88
KUT pitkä	1	17485	33085	78	2	34058	42558	102	51543	75643	128	98
MÄT pitkä	1	19255	34855	86	2	37506	46006	112	56761	80861	116	89
KUT lyhyt	2	29806	45406	133	2	36232	44732	108	66038	90138	75	92
MÄT lyhyt	2	32824	48424	147	2	39900	48400	119	72724	96824	68	84

- Jos sekä vetoauto että perävaunu ovat 5-akselisia, yhdistelmän kokonaismassaksi saataisiin 80 tonnia.
- 5-akselisen perävaunun kantavuus voitaisiin hyödyntää hyvin.

Akselikuormat ajoneuvo kuormattuna

Akseliluku	Kokonais- massat, t	Etuakseli kg	Vetävä teli kg	Perävaunun etuteli, kg	Perävaunun takateli, kg
3 + 4	26 + 34 = 60	7 000	19 000	15 660	18 340
3 + 4	26 + 38 = 64	7 000	19 000	18 000	20 000
4 + 4	32 + 38 = 70	8 000	24 000 (3 akselia)	18 000	20 000
5 + 4	38 + 38 = 76	14 000 (2 akselia)	24 000 (3 akselia)	18 000	20 000
5 + 5	38 + 42 = 80	14 000	24 000	18 000	24 000 (3 akselia)

- Taulukon akselimassat on laskettu ottaen huomioon ajoneuvojen mitat ja kuormitus.
- Laskennallisesti saadut akselimassat vastaavat hyvin käytännössä punnitsemalla saatuja tuloksia.
- Etuakselin massa jää noin 8 000 kg. Yksittäisakselin enimmäismassa voisi olla 10 000 kg.
- Telit ja trippelit kuormittuvat enimmäismäärien mukaan.

Puutavarayhdistelmien tunnuslukuja

Akselit	Kokonaispainot	Kantavuus suht.	Suorite m ³ /a	Kuormia suht.	Päästöt suht.	Suhteel. yksikkökust.	Tierasitus indeksi
3 + 4	26 + 34 = 60	100	35 100	100	100	1,00	100
3 + 4	26 + 38 = 64	110	38 100	91	94	0,92	117
3 + 5	26 + 42 = 68	117	40 200	85	90	0,88	85
4 + 4	32 + 38 = 70	121	41 200	83	89	0,87	108
4 + 5	32 + 42 = 74	128	43 300	78	87	0,84	79
5 + 4	38 + 38 = 76	132	44 200	76	86	0,83	103
5 + 5	38 + 42 = 80	139	46 300	72	84	0,80	76

Peruskaluston kokonaishinta 255 600

- ✓ 4-akselinen auto on 20 000 kalliimpi kuin 3-akselinen
- ✓ 5-akselinen auto on varusteltuna 45 000 kalliimpi kuin 3-akselinen
- ✓ 5-akselinen perävaunu on 10 000 kalliimpi kuin 4-akselinen

Kuljetusmatka 100 km, 2-vuoroajo, normaalit ylityötunnit

Tierasitusindeksi perustuu USA:ssa 1960 aloitettuihin ja kansainvälisesti tehtyihin tutkimuksiin ja niistä kehitettyihin laskentamalleihin (AASHO).

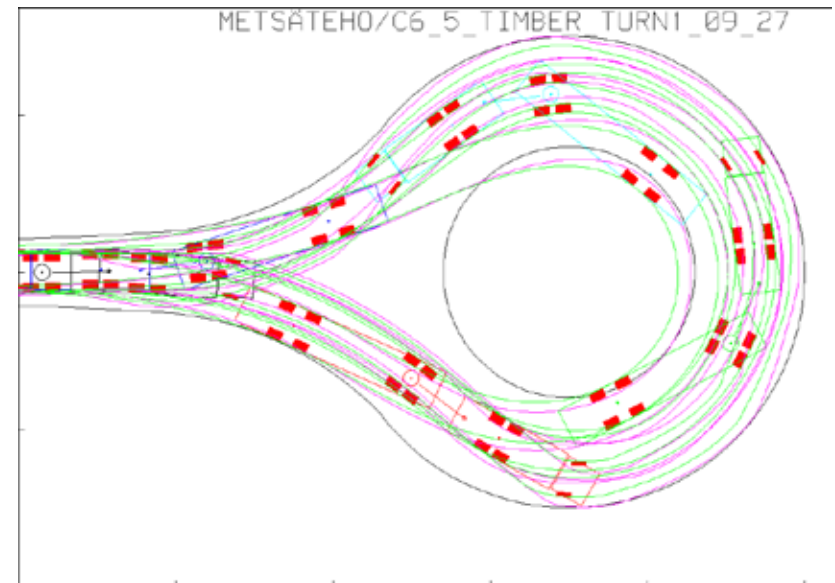
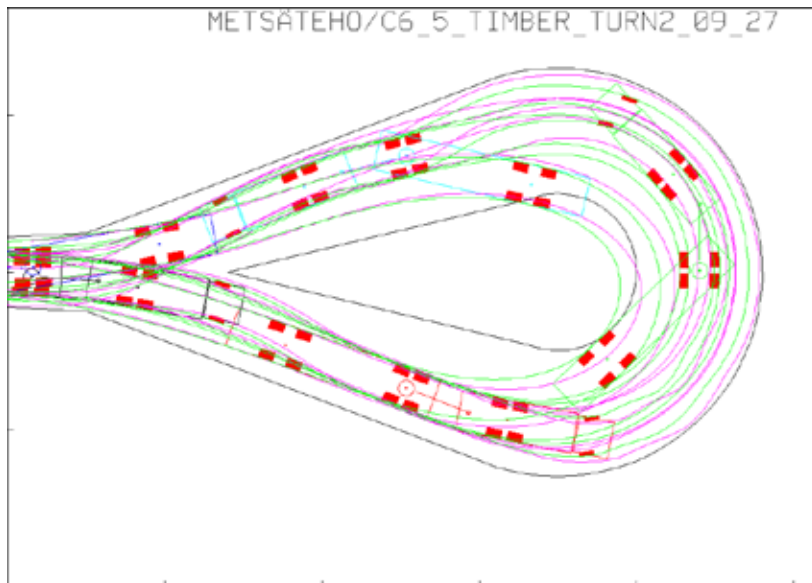
Parhaimmat yhdistelmät

- Tärkeimmät kriteerit
 - Turvallisuus: auton ja perävaunun massasuhde: nykyisellä 3+4 -akselisella 1:1,31
 - Päästöt: polttoaineen kulutus kuljetussuoritetta kohden
 - Tierasitus: tien kulumista kuvaava indeksiluku
 - Kuljetustehokkuus: yksikkökustannukset, vuosisuorite, kuormaluku/puumäärä
- Parhaimpia yhdistelmiä ovat ne, joissa vetoautoon on lisätty 4. ja 5. akseli. Ne mahdollistavat myös perävaunun kokonaismassan lisäämisen ilman että auton ja perävaunun massasuhde huononee nykyisestä.

Akselit	Kokonaispainot	Perävaunu / auto massasuhde	Päästöt suht.	Tierasitus indeksi	Suhteel. yksikkökust.	Suorite m ³ /a	Kuormia suht.
5 + 5	38 + 42 = 80	1,11	84	76	0,80	46 300	72
5 + 4	38 + 38 = 76	1,00	86	103	0,83	44 200	76
4 + 5	32 + 42 = 74	1,31	87	79	0,84	43 300	78
4 + 4	32 + 38 = 70	1,19	89	108	0,87	41 200	83
3 + 5	26 + 42 = 68	1,68	90	85	0,88	40 200	85
3 + 4	26 + 34 = 60	1,31	100	100	1,00	35 100	100
3 + 4	26 + 38 = 64	1,46	94	117	0,92	38 100	91

Yhdistelmien pituudet ja kääntyvyys

- Yhdistelmien pituuden määrittämisessä on otettu huomioon mm. akselien kuormittuminen ja siltasääntö (massan ja pituuden suhde)
- 3 + 4 -akseliset ajoneuvoyhdistelmät ovat noin 22 m pitkiä
- 3 + 5 -akselinen 23,5 m
- 4 + 5 -yhdistelmät 24,6 – 25,25 m
- Yhdistelmien kääntyvyyteen vaikuttaa pituuden lisäksi ääriakselien nostot ja maahan jäävien akselien etäisyydet sekä auton peräylityksen vaikutus vetoaisan kulkurataan
- Alla kuvissa 25,25-metrinen yhdistelmän tietokonesimulaatiolla tuotetut ajolinjat metsätieohjeiden mukaisissa kääntoympyröissä



Kokeilut Ruotsissa 90 ja 74 t autoilla

- 90 tonnin yhdistelmä perustuu dollyn, linkkivaunun ja puoliperävaunun käyttöön
- Vetoauto on tavanomainen 3-akselinen
- Dolly ja muut vaunut ovat ykköspyörillä
- Yhdistelmän pituus on 30 m
- Vetoauton massa on 26 t ja perävaunun 64 t
- Perävaunujen massat ovat 2,46-kertaiset vetoauton massaan nähden
- *Ruotsalaiset korostavat kuljetustehokkuuden parantamista, päästöjen vähentymistä ja ajokertojen vähentymisestä johtuvaa liikenneturvallisuuden parantamista.*
- 74 tonnin yhdistelmä perustuu linkkivaunun ja puoliperävaunun käyttöön
- Vetoauto on tavanomainen 3-akselinen
- Linkkivaunu on ykköspyörillä, puoliperävaunussa pari pyörät
- Yhdistelmän pituus on 24 m
- Vetoauton massa on 26 t ja perävaunun 48 t
- Perävaunujen massat ovat 1,85-kertaiset vetoauton massaan nähden
- Kuljetusketjuun kuuluu metsäpään auto, joka tuo kuorman vaihtopaikkaan, jättää perävaunun ja siirtolastaa vetoauton linkkivaunun
- Metsäpään auto on 4-akselinen ja siinä on dolly perävaunun vetoa varten



EU-mitat ja -massat ja kansalliset säädökset

- Kansalliset säädökset:
 - Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä (1257/1992)
 - Liikenne- ja viestintäministeriön asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista (1248/2002)
- Eu-säädökset
 - Direktiivi (96/53/EY) kansainvälisessä liikenteessä sallituista suurimmista mitoista ja painoista
 - Direktiivi (97/27/EY) moottoriajoneuvojen ja perävaunujen massoista ja mitoista (liittyy tyyppihyväksyntään)
- Direktiivin mukainen auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmän enimmäispituus on 18,75 m ja massa kansainvälisessä liikenteessä 40 tonnia
- Kansallisesti voidaan sallia suurempia mittoja ja massoja. Edellytyksenä on:
 - että vastaavat kuljetukset sallitaan myös direktiivin mittavaatimusten mukaisille toisen maan ajoneuvoille tai
 - että on kyse kuljetuksista, jotka eivät merkittävästi vaikuta kansainväliseen kilpailuun kuljetusalalla.
 - Esimerkkinä mainitaan metsien hyväksikäyttöön ja metsäteollisuuteen liittyvät kuljetukset

Kalustoteknisiä näkökohtia

- Puutavarankuljetuksessa kokonaismassoja on mahdollista korottaa ajoneuvojen ja yhdistelmien nykyisten pituusmääräysten sekä akseli- ja telimassojen puitteissa
- Perävaunun/vetoauton massasuhde voidaan säilyttää lähes nykyisellä tasolla tai sitä voidaan jopa selvästi parantaa
- Nykyaikaisissa ajoneuvoyhdistelmissä on tehokkaat ja vakautta lisäävät jarrujärjestelmät, jotka mahdollistavat esitetyn kaltaisten raskaampien ajoneuvoyhdistelmien käytön.
- Kokonaismassaa voidaan lisätä ja tierasitusta jakaa tasaisemmin lisäakselien avulla. Vaikka kokonaismassa suurenee niin tierasitus vähenee, koska akseli- ja telimassoja ei lisätä ja koska kuormien lukumäärä vähenee.
- Alemman tieverkon kuormittumista voidaan vähentää myös rengaspaineiden säädön (CTI) avulla
- Pitkille kuljetusmatkoille voidaan kehittää kuljetusketjuja, joissa tavanomaisesti varusteltu auto tuo kuorman metsästä päätien varteen ja maantiekuljetukseen varusteltu ajoneuvoyhdistelmä kuljettaa kuorman toimituspaikkaan.