

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Konetekniikan osasto

Henri Ritola

Raskaan kaluston perävaunujen kevytrakennetekniikka

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin
tutkintoa varten.

Espoo, 3. syyskuuta 2007

Valvoja: Professori Matti Juhala

Ohjaaja: Diplomi-insinööri Osku Kaijalainen

Tiivistelmä

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

**DIPLOMITYÖN
TIIVISTELMÄ**

Tekijä:	Henri Ritola	
Työn nimi:	Raskaan kaluston perävaunujen kevytrakennetekniikka	
Päivämäärä:	3. syyskuuta 2007	Sivumäärä 73
Osasto:	Konetekniikan osasto	
Professori:	Kon-16 Auto- ja työkonetekniikka	
Valvoja:	Professori Matti Juhala	
Ohjaaja:	Diplomi-insinööri Osku Kaijalainen	
<p>Työn tarkoituksena on tutkia raskaan kaluston perävaunujen rakennetta ja materiaaleja ja tutkia eroja eri maiden kaluston välillä. Tarkoitus on tarkastella mahdollisuuksia keventää perävaunun omamassaa, heikentämättä sen rakennetta, siinä määrin, että sen toteuttaminen on järkevää. Vaunun omamassan pienentämisellä saadaan säästöjä polttoainekuluissa tai vastaavasti kuormaa voidaan ottaa enemmän.</p> <p>Työssä esitellään vertailutulokset eri maiden perävaunujen ominaisuuksista ja mitkä tekijät niihin vaikuttavat. Kirjallisuusselvityksen avulla arvioidaan mikä on tällä hetkellä saavutettavissa oleva pienin omamassa. Kevennyksen vaikutusta polttoaineen kulutukseen simuloidaan ADVISOR-ohjelmalla. Vertailukohtana käytetään kevyttä, keskimääräistä ja huomattavasti raskaampaa perävaunua.</p> <p>Kevennys on mahdollista tehdä käyttämällä rungossa keveämpiä ja/tai lujempia materiaaleja, optimoimalla runkorakenne, akselisto, renkaiden koko, päällirakenne jne.</p> <p>Alumiini, suurlujuusteräksset ja erilaiset komposiitit sekä muovit ovat yleisesti käytettyjä kevennysmateriaaleja perävaunujen valmistuksessa. Alumiinia käytetään enemmän kuin komposiitteja, koska se on halvempaa ja helpompi liittää perävaunun runkorakenteisiin.</p>		
Avainsanat: rekka-auto, perävaunu, raskas kalusto, omamassa, polttoaineen kulutus.		

Abstract

HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**ABSTRACT OF THE
MASTER'S THESIS**

Author:	Henri Ritola	
Title of the thesis:	Lightweight structures of heavy trailers	
Date:	3 September 2007	Number of pages 73
Department:	Department of Mechanical Engineering	
Professorship:	Kon-16 Automotive Engineering	
Supervisor:	Professor Matti Juhala	
Instructor:	Osku Kaijalainen, M.Sc. (Tech.)	
<p>The Purpose of this thesis is to study heavy transportation vehicle trailer construction, materials and differences between countries. Meaning is to find out is it possible to lighten trailers own weight enough, without impairing its strength, to make it profitable to make a new construction. Reducing tare weight saves fuel costs and gives opportunity to take bigger loads.</p> <p>In this thesis are laid out comparisons between different countries of trailer characteristics and which elements are affecting to them. On the grounds of literature survey the possible weight reduction is estimated and its contribution to fuel consumption is calculated by means of ADVISOR-simulation. Comparison will be made between light, average and heavy trailer.</p> <p>Weight reduction can be done with light or/and high strength materials and to optimize body construction, axels, wheel size and build on etc.</p> <p>Aluminium, high strength steels and various composites and plastics are commonly used light weight materials in trailer manufacturing. Aluminium is used more than composites because it's cheaper and easier to attach in to the trailers frame.</p>		
Keywords: truck, trailer, heavy duty vehicle, weight reduction, consumption.		

Alkulause

Diplomityö tehtiin Teknillisen Korkeakoulun Autotekniikan laboratorion 1.2.-31.8.2007 välisenä aikana osana RASTU-projektia. Kiitän työn valvojaa professori Matti Juhalaan neuvoista ja taustatiedoista. Kiitän myös työn ohjaajaa DI Osku Kaijalaista neuvoista ja ajatuksista, joita hän työn aikana toi esille. Lisäksi suuri kiitos laboratorioinsinööri Panu Sainiolle avusta taustatietojen hankinnassa ja työn ohjauksessa oikeaan suuntaan. Lisäksi kiitän Kimmo Erkkilää VTT:ltä.

Aiheeseen liittyen tehtiin tutustumiskäynti perävaunuvalmistaja Närkön tiloihin. Haluan kiittää Juha-Pekka Kuokkalaa ja Rainer Rönnskogia perävaunujen valmistuksen esittelystä ja ajatuksista siihen liittyen.

Eriytinen kiitos kuuluu vanhemmilleni Hannelelle ja Markulle, joiden tuki opiskeluvuosien aikana on ollut korvaamatonta.

Espoossa 3. syyskuuta 2007

Henri Ritola

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	2
2	Tilastoja eri maiden kuljetuskalustosta ja kuljetetuista määristä.....	2
2.1	Suomi	2
2.1.1	Puoliperävaunut.....	2
2.1.2	Täysperävaunut	2
2.1.3	Raskaan kaluston tavaraliikenne ja ajoneuvot.....	2
2.2	Ruotsi	2
2.3	EU.....	2
3	Perävaunuvalmistus	2
3.1	Kevytrakenteiden historiaa	2
3.2	Valmistajat	2
3.3	Vaunutyyppit.....	2
3.3.1	Täysperävaunu.....	2
3.3.2	Puoliperävaunu	2
3.3.3	Keskiakseliperävaunu	2
3.4	Rakenne.....	2
3.5	Säädökset ja määräykset	2
3.5.1	Päällirakenteet	2
3.5.2	Sallitut mitat ja massat.....	2
3.5.3	Suomi	2
3.5.4	Ruotsi.....	2
3.5.5	Venäjä	2
3.5.6	Eurooppa.....	2
3.5.7	Pohjois-Amerikka	2
3.6	Erot maiden välillä	2
4	Aikaisemmat tutkimukset.....	2
4.1	U.S. Department of Energy, Office of FreedomCAR and Vehicle Technologies (OFCVT).....	2
4.1.1	Tavoitteet 2004.....	2
4.1.2	Jatkosuunnitelma.....	2
4.1.3	Vuosi 2005.....	2
4.1.4	Lightweight Trailer - Liburdas Project.....	2
4.2	University of Southern Queensland, Toowoomba, Australia	2
4.3	Delf University of Technology, the Netherlands.....	2
4.4	Composittrailer, Belgia 2001	2
4.5	Development of an Innovative Concept of light Semi-Trailer By Means of FEM and Testing.....	2
4.5.1	Alkuperäisen rakenteen analyysi.....	2
4.5.2	Prototyypin tuotanto ja testaus	2
4.5.3	Olkarakenteen optimointi	2
4.5.4	Lopputulokset	2
5	Kevennysvaihtoehtoja	2
5.1	Kysyntä kevytrakenteille.....	2
5.2	Putkipalkit	2

Sisällysluettelo

5.2.1	Putkipalkkien käyttö ajoneuvoissa.....	2
5.3	Suurlujuusteräket	2
5.3.1	Liitokset.....	2
5.4	Renkaat, jarrut ja jousitus.....	2
5.5	Komposiitit ja muovit.....	2
5.5.1	Kehittyneet komposiitit korirakenteissa	2
5.5.2	Komposiittirunko	2
5.5.3	Valmistus	2
5.5.4	Komposiittimateriaalien liitostekniikat.....	2
5.5.5	Pulttiliitosten esijännitys.....	2
5.6	Alumiini	2
6	Simulointi	2
6.1	Tämän hetken tekniikalla arvio saavutettavissa olevasta kevennyksestä	2
6.1.1	Puoliperävaunut.....	2
6.1.2	Täysperävaunut	2
6.2	Mallit	2
6.3	Tulokset.....	2
6.3.1	Puoliperävaunuyhdistelmä tyhjänä	2
6.3.2	Puoliperävaunuyhdistelmä kuormattuna	2
6.3.3	Täysperävaunuyhdistelmä tyhjänä.....	2
6.3.4	Täysperävaunuyhdistelmä kuormattuna.....	2
6.4	Ajoneuvomäärät.....	2
7	Johtopäätökset ja jatkotoimet.....	2
8	Yhteenvedo.....	2
	Lähteet.....	2
	Liitteet.....	2

1 Johdanto

Tämä Diplomityö on osa RASTU-projektia, raskas ajoneuvokalusto: turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka. Projekti ajoittuu vuosiin 2006 - 2008 ja sisältää kuusi eri tutkijaosapuolta.

Tässä diplomityössä on tarkoitus perehtyä perävaunujen rakenteeseen, materiaaleihin ja päällirakenteisiin ja näiden kautta muodostaa kokonaiskuva perävaunun omamassan rakentumiselle. Kun eri kokonaisuuksien osuudet ovat selvillä, vertaillaan eri materiaali- ja rakennevaihtoehtojen vaikutuksia. Tarkoituksena on löytää keinoja keventää perävaunun omamassaa, josta on hyötyä polttoaineen kulutuksen ja päästöjen pienentämisessä kuljetettua tonnikilometriä kohti. Toinen etu, joka omamassan pienentyessä tulee, on mahdollisuus ottaa suurempi hyötykuorma ja näin ollen kasvattaa kuljetusten kannattavuutta. Samalla raskas kalusto vähenee teillä ja myös turvallisuus paranee.

Tarkastelussa keskitytään kappaletavarakuljetuksiin tarkoitettuihin perävaunuihin, koska niistä oli saatavilla massaselvitys, joka on tehty Turun AMK:ssa.

Polttoaineen kulutus ja päästöt eivät riipu ainoastaan yhdistelmän kokonaismassasta vaan tekijöitä on useita. Esimerkiksi saman merkkisen ja mallisen kuorma-auton eri yksilöiden välillä saattaa olla suuriakin eroja kulutuksessa ja päästöissä. Syynä voivat olla moottorin erilaiset säädöt tai pakokaasulaitteiden poikkeava toiminta. Tässä diplomityössä keskitytään ainoastaan kevennettyjen kilojen vaikutukseen polttoaineen kulutuksessa.

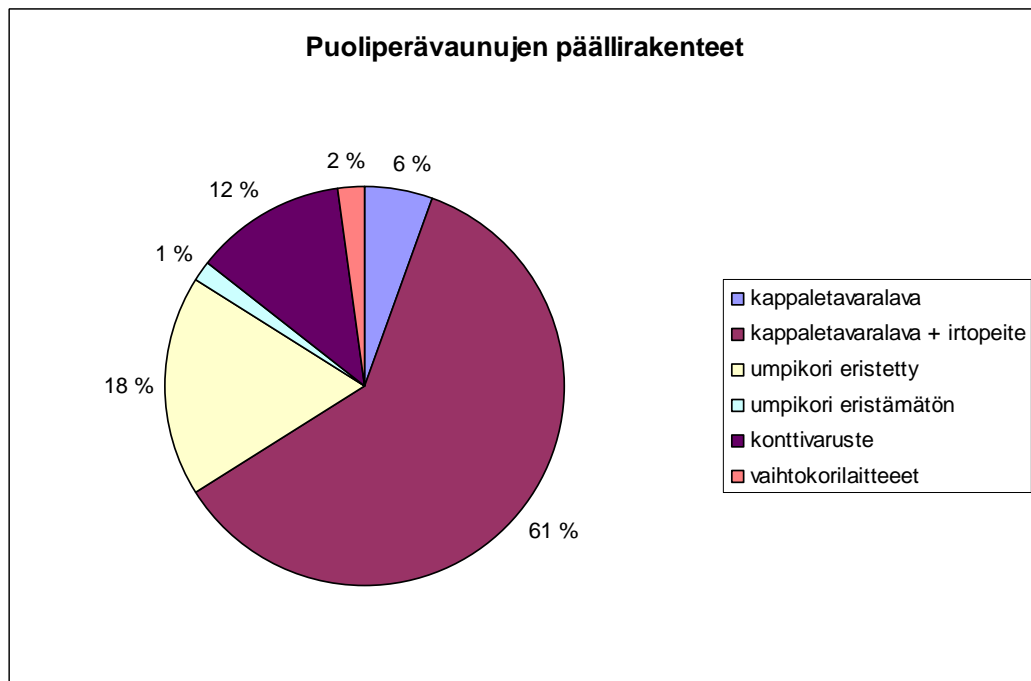
Kun kirjallisuusselvityksen perusteella on arvioitu saavutettavissa oleva kevennys, verrataan simuloinneilla tämän hetkisen keskimääräisen perävaunukaluston eroja kevyempään ja raskaampaan malliin. Simuloinneissa vertaillaan kevennyksen aiheuttamaa muutosta ajosyklin aikana kulutukseen.

2 Tilastoja eri maiden kuljetuskalustosta ja kuljetetuista määristä

Seuraavassa kappaleessa käydään läpi eri maiden/maanosien kuljetuskalustoa ja niiden kuljetussuoritteita. Päähuomio on Suomen ja Ruotsin ohella Euroopan maissa ja EU:n alueella. Pohjois-Amerikan kalustoa käytetään myös vertailukohtana, vaikka se onkin erilaista verrattuna eurooppalaiseen.

2.1 Suomi

Seuraavassa tarkastelussa on keskitytty puoli- ja täysperävaunuihin, joilla kuljetetaan pääasiassa kappaletavaroita. Tyypillisin puoliperävaunu Suomessa on kokonaisuutensa 24 tonnia. Näistä suurin osuus on irtopeitteillä katettuja. Seuraavana tulevat konttivarusteet, eristetyt sekä eristämättömät umpikorit, kuva 1. /33/

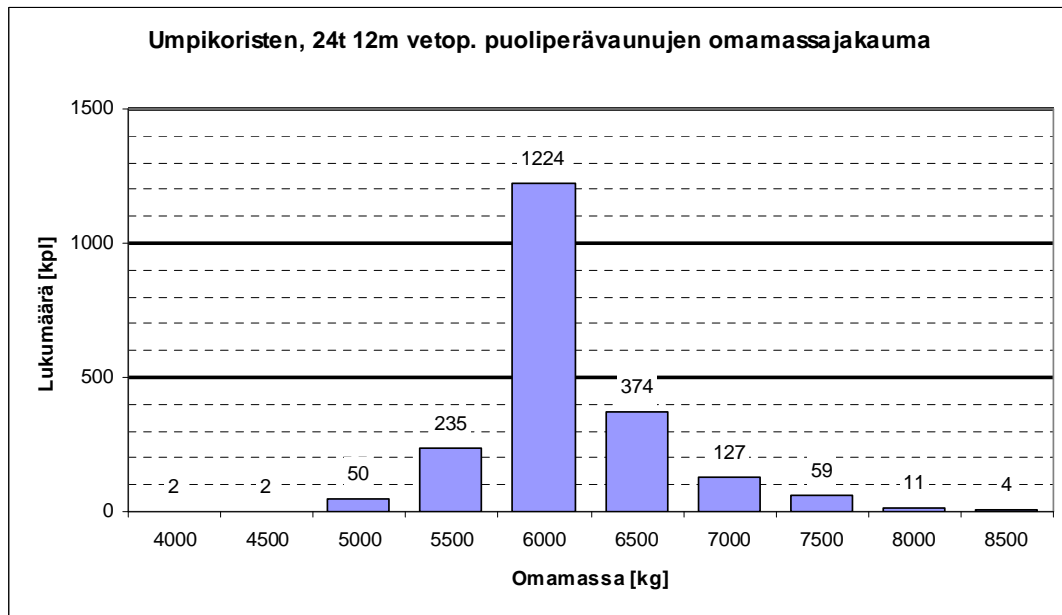


Kuva 1, päällirakenteiden osuudet puoliperävaunuissa. /33/

2.1.1 Puoliperävaunut

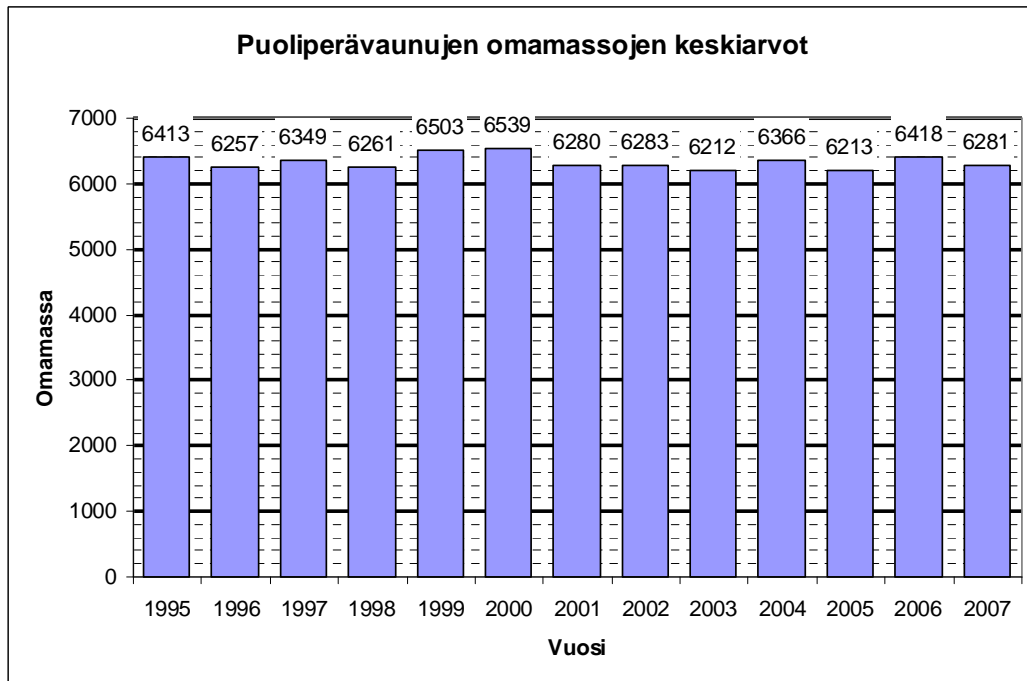
Kuva 2 esittää umpikoristen puoliperävaunujen omamassajakauman ja lukumäärän. Suurin osuus on 6-tonnisia, mutta myös huomattavasti kevyempiä ja raskaampia puoliperävaunuja esiintyy merkittävästi. Suomen puoliperävaunukalustosta on suurin osa ulkomaisilta ja vain murto-osa kotimaisilta valmistajilta. /33/ Vaihteluväli on jopa 2,5 tonnia, josta osa selittyy erilaisilla päällirakenteilla, mutta eron ollessa noin huomattava täytyy myös muiden komponenttien olla huomattavasti raskaampia tai kevyempiä.

2 Tilastoja eri maiden kuljetuskalustosta ja kuljetetuista määristä



Kuva 2, umpikoristen puoliperävaunujen omamassat. /33/

Huomattavaa muutosta ei ole tapahtunut puoliperävaunujen omamassoissa reilun kymmenen vuoden aikana, kuva 3, joka osaltaan tukee väittämää, ettei niiden suunnittelua ole juuri uudistettu. Pieniä muutoksia on toki tehty, mutta kokonaisvaltaiseen perävaunun rakenteen optimointiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota.



Kuva 3, puoliperävaunujen omamassojen kehitys vuodesta -95 lähtien. /33/

Eri valmistajien ilmoittamat omamassat, jotka ovat pääsääntöisesti välillä 5 000 - 7 500 kg, vastaavat kuvan 2 tuloksia. Keskiarvo on hieman pienempi kuin liitteestä

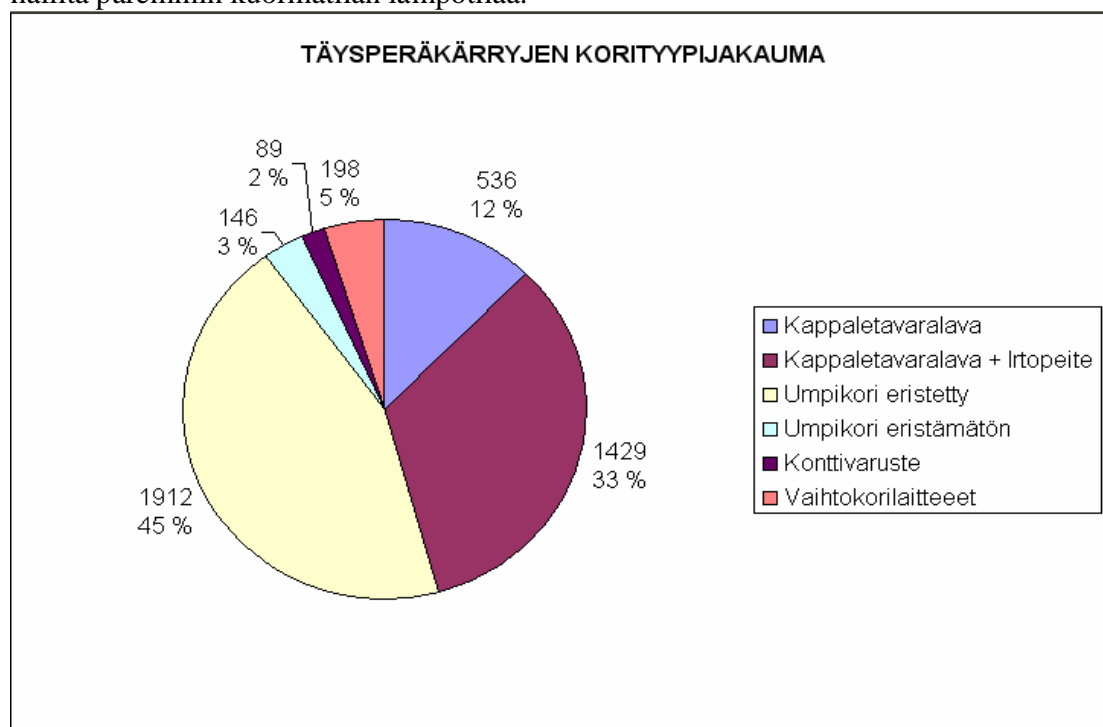
4 laskettuna. Liitteeseen 4 on kerätty sattumanvaraisesti koti- ja ulkomaisten eri valmistajien puoliperävaunumalleja. Mitat ovat lähes identtiset riippumatta maasta tai valmistajasta, ainoa ero tulee käytettävästä rengaskoosta ja sen aiheuttamasta sisätilan muutoksesta sekä käytetyistä materiaaleista.

Liitteen 4 taulukossa kaksi mallia olivat huomattavasti raskaampia omamassoiltaan kuin muut, mutta tarkempien tietojen puutteessa ei voida sanoa täsmälleen sen aiheuttajaa. Se voisi johtua mittavasta määrästä lisävarusteita tai jostain erikoisrakenteesta. On vaikea uskoa muuten, että niin raskaita perävaunuja valmistettaisiin normaaliin käyttöön.

2.1.2 Täysperävaunut

Kuten edellä puoliperävaunujen osalta niin myös täysperävaunuissa on otettu huomioon ainoastaan kappaletavaran kuljetukseen tehdyt mallit. Täysperävaunuista lähes puolet on eristettyjä umpikoreja ja seuraavaksi suurin osuus on irtopeitteellä katetut mallit, kuva 4. /33/

Eristettyjen täysperävaunujen osuus on suuri, koska Suomen olosuhteet vaativat niin. Talvella eristys estää kuorman jäätyksen ja kesällä pitää sen viileänä. Eristetyssä perävaunussa on yleensä myös lisävarusteena kylmäkone, jolla voidaan hallita paremmin kuormatilan lämpötilaa.

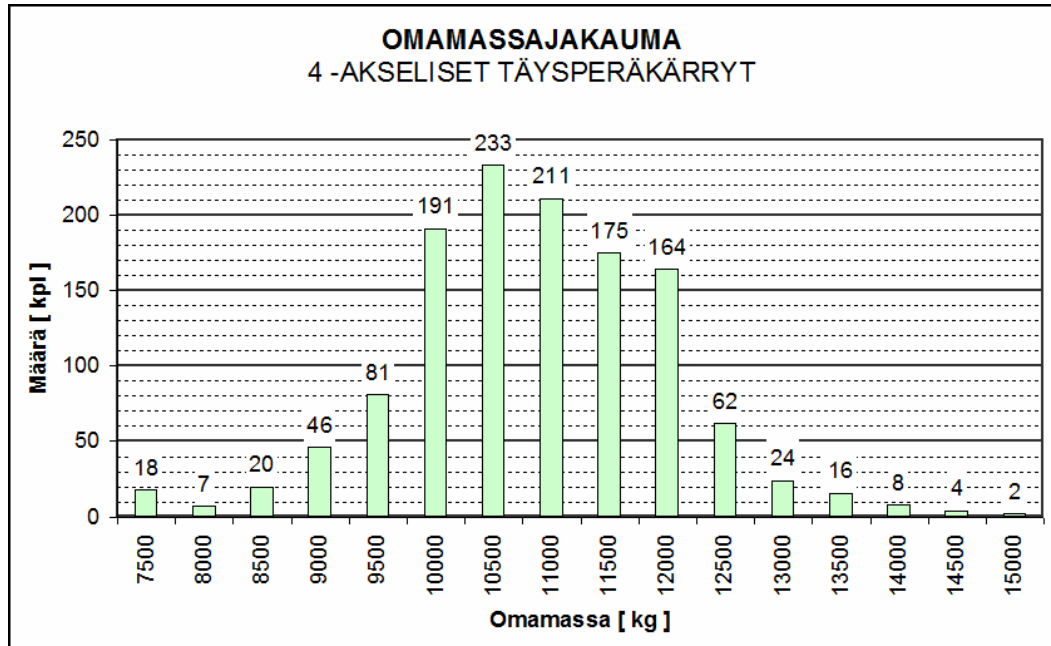


Kuva 4, päällirakenteiden osuudet ja kpl määrät täysperävaunuissa. /33/

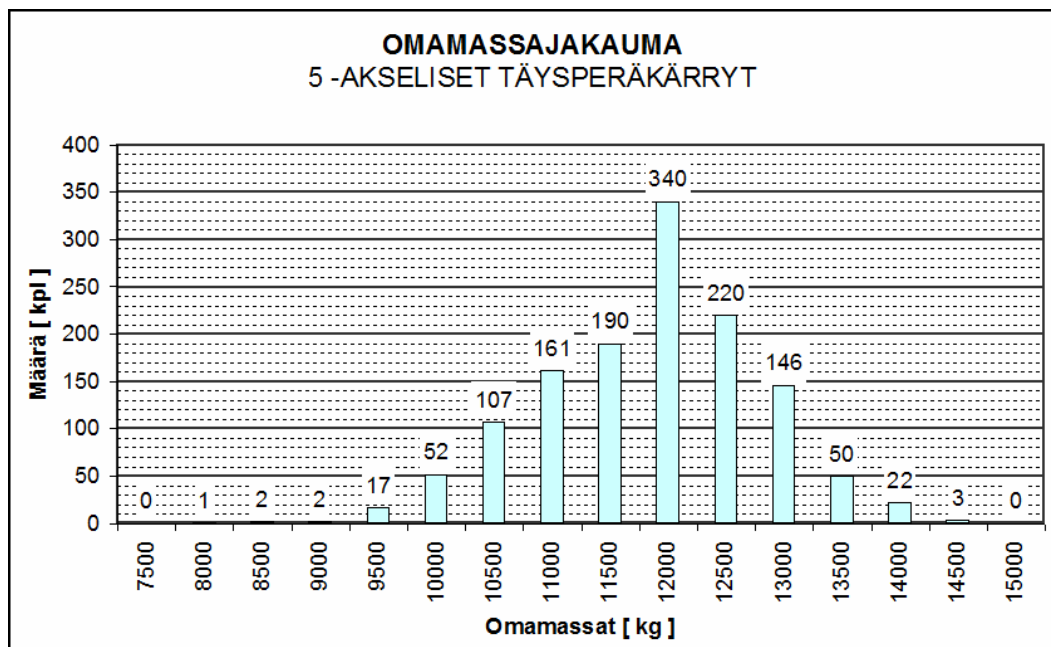
Täysperävaunut ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta neljä- tai viisiakselisia. Neliakselisista suurin osa on kokonaismassaltaan 36-tonnisia, mutta viisiakselisista kolme eri kokonaismassaa on suhteellisen tasoissa; 38-, 40- ja 42-tonniset mallit. /33/

2 Tilastoja eri maiden kuljetuskalustosta ja kuljetetuista määristä

Kuvat 5 ja 6 esittää neljä- ja viisiakselisten täysperävaunujen omamassojen jakautumisen. Neliakselisten mallien omamassa on keskimäärin noin 1 000 kg vähemmän kuin viisiakselisten, kun vertaa kuvia 5 ja 6 keskenään. Kevyemmät neliakseliset painottuvat välille 9 - 12,5 tonnia ja raskaammat viisiakseliset 10 - 13,5 tonnia. Kuvista voidaan todeta myös kappalemääräisesti yleisimmät omamassat. /33/



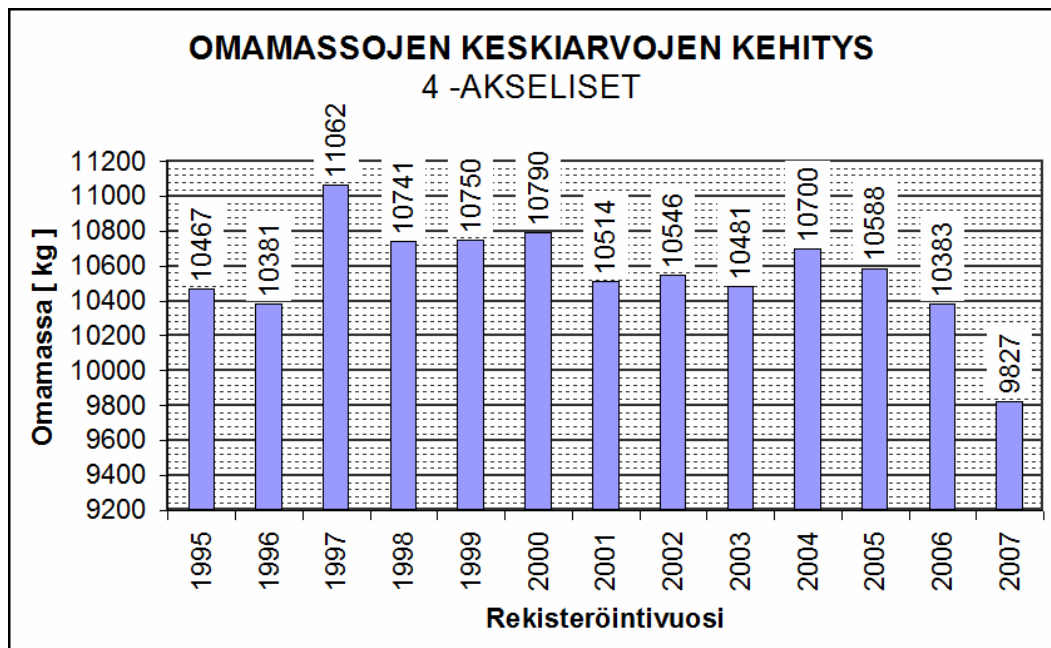
Kuva 5, 4-akselisten täysperävaunujen omamassat. /33/



Kuva 6, 5-akselisten täysperävaunujen omamassat. /33/

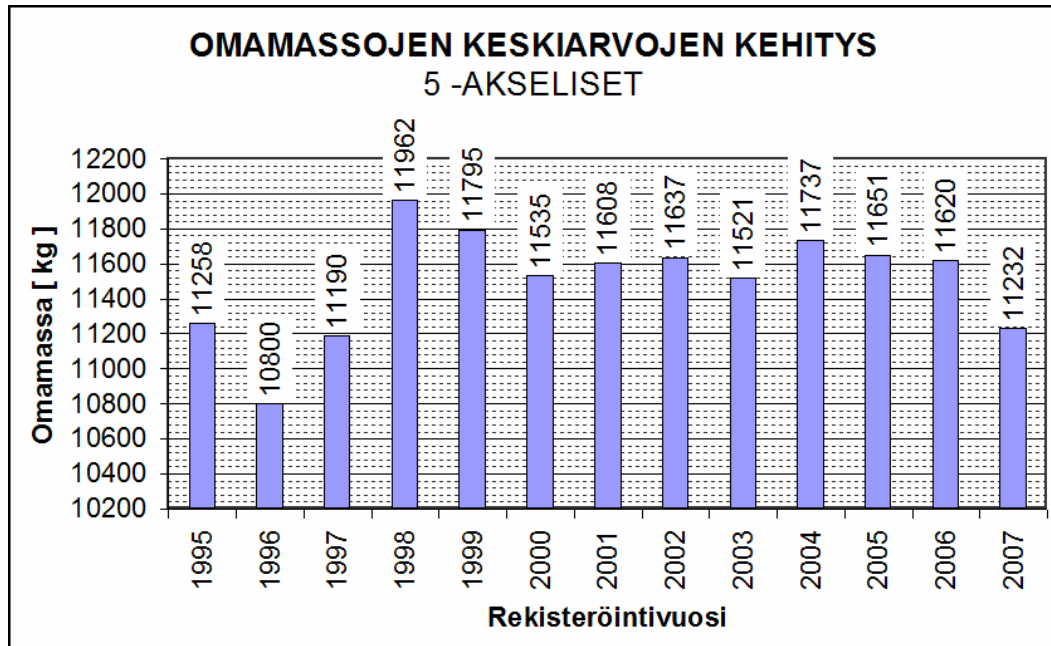
Suomessa kuljetusten optimointi useiden paikkojen kautta vaatii, että kesken matkan voidaan purkaa osa lastista pois. Tämä vaatii, että kuormatila on saatava auki myös sivulta. Sivulta aukeavat kuormatilat ovat eristetyissä vaunuissa Suomen ”erikoisuus” ja niitä ei muualla maailmassa juuri tavata. Tekninen toteutus vaatii huomattavasti raskaammat laipiot ja tukirakenteet, että ne kestävät aukeavien sivuovien massan. Tästä johtuu Suomessa valmistettujen kappaletavaraperävaunujen huomattavasti suurempi omamassa verrattuna esim. eurooppalaiseen vastaavaan. Sama pätee myös puoliperävaunujen kohdalla.

4-akselisten täysperävaunujen omamassojen keskiarvot ovat vaihdelleet viimeisen 12 vuoden aikana 10 600 kg molemmin puolin. Suurimmillaan se oli 11 062 kg vuonna 1997 ja pienimmillään 10 381 kg vuotta aikaisemmin. Vuoden 2007 tuloksissa on vain kahden ensimmäisen kuukauden aikana rekisteröidyttäysperävaunut, joten se ei anna vertailukelpoista arvoa verrattuna aikaisempiin vuosiin. Vuodesta 2004 alkaen keskiarvo on laskenut tasaisesti, mutta aikaisempien vuosien perusteella ei voi sanoa onko laskeva kehitys pysyvää, kuva 7. /33/



Kuva 7, 4-akselisten täysperävaunujen omamassojen keskiarvojen kehitys. /33/

5-akselisten täysperävaunujen omamassojen keskiarvot ovat vaihdelleet myös 10 600 kg molemmin puolin viimeisten 12 vuoden aikana. Kehitys on ollut samankaltaista kuin 4-akselisilläkin. 5-akselisillä ei ole kuitenkaan havaittavissa niin selvää laskevaa suuntaa omamassoissa kuin 4-akselisillä vuodesta 2004 lähtien. Vuoden 2007 tuloksissa on taas vain kahden ensimmäisen kuukauden aikana rekisteröidyttäysperävaunut, joten keskiarvo ei ole vertailukelpoinen, kuva 8. /33/

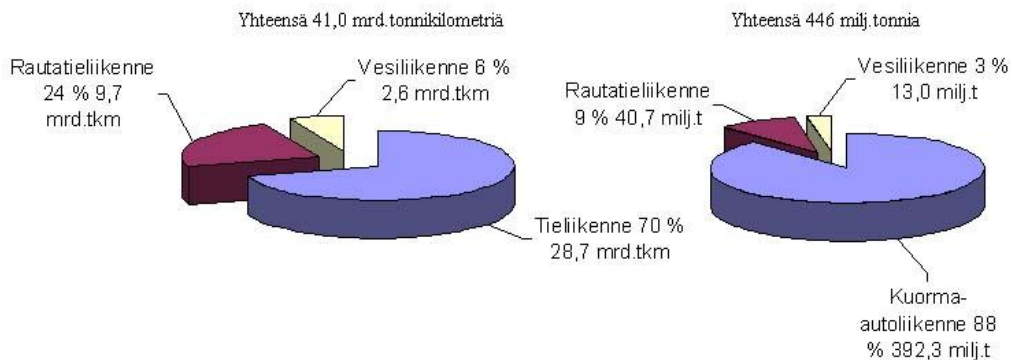


Kuva 8, 5-akselisten täysperävaunujen omamassojen keskiarvojen kehitys. /33/

2.1.3 Raskaan kaluston tavaraliikenne ja ajoneuvot

Kotimaan tavaraliikenne oli vuonna 2005 yhteensä n. 41 miljardia tonnikipometriä ja kuljetettu tavara n. 446 miljoonaa tonnia, kuva 9. Tieliikenteen osuus tonnikipometreista oli 70 % ja kuljetetusta tavarasta 88 %. Suomessa suurin osa päivittäisestä kappalestavarasta liikkuu teitä pitkin ja vain murto-osa rautateillä.

Kotimaan tavaraliikenne kuljetusmuodoittain
Tavaraliikenne (tkm ja t) vuonna 2005

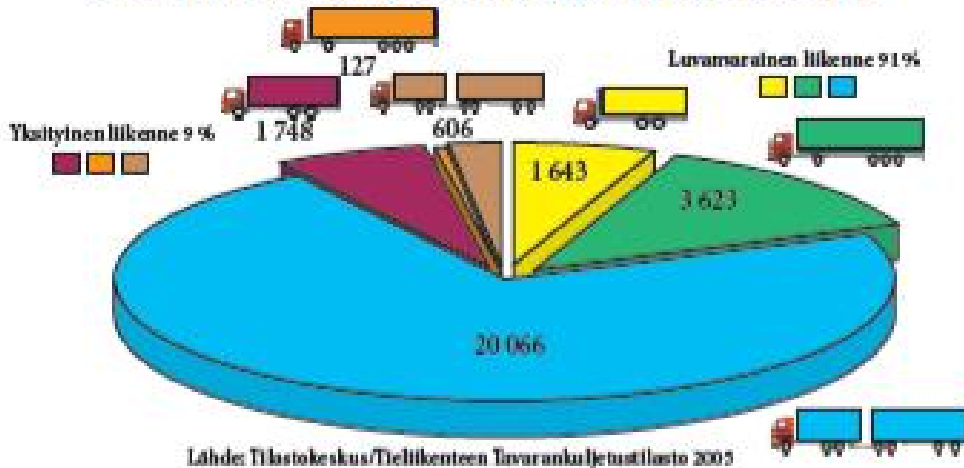


Kuva 9, Suomen tavaraliikenne kuljetusmuodoittain. /28/

Luvanvarainen liikenne käsittää Suomessa n. 91 % kaikista ajoneuvojen kuljetussuoritteista ja loput 9 % on yksityisen liikenteen suorittamia, kuva 10. Tässä tapauksessa yksityisellä liikenteellä tarkoitetaan yksityistä yritystä, joka Suomessa tavallisesti työllistää alle 5 henkilöä. Suurin osa kalustosta on täysperävaunuyhdistelmiä ja niiden osuus onkin noin 74 % kuljetussuoritteista. Toisena ovat puoliperävaunuyhdistelmät 13 % ja kolmantena kuorma-autot 12 %.

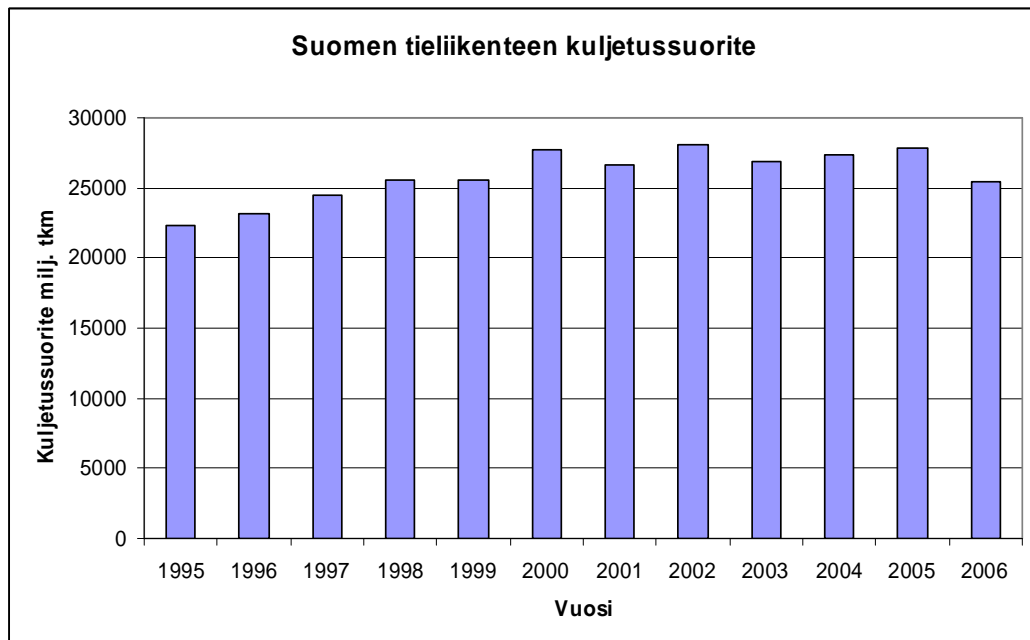
Puoliperävaunuyhdistelmien osuus on 3 750 milj. tonnikipometriä ja täysperävaunuyhdistelmien 20 672 milj. tonnikipometriä.

Maantielikenteen ajoneuvotyyppien kuljetussuorite



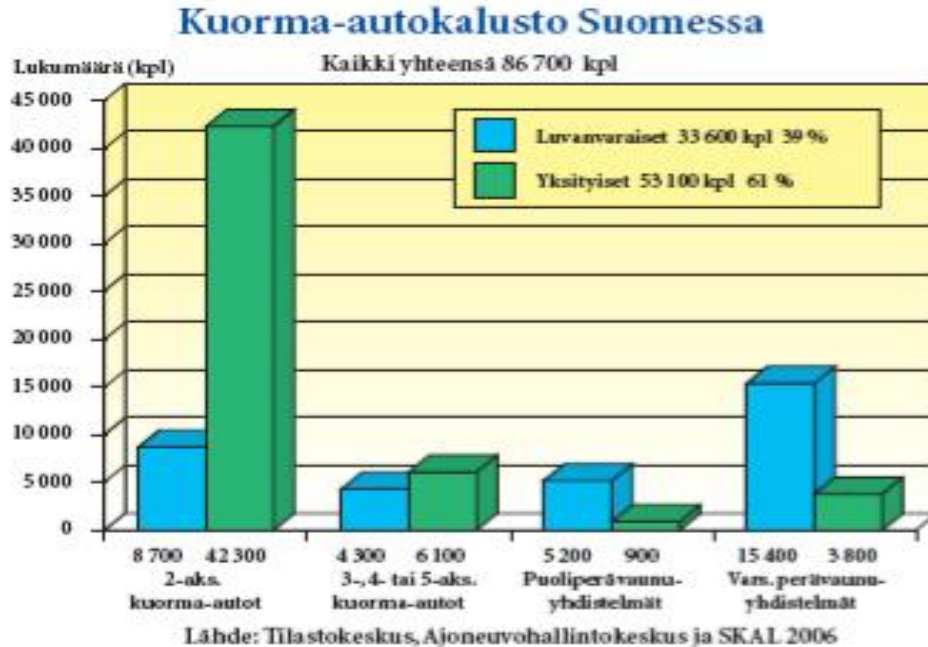
Kuva 10, Suomen kuljetussuorite 2005 ajoneuvotyyppien mukaan. /28/

Tieliikenteen kuljetussuorite on kasvanut suhteellisen tasaisesti vuodesta 1995 vuoteen 2002, sen ollessa vuonna 2002 hieman päälle 28 000 milj. tonnikipometriä. Vuoden 2002 jälkeen kasvu on tasaantunut ja viime vuonna kuljetussuorite oli n. 25 000 milj. tonnikipometriä, kuva 11. Kasvatut suoritteet nostavat huomattavasti polttoaineen kulutusta, joka on jo ennestään suuri menoerä kuljetusyrityksille. Suurempi hyötykuorma ja sen täydellinen hyväksikäyttö antaa todella suuria säästämahdollisuuksia kuljetusyrityksien vuosittaisessa budjetissa.



Kuva 11, Suomen tieliikenteen kuljetussuorite 1995-2006. /37/

Vuoden 2006 tilastojen mukaan 2-akselisia kuorma-autoja oli liikenteessä 51 000 kpl ja kolme- tai useampiakselisia 10 400 kpl. Puoliperävaunuyhdistelmiä oli 6 100 kpl ja täysperävaunuyhdistelmiä 19 200 kpl, kuva 12.



Kuva 12, Suomen kuorma-autokalusto 2006. /28/

Perävaunujen omamassa koostuu eri komponenteista, joista suurimmat vaikuttajat kokonaisuudessaan ovat runko, päällirakenne, akselit, renkaat, jarrujärjestelmä ja erilaiset koneet. Taulukossa 1 on yksi esimerkki puoli- ja täysperävaunun eri komponenttien osuuksista. Alustan massaan kuuluvat runko, akselit/jousitus, renkaat, lisävarustus ja muuta.

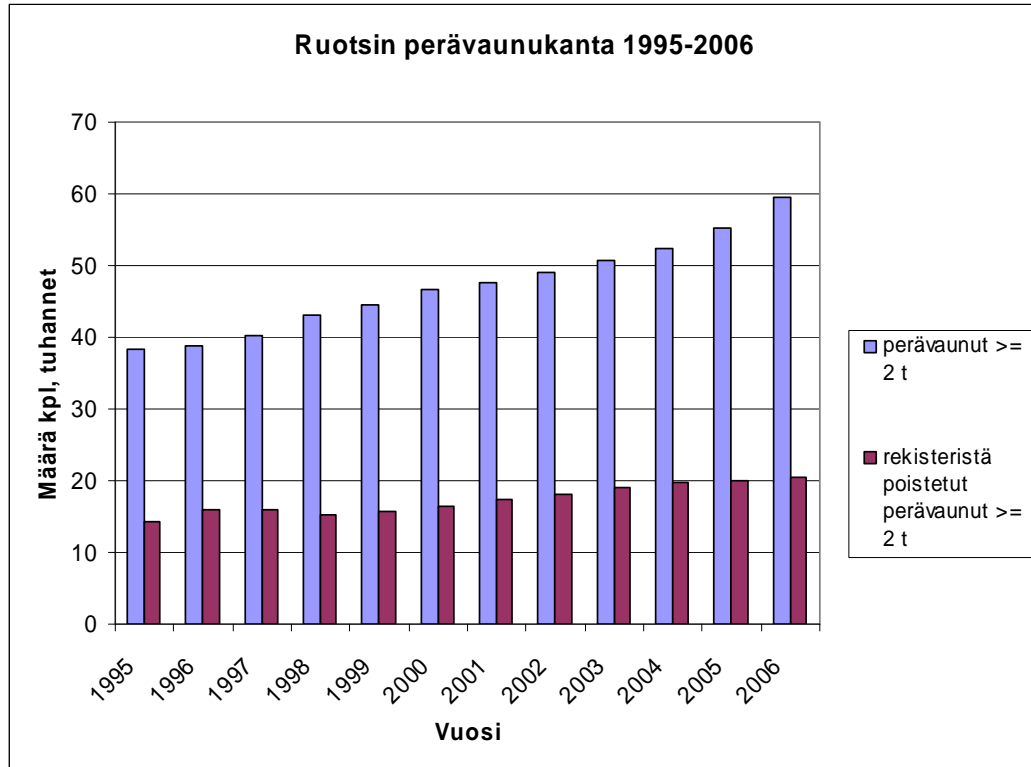
Taulukko 1, eri komponenttien osuudet puoli- ja täysperävaunujen omamassoista.

Komponentti	Puoliperävaunu (42 t)	Täysperävaunu 5-akseli (42 t)
Omamassa (kg)	9000 (10000)	10600
Alusta (kg)	5250	8400
<i>Runko (kg)</i>	2900	4300
<i>Akselit/jousitus (kg)</i>	1500	2500
<i>Renkaat (kg)</i>	700	1150
<i>Lisävarustus (kg)</i>	50	300
<i>Muuta (kg)</i>	100	150
Päällirakenne (kg)	3750	2200
Kylmäkone (kg)	(1000)	-

Suurimmat yksittäiset vaikuttajat omamassaan ovat päällirakenne, runko ja akselit/jousitus. Kantavuuden ja teknisen toteutuksen takia akseleihin ja jousitukseen on huomattavasti vaikeampaa löytää kevennystä kuin päällirakenteeseen tai runkoon, jotka ovatkin olleet jo pitkään kevennyksen päähuomion kohteena.

2.2 Ruotsi

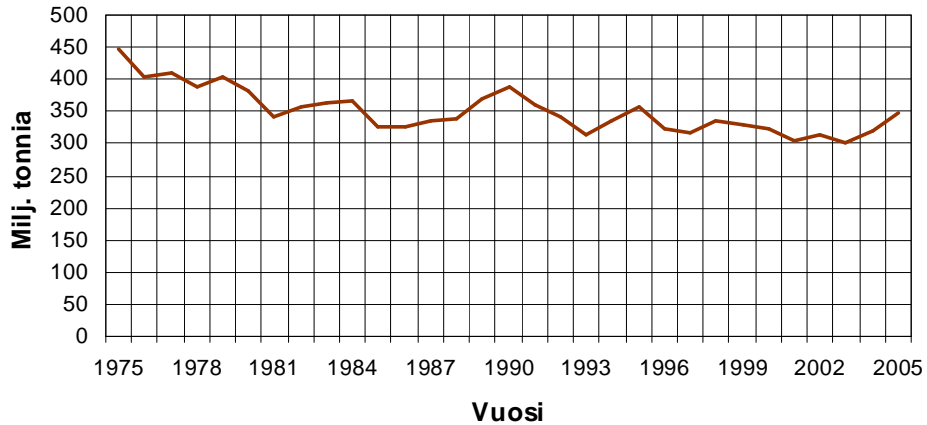
Ruotsin perävaunukanta on kasvanut tasaisesti vuodesta 1995 lähtien, kuva 13. Kuvassa on huomioitu kaikki yli kahden tonnin kokonaisuissa omaavat perävaunut, pois lukien asuntovaunut.



Kuva 13, Ruotsin perävaunukanta 1995-2006. /25/

Ruotsin raskaan kaluston kuljettama tonnimäärä maan sisäisessä liikenteessä, kuva 14, on ollut pienessä laskussa vuodesta 1975 lähtien, mutta se on jo vuosikymmenien ajan ollut 300 – 350 milj. tonnin välissä, pois lukien 1990-luvun alun ”piikki”. Maan sisäisen liikenteen tonnien laskevan suhdanteen ja kaluston kasvun perusteella voisi olettaa, että kuljetettava tavara on keventynyt.

Ruotsin raskaan kaluston maan sisäinen liikenne



Kuva 14, Ruotsin raskaan kaluston liikenne. /25/

2.3 EU

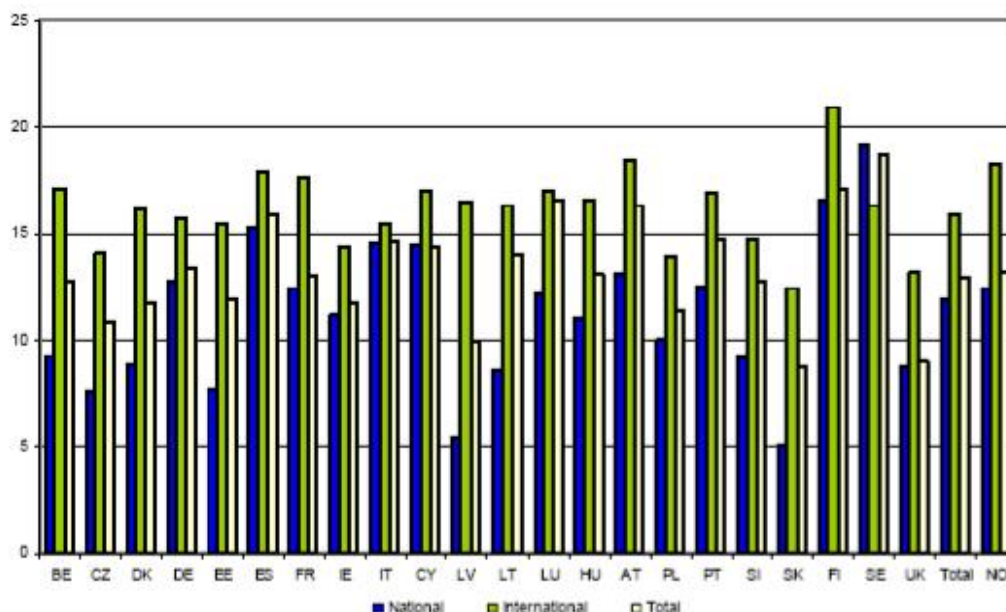
EU:n alueella keskimääräinen kuorma oli vuonna 2004 12,9 tonnia. Kansainvälisen kuorman keskiarvo puolestaan oli 15,9 tonnia ja kansallinen 12,0 tonnia. Ruotsi on ainoa poikkeus em. keskiarvoihin, koska siellä kansallinen kuorma oli suurempi kuin kansainvälinen. Suomi ja Ruotsi ovat kärkipaikoilla, kun mittarina on keskiarvo kansallisesta ja kansainvälisestä kuormasta, kuva 15. /26/

Kuvan 15 keskimääräiset arvot on laskettu taulukon 2 esittämällä tavalla. Tästä johtuen keskiarvo vastaa paremmin pidemmän matkan arvoa. Perusteluna käytetylle tavalle on se, että tiellä kohdataan suuremmalla todennäköisyydellä pitkää matkaa ajava yhdistelmä. /26/

Taulukko 2, laskuesimerkki kuvan 15 keskiarvoille. /26/

Matka	Kuorma t	Matkan pituus vkm	tonnikilometrit tkm	tkm/vkm
1	30	10	300	30
2	10	1 000	10 000	10
Yht.		1 010	10 300	10,2

2 Tilastoja eri maiden kuljetuskalustosta ja kuljetetuista määristä



Kuva 15, EU:n eri maiden raskaan kaluston kuljettama keskimääräinen kuorma tonneina vuonna 2004 kansallisesti, kansainvälisesti ja keskiarvo. /26/

Suurimmat tavarankuljettajat Euroopassa ovat vuoden 2005 lukujen perusteella Saksa, Espanja, Ranska, Italia ja Englanti, taulukko 3. Tavaroiden kuljetus tieliikenteessä on pääsääntöisesti kasvussa, pois lukien muutama poikkeus, niin maiden sisäisesti kuin kansainvälisesti ja tämä aiheuttaa haasteita käytettävälle kalustolle sekä kuljetusyrittäjille.

Vuonna 2005 Saksan kansallinen raskasliikenne oli n. 237 600 milj. tonnikilometriä, toisena Ranska n. 177 300 milj. tonnikilometriä ja kolmantena Italia n. 170 300 milj. tonnikilometriä. Ero Saksan ja Ranskan välillä on huomattavan suuri, kun taas Ranskan ja Italian luvut ovat lähempänä toisiaan.

Kansainvälisessä liikenteessä vuonna 2005 kärkipaikkaa piti Espanja n. 63 600 milj. tonnikilometriä, toisena oli Saksa n. 65 500 milj. tonnikilometriä ja kolmantena Hollanti n. 44 600 milj. tonnikilometriä.

Yhteenlaskettu liikenne on Saksalla n. 10-kertainen verrattuna Suomeen. Tämä aiheuttaa huomattavasti suuremman kysynnän kevytrakenteisille perävaunuille ja niiden kehitykselle. Jo yhden kilogramman pudotus kuljetuskalustossa Saksan kokonaissuoritteessa säästää polttoainetta n. 40 000 l vuodessa.

2 Tilastoja eri maiden kuljetuskalustosta ja kuljetetuista määristä

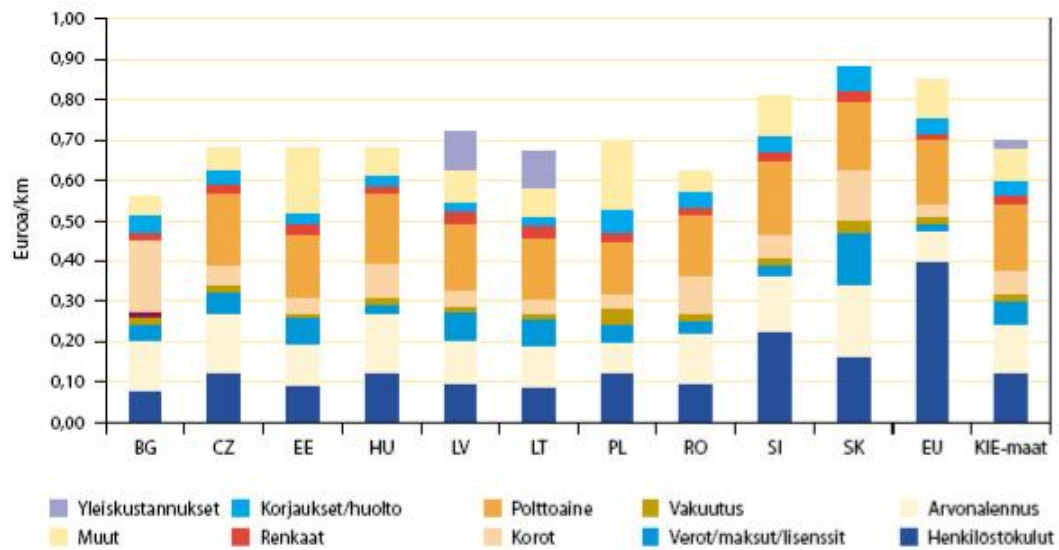
Taulukko 3, kansallinen ja kansainvälinen kuljetussuorite 1999, 2002 ja 2005. (miljoonaa tonnikipometriä). /27/

	1999				2002				2005				Total
	National	International	Cross-trade	Cabotage	National	International	Cross-trade	Cabotage	National	International	Cross-trade	Cabotage	
BE	15 758	17 250	3 339	938	20 392	25 180	5 109	2 228	19 283	19 555	3 412	1 597	43 947
CZ	:	:	:	:	16 318	23 638	3 719	:	15 518	21 810	6 086	33	43 447
DK	10 421	12 276	436	102	11 057	10 895	433	132	11 058	11 643	468	129	23 298
DE	226 887	46 652	4 354	1 533	225 474	52 174	5 983	1 802	237 617	82 545	7 885	2 257	310 104
EE	:	:	:	:	:	:	:	:	1 847	3 122	717	138	5 824
ES	98 134	35 088	791	271	129 510	52 353	2 101	588	166 388	63 662	2 123	1 059	233 230
FR	159 026	41 975	2 957	756	169 742	32 673	1 414	530	177 331	26 745	788	421	205 286
IE	7 737	1 699	354	416	10 731	2 680	445	420	13 983	3 017	448	462	17 910
IT	151 987	24 465	509	350	160 082	31 400	528	671	170 290	37 419	1 288	950	209 947
CY	:	:	:	:	1 286	37	-	-	1 374	19	-	-	1 393
LV	:	:	:	:	1 987	3 142	1 070	20	2 734	3 839	1 785	36	8 394
LT	:	:	:	:	:	:	:	:	2 137	7 700	6 021	50	15 908
LU	377	1 461	3 436	1 039	583	2 358	4 254	1 084	471	2 347	3 758	2 092	8 678
HU	:	:	:	:	11 186	6 298	367	82	11 394	11 237	2 420	100	25 151
NL	32 682	41 005	8 246	1 632	30 257	36 782	8 570	1 910	33 654	44 633	9 759	2 913	90 959
AT	12 280	15 653	5 827	222	12 683	19 002	6 304	440	12 518	17 800	6 157	574	37 049
PL	:	:	:	:	:	:	:	:	80 940	39 588	10 646	653	111 827
PT	14 309	10 990	688	99	14 916	12 670	1 751	187	17 692	20 755	3 646	786	42 981
SI	:	:	:	:	1 945	3 989	578	98	2 361	6 400	2 123	149	11 033
SK	:	:	:	:	:	:	:	:	5 821	11 043	5 814	87	22 565
FI	25 606	3 712	103	35	26 071	3 708	159	30	27 615	3 908	79	54	31 956
SE	30 422	2 721	54	:	31 836	4 080	571	165	34 701	3 193	495	186	38 575
UK	149 019	16 905	292	44	150 920	12 818	213	85	155 544	12 559	207	204	168 515
NO	11 742	3 074	76	24	12 721	2 652	42	11	16 352	2 852	28	14	18 246

* IT, LU and UK: 2005 data are estimated

Tavaraliikenteen kustannukset tulevat monesta eri lähteestä, mutta suurimmat yksittäiset osuudet koostuvat henkilöstö- ja polttoainekuluista, kuva 16. Henkilöstökuluissa ei ole yleensä mahdollista säästää, mutta polttoainekustannuksissa voidaan massansäästön kautta saavuttaa suuriakin taloudellisia hyötyjä. Tätä kautta voidaan vaikuttaa myös muihin yksittäisiin tekijöihin, jotka liittyvät kalustoon, kuten vakuutukset ja korjaukset/huolto. Tämä on mahdollista, jos kaluston kevennyksen avulla saadaan kuljetettua enemmän kuormaa kerralla ja näin ollen vähennettyä tiellä liikkuvia yhdistelmiä.

2 Tilastoja eri maiden kuljetuskalustosta ja kuljetetuista määristä



Kuva 16, kansainvälisen maantieliikenteen tavarakuljetusten kustannukset kilometriä kohti 1998. (Belgian kohdalla puuttuvat polttoainekulut) /31/

Suomen kohdalla EU:n keskiarvon kustannusrakenne on lähinnä oikeaa. Kuva 16 on vuodelta 1998, joten kustannukset euroa/km eivät enää päde, mutta kuvasta saa hyvän käsityksen eri kulujen osuuksista kokonaiskustannuksessa (EU:n keskiarvo).

3 Perävaunuvalmistus

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi perävaunujen valmistajia sekä kotimaasta, että ulkomailta ja perävaunutyyppejä, jotka ovat tyypillisiä kappaletavarakuljetuksissa. Lisäksi käsitellään perävaunun rakennetta ja sen eri komponentteja sekä säädöksiä, joita perävaunuihin ja niiden rakentamiseen liittyy.

3.1 Kevytrakenteiden historiaa

1800-luvun loppuun asti perävaunut valmistettiin poikkeuksetta puusta ja vasta 1700-luvun lopulla niihin lisättiin jousitus. Laakerit tulivat renkaisiin Ranskan vallankumouksen jälkimainingeissa. /5/

Puurakennetta on kehitetty lähes 8 000 vuoden ajan ja suurimmat 1900-luvun ammattitaidon näytteet ovat Conestoga Wagon Pennsylvaniassa ja Kakebeenwa Etelä-Afrikassa. Puu vastaa syiden osalta komposiitteja ja entisajan perävaunuvalmistajat osasivat sijoittaa oikeat puulaadut oikeisiin asentoihin saadakseen parhaan iskunvaimennusominaisuuden ja liikennekelpoisuuden. Suuri tietotaito kuiturakenteesta hävisi I maailmansodan johdosta, kun siirryttiin teräsrakenteisiin. /5/

Vasta 1960-luvun lopulla insinöörit alkoivat kiinnostua kevytrakenteista uudestaan. Ensimmäisiä komposiittien käyttäjiä perävaunujen rakenteissa oli Fruehauf USA:ssa, tuotteessa FVE2000 vuonna 1982. Runko muodostui vedetystä profiilista ja komposiitin kerrospaneeleista. Idea ajautui nopeasti Ranskaan, jossa valmistajat ottivat sen käyttöönsä. Näitä itsekantavia rakenteita käytetään edelleen menestyksekkäästi Euroopassa. /5/

Martin Marietta Composites Amerikassa uskoo, että vuotuisesta 300 000 kappaleen tuotannosta komposiitista valmistetut perävaunut voisivat tulevaisuudessa kaapata jopa yli 50 % osuuden. /5/

Alkuaikoina oli tavallista suunnitella kantavat rakenteet paksummiksi kuin oli tarve, että varmasti saatiin katettua kaikki mahdolliset käyttöolosuhteet. Nykyään taas karsitaan kaikesta ylimääräisestä, että saadaan keveämpiä rakenteita aikaiseksi. /8/

3.2 Valmistajat

Taulukossa 4 on esitetty kuorma-autojen, perävaunujen ja päällisrakenteiden valmistajia.

Taulukko 4, eri maiden raskaan kaluston valmistajia.

Maa	Kuorma-autot	Perävaunut ja päällirakenteet
Suomi	Sisu	AR-PE-trailer Ekeri EL-kori Jyki Group <i>Fokor</i> <i>Site</i> Kaupe Limetec Närko Siimet Piako Tyllis VAK Eurotank Interkori Oy Jorpelehto Oy NTM
Ruotsi	Volvo Scania	Hellgrens lastvagnservice AB
Saksa	MAN Mercedes-Benz	Schmitz Cargobull
Ranska	Renault Trucks	Samro
Italia	IVECO	Acerbi Viberti
Hollanti	DAF	Broshuis Burg
Belgia		Compositrailer
USA	Allvan Corporation Freightliner Trucks	Great Dane Wabash National Co. Utility Trailer Manufacturing Stoughton Trailers Hyundai Translead

Perävaunumarkkinat tuottavat uusia tuotteita Pohjois-Amerikassa 300 000 kpl, Euroopassa 100 000 kpl ja Kaukoidässä 250 000 kpl vuodessa. Houkuttelevaksi pienille valmistajille aloittaa kevytrakenteiden valmistuksen tekee se, että kysyntä kasvaa jatkuvasti ja lain säätämiä teknisiä esteitä ei juuri ole. /5/ Esteinä ovat uusien tekniikoiden ja materiaalien asettamat haasteet sekä komposiittien hinta.

3.3 Vaunutyyppit

Perävaunut voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin, joista muodostetaan haluttu yhdistelmä maan lakien sallimissa rajoissa. Rajoittavia tekijöitä ovat suurimmat sallitut pituudet, leveydet, korkeudet ja tietysti kokonais- sekä akselimassat.

3.3.1 Täysperävaunu

Suomessa yleisin käytetty tyyppi on täysperävaunu, jossa on vähintään kaksi akselia. Rungon takaosassa on yleensä kaksi tai kolme akselia, jotka ovat ohjaamattomia ja etuosassa yksi tai kaksi ohjaavaa akselia. Teliakselit ovat harvinaisia täysperävaunuissa. Lastaus on mahdollista suorittaa joko perästä tai

sivulta. Katteena käytetään kevytpeitettä tai umpikoria. Umpikori voi olla myös eristetty, kuva 17. /19/



Kuva 17, täysperävaunu. /20/

3.3.2 Puoliperävaunu

Puoliperävaunussa on vähintään yksi akseli rungon takaosassa. Vaunun etuosassa on vetotappi, josta se kiinnitetään vetoauton vetopöytään. Yleistä puoliperävaunuissa on se, että vetoauto saattaa vaihtua kuljetuksen jossain vaiheessa. Puoliperävaunuissa käytetään samoja päällirakennetkaisuja kuin täysperävaunujenkin kohdalla ja kuvassa 18 näkyvät myös sivulta aukeavat ovet. Puoliperävaunu voidaan kiinnittää täysperävaunun vetoon tarkoitettuun vetokitaan ns. dollyllä, kuva 19. /19/



Kuva 18, puoliperävaunu. /20/



Kuva 19, dolly. /20/

3.3.3 Keskiakseliperävaunu

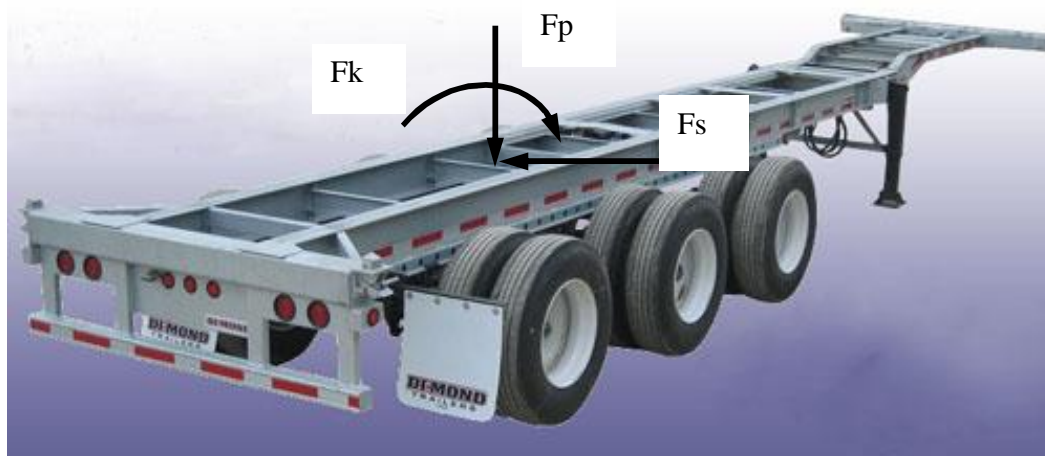
Tässä tyyppissä akseli sijaitsee perävaunun keskellä ja niitä voi olla yksi tai useampia. Vetoaisa on kiinteä kuten dollyssä ja yleensä keskiakseliperävaunun jokaisesta nurkasta löytyy tuki, joilla se saadaan pysymään pystyssä vetoautosta irrotuksen jälkeen. Kuvassa 20 on kontinkuljetukseen tarkoitettu keskiakseliperävaunu, mutta niitä valmistetaan myös kevytpeitteellä tai umpikorilla katettuna kuten täys- ja puoliperävaunujakin. /19/



Kuva 20, keskiakseliperävaunu. /21/

3.4 Rakenne

Perävaunun rungossa käytetään yleensä ns. tikapuurunkoa, joka muodostaa sen kuorman kantavan ”selkärangan”. Runkopalkkeina käytetään tavallisimmin I- tai U-palkkeja. Runko ottaa vastaan pystysuorat (Fp), kierto- (Fk) ja sivuvoimat (Fs), joita muodostuu sen käytön aikana. Sivukiskot kantavat vaaka- ja sivuvoimat, joita aiheutuu esim. jousituksesta, päällirakenteesta, työkaluista ja itse lastista. Poikittaiset tuet estävät rungon kiertymisen esim. sivuvoimien vaikutuksesta. /1/ Rakenteeseen kohdistuvat rasitukset ovat pääsääntöisesti väsyttäviä, joten laskennan pohjana on välttämätöntä pitää väsymiskestävyyttä, kuva 21.



Kuva 21, puoliperävaunun runko. /29/

Molemmista päistään tuettu runkopalkki, johon lastataan keskelle kuorma, altistuu päältä puristukselle ja alta venytykselle, pois lukien neutraaliakseli, jolla ei esiinny jännityksiä. Juuri tästä johtuen ei ole suositeltavaa tehdä reikiä runkoon ilman valmistajan ohjeita, koska väärään kohtaan poratut reiät heikentävät huomattavasti rungon kestävyttä. Sama pätee myös hitsisaumoihin ja muihin vastaaviin toimenpiteisiin. /1/

Rungon muutokset ovat yleisiä, kun päällirakentajat alkavat tehdä lopullista tuotetta (silloin kun perävaunua ei tehdä kokonaan rungon valmistajan toimesta). Vahvikkeiden pulttaus tai hitsaus vahvistaa ja jäykistää runkoa, mutta väärin tehtynä aiheuttaa jännityshuippuja paikkoihin joihin niitä ei rungon suunnittelussa ole tarkoitettu. Tämä johtaa rasituksen myötä murtumiin ja pahimmassa tapauksessa koko rungon katkeamiseen. Rungon kiinnityksiä on kolmea eri tyyppiä; jäykkiä, joustavia ja näiden yhdistelmiä. /1/

Markku Käppi on perehtynyt kuormituskollektiiviperusteiseen väsymismitoitukseen sulahitsatuissa ajoneuvorakenteissa tarkoituksena laajentaa perinteinen paikallisen venymän arviointiin perustuva SAE-menetelmä (SAE INTERNATIONAL The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space). Tutkimus keskittyy päällirakenteen kuormituskollektiiviin ja sen vahvistamiseen kokeellisilla venymämittauksilla sekä pitkäaikaisella seurannalla. Alatutkimuksissa keskitytään hitsatun rakenteen epäjatkuvuuteen ja vaurioanalyysiin. /40/

Tällä hetkellä suurin kehitys perävaunuissa tapahtuu akselien, jarrujen ja jousituksen parissa, esim. näiden tuotteiden markkinoita Euroopassa dominoi neljä yhtiötä ja vain kolmea erilaista jarrujärjestelmää on tarjolla. Em. syystä johtuen ainoa osa, johon perävaunuvalmistaja pääsee suoraan vaikuttamaan, on korin rakenne, joka muodostaa n. 20 - 40 % vaunun kokonaishinnasta. /5/

Perävaunun omamassan pienennys on saamassa suurempaa ja suurempaa huomiota, koska kuljetuskustannukset kasvavat ja suurempi hyötykuorma/pienempi kokonaisuudessa mahdollistaa säästöjä. Osaltaan kevennykseen ovat vaikuttaneet myös rangaistukset ylisuurille akselimassoille ympäri maailman. Näin ollen myös kysyntä kevytrakenteisille perävaunuille kasvaa. Perävaunu on yksi harvoista tiellä liikkuvasta kalustosta, jolla ei ole tarkkoja määräyksiä rungosta ja päällirakenteesta, joten niiden osalta vastuu on valmistajilla. Kunhan ulkomitat ja säädetyt määräykset, kuten esim. turvallisuus-, vetolaite- sekä valomääräykset täyttyvät, niin valmistajilla on suhteellisen vapaat kädet kehittää runkoa ja päällirakennetta. /5/

3.5 Säädökset ja määräykset

1.1.2007 tuli Suomessa voimaan asetus moduuliyhdistelmien, pituus yli 22 m, suurimmasta sallitusta leveydestä 2,55 m. Asetus ei koske lämpöeristettyjä ajoneuvoja. /2/

Seuraavassa määräyksissä on käsitelty ajoneuvon päällirakentamista:

- asetus nro 1256/1992, ajoneuvojen rakenteesta ja varusteista (1.1.1993),
- liikenneministeriön päätös nro 940/82, päätös ajoneuvojen kuormakoreista, kuormaamisesta ja kuorman kiinnittämisestä (1.1.1984),
- valtioneuvoston päätös nro 1314/94, päätös koneiden turvallisuudesta (1.1.1995).
- valtioneuvoston päätös nro 856/98, päätös työvälineiden turvallisuudesta käytöstä (1.1.1998),
- Euroopan Unionin direktiivi 85/3 (1985), sallitut mitat ja painot Euroopan alueella,
- Euroopan Unionin direktiivi 96/53 (1996), sallitut mitat Euroopan alueella kansainvälisissä kuljetuksissa. Päivitys direktiiviin 85/3.

Perävaunuja koskevia:

- asetus 1248, liikenne- ja viestintäministeriön asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista (19.12.2002),
- ajoneuvolaki 1090 (11.12.2002),
- direktiivi 70/221/ETY, moottoriajoneuvojen ja niiden perävaunujen polttoainesäiliöitä ja alleajosuojia koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä (20.3.1970).

Rakenteita koskevia SFS-standardeja:

- SFS 5339 Ajoneuvot, kippi- ja kasettilaitteet. Rakenteellinen turvallisuus (1987),
- SFS 5750 Ajoneuvot, kippaavan ajoneuvon vakavuuskoe (1997).

Viranomaismääräyksien ja standardien lisäksi ovat vielä valmistajien omat ohjeet, jotka ilmoittavat sallitut toimenpiteet ja paikat esim. runkojen muutoksille ja päällirakenteille. /12/

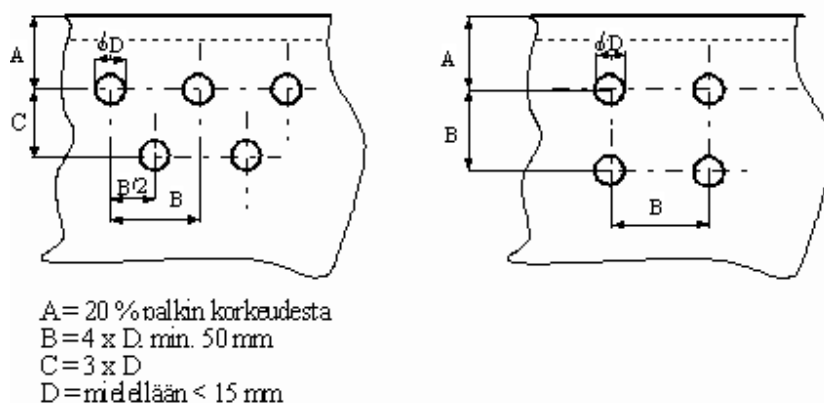
Liitteessä 1 on esitetty vuonna 2004 Suomessa sallitut yhdistelmien mitat ja massat, poikkeuksena em. uusi säädös suurimmasta sallitusta leveydestä. /13/

3.5.1 Päällirakenteet

Valmistajat laativat yksityiskohtaisia ohjeita, joiden mukaan päällirakentaminen ja muutokset on suoritettava. Eri valmistajien ohjeet eroavat yleensä toisistaan siinä määrin, että ei voida käyttää yhteisiä ohjeita kaikkiin malleihin. Eroja on rakenteessa, materiaaleissa ja vääntöjäykkyydessä. Jos on tarvetta poiketa ohjeista, niin täytyy valmistajalta saada hyväksyntä toimenpiteelle. Tärkeää on myös säilyttää valmistajan ilmoittamat akselimassat ja kuorman jakautuminen. /12/

Kiellettyjä toimenpiteitä ja ohjeita muutostöissä on seuraavassa:

- Reikien poraus on kielletty runkopalkkien ylä- ja alapintaan, poikkeustapauksissa sallitaan poraus takaylityksen kuormittamattomalle osalle,
- Hitsaus on kielletty runkopalkkien ylä- ja alapintaan,
- Runkopalkissa olevia laippoja ei saa katkaista tai loveta eikä tehdä läpivientejä,
- Valmiita reikäkuvioita tulee käyttää mahdollisimman paljon ja apurunkoa ei saa kiinnittää hitsaamalla,
- Jos uusia reikiä joudutaan tekemään, on otettava huomioon valmistajan antamat ohjeet, kuva 22,
- Uusien reikien pinnat tulee viimeistellä esim. kalvimalla,
- Käytettävät ruuvit oltava vähintään lujuusluokkaa 10.9, mutterit itse lukkiutuvia, käytettävä aluslevyjä, mahdollisimman pieni vällys,
- Ruuveihin esikiristys ja valvottava ettei jännitys poistu käytössä,
- Rungon pidennyksessä käytettävä samanlaista runkopalkkia ja vahvistukset L-palkilla, pienet hitsipalot, joskus esilämmitys,
- Akselivälin muutoksissa on huomioitava runkopalkkien määrä ja etäisyys toisistaan,
- Muutoksissa takaylitykseen on huomioitava akselipainojakauma ja taivutusrasitus. /12/

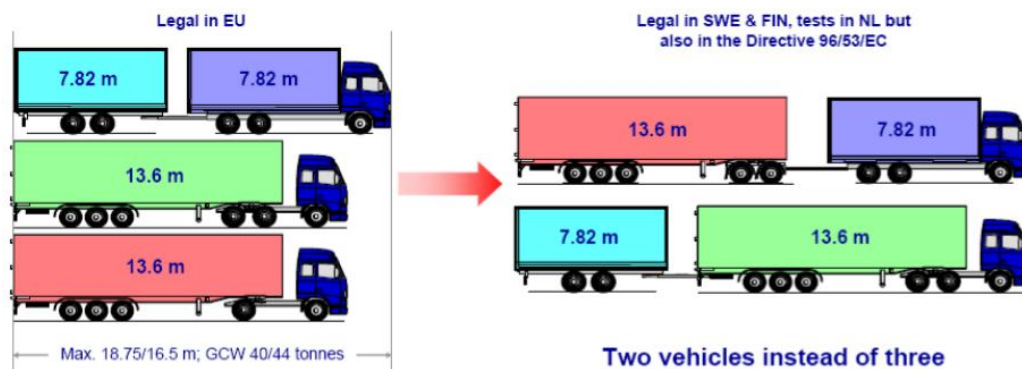


Kuva 22, runkopalkin reikien perusmitoitus. /12/

3.5.2 Sallitut mitat ja massat

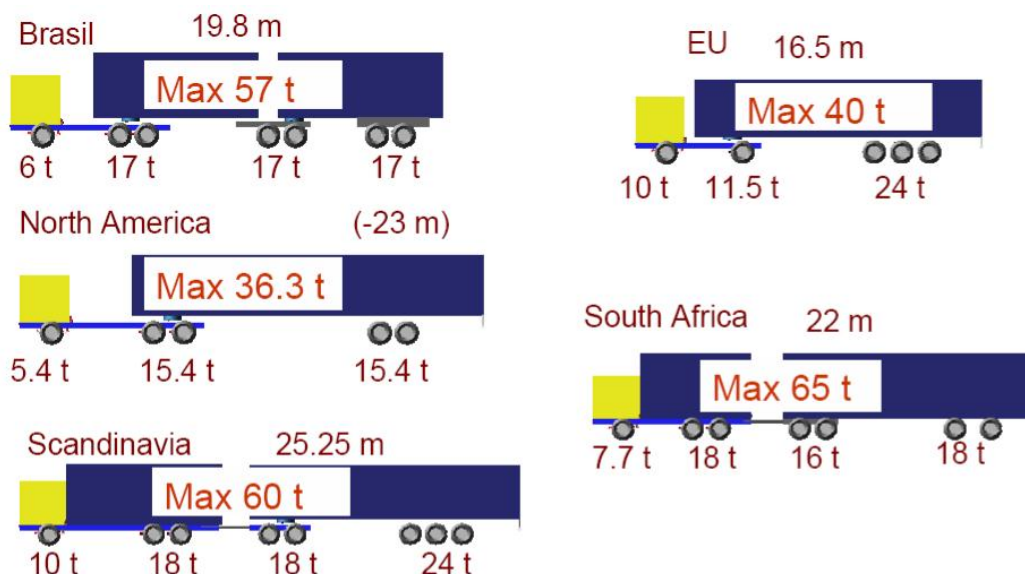
Suomi, Ruotsi ja osittain Hollanti sallivat erilaisten yhdistelmien käytön kuin EU-maat yleensä, kuva 23. Hyötynä on tiellä liikkuvan kaluston väheneminen, kun kerralla saadaan kuljetettua enemmän hyötykuormaa. /32/

Eri maiden tietulleja vastaan on kehitetty ultrakeveitä perävaunuja, jotka alittavat massarajan vaikka hyötykuormaa on jopa 4 500 kg, esim. 13,7 m pitkä pääosin lasikuituinen keskiakseliperävaunu paripyörillä, jonka omamassa on vain 3 150 kg. /9/ Yksi esimerkki tietulleista on raskaan kaluston moottoritievero Saksassa. Vero koskee kaikkia massaltaan vähintään 12 tonnia olevia yhdistelmiä ja sen suuruuteen ei vaikuta ajetaanko tyhjällä vai kuormatulla yhdistelmällä. Veron maksamista kontrolloidaan 300 kontrollisillalla sekä 280 kontrolliajoneuvolla. /38/



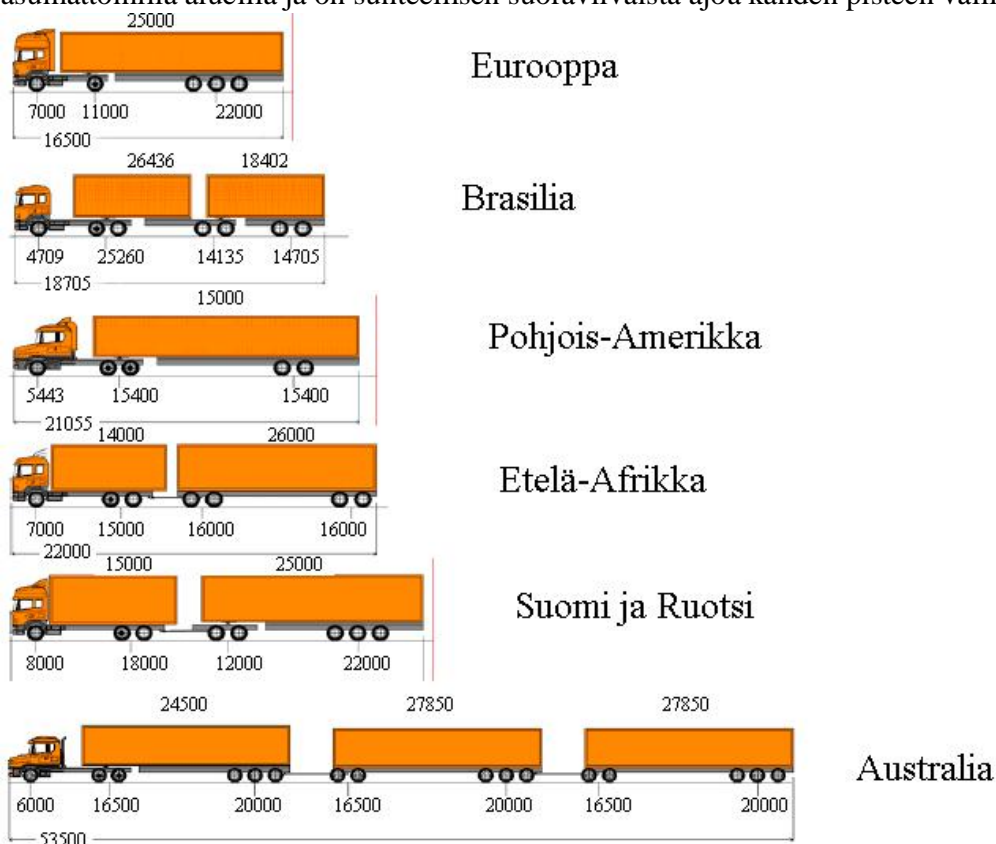
Kuva 23, Suomen ja Ruotsin erot EU:n kalustoon nähden. /32/

Riippuen maasta ja maanosasta, voivat sallitut massarajoitukset vaihdella paljon. Pääsääntöisesti tiuhaan asutuissa maissa massarajat ovat tiukempia ja sallitut pituudet pienempiä. Tämä johtuu kuljetusreittien kulkemisesta kaupunkien ja kylien läpi, joissa kääntösäteet ja turvallisuus ovat rajoittavat tekijät. Kuva 24 ja kuva 25 esittävät muutamien eri maiden ja maanosien sallittuja akseli- ja kokonaismassoja.



Kuva 24, eri maiden kokonaismassarajoituksia. /32/

Suurin poikkeus suhteellisen pieniin eroihin maiden välillä on Australia, jossa sallitaan useiden puoliperävaunujen liittäminen yhteen veturiin. Nämä nk. ”road train” yhdistelmät ovat reilut kaksi kertaa pidempiä kuin Euroopassa. Selitys näin pitkien yhdistelmien sallimiselle on niiden ajama reitti, joka kulkee pääosin asumattomilla alueilla ja on suhteellisen suoraviivaista ajoa kahden pisteen välillä.

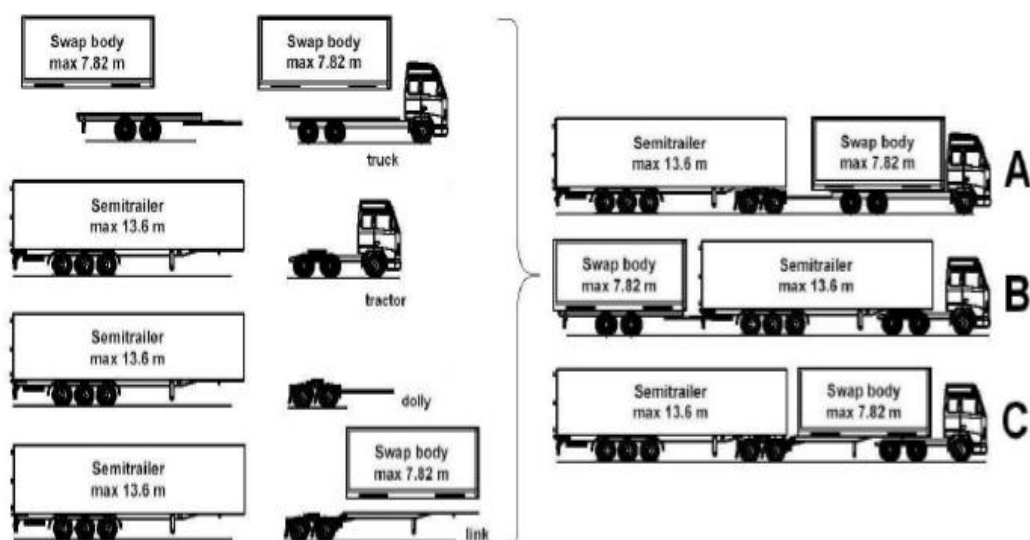


Kuva 25, eri maiden raskaan kaluston sallittuja pituuksia ja kokonaismassoja. /32/

3.5.3 Suomi

Suomen ohella Ruotsi on ainoa Euroopan maa, joka sallii poikkeukselliset ajoneuvojen kokonaispituudet maan sisäisessä kuljetuksessa. Euroopan moduuli järjestelmä (EMS) mahdollistaa erilaisten yhdistelmien muodostamisen ja näin ollen myös ulkomaalaisten kuljetusyhtiöiden tasavertaisen aseman Suomessa ja Ruotsissa, kuva 26. /30/

Suomen perävaunuvalmistus on pitkälle erikoistunut ja jakautunut pieniin ja keskisuuriin yrityksiin, joten valmistusmäärät vuodessa eivät yllä lähellekään esim. keskieuropalaisten vastaavia. Tämä mahdollistaa asiakkaiden yksilöllisen toiveiden huomioimisen ja perävaunun varusteiden räätälöimisen lähes täysin toiveiden mukaan.



Kuva 26, EMS yhdistelmät. /30/

3.5.4 Ruotsi

Vuoteen 1968 saakka Ruotsissa ei ollut rajoitteita kuljetuskaluston pituudelle. 1968 säädettiin enimmäispituus 24 m, jolla saadaan kuljetettua kolme 6,1 m yksikköä. Vuonna 1973 pohdittiin enimmäispituuden tiputtamista 18 m:iin, joka oli tyypillinen Euroopan alueella, mutta siitä luovuttiin liikenneturvallisuuden vedoten. Kokonaisuudessa on kasvanut ajan myötä 37 tonnista 60 tonniin, tämän on mahdollistanut tieverkon ja siltojen korjaukset. /30/

3.5.5 Venäjä

Suurin sallittu kokonaisuudessa on vain 38 tonnia. Myös akselistonormi on poikkeava, koska siinä vetävän akselin kokonaisuudessa saa olla 10 tonnia. EU:n alueella vetävän akselin kokonaisuudessa saa olla 11,5 tonnia. Myös vetävän telin akseliväli on poikkeava. Muuten kalusto on pääasiassa samanlaista kuin muuallakin Länsi-Euroopassa. /39/

3.5.6 Eurooppa

Euroopan alueella kaluston enimmäispituudet ja –massat ovat kasvaneet tasaisesti, nykyisellään yleisesti suurin sallittu kokonaismassa on 40 tonnia (pois lukien eräät poikkeukset, joilla sallitaan 44 tonnia), mutta osa maista sallii sen 50 tonniin asti. Pituudet ovat puoliperävaunuyhdistelmillä 16,5 m ja moduuliyhdistelmillä 18,75 m. /30/

3.5.7 Pohjois-Amerikka

Pohjois-Amerikan osavaltioiden kesken on suuria eroja säädöksissä, jotka koskevat raskasta kalustoa. Pohjois-Amerikan 31 suurinta perävaunujen valmistajaa kasvattivat tuotantoon yhteensä 10 % vuonna 2005 verrattuna vuoteen 2004. Luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia koko Yhdysvaltojen tuotantoon, koska osalla valmistajista on tuotantolaitoksia myös muualla. Tutkimus on tehty puhelinhaastattelujen perusteella ja osa lukemista perustuu arvioihin. Trailer/Bodybuilder lehden mukaan Great Dane Limited Partnership on suurin perävaunujen valmistaja Pohjois-Amerikassa. Liitteessä 2 on esitetty Pohjois-Amerikan eri valmistajien perävaunut tuotanto vuosina 2004 ja 2005. /14/

3.6 Erot maiden välillä

Suomessa suurin osa puoliperävaunuista on eristetty ja ne aukeavat myös sivulta, Keski-Euroopassa ja Amerikassa ne taas ovat pääasiassa perästä lastattavia ja kevyellä peitteellä tai umpikatteella varustettuja. Euroopassa akseleita puoliperävaunuissa on yleensä kolme, mutta Amerikassa käytetään useita eri variaatioita kahdesta akselista jopa kuuteen tai erikoisrakenteissa vielä useampia. Akselisteroissa ovat maiden erilaiset massarajoitukset suurimpana vaikuttajana.

Suurin syy kaluston erilaisuudelle maiden välillä on käyttöympäristö ja vallitsevat sääolosuhteet. Ajetaanko kahden pisteen väliä vai puretaan ja lastataan kuormaa myös matkan aikana? Tämä aiheuttaa kuormatilan suunnitteluun suuria eroja, em. sivulta ja päästä aukeavat perävaunut. Sääolosuhteet taas määräävät tarvittavan eristyksen, jonka tarkoituksena on pääasiassa estää kuorman jäätyminen kylmissä oloissa.

Kuljetettava tavara määrää minkälainen kuormatilan on oltava, että se täyttää kaikki asetetut määräykset ja säädökset. Ruokatarvikkeilla on huomattavasti tiukemmat vaatimukset kuormatilan suhteen kuin betonielementeillä ja elektroniikka taas vaatii kuivan ja lämpimän kuljetustilan jne. Kun halutaan kuljetettava lasti vahingoittumattomana perille, se siis vaatii paljon erilaisia ratkaisuja kuormatiloissa. Tämän johdosta eri maiden kuljetuskalustoissa saattaa olla paljonkin eroja.

4 Aikaisemmat tutkimukset

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi muutamia aikaisempia tutkimuksia ja projekteja, joissa on keskitytty raskaan kaluston omamassan kevennykseen materiaalien ja rakenteiden muutoksien kautta.

4.1 U.S. Department of Energy, Office of FreedomCAR and Vehicle Technologies (OFCVT)

Suurlujuusmateriaalien käytöstä kevennykseen on tehty monivuotinen tutkimus OFCVT:n toimesta. Projektin tavoitteena oli

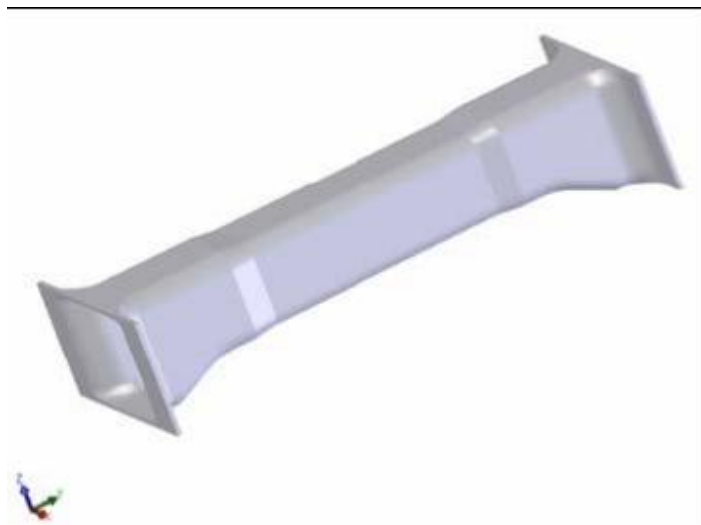
- vuoteen 2010 mennessä saada pudotettua yhdistelmän omamassa 10 400 kilogrammasta 8 150 kilogrammaan, eli 22 % pienennys,
- vuoteen 2010 mennessä kehittää ja vahvistaa materiaalitekniologia vastaamaan OFCVT:n vaatimuksia,
- mahdollistaa huomattava massan pudotus myös muissa raskaan kaluston luokissa (10 - 33 %),
- kehittää materiaaleja, jotka ovat kestäviä, suorituskykyisiä, luotettavia, turvallisia ja pärjäävät elinkaari vertailussa hintansa puolesta perinteisille materiaaleille. /16/

Tavoitteisiin pääsemiseksi kehitys on suunnattu laajalle alalle materiaalitekniologiassa, jota voidaan soveltaa runkoihin, päällirakenteisiin ja jousitukseen. Näiden tekniikoiden kehitys on liian riskialtista yksittäisille valmistajille kannattavuuden vuoksi. Päähuomio keskittyy suurimpien esteiden, kuten kustannukset, suunnittelu ja simulointi, valmistus, prototyypit ja työstö, liitokset ja kokoonpanot, ylläpito, korjaus, kestävyys ja kierrätys voittamiseen. /16/

Ensisijaiset materiaalit ovat suurlujuusteräkset, alumiini, magnesium, titaani ja erilaiset komposiitit. Tutkimus tehdään alihankkijoiden, yliopistojen, valmistajien, laboratorioiden, materiaalien toimittajien jne. toimesta. Mukana projektissa on sekä yksityisiä että valtion yrityksiä. /16/

4.1.1 Tavoitteet 2004

Hiilikuituvalmisteet ovat todella hyviä materiaaleja massan hallinnassa, mutta tekniset ja taloudelliset haitat estävät niiden käyttöä. Tulosten mukaan kehitys tulee suunnata mallinnukseen ja valmistukseen. Malleja simuloimalla saadaan paras vaihtoehto myös valmistuksen kannalta. Komposiitti-poikittaisjäykisteen suunnittelu ja valmistus saatiin vietyä läpi neljässä viikossa, kuva 27. Lopputuloksena oli 3,5 kg massainen poikittaistuki. Toinen kehityskohde oli komposiittien liittäminen raskaan kaluston koriin, poikittaisjäykisteisiin ja rungon pääpalkkeihin. Tarkoituksena oli löytää metallin ja komposiitin yhdiste, jolla saavutettaisiin rakenteelliset vaatimukset. /16/



Kuva 27, optimoitu poikittaistuki valmistuksen kannalta. /16/

Pidempiaikainen tavoite on kehittää erilaisia rei'itys menetelmiä ja niiden aiheuttamien ”virheiden” analysointia erilaisten kuormien, olosuhteiden ja testien vaikutuksesta. Tarkoituksena on tehdä malli, jolla voidaan ennustaa prototyypin liitoksen kestävyys 2005 tehtävässä osassa. Rinnakkaistutkimuksessa kehitetään lasi- ja hiilikuiduista materiaalia, jossa pinta ei tarvitse jälkityöstöä ja rakenne täyttää lämpö- ja rakennevaatimukset. Myös kokonaisten kappaleiden valmistus, jotka testataan tieolosuhteissa, kuuluvat jatkotoimenpiteisiin. /16/

Magnesiumia käytetään perinteisesti paljon muottivalukappaleisiin. Työstetyt magnesiumosat ovat todella lupaavia materiaaleja massan pienennyksessä, mutta niiden hinta on liian korkea hyötyyn nähden. Tarkoitus on kehittää valmistusmenetelmä, joka alentaisi magnesium-tuotteiden hintaa selvästi ja näin ollen tekisi niistä kilpailukykyisiä. Demo suoritettiin 6 mm paksuisella kaupallisella AZ31-levyllä perinteisessä valssaamossa lisäämällä infrapunalamput koneeseen ja näin saatiin lähes sama rakenne, mutta huomattavasti halvemmalla. Seuraava askel on viedä valmistus jatkuvaan tupla-valssaimeen ja pudottaa vielä kustannuksia. /16/

4.1.2 Jatkosuunnitelma

Kehitys jatkuu kolmen tunnistetun aihealueen parissa, joista kerrotaan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Liitostekniikoissa pyritään kehittämään toimivia ratkaisuja esim. metallimatriisikomposiittien liittämiseen siten, ettei tapahdu suuria muutoksia mikrorakenteessa ja ominaisuuksien huononemista kuten perinteisillä menetelmillä. Useita liitostekniikoita onkin kehityksen alla ja niistä pyritään tekemään halvempia teolliseen käyttöön. /16/

Titaanin lähtöaineita on tarkoitus saada tuotettua huomattavasti halvemmalla kuin aikaisemmin, joten niistä saadaan kilpailukykyinen materiaali tietyille komponenteille. /16/

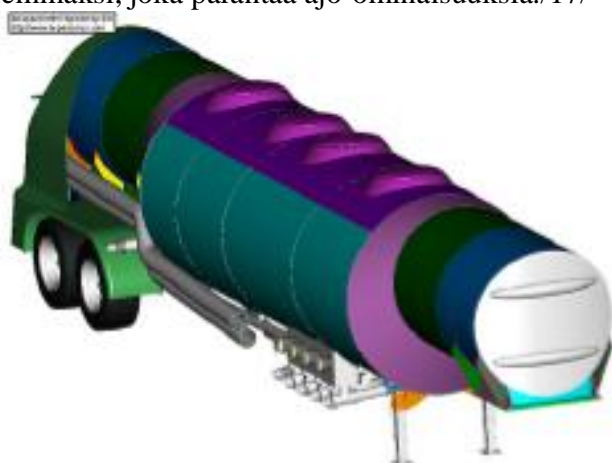
Materiaalien pintamuokkauksessa kehitetään sovelluksia vaihteisto ja moottorikomponenteille, mitkä kuluvat vähemmän käytössä ja näin ollen parantavat energiatehokkuutta. /16/

4.1.3 Vuosi 2005

Suurin osa projektin alussa asetetuista tavoitteista savutettiin ja vuoden 2005 raportissa käsitellään osaa niistä. Tutkimus- ja kehitystyön perusteella saadut tulokset ovat vapaasti perävaunuteollisuuden käytettävissä jatkokehitykseen. /17/

4.1.4 Lightweight Trailer - Liburnas Project

Projektin päämääränä on valmistaa alumiininen nesteiden kuljetus puoliperävaunu, joka on perinteistä mallia kevyempi, vahvempi ja turvallisempi. Uusien alumiiniseosten, komposiittien ja sylinterimäisen poikkileikkauksen myötä haetaan suurempaa hyötykuormaa, kuva 28. Tärkein asia on kuitenkin sylinterimäinen muoto, koska sillä saadaan säiliön kuoresta ohuempi ja päästään eroon useista apulaitteiden tukiratkaisuista. Sylinterimäisellä muodolla saadaan massakeskipiste alemmaksi, joka parantaa ajo-ominaisuuksia. /17/



Kuva 28, liburnas perävaunu. /17, s.161-165/

Tavoitteena on saada tankkivaunulle 900 - 1 100 kg enemmän hyötykuormaa, joka pienentää päivittäistä matkaa n. 1 %. Oletetaan, että tankkivaunuja on n. 50 000 kpl ja lasketaan perävaunukohtaisella ajosuoritteella, näin arvioituna säästöä tulee vuodessa yli 321 000 km tai vastaavasti polttoainesäästönä n. 113 500 litraa. /17/

4.2 University of Southern Queensland, Toowoomba, Australia

Vuonna 2000 tehtiin Australiassa tutkimus kuitukomposiittien soveltuvuudesta puoliperävaunuihin. Raportissa käydään läpi suunnittelun ongelmia, yleisiä periaatteita ja lopuksi valmistetaan henkilöautolla vedettävä perävaunu.

Hyötykuorman kasvattamiseen on käytetty hyväksi alumiinia ja tehostettu suunnittelua. Näillä toimenpiteillä ei kuitenkaan ole saatu riittävää kevennystä

aikaiseksi, joten tutkimuksen tavoite olikin paneutua muotoiluun, analyysiin ja testaukseen, joita perävaunun rakentamiseen tarvitaan. /18/

Tyypillinen raskaan kaluston perävaunu on pysynyt suhteellisen muuttumattomana jo kymmeniä vuosia. Pieniä korjauksia ja optimointeja on toki tehty, mutta alkuperäinen ”konsepti” ei ole muuttunut. Useat eri tahot ovat jo aikaisemminkin todenneet, että millään muulla materiaalilla kuin komposiiteilla ei ole samanlaista potentiaalia parantaa rakenteiden suorituskykyä. Tietotaito, jota on teräsrakenteisista perävaunuista, ei juuri ole hyödyksi komposiittien kanssa. /18/ Teräksen korvaus suoraan komposiittimateriaaleilla on vaikeaa, koska materiaalit ovat niin erilaisia. Eräs ongelma komposiittirakenteissa on standardien ja ohjeiden sekä kokemuksen puute. Tämä aiheuttaa sen, että alussa siirtyminen teräsrakenteista komposiitteihin vaatii huomattavia taloudellisia resursseja.

Kyseisessä projektissa harkittiin kahta eri vaihtoehtoa rungon rasiinien ja tarvittavien parametrien selvittämiseksi. Ensimmäinen vaihtoehto oli asettaa venymäantureita nykyiseen kalustoon ja mitata kuormia. Toinen tapa taas oli tarkastella olemassa olevan perävaunun rakennetta ja sen perusteella muodostaa tarvittavat parametrit. Projektissa valittiin ensimmäinen tapa, eli mitattiin tarvittavat suuret. /18/ Taulukossa 5 on lueteltu perävaunuja, joita he mittasivat tutkimuksen aikana.

Taulukko 5, teräs-tasoperävaunun rakenteellisia ominaisuuksia. /18/

Valmistaja	Valmistusvuosi	Rungon palkki		Poikittaistuki
		Min. I_{xx} (E+07)	Max I_{xx} (E+08)	I_{xx} (E+06)
		(mm ⁴)		(mm ⁴)
Haulmark	1982	6,79	1,87	1,46
Fruehauf	1985	4,77	1,81	1,43
Loughlin	1989	9,57	4,98	3,27
Haulmark	1992	7,51	2,75	1,46
Lusty Allison	1995	6,62	3,42	1,50
Keskiarvo		7,05	2,97	1,82

Ominaisuuksien erot korostavat tarvetta yhtenäisille standardeille. Ulkomitoille löytyy tarkat ohjeet, mutta rakenteelle ei. Taulukon perusteella voidaan sanoa myös, että valmistajat käyttävät omaa tietotaitoaan rakenteiden valmistuksessa. /18/

Tutkimuksessa todettiin suosituimmaksi malliksi Haulmark sen kestävyys- ja luotettavuuden takia. Komposiittirakenteen kestävyttä mallinnettiin FEM-analyysillä ja verrattiin lopuksi valmiiseen perävaunuun. /18/

Lopputuloksena oli peräkärri (omamassa 60 kg), joka testattaessa lastattiin 125 % staattisesta suunnittelumassasta 800 kg. Mittauksissa saadut arvot vastasivat hyvin FEM-analyysiä. Mitatut arvot olivat hieman parempia, johtuen kannen ja muiden osien jäykistävästä vaikutuksesta. Projektin 60 kg massaisesta ja teoriassa (simulointitulokset) yli 2 000 kg kuorman kestävästä ”pienoismallista” tulee esille komposiitin potentiaali myös raskaan kaluston sovelluksiin. /18/ Skaalausta ei

voida suoraan tehdä raskaalle kalustolle, mutta verrataan prototyyppiä henkilöautolla vedettävään yksi-akseliseen jarruttomaan peräkärriin, jonka massa on keskimäärin n. 200 kg (kantavuus 550 kg).

4.3 Delf University of Technology, the Netherlands

Vuoden 1994 loppupuolella Delft University of Technology alkoi kehittää eristettyä puoliperävaunua, joka olisi todella kevyt. Projekti saatiin vietyä läpi 14 kuukaudessa ja lopputuloksena oli 6 490 kg omamassan omaava eristetty perävaunu, joka esiteltiin Helmikuussa 1996. /22/

Eristetyn perävaunun omamassan hallinta ei ollut mikään uusi keksintö 1994 vaan kehitystä sen parissa oli tehty jo paljon aiemmin. Selvä suunta kehityksessä on ollut 1980-luvulta asti se, että omamassa on pudonnut tasaisesti. Silloin eristetyn puoliperävaunun omamassa oli 12,5 tonnia. Vuonna 1990 se tippui 9 200 kg:aan, joka on n. 30 % pudotus. /22/

Tähän asti pääidea oli tehdä päällirakenteiden ”laatikon” sivuista kuorman kantava osa, mutta nyt myös lattiaa käytettiin tähän tarkoitukseen. Rungon kuormaa kantavia osia liitettiin kiinteästi lattiapaneelisiin. Lopullinen malli sisälsi kuorman kantavan laatikkorakenteen, jossa oli viisi kerroskomposiittipaneelia ja teräsrungon. /22/

Kuormaa kantavat seinärakenteet eivät suoraan sovi Suomeen, koska suurin osa täällä valmistettavista perävaunuista on sivulta aukeavia, mutta lattia osuus voisi olla jatkossa lupaava tarkastelukohde.

4.4 Composittrailer, Belgia 2001

Suurin etu komposiittiperävaunulla on sen omamassa, joka voi olla peräti 3 tonnia pienempi kuin perinteisellä teräksestä valmistetulla. Analyysyjä tehtiin 26 erilaisella kuormalla NASTRAN mallissa, jossa oli 1,8 miljoonaa vapausastetta. Aikaisemmin massarajoja ja ylikuormaa ei huomattavassa määrin valvottu, mutta kontrollin tiukentuessa kalustoa oli pakko saada kevennettyä. Tästä sai alkunsa myös Composittrailerin tuotannon uudistus perinteisistä teräs-perävaunuista komposiittisiin. /23/

Kehityksen tuloksena Composittrailer valmisti vuonna 2001 komposiittiperävaunun, jolla tehdään päivittäin 700 km matka 25 tonnin kuormalla. Vuonna 2002 se oli kulkenut 325 000 km, eikä hälyttäviä merkkejä kestävyudessa ollut noussut esiin. /23/

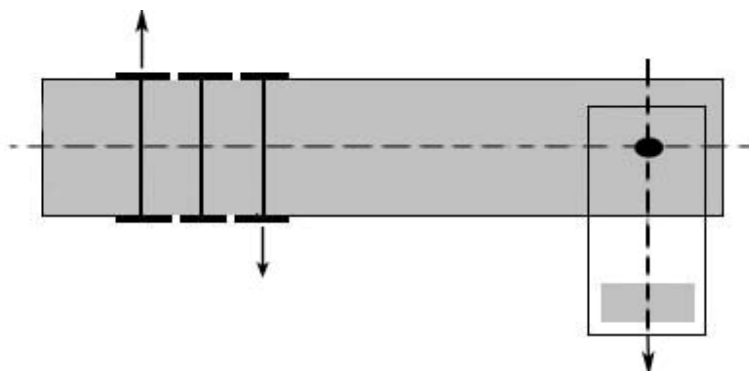
Perävaunun design perustuu useisiin vedettyihin kappaleisiin. Runkopalkkien yhdistämiseen käytettiin säienauhapatkia, jotka välittävät taivutuksen, väännön ja kierron. Lopputuloksena rakenteella oli parempi voimien välityskyky ja sen johdosta parempi pito tiehen kuin teräksestä valmistetulla perävaunulla. Näiden tulosten valossa perävaunujen turvallisuutta saadaan myös parannettua käyttämällä komposiitteja voimia välittävissä elementeissä. /23/

4.5 Development of an Innovative Concept of light Semi-Trailer By Means of FEM and Testing

Zaragozan yliopiston ja Lecitrailerin (S.A.) toimesta tehdyssä tutkimuksessa 2004 käytettiin erilaisia numeerisia ja kokeellisia menetelmiä uusien kevyiden materiaalien löytämiseksi. Puoliperävaunumallien ominaisuuksia ja käytöstä tutkittiin FEM menetelmällä ja saatiin ns. kriittiset pisteet selville. Tulosten perusteella muokattiin rakenteita tarkoituksena saada toisen sukupolven kevyt puoliperävaunu. /24/

Tutkimuksen tuloksena saatiin kehitettyä menetelmä, joka on sovellettavissa nykyisille perävaunumarkkinoille, keveille puoliperävaunuille. Rakenteen kevennykseen sopivina materiaaleina tutkittiin suuren jäykkyyden ja kestävyuden omaavia materiaaleja esim. teräksiä ja alumiiniseoksia. Myös kerrosrakenteita ja kevyttä vaahtosisusta metallipinnalla tutkittiin mahdollisina materiaaleina. /24/

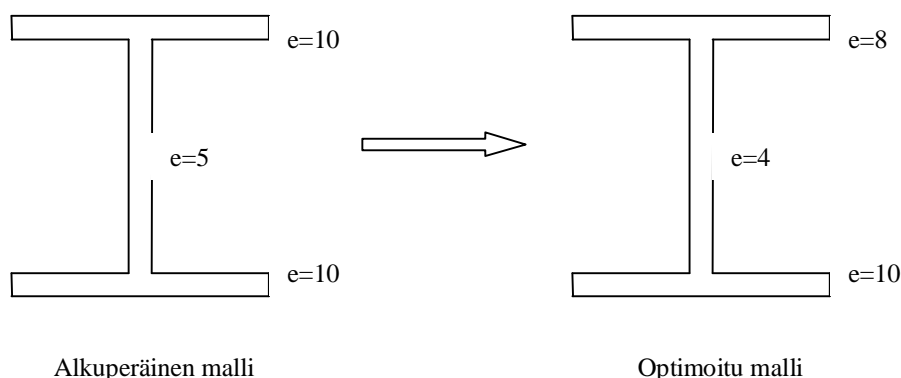
Tärkein kuormitustilanne saatiin aikaiseksi tekemällä yhdistelmällä pienimmän kääntösäteen käänös. Tällöin vetoauto ja perävaunu ovat 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden, kuva 29, ja useasti toistettuna käänös aiheuttaa vaurioita tiettyihin rakenteisiin. Rungon muutosten jälkeen omamassa saatiin pudotettua 2 170 kg:sta 1 820 kg:aan teräspintaisella kerrosrakenteella ja vastaavasti 1 720 kg:aan alumiinisella kerrosrakenteella. /24/



Kuva 29, pienimmän kääntösäteen käänös (90°). /24/

4.5.1 Alkuperäisen rakenteen analyysi

Vertauskohtana käytettiin puoliperävaunua, jonka massa oli 2 170 kg. Rakenteesta tehtiin FEM malli, jolla tehtiin erilaisia simuloiteja. Kokonaismassana käytettiin 27 tonnia, eli n. 9 tonnia per akseli. Simulointien perusteella optimoitiin rakennepaksuudet ja materiaalit. Runkopalkkiin tehdyt muutokset, joilla saatiin kevennystä aikaiseksi 167 kg, ovat esitettyinä kuvassa 30. Samaa menetelmää käytettiin kaikille osille, kun etsittiin mahdollisuuksia keventää niitä. /24/



Kuva 30, runkopalkin paksuuden optimointi. /24/

4.5.2 Prototyypin tuotanto ja testaus

Simulointien perusteella optimoitu rakenne siirrettiin prototyyppiin, sillä suoritettiin samoja testejä kuin simulaatioissa ja saaduilla tuloksilla optimoitiin simulointimalleja. Tärkeimpänä kokeena oli aiemmin mainittu pienimmän kääntösäteen käännös, kuva 29, jossa oli todettu aiheutuvan toistettaessa suurimmat rasitukset rakenteille. Tuloksia mitattiin kriittisiin paikkoihin sijoitetuilla mittalaitteilla. /24/

4.5.3 Olkarakenteen optimointi

Perävaunun kiinnitysalueessa vetoautoon tutkittiin kerrosrakenteen vaikutusta muodostuviin voimiin. Vaihtoehtoina oli teräksellä tai alumiinilla päällystetty vaahtoydin. Optimoinnin seurauksena saatiin seinämäpaksuudet materiaaleille ja näistä valmistettiin prototyypit. Alkuperäisen rakenteen massa oli 900 kg, teräsversio 800 kg ja alumiinisen 700 kg. /24/

Tulosten perusteella rakennettiin puoliperävaunun prototyyppi alumiinisella olkarakenteella. Rakennetta testattiin asettamalla 4,5 tonnin paikallinen kuorma olkarakenteen päälle vaunun ollessa seisontatuella. Kaikissa osissa jäätii selvästi plastisen muodonmuutoksen rajojen alapuolelle ja suurin taipuma oli 70 mm. /24/

4.5.4 Lopputulos

Uusi konsepti kevyelle puoliperävaunulle saatiin kehitettyä simulointien ja kokeiden perusteella. Venymäkokeilla todennettiin saatu rakenne ja sen soveltuvuus teollisuuden käyttöön. /24/

5 Kevennysvaihtoehtoja

Yleisin tapa pudottaa omamassaa perävaunuissa on vaihtaa materiaali perinteisestä teräksestä ja raudasta alumiiniin, erilaisiin metalliseoksiin tai komposiitteihin. Tällä toimenpiteellä saadaan runkoa ja päällirakenteita kevennettyä huomattavasti. Päällirakenteiden paneeleissa kevennykseen voidaan käyttää lasi- tai hiilikuitua.

Suurin osa perävaunun massasta koostuu kuitenkin akselistoista, jarruista, jousituksesta ja renkaista, mutta päähuomio on kuitenkin keskittynyt päällirakenteisiin ja runkoihin. Valmistajilta löytyy kyllä erilaisia keveitä versioita em. komponenteista, mutta niitä ei vielä ole kovin laajassa käytössä verrattuna päällirakenteiden vastaaviin. Rengastuksen vaihdolla esim. pienempään halkaisijaan tai ns. supersingleen saadaan useita satoja kilogrammoja pois perävaunun omamassasta. Puskurit, alleajosuojat, työkalulaatikot ja muut koriin kiinnitettävät apulaitteet ovat huomattavasti mitättömämpi osuus perävaunun omamassasta yksittäisinä osina, mutta yhdessä ne muodostavat huomattavan kevennyskohteen.

Toinen vaihtoehto keventämiseen on käyttää suurlujuusteräksiä, joilla voidaan käyttää pienempiä ainepaksuuksia kuin normaaleilla laaduilla ilman, että rakenteet heikentyvät ja näin ollen saadaan omamassaa pienennettyä. Suurlujuusteräokset ovat kalliimpia kuin normaalit laadut ja niiden liittäminen hitsaamalla vaatii erityisosaamista. Ongelmia tulee myös metallin ja komposiitin liitoksissa, kuten kohdassa 2.3.2. on mainittu.

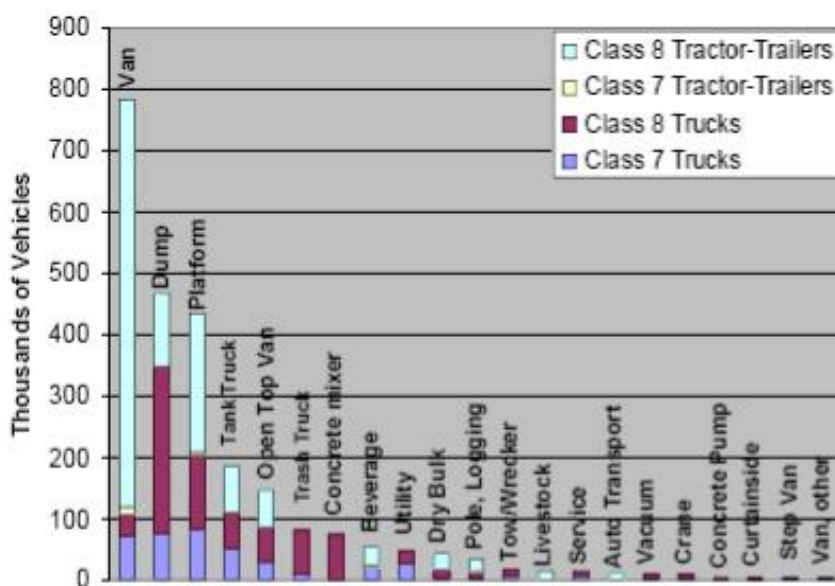
Optimoitaessa perävaunun omaa massaa viimeiseen kiloon asti kaikki seikat kannattaa ottaa huomioon. Teollisessa mittakaavassa se ei kuitenkaan ole taloudellisesti kannattavaa, joten tähän asti on keskitytty pääasiassa rungon ja päällirakenteiden optimointiin. Seuraava suurempi askel massan hallinnassa on juuri akseliston, jousituksen ja renkaiden parissa. Näitä on jo alettu kehittää, mutta ne eivät ole yleistyneet samassa mittakaavassa kuin esim. kevyet päällirakenteet ja rungot.

5.1 Kysyntä kevytrakenteille

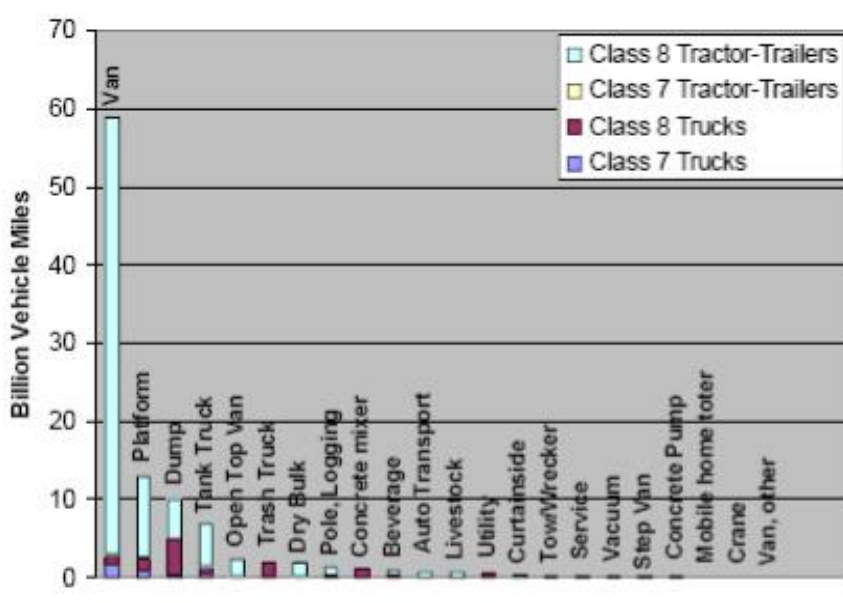
Perinteisesti suurin kysyntä kevytrakenteisille perävaunuille on tullut irtotavarakuljetuksen puolelta, jossa jokainen kuljetusvälineessä säästetty kilogramma tarkoittaa lisää hyötykuormaa ja näin ollen lisätuottoa. Valmistajat ovat ottaneet hyvin huomioon kevytrakenteiden kasvavan kysynnän ja perävaunujen keskimääräiset omamassat ovatkin pudonneet tasaisesti viime vuosien aikana. Alumiiniin käyttö on yleisin tapa keventää rakenteita; 25 vuotta sitten alumiinipohjaisilla perävaunuilla oli vain n. 0,4 % osuus kaikista markkinoista, mutta vuonna 2000 se oli jo yli 14 %./8/

Seuraavassa ovat esitettyinä Pohjois-Amerikan vuoden 2002 raskaan kaluston lukumäärät, kuva 31. Ryhmittely on tehty massan mukaan ja siihen on sisällytetty kaikki samaa tyyppiä olevat ajoneuvot. Kuva 32 esittää niiden kulkemat matkat samana vuonna. Näiden tulosten perusteella voidaan määritellä, mitkä raskaan

kaluston tyypeistä ovat lukumäärältään suurin ryhmä ja aloittaa niiden eri komponenttien arviointi kevennystä ajatellen. /17, s.137-142/



Kuva 31, kaluston lukumäärä Pohjois-Amerikassa tyypeittäin vuonna 2002. /17, s137-142/

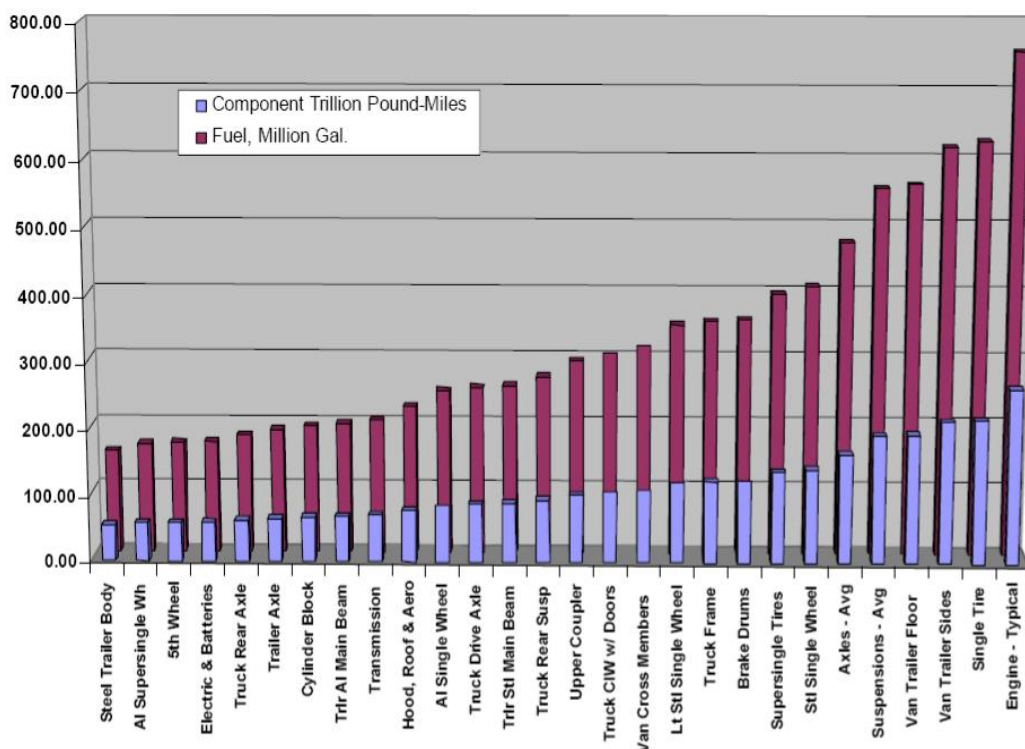


Kuva 32, eri tyyppien kulkemat Pohjois-Amerikassa vuonna 2002. /17, s.137-142/

Em. kuvien perusteella määrääväksi ryhmäksi saadaan selvästi umpikorit, tasovaunut, kippilavat ja tankkivaunut. Osa komponenteista, joita käytetään raskaan kaluston rakenteissa, käytetään kaikissa malleissa ja osaa vain tietyissä erikoissovelluksissa. Luonnollisesti suurin säästö saadaan aikaan sellaisten komponenttien kautta, jotka ovat raskaita ja niitä käytetään kaikissa malleissa.

Suurin yksittäinen vaikuttaja yhdistelmän omamassaan on vetoauton moottori. Tämän jälkeen tulevat suhteellisen tasoissa renkaat, päällirakenne, lattiat ja jousitus.

Kuvassa 33 esitetään eri komponenttien osuus polttoaineen kulutuksesta ja em. osia keventämällä saadaan suurimmat vaikutukset omamassan pienentämiseen. Muista pienemmistä yksittäisistä osista saatava kevennys ei ole kokonaisuittakaan ajatellen kovin suuri ja tässä ehkä syy, miksi niihin ei ole aikaisemmin syvennytty. Kuitenkin laskemalla yhteen vähätkin säästetyt kilogrammat voidaan saada huomattavia tuloksia omamassan kannalta, varsinkin jos osaa käytetään monta kertaa rakenteissa jolloin sen osuus moninkertaistuu.



Kuva 33, merkittävimmät komponentit polttoaineen kulutuksen kannalta. /17, s.137-142/

Kuljetuskalustosta huomattava osa on perävaunuja, joten myös seuraavia komponentteja on hyvä tarkastella: kääntopöytä, kytkennät, seisontatuki, puskurit jne. Osaa näistä käytetään useita kappaleita, joten massa kertautuu ja osan merkitys kasvaa. /17, s.137-142/

5.2 Putkipalkit

Putkipalkit soveltuvat moniin eri sovelluksiin hyvin niiden hyvän taivutus- ja vääntöjäykkyyden vuoksi. Niiden keveys suhteessa nurjahduskestävyyteen ja edullinen muoto tekevät niistä erinomaisia vaihtoehtoja ajoneuvojen rakenteissa. Huono puoli vääntöjäykkissä palkeissa on niiden aiheuttamat jännitykset rakenteisiin, kun joustot ovat tarpeellisia tai toivottuja. /11/

Suunnittelun ja valmistuksen kannalta putkipalkeilla on edullisia ominaisuuksia, kuten yksinkertaiset liitokset (neliö- ja suorakaideputket), vähän parametreja ja laaja mittavalikoima. /11/

Liitoksissa esiintyy usein korkeita jännitysgradientteja ja tästä johtuen staattisilla kuormituksilla esiintyy useita erilaisia vaurioita. Vaurioita voidaan estää vahvistamalla liitoksia tai käyttämällä paksumpiseinäisiä profiileja. Valmiita oppaita löytyy paljon putkipalkkiliitoksista ja niiden kestävyydestä ristikkorakenteissa, mutta ajoneuvoissa esiintyvät vääntökuormitukset aiheuttavat sen, ettei niitä voi käyttää apuna ajoneuvon rungon suunnittelussa. /11/

5.2.1 Putkipalkkien käyttö ajoneuvoissa

Raskaan kaluston perävaunuissa putkipalkkeja käytetään esim. alleajosuojissa, akseleissa, akselipukeissa, vetoaisoissa ja telirakenteissa. Kantavat rakenteet voidaan myös tehdä putkipalkeista, mutta välipalkeiksi ne ovat liian jäykkiä. /11/

Taivutus- ja vääntöjäykkyysvaatimukset määräävät käytettävän materiaalin ja profiilit. Kantavassa rakenteessa on järkevää käyttää juuri putkipalkkien kaltaisia jäykkiä ja lujia profiileja. Ne poistavat myös tehokkaasti erilaisia värähtelyjä, joita aiheutuu käytössä. Ajoneuvon pituuden kasvaessa taivutusjäykkyys nousee tärkeään osaan kuormitusten ja momenttien kasvaessa. /11/

Nykyään voidaan putkipalkkien käyttö ajoneuvoissa jakaa kahteen ryhmään; vääntöjäykät ja iskumaisesti kuormitetut rakenteet. Paras esimerkki vääntöjäykästä korirakenteesta on linja-auto, kun taas perävaunuissa suositaan ns. kehikkorakennetta, jossa rungon pääpalkkeina ovat I-palkit ja välipalkkeina avoimet Z- tai U-profiilit. Tällä saadaan aikaan joustavuutta perävaunun rungossa, jota vaaditaan huonossa maastossa. Maantiellä tätä ominaisuutta ei välttämättä tarvita, joten runko voitaisiin yhdistää kiinteästi koriin. Rajoittavana tekijänä suljetulle profiilille perävaunuissa on sivulta lastauksen estyminen kantavien laitaprofiilien vuoksi. /11/

Toinen hyvä käyttökohde on perävaunun vetoaisa, joka joutuu suurten puristusjännityksien kohteeksi jarrutuksissa. Vetoaisan ei tarvitse joustaa väännössä, joten putkipalkit sopivat hyvin siihen niiden nurjahduskestävyyden ansiosta. Valmistus on myös helpompaa verrattuna perinteiseen avoimeen profiiliin, koska liitokset ovat helpompia tehdä ja tarpeettomia jäykisteitä ei tarvitse lisätä. Oikealla muotoilulla vetoaisan rakennetta voidaan keventää verrattuna I- ja U-palkkeihin, vaikka se onkin haastava konstruktion jatkuvien veto- ja puristusjännitysten vuoksi. /11/

5.3 Suurlujuusteräksset

Määritelmän mukaan suurlujuusteräksinä pidetään yli 355 MPa myötörajan laatuja. Lujemmilla materiaaleilla saadaan aikaan pienempi omamassa ilman, että turvallisuus huononee. Massan pudotus perustuu lujempaan materiaaliin, jota voidaan käyttää pienempinä ainepaksuuksina. Myös staattisten kuormien sieto on parempi kuin matalalujuuksisilla laaduilla, mutta liitoksien väsymisen sieto ei juuri parane. /11/

5.3.1 Liitokset

Mentäessä yhä lujempiin teräslaatuihin niiden hitsaus vaatii erikoistoimenpiteitä. Käytettäessä samoja menetelmiä kuin normaaleilla laaduilla liitoksista tulee huomattavasti heikompia kuin itse materiaali. Liitoksien tekemisestä löytyy oppaita, joita noudattamalla myös suurlujuusterästen hitsaus onnistuu ongelmitta.

5.4 Renkaat, jarrut ja jousitus

Renkailla saadaan parhaimmillaan kevennettyä satoja kilogrammoja, esim. yksi 445/50R22,5 on n. 270 kg kevyempi kuin kaksi kappaletta 275/80R22,5 alumiinivanteilla ja n. 620 kg kevyempi kuin vastaavat renkaat teräsvanteilla, kuva 34. Samalla saadaan säästöjä polttoainetalouteen pienentyneen vierinvastuksen kautta. Myös kosketuspinta-ala tiehen suurenee, jonka ansiosta perävaunu on tukevampi ja se etenee tasaisemmin. /7/ Alumiinivanteita käytetään n. 40 - 50 % kuorma-autoissa, mutta vain n. 10 % perävaunuista. /17, s.137-142/



Kuva 34, super single ja paripyörä. /35/

Alkuaikoina levyjarrut olivat huomattavasti suurempia massaltaan kuin vastaavat rumpujarrut, mutta viime aikoina kehitys on tuonut ne samaan suuruusluokkaan massan suhteen. Kasvaneet kuormat ja turvallisuus lyhyempine jarrutusmatkoineen tuovat lisää massaa rumpujarrusovelluksiin ja näin ollen kiinnostus on kasvanut levyjarruja kohtaan. /7/

Myös jousituksessa kevyempää rakennetta saadaan aikaiseksi alumiinilla ja komposiiteilla. Jousituksessa voidaan käyttää jopa lasikuitujousia, joiden etu on rautajousiin se, etteivät ne halkea yllättäen vaan säröytyvät hiljalleen. /7/ ArvinMeritor toi markkinoille vuoden 2005 lopussa komposiittijousen, joka tarjoaa monia etuja ilmajousitukseen nähden, näistä huomattavimpana halvempi hinta. Siinä ei ole ilmasäiliöitä, iskunvaimentimia tai tasonsäätöventtiilejä ja tämän johdosta sen massa on 45 kg pienempi kuin vastaavan lehtijousituksen ja 114 kg pienempi kuin ilmajousituksen. /10/

5.5 Komposiitit ja muovit

Lasikuituiset perävaunut ovat lupaavia massan hallinnassa. 15,24 m pitkä versio on vain 20 % teräksisen ja 40 % alumiinisen omamassasta, oman kuitenkin saman kuljetuskapasiteetin. Hankintahinta on kuitenkin korkeampi, mutta materiaali maksaa itsensä takaisin n. 18 kuukaudessa parantuneella hyötykuormalla. Lasikuitujen suuntaus materiaalissa mahdollistaa sen muunneltavuuden eri käyttötarkoituksiin (kattopaneelit, kuormaa kantavat osat jne.) ja antaa etuja materiaaliominaisuuksien muokkauksessa. /8/

Komposiittien käyttö kuljetusvälineissä on kasvanut voimakkaasti viime vuosien aikana, johtuen niiden lujuudesta ja jäykkyydestä. Komposiittivalmistajien yhdistyksen Composites Fabricators Association (CFA) mukaan 499 miljoonaa kg polymeerikomposiitteja, kolmasosa koko tuotannosta, käytettiin Amerikassa kuljetusalan sektorin toimesta vuonna 2001. Ennuste on 4 - 5 % kasvulle vuosittain komposiittien käytölle kuljetusvälineissä. /34/

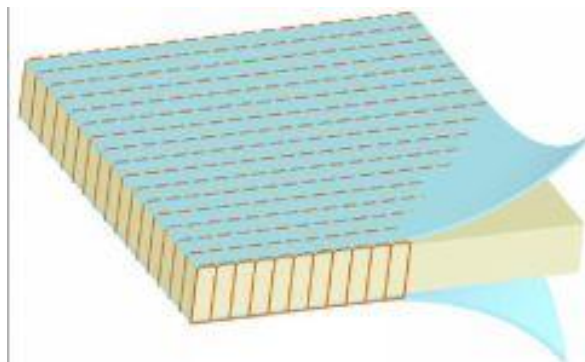
Komposiitit kestävät erinomaisesti staattisia ja dynaamisia kuormia sekä ympäristövaikutuksia. Ne vaimentavat värähtelyjä ja näin ollen myös pienentävät rakenteista lähtevää melua. Myös itsekantavalla korilla valmistettuja komposiittilinja-autoja on valmistettu. Ne on rakennettu kerroslevyistä, joissa vahvikkeina ovat lasi- ja hiilikuitu. Itse levy on vinyyliesterihartsia, jossa on balsaydin. Tämä linja-auto on 30 % kevyempi kuin tyypillinen 9 m vastaava ja vaatii 60 % vähemmän tehoa toimiakseen. /34/

Kuljetusvälineissä kerroskomposiitteja on käytetty yleisimmin rakenteellisissa kattopaneeleissa, hyttirakenteissa ja ei kantavissa sisäpaneeleissa. Ajoneuvon korirakenteessa on testattu lasikuituvahvistettua polyesteriä ja epoksi-hartsikuorta polyuretaanivaahdotyymillä. Yleisimmin kerrosrakenteen ytimen materiaaleina käytetään alumiinia, polypropeenaa (PP), balsaa, kennovaahtoja jne. Edellä mainittu PP-kenno on ominaisuuksiltaan paras vaihtoehto liikennevälineiden käyttöön, koska se on kevyt, ympäristön vaikutuksille neutraali, iskunkestävä, helposti kierrätettävä ja eristää hyvin. /34/

Kestomuovit ovat yleistyneet viime vuosikymmenen aikana rakenteissa ja kilpailevat komposiittien kanssa. Kestomuovien selkeä etu komposiitteihin verrattuna on niiden uudelleenmuovattavuus lämmön avulla, helpompi kierrätettävyys ja parempi iskunkestävyys. Näillä perusteilla ne sopivatkin erinomaisesti julkisen liikenteen sovelluksiin. Kestomuovien valmistusmenetelmiä on myös viimeaikoina saatu kehitettyä tarpeeksi, että saadaan korkealaatuista materiaalia. Ongelmana on ollut kyllästämisen, jossa lujitekuidut (esim. lasi) pitää saada ”kasteltua” yhtenäisen matriisin aikaansaamiseksi kovettumisen jälkeen. Itse paneelin valmistukseen on monta erilaista valmistusmenetelmää esim. hienosovitemuottitaonta, rullamuovaus ja venytysmuovaus. /34/

Perävaunun lattiamateriaalilla saadaan myös kevennystä aikaiseksi, yleisimmin käytetään lasikuituja tai muoveja. Muokkaamalla ”liikkuvan lattian”, jossa metalliliuskat korvataan muovisilla, saadaan kevennystä aikaiseksi n. 180 kg /15/.

Composittrailer on kehittänyt viimeisen 10 vuoden aikana oman Acrosomaksi nimetyn materiaalin vahvojen sivupaneelien valmistamiseen. Kerrosrakenteessa on vahvistuskuidut ”neulottu” rakenteen läpi z-akselin suunnassa, jolloin lamellien välille muodostuu hyvä kestävyys, kuva 35. Ainutlaatuisen tästä rakenteesta tekee sen paino-lujuus-suhde, vaimennus- ja eristyskyky. /5/



Kuva 35, Acrosoma rakenne. /6/

Komposiittiperävaunujen omamassa on pudonnut 3 500 kg:sta 2 800 kg:aan vuosien aikana. Akselit, renkaat ja jousitus ovat yhteensä n. 2 000 kg, joten rungon ja päällirakenteen osuus on tippunut 700 kg ja niiden edelleen keventäminen alkaa olla vaikeaa. Seuraavaksi pitää keskittyä em. osien keventämiseen ja kehittämiseen, että tuosta 2 000 kg osuudesta saadaan puolet pois. /5/

5.5.1 Kehittyneet komposiitit korirakenteissa

Tukivarsien, pääkannattimien ja z-palkkien mahdollista valmistusta komposiiteista on tarkasteltu kevennystä ajatellen. Komposiiteilla saadaan aikaan huomattavia säästöjä omamassoissa ja parempia ominaisuuksia rakenteiden kestävyuden kannalta, mutta kuten aina kehittyneiden materiaalien kanssa, hinta muodostuu ongelmaksi teollisessa mittakaavassa.

Tukivarsissa käytetään hiilikuituvahvistettuja materiaaleja, joilla saadaan tarvittava nurjahdusjäykkyys. Metallinsertit liitetään tukivarren molempiin päihin ja esikivetetty lasi muodostaa suojaavan kerroksen. Hiilikuituiset tukivarret tarjoavat 67 % massan pienennyksen ja paremmat ominaisuudet nurjahdusta ja kolmen pisteen taivutusta vastaan ja niillä on huomattavasti suurempi ominaistaajuus. /17, s. 223-226/

Sama saadaan aikaiseksi käyttämällä komposiitteja erilaisten kannattimien ja rungon z-palkkien materiaaleina, mutta alumiinirakenteiden kehittyessä komposiitit ovat jääneet toissijaiseksi. Tähän suurin syy on alumiinirakenteiden kilpailukyky kustannuksissa, jotka ovat pienemmät kuin vastaavilla teräsrakenteilla ja huomattavasti pienemmät kuin komposiiteilla. /17, s.223-226/

5.5.2 Komposiittirunko

Ensimmäinen kontinkuljetusrunko, joka oli kokonaan komposiitista, esiteltiin Hannoverissa Composittrailerin toimesta vuonna 2004. Samaa tekniikkaa oli

kokeiltu aikaisemmin mm. lava- ja kappaletavaravaunussa, joiden omamassat olivat 1 700 - 1 800 kg. Kontinkuljetusrungossa myös tyynyt, joihin standardilukituselimet liitetään, oli valmistettu komposiitista. Versiot oli tarkoitettu joko 12,20 m kontille tai kahdelle 6,10 m kontille ja niiden omamassa oli 3 400 kg. /3/

Keski-Amerikan kuorma-autoalan näyttelyssä komposiittirunkoinen prototyyppi keräsi myös paljon huomiota toukokuussa 2005. Runko oli valmistettu yhdestä osasta painevalulla. Rungon rakenne oli poikkeuksellinen myös siinä mielessä, että yleisesti käytettyjä poikittaistukia siinä ei ollut lainkaan. Rungon päällä oleva kansiprofiili oli valmistettu vetämällä komposiitista, jossa on lasikuituvahvikkeita ja vaahtokuori. Kannen sivut oli kapseloitu alumiinikiskoilla, joissa oli vinssiura. Alumiininen lista suojaa kiinnityskohtia ja rullia. Tavoitteena on valmistaa lavaperävaunu, jonka omamassa on enintään 3 630 kg (8000 lb) ja pystyy kantamaan 45,4 tonnia (100000 lb). /4/

5.5.3 Valmistus

Komposiittiprototyyppien valmistukseen on suhteellisen helppoa saada rahoitusta, mutta sen tekeminen kannattavaksi teollisessa mittakaavassa on hankalaa. Eräs näkemys asiasta on seuraavissa kappaleissa, joissa kuvataan komposiittiperävaunujen kehitystä ja teknologiaa. /5/

Komposiittiprototyypin valmistus ei vaadi suurta valmistuskapasiteettia. Suuri ongelma on saada komposiittiperävaunu kestäväksi sille käytöstä aiheutuvat rasitukset koko suunnitellun elinkaaren ajan. Valmistusmäärän noustessa ja markkinoinnin sekä myynnin astuessa kuvaan määrääväksi tekijäksi nousee raha ja voiton tekeminen. /5/ Erään kyselyn mukaan toivottuja uudistuksia perävaunujen rakenteissa olisi 20 % pienempi omamassa, mutta vain ja ainoastaan, jos tämä ei vaikuta ylläpitokustannuksiin, ei huononna kestävyyttä (kestää 20+ vuotta käytössä) ja tulee hyväksyttävän hintaisena käyttäjälle. /8/

Komposiittisen rungon valmistus verrattuna perinteiseen on suuri uudistus ja se muovaa suunnittelun, kokoamisprosessin ja jälkipalvelut kokonaan uudelleen. Tämä tarkoittaa yrityksen kaikkien toimintojen muuttamista ja siinä onkin suurin syy, miksi suuret perävaunuvalmistajat eivät tähän suuntaukseen lähde. Tutkimukset ovat osoittaneet myös, että teräksen vaihto komposiittiin ei tuo säästöjä lopulliseen hintaan, vaan hyödyt on haettava muualta. Merkittävimpiä hyötyjä ovat esimerkiksi omamassan pienentyminen ja parempi korroosion kesto. Useimmiten asiakas ei ole kuitenkaan valmis maksamaan huomattavasti enemmän kevyemmästä komposiittiperävaunusta. /5/

Kokemusten mukaan asteittainen siirtyminen teräksestä komposiitteihin on vaikeaa, koska metallit ja komposiitit yhdessä eivät kestä suuria dynaamisia kuormia ja lämpötilojen vaihteluita, joille ne altistuvat käytössä. Tämän johdosta metalliosat hajoavat. Vuonna 1994 Compositrailer valmisti kuusi kyseisen kaltaista hybridiä ja jokainen on vuoteen 2006 mennessä kulkenut yli miljoona kilometriä ja kaikkia vaunuja käydään vuosittain korjauttamassa metalliosien hajoamisen vuoksi. Tässä

toinen merkittävä syy, miksi ei kannata muuttaa vain muutamaa osaa vaan koko rakenne kerralla. /5/

Viime vuosikymmenten aikana on tehty useita yrityksiä valmistaa perävaunu komposiitista, mutta vain pieni osa projekteista on edennyt prototyypivaiheeseen ja loputkin ovat pysähtyneet ennen teollista vaihetta. /5/

Compositrailer aloitti suunnittelunsa siltä pohjalta, että kaikki osat pitää pystyä massatuottamaan mahdollisimman taloudellisesti. Yleensä prototyypit ovat yksilöitä ja niiden tuottamiseen on erilaiset resurssit kuin massatuotteisiin, mutta toistaiseksi ei ole keinoja tehdä kevytrakenteisia perävaunuja kustannustehokkaasti. Vuonna 2000 Compositrailer julkaisi omamassaltaan 6-tonnin perävaunun ”liikkuvalla lattialla”, joka vakiinnutti paikkansa nopeasti markkinoilla. Heillä oli suuri etu kilpailijoiden alumiinirakenteisiin nähden, koska niiden omamassat olivat yli 9 tonnia. Seurauksena komposiitteihin siirtymisen sijaan kilpailijat alkoivat kehittää alumiinisia rakenteita ja parantaa niiden lujuutta. Tämän johdosta alumiinisten vastaavien perävaunujen omamassa tippuikin 7,8 tonniin, joka vaikeutti entisestään uuden ja ”oudon” komposiitin yleistymistä perävaunumarkkinoilla. /5/

5.5.4 Komposiittimateriaalien liitostekniikat

Keväällä 2003 alkoi nelivuotinen tutkimus erilaisista liitostekniikoista, jonka tarkoituksena on löytää toimivia ratkaisuja raskaan kaluston sovelluksiin. Päähuomio keskitettiin komposiitti-metalli-liitoksiin, joissa on suurimmat ongelmat. Projektin aikana on tarkoitus tutustua myös komposiitti-komposiitti liitoksiin ja niiden eri liitostekniikoiden kehittämiseen. Ensimmäinen prototyyppi oli suunniteltu keväälle 2006. /17, s.86-94/ Loppuraportti vuodelta 2006 ei ollut ilmestynyt tiedonhakuvaiheessa, joten tuloksia ei ole esittää tässä yhteydessä. Loppuraportti projektista /16/ ja /17/ käsittelee tulokset ja saavutukset.

Testauksessa käytettiin kahta materiaalia, 3D-vahvistettua vinyyliesteriä ja lasikuitua, jotka altistettiin puristus- ja vetojännityksille. 3D-vahvistettu komposiitti kestää paremmin puristusta kuin vetoa, mutta lasikuitu käyttäytyy samalla tavalla molemmilla jännityksillä. Muuttuva-amplitudiset voimat testattiin seuraavaksi, koska ne vastaavat paremmin perävaunun käytössä aiheutuvia jännityksiä. Huomattiin, että rakenteelle on vaarallisempaa, jos siihen kohdistuu ensin pieni rasitus, jota seuraa suurempi, kuin toisin päin. /17, s.86-94/

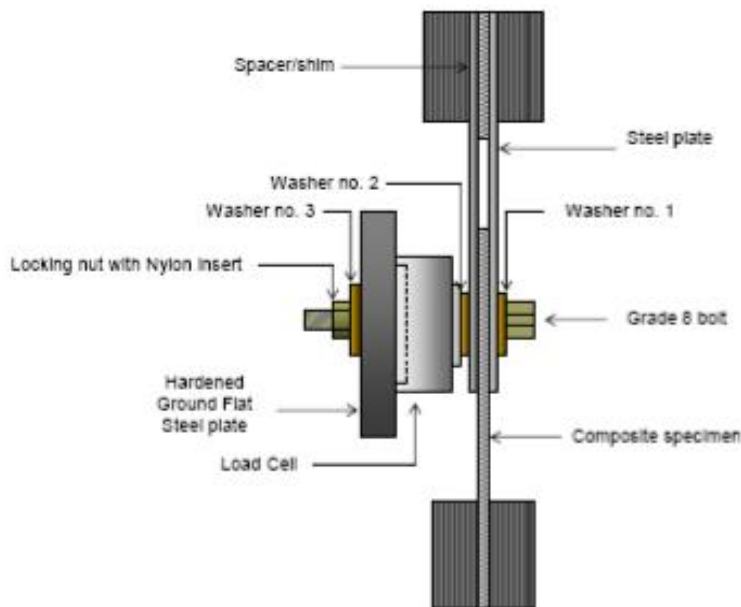
Komposiittimateriaalien lämmönkestoa parannettiin muuttamalla matriisin materiaalia, jonka ei todettu vaikuttavan juuri ollenkaan vetolujuuteen tai -kertoimeen. Tutkittujen materiaalien arvot olivat vetolujuudelle 402 Mpa ja -kertoimelle 23,7 GPa. /17, s.86-94/

5.5.5 Pulttiliitosten esijännitys

Komposiitti-teräs-pulttiliitos on tärkeää kiristää oikeanlaiseen esijännitykseen, että se kestää käyttöään aikana syntyvät rasitukset. Minimivoiman tulisi olla riittävä estämään värinää aiheutuva löystyminen, osien erkaneminen, liukuminen,

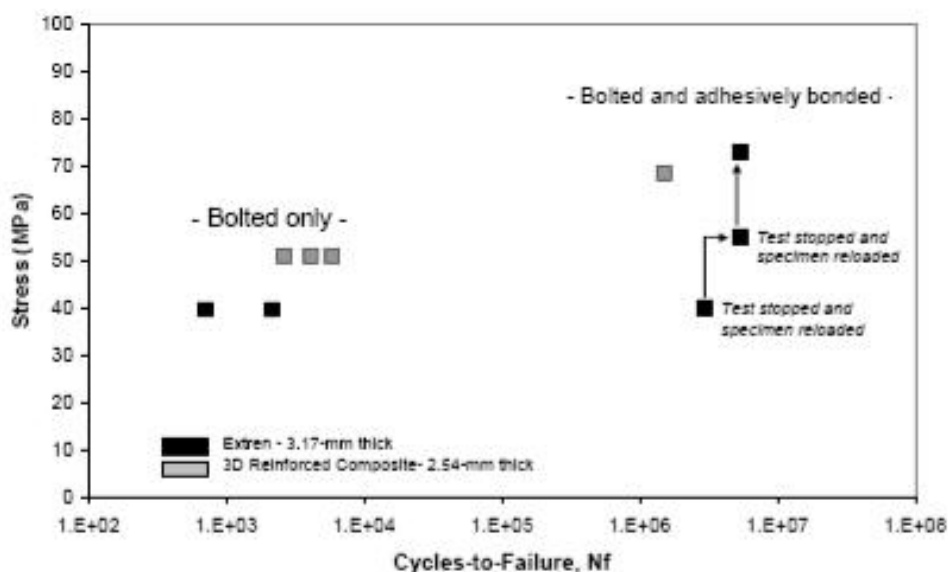
väsyminen, vuoto, jne. Maksimivoima ei kuitenkaan saisi olla niin suuri, että pultti myötää, osat rusementuvat tai aiheutuu jännityssäröjä tai ennen aikaisia rasiusmurtumia. Komposiiteista tehdyt rakenteet ovat ohuita, joten ajan myötä esijännitys tulee tippumaan. /17, s86-94/

Esijännityksen tutkimisessa käytettiin erilaisia aluslevyjä ja venymäpultteja, joilla saatiin selville, kuinka kiristys muuttuu ajan kuluessa. Kokeiden perusteella pulttimalli todettiin paremmaksi kuin teräsinserit vertailtaessa terästä ja komposiittia. Komposiittien paksuutena käytettiin 9,53 mm ja 6,35 mm levyjä ja teräksenä 12,7 mm. 500 tunnin jälkeen paksumpi komposiitti-teräs-liitos säilytti paremmin esikiristykseen, mutta kuten arvattiin, se ei kuitenkaan yllä teräs-teräs-liitoksen tasolle. Liitoksen toteutus kuvassa 36. /17, s.86-94/



Kuva 36, komposiitti-teräs-liitoksen toteutus. /17, s. 86-94/

Kokeiden perusteella saatiin selville, että pulttiliitoksen rasituskestävyyttä saadaan parannettua huomattavasti minimikiristysvoimalla, kun asennetaan epoksista tehty liima komposiitin ja teräksen väliin, kuva 37. Kokeissa rasituksen kesto nousi 10 000 syklistä yli miljoonaan alussa mainitulla komposiitti-teräs-liitoksella. Lisäksi se kesti suurempia jännitysamplitudeja, koska liima siirtää jännityskeskittymän pois reiän alueelta. Teräs-inserteillä oli huonontava vaikutus liitoksen kestävyteen. /17, s.86-94/



Kuva 37, rasiustestin tulokset sormitiukkuudelle kiristetystä liitoksesta liiman kanssa ja ilman. /17, s.86-94/

5.6 Alumiini

Ensimmäiset kokonaan alumiinista valmistetut perävaunut eivät olleet kovin pitkäikäisiä. Käyttöikä saattoi olla vain viisi vuotta tai jopa vähemmän. Ongelmana oli, että pyrittiin karsimaan mahdollisimman paljon materiaalia pois välittämättä kestävydestä. Tämän tyyliset valmistajat hävisivät markkinoilta melko nopeasti. /8/

Vahvistamalla poikittaista tukirakennetta rungossa oikeista paikoista saadaan alumiinikin kestävämmän teräksen tavoin. Osa täysin alumiiniin perävaunuihin siirtyneistä yrityksistä on palaamassa takaisin teräsrunkoihin ja alumiinin ja teräksen yhdistelmiin, joilla saadaan haluttu kompromissi omamassan ja hinnan välille. Esim. täysin alumiininen perävaunu (80 % alumiinia) on 620 kg kevyempi kuin 10 - 12 % alumiinia sisältävä ja maksaa 6 000 - 8 000 dollaria (4 390 - 5 850 euroa) enemmän. Useimmille tämä hinta on liian kallis massan säästöön ja käyttöikänsä nähden. /8/

Lämpöeristettyjen vaunujen valmistajat eivät ole siirtyneet alumiinin käyttöön sen huonon hinta-painon kevennys -suhteen takia. Monet valmistajat tekevät niin, että kaikki osat jotka eivät joudu muuttuvien kuormitusten kohteeksi ovat alumiinia ja loput terästä. /8/

6 Simulointi

Simulointien tarkoituksena on selvittää kuinka paljon polttoaineen kulutuksessa on mahdollista säästää keventämällä perävaunua. Simuloinnit tehdään Matlab-pohjaisella ADVISOR (ADvanced VehIcle SimulatOR) -ohjelmalla, joka on tarkoitettu suorituskyky- ja polttoainetalouslaskelmiin niin perinteisille kuin sähkö- ja hybridiajoneuvoillekin.

Simuloinnin perusta muodostuu käytännössä kahdesta osuudesta. Ensin määritellään ajoneuvo ja sen ominaisuudet, joko mittausten tai arvioiden perusteella. Seuraavaksi syötetään nopeus ja aika sekä tien nousu, joita ajoneuvon on seurattava (ajosykli). Näiden syötteiden avulla ohjelma laskee halutut suureet, joista tässä tapauksessa kiinnostavin on polttoaineen kulutus.

ADVISOR koostuu SIMULINK-lohkokaavioista, sekä MATLAB-”koodista” ja erilaisista parametritiedoista. MATLAB mahdollistaa yksinkertaisen matriisipohjaisen käyttöliittymän laskujen suorittamiseen ja SIMULINK puolestaan lohkokaavioiden graafisen esitystavan. SIMULINK-kaavio määrittää kuinka eri komponentit vaikuttavat toisiinsa. MATLAB-tiedostot määrittävät tietyn ajoneuvon ja simuloinnin ominaisuudet esim. käytettävän voimansiirron, ajoprofiilin, nousun jne. /36/

Käyttötarkoituksesta johtuen ADVISOR määrittää ajoneuvon suorituskyvyn sen eri komponenttien ominaisuuksien perusteella. Syötteenä ADVISOR ottaa halutun ajonopeuden ja sen perusteella arvioi tarvittavat nopeudet ja voimat sekä vääntömomentin voimansiirrossa. Käyttöperusteena on siis takaisinkytkentä renkailta moottorille. /36/

Lajusen DI-työstä /36/ löytyy yksityiskohtaiset selvitykset ADVISORIN toiminnasta ja mallien rakentamisesta. Simulointi on vain kevennyksen aiheuttaman polttoainesäästön tutkimista, joten yksityiskohtainen mallien rakenne voidaan jättää huomioimatta. Sama voidaan suorittaa myös yksinkertaisilla laskutoimituksilla, mutta sarjavalmisteen ajoneuvon tiedoilla tehdyllä simulointimallilla saadaan parempi yhteys todellisuuteen. Simulointi tehdään tyhjällä ajoneuvolla, jossa kokonaisuudessa muodostuu vetoauton ja perävaunun yhteenlasketuista omamassoista, sekä kuormattuna.

Tuloksia ei voida suoraan siirtää käytäntöön ja yleistää kaikille ajoneuvoille, mutta ne ovat suuntaa antavia ja auttavat kevennyksen hyötyjen määrittelyssä. Tulosten perusteella saadaan määriteltä suuruusluokka kevennetyn kilon aiheuttamalle ”säästölle” esim. polttoaineen kulutuksessa tai kuljetussuoritteessa.

Simuloinneilla saadaan suhteellisen tarkka arvio massan vaikutuksesta polttoaineen kulutukseen simuloituille ajoneuvoille. ADVISOR-malli voidaan tehdä mistä ajoneuvosta tahansa kunhan saatavilla on riittävän tarkat tiedot sen ominaisuuksista. Näin saadaan nopeasti selville kevennyksestä tuleva hyöty halutulle kalustolle ilman, että konkreettisia muutoksia tarvitsee tehdä. Tulokset ovat sitä tarkempia

mitä tarkemmin ajoneuvo ja sen eri osat mallinnetaan. Tämä mahdollistaa käytännössä täysin todellisuutta vastaavan mallin rakentamisen. Yleensä ei kuitenkaan ole tarpeellista kuluttaa resursseja liian tarkan mallin tekemiseen vaan käytetään yksinkertaisempaa rakennetta, jolla päästään riittävään tarkkuuteen. Myös todellisuutta vastaava ajosykli voidaan luoda simulointiin, jolloin päästään todella hyvään tarkkuuteen arvioitaessa massan vaikutusta esim. päivittäisellä kuljetusreitillä.

6.1 Tämän hetken tekniikalla arvio saavutettavissa olevasta kevennyksestä

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi arvioita puoli- ja täysperävaunujen saavutettavissa olevista omamassoista tällä hetkellä. Arviot perustuvat kirjallisuusselvitykseen ja nykyisiin tiellä liikkuvan kaluston omamassoihin. Syy siihen, että tarkkoja lukuja ei ole käytössä, on tietojen saannin vaikeus. Alkuperäiseen kyselyyn, liite 3, joka lähetettiin useille kymmenille niin koti- kuin ulkomaisillekin raskaan kaluston valmistajille, ei tullut yhtään vastausta.

Turun AMK:n selvityksen perusteella /33/ saatiin raskaan kaluston perävaunujen keskimääräinen omamassa Suomessa. Tarkastelussa keskitytään puoli- ja täysperävaunuihin, joista ensin mainittuun löytyy paljon vertailukohtia ulkomailta. Täysperävaunut ovat yleistä Suomen erikoisuus ja niille ei juuri ulkomailta löydy vastineita, joten niiden vertailu tehdään kotimaisen kaluston kesken.

6.1.1 Puoliperävaunut

Suomalaisen umpikorisen puoliperävaunun keskimääräinen omamassa on n. 6 000 kg, kuva 2. Täytyy kuitenkin muistaa, että umpikori voi olla eristetty tai eristämätön ja perän lisäksi myös sivulta aukeava. Päällirakenteen toteutus vaikuttaa ratkaisevasti perävaunun omamassaan, joten keskiarvoa ei voi suoraan yleistää kaikille umpikorisille puoliperävaunutyypeille. Tyypillinen omamassa sivusta aukeavalle eristetylle puoliperävaunulle on n. 9 000 kg, kuten taulukossa 1 on mainittu.

Liitteen 4 perusteella keveimmät pääasiassa perinteisistä materiaaleista rakennetut umpikoriset puoliperävaunut ovat omamassaltaan noin 5 400 kg. Kevyempiäkin malleja on olemassa, mutta niiden rakenteissa on käytetty huomattavasti enemmän kevytrakennemateriaaleja, esimerkkinä Compositrailerin versio n. 3 000 kg omamassalla.

Puoliperävaunujen polttoaineen kulutuksen simuloinneissa käytetään em. perustein massoja 3 000 kg, 5 400 kg, 6 000 kg, 7 500 kg ja 9 000 kg. Saatuja kulutuksia verrataan keskenään ja lasketaan tarvittavia yhdistelmien lukumääriä tietyn ajosuorituksen kuljetuksessa. Vaikka konkreettista yhtymäkohtaa todellisuuteen ei ole johtuen aiemminkin mainitusta tietojen saannin vaikeudesta, saadaan simuloinneilla selvitettyä kevennyksen merkitys polttoaineen kulutukseen tietyllä automallilla.

6.1.2 Täysperävaunut

Täysperävaunujen tapauksessa on huomattavasti vähemmän vertailukohtia eri maiden välillä, koska niitä valmistetaan niin pienellä volyymilla. Kuvan 5 perusteella 4-akselisten täysperävaunujen omamassa on keskimäärin n. 10,5 tonnia ja 5-akselisten 12,0 tonnia. Raskaimmat yksilöt ovat 4- ja 5-akselisissa n. 14,0 tonnia. Keveimpien 4-akselisten omamassa on noin 8 500 kg ja 5-akselisten noin 9 500 kg.

Ottamalla huomioon puoliperävaunujen kevytrakenneratkaisut ja soveltamalla niitä täysperävaunuihin voidaan olettaa, että keveimmillään umpikorinen täysperävaunu voisi olla omamassaltaan n. 4 500 – 5 000 kg. Tämä olisi 1 500 – 2 000 kg raskaampi kuin kevein puoliperävaunu. Lisämassa tulee kahdesta lisäakselista ja niihin liittyvistä komponenteista.

Kuten puoliperävaunujenkin tapauksessa, simuloinnit suoritetaan em. perustelujen mukaan käyttämällä massoja 4 500 kg, 8 500 kg, 10 500 kg ja 14 000 kg ja tuloksia vertaillaan polttoaineen kulutuksen mukaan. Simuloinneissa ei oteta huomioon akselien lukumäärän vaikutusta polttoaineen kulutukseen.

6.2 Mallit

Simuloinneissa käytetään Scanian 94D ja 124G pohjalta tehtyjä malleja. Mallien rakentamisen lähteenä on käytetty tietoja sivuilta www.scania.com ja Oy Scan-auto Ab Finland. Mallit on tehnyt Antti Lajunen (TKK) diplomityöhönsä ”Ajetavan vaikutuksen simulointi polttoaineen kulutukseen” osana RASTU:n HD-energia projektia, joka oli käynnissä vuosina 2003 - 2005. Näin ollen ne olivat looginen valinta simulointimalleiksi. /36/

Lajusen vaihteistomalli vastaa oikeaa kuljettajaa: ennakointi tieprofiilin mukaan on 100 m ja sen perusteella tarvittavan kiihdytyksen ennako 8 s. Valittavana on lisäksi viisi erilaista vaihtomallia; uphill, downhill, acceleration dependent, engine speed dependent, speed dependent ja automatic shifting. Näiden vaihtotapojen parametrit määritellään moottorin suorituskyvystä ja voimansiirrosta. /36/

Simuloinneissa kokeiltiin eri vaihtomalleja kuvan 39 mukaisessa ajosyklissä eri kuormilla, mutta eroja polttoaineen kulutuksessa logiikoiden välille ei saatu. Tämän johdosta päädyttiin käyttämään ADVISOR:n raskaan kaluston perusasetusta vaihtokaaviole.

6 Simulointi

Kuvassa 38 on esitetty Scania 94D ja 124G. 124G on tarkoitettu pääasiassa pitkänmatkan kuljetuksiin ja 94D lähialueiden jakeluajoon. /36/ Simuloinneissa 124G:tä käytetään täys- ja 94D:tä puoliperävaunuyhdistelmän mallina.



Kuva 38, vasemmalla Scania 94D 260 ja oikealla Scania 124G 420. /36/

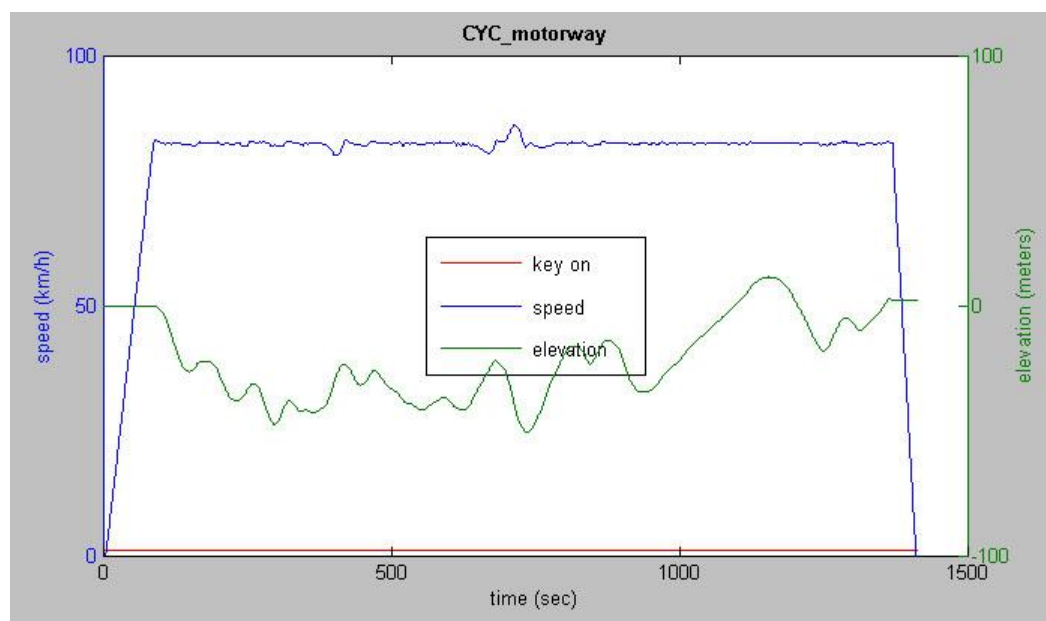
Taulukko 6, simulointimallien tietoja. /36/

Malli	Scania 94D DC 902	Scania 124G 420
Moottori	DC9 02 L01	DC12 01 L01
Tilavuus (l)	8,9	11,7
Teho (kW)	191	309
Maksimi vääntömomentti (Nm)	1 250	2 100
Maksimi vääntömomentti (rpm)	1 100 - 1 400	1 050 - 1 300
Vaihteisto	GR801, 8+1	GRS900, 14+2
<i>Tyyppi</i>	manuaali	manuaali
Renkaat	295/80 R22.5	315/80 R22.5
Akseliväli (m)	5,9	3,9
Pituus (m)	10,6	6,2
Korkeus (m)	2,8	3,3
Leveys (m)	2,5	2,5
Massakeskipisteen korkeus (m)	1,0	1,0
<i>Omamassa (kg)</i>	6 000	7 900
Kantokyky (kg)	18 000	26 000
Otsapinta-ala (m²)	5,76	7,12
Ilmanvastuskerroin	0,6	0,6
Ohjaavan akselin massa-osuus (%)	38,2	28,3
Valmistusvuosi	2004	2002

Taulukossa 6 on simulointimallien tietoja. 94D:n moottori on skaalattu isommasta 124G versiosta. Mallille 124G on tehty alustadynamometrimittauksia VTT:n toimesta, joten moottorin arvot ovat tarkkoja. Tämä antaa hyvät lähtökohdat polttoaineen kulutuksen tarkasteluun, koska tärkein vaikuttaja kulutuksen tarkkailussa on juuri polttomoottori ja sen toiminta. /36/

Polttoaineen kulutukseen vaikuttavat ajoneuvon malli, tien profiili ja kuljettajan käytös. Moottorin tuottamaa energiaa käytetään vierin- ja ilmanvastuksen, nousujen ja kiihdytysten aiheuttamien voimien voittamiseen. /36/

Ajosyklinä käytetään moottoritietä, jossa perävaunuyhdistelmän nopeus pyrkii noudattamaan kuvan 39 mukaista käyrää. Kokonaisaika on 1 415 s, kuljettu matka 30,76 km ja keskinopeus 78,26 km/h. Ajoneuvo pyrkii noudattamaan syklin mukaista nopeutta ja luonnollisesti mitä enemmän massaa sitä enemmän moottorilta tarvitaan tehoa kiihdytyksissä ja ylämäissä sekä ylläpitämään haluttu nopeus.



Kuva 39, perävaunuyhdistelmän ajosykli.

Ajosyklinä voisi käyttää myös toisenlaista profiilia, mutta raskaan liikenteen tapauksessa jossa yleensä ajetaan pitkää matkaa lähellä maksiminopeutta, kuvan 39 mukainen profiili antaa parhaan kuvan massan vaikutuksesta polttoaineen kulutukseen.

6.3 Tulokset

Seuraavassa on esitetty simuloinnin tulokset aikaisemmin mainituilla Scanian ajoneuvoilla ja määritetyillä massoilla. Simulointitulokset polttoaineen kulutuksen osalta on kerätty taulukkoon 7.

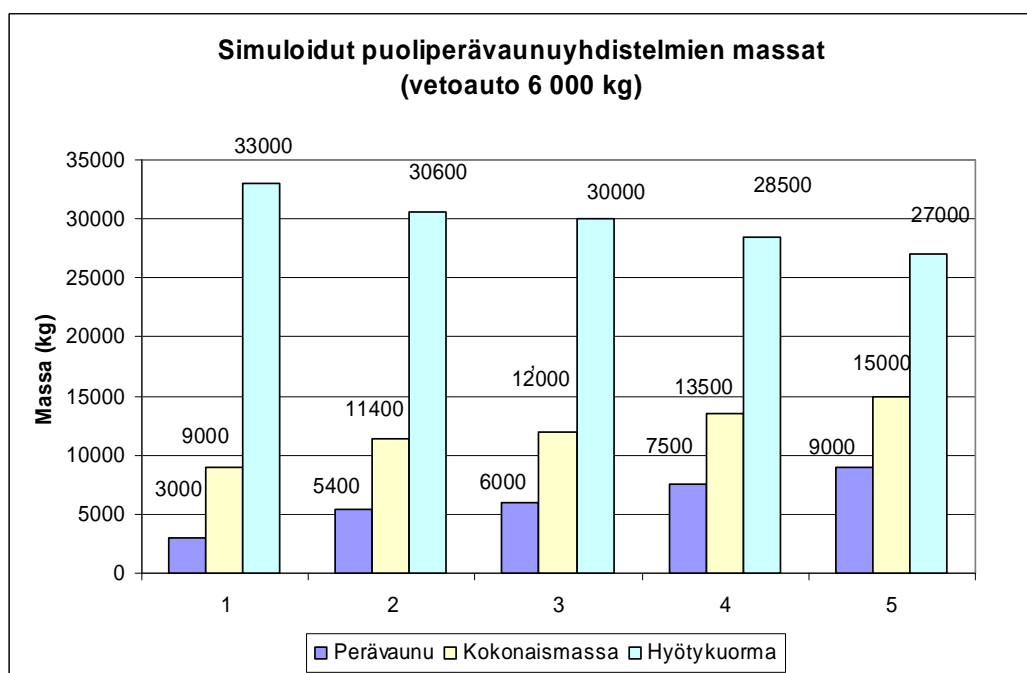
Taulukko 7, yhdistelmän polttoaineen kulutus perävaunun eri omamassoilla.

Puoliperävaunuyhdistelmä (Scania 94D)				
Massa perävaunu (kg)	Massa vetoauto (kg)	Kokonais-massa (kg)	Kulutus (l/100 km)	Kuljettu matka (km)
3 000	6 000	9 000	17,3	30,5
5 400	6 000	11 400	18,8	30,5
6 000	6 000	12 000	19,1	30,5
7 500	6 000	13 500	19,8	30,5
9 000	6 000	15 000	20,3	30,5
Täysperävaunuyhdistelmä (Scania 124G)				
4 500	7 900	12 400	23,1	30,5
8 500	7 900	16 400	26,3	30,5
10 500	7 900	18 400	27,7	30,5
12 000	7 900	19 900	28,6	30,5
14 000	7 900	21 900	29,8	30,5

Simuloinnit vastaavat ajoa ”tyhjällä” yhdistelmällä, joissa perävaunun massaa muuttamalla saadaan halutut tulokset kulutuksen suhteen. Eri simulointitulosten perusteella saadaan kevennyksen vaikutus polttoaineen kulutukseen. Lukuarvot ja laskelmat ovat esitetty seuraavissa kappaleissa.

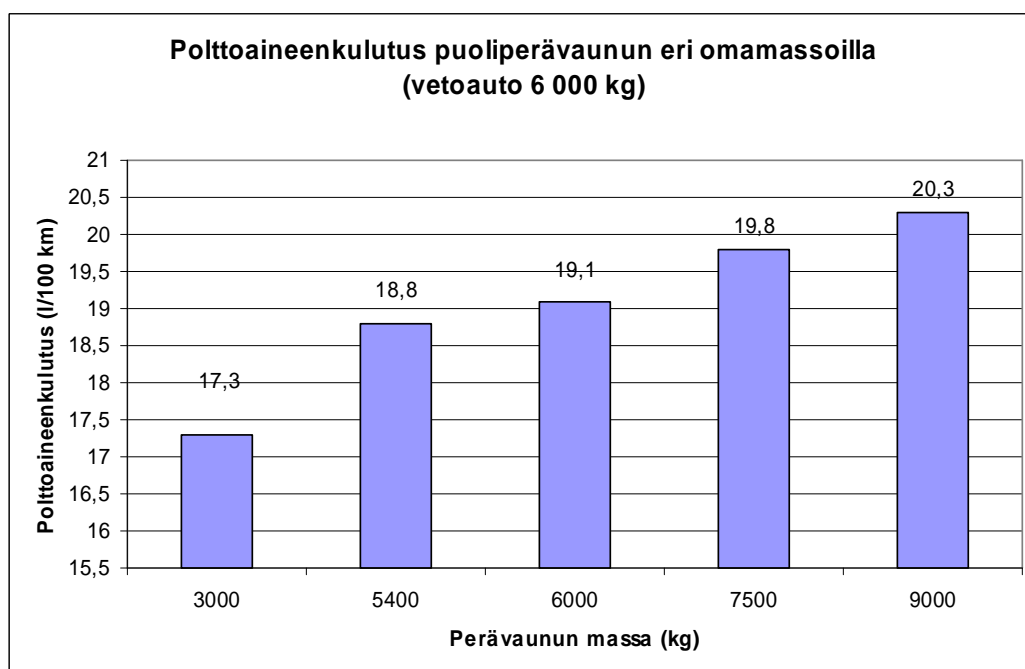
6.3.1 Puoliperävaunuyhdistelmä tyhjänä

Suurin sallittu kokonaismassa puoliperävaunuyhdistelmällä on 42 tonnia, joten hyötykuorman osuus vaihtelee sen mukaan mikä yhdistelmän omamassa on. Tässä tapauksessa vetoauton massan ollessa 6 000 kg omamassaltaan 5 400 kg puoliperävaunuun saadaan 600 kg enemmän hyötykuormaa kuin omamassaltaan 6 000 kg puoliperävaunuun. Vastaavasti 9 000 kg puoliperävaunun mahdollinen hyötykuorma on 3 000 kg pienempi kuin 6 000 kg puoliperävaunulla, kuva 40.



Kuva 40, simuloidut puoliperävaunuyhdistelmien massat.

Umpikorisisissa puoliperävaunuissa keskimääräinen omamassa on 6 000 kg (katteena irtopeite) ja kun siihen lisätään vetoauton massa, saadaan yhdistelmän kokonaismassaksi 12 tonnia. Tällä kokonaismassalla simuloituna polttoaineen kulutukseksi saadaan 19,1 l/100 km. Kiinnostavimmat vertailutulokset 6 000 kg perävaunuun saadaan 5 400 kg, 7 500 kg ja 9 000 kg versioilla. Näiden kokonaismassa ovat vastaavasti 11,4 tonnia, 13,5 tonnia ja 15 tonnia, sekä polttoaineen kulutukset 18,8 l/100 km, 19,8 l/100 km ja 20,3 l/100 km, kuva 41. Keskimääräistä puoliperävaunua 600 kg kevyempi malli kuluttaa polttoainetta 0,3 litraa vähemmän sadalla kilometrillä ja 1 500 kg raskaampi malli 0,7 litraa enemmän.



Kuva 41, puoliperävaunun polttoaineen kulutus eri omamassoilla.

Tämän hetken tekniikalla ja materiaaleilla ei olisi vaikeaa tehdä puoliperävaunua, jonka omamassa olisi 3 000 kg tai jopa vähemmän. Tämä on otettu ”alarajaksi” simuloinneissa ja polttoaineen kulutus on vetoauton (9 000 kg) kanssa 17,1 l/100 km. Jos tämän hetken 6 000 kg puoliperävaunut saataisiin korvattua kevyemmällä 3 000 kg malleilla, säästö polttoaineen kulutuksessa olisi todella merkittävä 2,1 l/100 km.

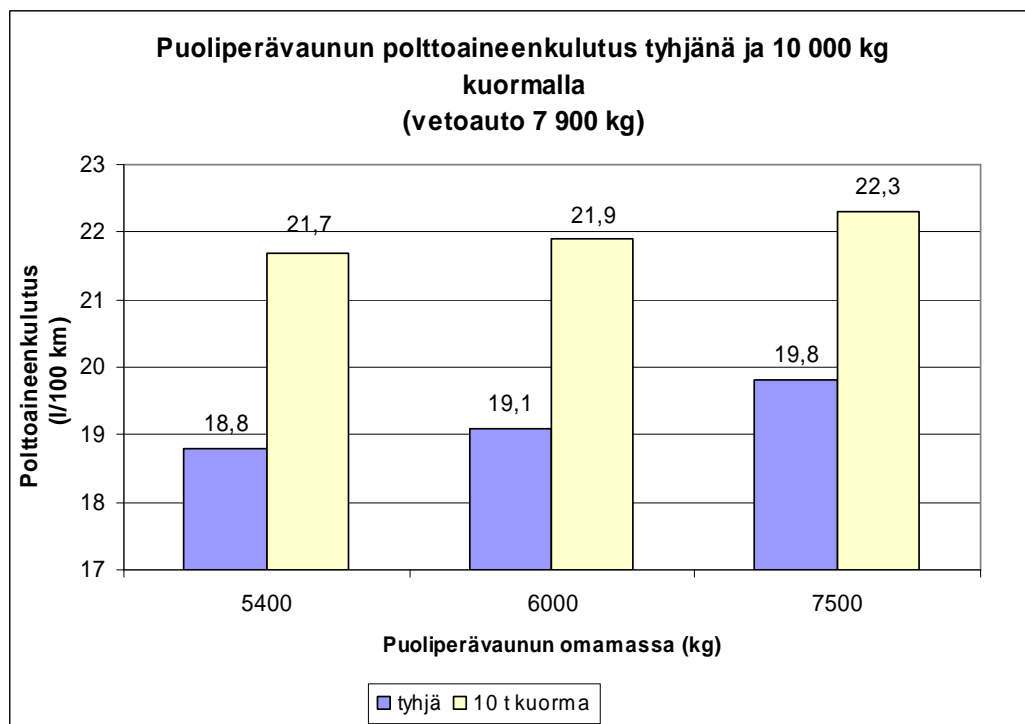
6.3.2 Puoliperävaunuyhdistelmä kuormattuna

Kuten aiemmin on mainittu, kappaletavarakuljetuksissa tila loppuu usein kesken ennen kuin suurin sallittu massa saavutetaan, joten siellä on mahdollista saada kaikki kevennetyt kilogrammat suoraan polttoaineen kulutuksen säästöön. Seuraavassa käsitellään tapausta, jossa kuljetettava kuorma on 10 tonnia ja perävaunun massa muuttuu taulukon 8 mukaisesti. Näistä tuloksista voidaan verrata perävaunun omamassan vaikutusta polttoaineen kulutukseen tietyllä kuormalla. Simuloinnit on tehty samalla mallilla ja ajosyklillä kuin aiemminkin.

Taulukko 8, puoliperävaunun polttoaineen kulutus 10 tonnin kuormalla ja eri omamassoilla.

Massa perävaunu (kg)	Massa kuorma (kg)	Massa vetoauto (kg)	Kokonais-massa (kg)	Polttoaineen kulutus (l/100 km)	Kuljettu matka (km)
5 400	10 000	6 000	21 400	21,7	30,3
6 000	10 000	6 000	22 000	21,9	30,3
7 500	10 000	6 000	23 500	22,3	30,1

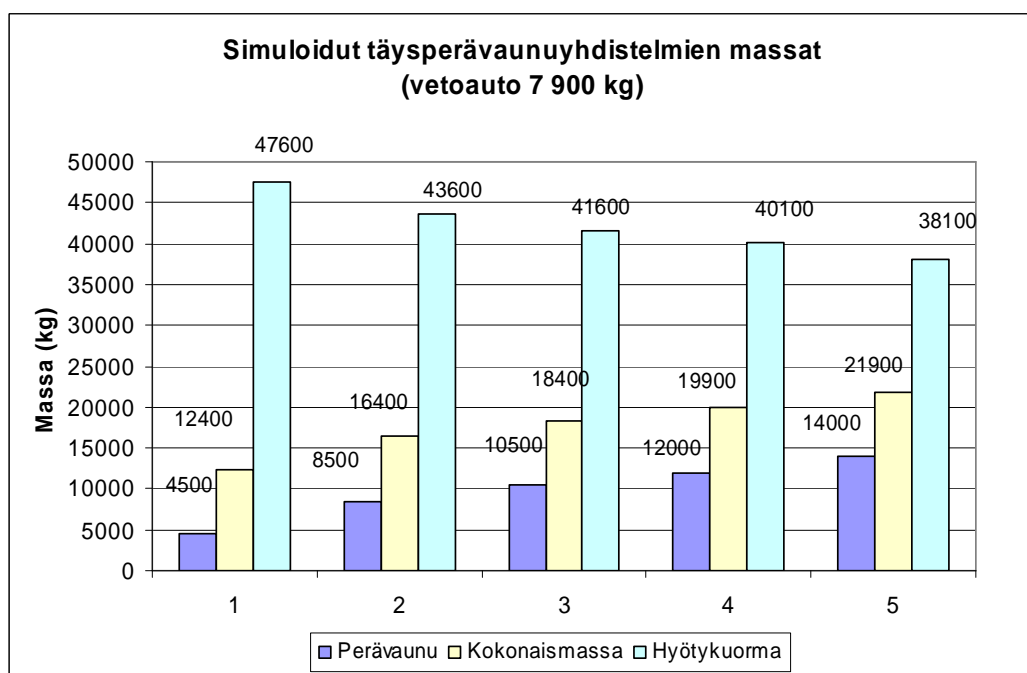
Verrattaessa polttoaineen kulutusta 10 tonnin kuormalla ja ”tyhjällä” käreillä tulee esille, että samoilla puoliperävaunun omamassoilla suhteellinen ero pienenee, kun kuorma kasvaa. Eli 1 kg:n merkitys polttoaineen kulutuksessa pienenee, mitä enemmän kuormaa otetaan, kuva 42.



Kuva 42, puoliperävaunun polttoaineen kulutus 10 tonnin kuormalla ja eri omamassoilla.

6.3.3 Täysperävaunuyhdistelmä tyhjänä

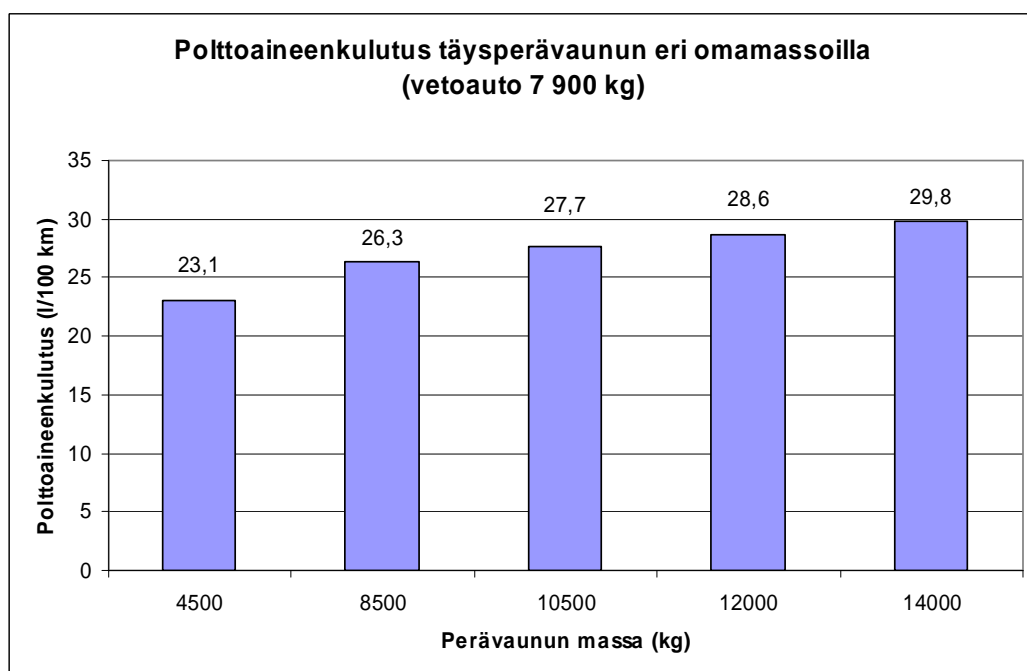
Suurin sallittu kokonaismassa täysperävaunuyhdistelmällä on 60 tonnia. Omamassat vaihtelevat enemmän kuin puoliperävaunuilla, koska täysperävaunuissa on kaksi eri tyyppiä yleisesti käytössä (4-akseliset ja 5-akseliset). Pelkästään 4- ja 5-akselisten puoliperävaunujen keskimääräisten yksilöiden välillä on jo 1 500 kg eroa omamassoissa, kuva 43.



Kuva 43, simuloidut täysperävaunuyhdistelmien massat.

Täysperävaunuissa keskimääräinen omamassa on akselien lukumäärästä riippuen, joko 10,5 tonnia (4-akselia) tai 12 tonnia (5-akselia). Tähän lisättyä vetoauton massa 7 900 kg saadaan keskimääräisten yhdistelmien kokonaismassoiksi 18,4 tonnia ja 19,9 tonnia. Näillä massoilla simuloitaessa saadaan polttoaineen kulutuksiksi 26,9 l/100 km ja 28,0 l/100 km. Kiinnostavimmat vertailutulokset em. saadaan yhdistelmillä 16,4 tonnia ja 21,9 tonnia, joiden polttoaineen kulutukset ovat vastaavasti 25,4 l/100 km ja 29,4 l/100 km, kuva 44.

Keskimääräistä 4-akselista 2 000 kg kevyempi täysperävaunu kuluttaa polttoainetta 7 900 kg vetoautolla 1,4 litraa vähemmän sadalla kilometrillä ja 1 500 kg raskaampi 0,9 litraa enemmän. Keskimääräistä 5-akselista 1 500 kg kevyempi yhdistelmä kuluttaa polttoainetta 0,9 litraa vähemmän sadalla kilometrillä ja 2 000 kg raskaampi 1,2 litraa enemmän.



Kuva 44, täysperävaunun polttoaineen kulutus eri omamassoilla.

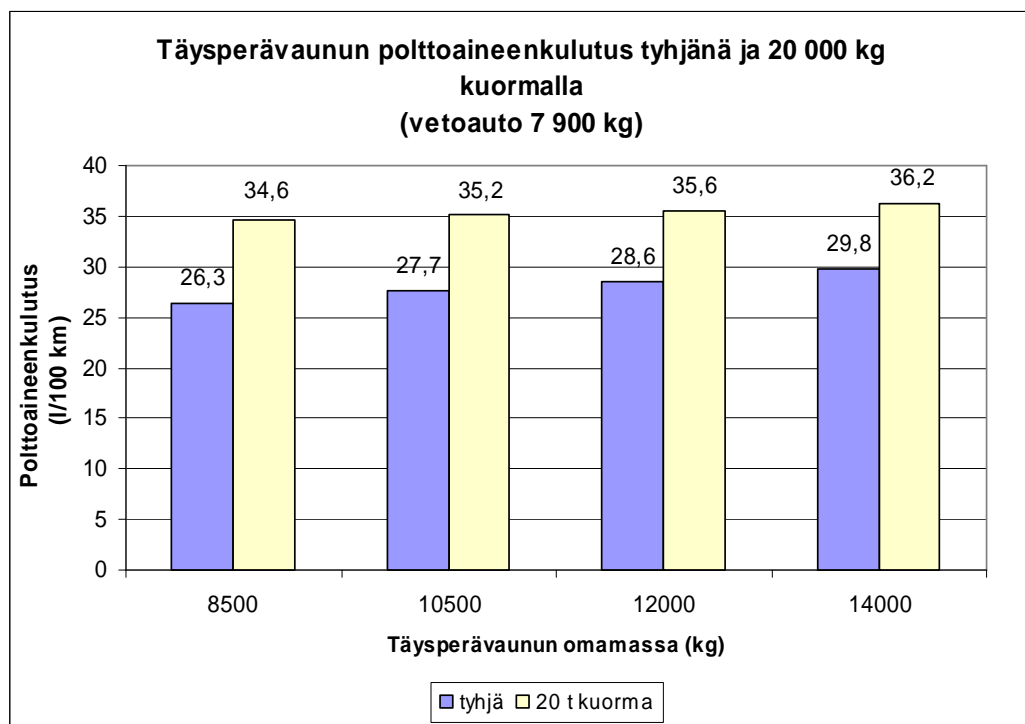
6.3.4 Täysperävaunuyhdistelmä kuormattuna

Seuraavassa käsitellään taulukon 9 mukaan täysperävaunun polttoaineen kulutusta 20 tonnin kuormalla ja eri omamassoilla. Tuloksia verrataan tyhjänä ajettuihin simulaatioihin ja puoliperävaunun vastaaviin tuloksiin. Simuloinnit suoritettiin samalla mallilla ja ajosyklillä kuin aiemminkin.

Taulukko 9, täysperävaunun polttoaineen kulutus 20 tonnin kuormalla ja eri omamassoilla.

Massa perävaunu (kg)	Massa kuorma (kg)	Massa vetoauto (kg)	Kokonais-massa (kg)	Polttoaineen kulutus (l/100 km)	Kuljettu matka (km)
8 500	20 000	7 900	36 400	34,6	30,4
10 500	20 000	7 900	38 400	35,2	30,3
12 000	20 000	7 900	39 900	35,6	30,2
14 000	20 000	7 900	41 900	36,2	30,0

Kuten puoliperävaunun tapauksessa, niin myös täysperävaunulla kuormattuna tulee esille polttoaineen kulutuksen suhteellisen eron pieneneminen kokonaismassan kasvaessa. Polttoaineen kulutuksen suhteellisen eron keskiarvo vastaavilla perävaunun omamassoilla tyhjänä on 1,2 l/100 km ja 20 tonnin kuormalla 0,5 l/100 km. Sama ero prosentteina on noin 46 %, kuva 45.



Kuva 45, täysperävaunun polttoaineen kulutus tyhjänä ja 20 tonnin kuormalla.

6.4 Ajoneuvomäärät

Käsitellään tapausta, jossa kuljetetaan 1 000 milj. tonnikilometriä kuormaa ja lasketaan sen siirtämiseen tarvittava kaluston lukumäärä puoli- sekä täysperävaunuyhdistelmillä. Vertailussa ovat puoli- ja täysperävaunut erilaisilla omamassoilla. Vetoautojen massat ovat samat kuin aikaisemmin simuloinneissa käytetyt, eli puoliperävaunun tapauksessa 6 000 kg ja täysperävaunun 7 900 kg. Kuljettava matka on 400 km ja oletetaan, että yhdistelmä on lastattu suurimpaan sallittuun kokonaisuun, joka puoliperävaunuyhdistelmillä on siis 42 tonnia ja täysperävaunuyhdistelmillä 60 tonnia. Tulokset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10, laskentaesimerkki 1 000 milj. tonnikilometrin kuljetuksesta puoli- ja täysperävaunuyhdistelmillä.

Perävaunun omamassa (kg)		Tarvittava määrä yhdistelmiä (kpl)				Suomi
Puoliperävaunu	Täysperävaunu	Puoliperävaunuyhd.	Ero seuraavaan	Täysperävaunuyhd.	Ero seuraavaan	pp 24 % tp 76 %
3 000	4 500	75 758	5 942	52 521	4 818	58 098
5 400	8 500	81 699	1 634	57 339	2 757	63 186
6 000	10 500	83 333	4 386	60 096	2 248	65 673
7 500	12 000	87 719	4 873	62 344	3 273	68 434
9 000	14 000	92 593		65 617		72 091

Taulukossa 10 tarvittavien yhdistelmien lukumäärä on laskettu kaavalla 1, jossa lkm = tarvittavien yhdistelmien lukumäärä (kpl), tkm = kuljetettava määrä (1 000 milj. tonnakilometriä), \max_k = yhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa (42 tonnia puoli- ja 60 tonnia täysperävaunuyhdistelmä), m_p = perävaunun omamassa (tonnia), m_v = vetoauton omamassa (tonnia) ja s = kuljettava matka (400 km).

$$lkm = \frac{tkm}{(\max_k - (m_p + m_v))s} \quad (1)$$

Keskimääräinen puoliperävaunuyhdistelmä, jonka omamassa vetoauton kanssa on 12 tonnia voi ottaa hyötykuormaa 30 tonnia. Tällä yhdistelmällä ja kaavalla 1 laskettuna 1 000 milj. tonnakilometrin kuljetukseen 400 km matkalla tarvitaan 83 333 yhdistelmää. Puoliperävaunun ollessa 600 kg kevyempi tarvitaan 1 634 yhdistelmää vähemmän samaan kuljetussuoritteeseen. Vastaavasti keskimääräisillä täysperävaunuyhdistelmillä (4- ja 5-akseliset) 18,4 tonnia ja 19,9 tonnia hyötykuormien osuudet ovat 41,6 tonnia ja 40,1 tonnia. Niitä tarvitaan samaan kuljetussuoritteeseen 60 096 ja 62 344 kpl. Näiden kahden täysperävaunuyhdistelmän hyötykuorman erotus on 1 500 kg ja se tarkoittaa tarvittavien yhdistelmien lukumäärässä 2 248 kpl em. kuljetussuoritteella.

Viimeinen sarake kuvaa tarvittavaa yhdistelmien lukumäärää Suomen keskimääräisellä kalustolla SKAL:n tilastojen perusteella /28/, kuva 12. Puoliperävaunuyhdistelmien (pp) ja täysperävaunuyhdistelmien (tp) suhde toisiinsa on 24 % ja 76 %. Keskimääräisillä 6 000 kg puoliperävaunuilla ja 10,5 tonnin täysperävaunuilla vaadittaisiin 65 673 kpl yhdistelmiä alussa mainittuun kuljetussuoritteeseen.

VTT:n tekemien mittausten perusteella saadaan keskimääräiset kulutukset puoli- ja täysperävaunuyhdistelmille täydessä kuormassa. Puoliperävaunuyhdistelmillä se on n. 35 l/100 km ja täysperävaunuyhdistelmillä n. 52 l/100 km. /41/

Taulukon 10 perusteella laskettuna puoliperävaunujen tapauksessa 1 634 yhdistelmää vähemmän 400 km matkalla tekee polttoaineen kulutuksessa 228 760 l. Eli käyttämällä 600 kg kevyempää puoliperävaunua em. kuljetussuoritteessa on mahdollista säästää 228 760 l polttoainetta.

Vastaava tarkastelu täysperävaunuyhdistelmien tapauksessa vaatii 2 248 yhdistelmää vähemmän, kun käytetään 1 500 kg kevyempää täysperävaunua. Polttoaineen kulutuksessa tämä tarkoittaa n. 467 580 l säästöä.

Keskinäinen vertailu puoli- ja täysperävaunuyhdistelmien välillä pelkässä polttoaineen kulutuksessa kääntyy puoliperävaunuyhdistelmien eduksi. Seuraavassa esimerkissä tarkastellaan teoreettista tapausta yhdistelmien maksimi kuormilla.

Esim. Puoliperävaunuyhdistelmän maksimi hyötykuorma on 30 tonnia ja täysperävaunuyhdistelmän 41 tonnia. 13,66 kpl puoliperävaunuyhdistelmiä ja 10 kpl täysperävaunuyhdistelmiä kuljettaa 410 tonnia hyötykuormaa. Keskimääräisillä polttoaineen kulutuksilla laskettuna puoliperävaunuyhdistelmillä menee 100 km matkalla tämän kuorman siirtämiseen n. 478,3 l ja täysperävaunuyhdistelmillä 520

1. Puoliperävaunuyhdistelmien etu polttoaineenkulutuksessa on siis n. 41,6 l, mutta otettaessa huomioon kuvan 16 esittämä kustannusrakenne ja 3,66 kpl (36,6 %) enemmän henkilöstökuluja sekä kalustoa parempi vaihtoehto kustannuksien kannalta on käyttää täysperävaunuyhdistelmiä.

7 Johtopäätökset ja jatkotoimet

Perävaunukaluston suunniteltu elinkaari määrää käytettävän varmuuden rakenteissa. Onko kannattavaa tehdä ikuisesti kestävä perävaunu? Tällä periaatteella siitä tulee huomattavasti raskaampi ja epäedullinen käyttäjälle.

Puoliperävaunuja valmistetaan paljon eri puolilla maailmaa, joten niiden kevennykseen on varmasti sijoitettu paljon resursseja. Ongelmana on julkisen tiedon vähyys, koska perävaunuvalmistajat ymmärrettävästi haluavat säilyttää tutkimuksissaan saadut tulokset salaisina. Keveimmät umpinaiset perästä lastattavat puoliperävaunut ovat tällä hetkellä hieman alle 3 000 kg. Niiden päälli- ja runkorakenne on suhteellisen loppuun asti kevennetty ja omamassan pienennystä ajatellen ei ole enää paljoa tehtävissä nykyisellä teknologialla. Jatkossa huomio keskittyy alustan muihin komponentteihin, kuten akseleihin ja jousitukseen.

Suomessa käytetään paljon sivusta-aukeavia puoliperävaunuja logistiikan takia. On tärkeää saada välillä purettua ja lastattua kuormaa ilman, että kaikki kyydissä olevat tavarat joudutaan siirtämään. Johtuen suomen käyttöolosuhteista eristettyjä kuormatiloja on kuljetuskalustossa keskimäärin enemmän kuin esim. Keski-Euroopassa.

Toisen ongelman aiheuttaa tiestö ja sen kunto. Vaikka pääosin Suomen tieverkosto on hyvässä kunnossa, niin elinkaarensa aikana perävaunu joutuu myös ”huonommille” teille, joissa akselistot ja runkorakenne joutuvat suurempien rasiusten kohteeksi. Tällaiset seikat aiheuttavat suunnitteluvaiheessa helposti liian suuret varmuudet rakenteiden suhteen, varsinkin jos elinkaari on useita kymmeniä vuosia.

Voidaankin sanoa, että Suomen olosuhteet aiheuttavat ”ylimääräisiä” kilogrammoja perävaunujen omamassoihin. Tämä huomioon ottaen on mahdollista kuitenkin keventää rakenteita ja yksittäisiä komponentteja vielä huomattavasti. Suurimmat hyödyt saadaan aikaiseksi 3D-suunnittelulla ja FEM-laskennalla, jotka ovat olleet viime vuosiin asti melko vähän käytettyjä perävaunuvalmistuksessa Suomessa. Mallinnuksen ja lujuustarkastelujen yleistyessä ja niiden etujen tullessa paremmin esille on odotettavissa omamassojen pienentymistä myös Suomessa valmistetuissa raskaan kaluston perävaunuissa.

Täysperävaunut ovat käytännössä Suomen erikoisuus ja niiden valmistusta ei juuri ole muualla maailmassa. Verrattaessa puoliperävaunuihin täysperävaunujen pienen valmistusmäärän takia ei ole syntynyt samanlaista kehitystä kevennyksen suhteen. Valmistajien välille ei ole syntynyt kilpailua siinä määrin, että se olisi vaikuttanut

omamassojen selkeään pienenemiseen. Tämän johdosta täysperävaunuissa on suuria mahdollisuuksia kevennyksen suhteen.

Valitsemalla kalusto ajotarkoituksen mukaan on mahdollista saada huomattavasti kevyempää kalustoa tien päälle jo nyt. Perävaunujen käyttäjille tärkeimmät kriteerit ostohetkellä ovat hinta, hyötykuorma ja sisätilavuus/mitat, painottuen kahteen ensimmäiseen.

Työn edetessä muodostui käsitys, että aihepiirin kartoittaminen laajemmin jopa demonstraatio- tai prototyyppiasteelle voisi olla hyödyllistä ajatellen suomalaisen perävaunuteollisuuden kilpailukykyä ja sen parantamista tulevaisuudessa. Erityisen ajankohtaiseksi aihepiirin tekee suunnitelma sallia pohjoismaiset yhdistelmätyypit (pituus 25,25 m ja kokonaismassa 60 tonnia) laajemmin EU:n sisällä. Tällöin pohjoismaisten säädösten mukaan mitoitettujen perävaunujen markkinat laajenevat ja markkinoille tulee uusia valmistajia Keski-Euroopan suurista puoliperävaunuvalmistajista. Yhteistyössä tutkimuslaitosten (VTT ja TKK, TYT sekä alueellista osaamista omaavat ammattikorkeakoulut ja TEKES) kanssa tulisi harkita tutkimusprojektin käynnistämistä.

8 Yhteenveto

Raskaan kaluston omamassat ovat tippuneet 20 vuoden aikana merkittävästi ja suurin syy tähän suuntaukseen on suuremman hyötykuorman tavoittelu. Omamassoihin vaikuttavat myös säädökset ajoneuvojen sallituista mitoista ja akselimassoista. Polttoaineen kulutus, ympäristövaikutukset ja turvallisuus ovat huomattavasti tärkeämpiä tekijöitä raskaan kaluston kevytrakennetekniikassa, mutta ne eivät ole olleet kovinkaan merkittävinä lähtökohtina suunnittelussa. Keveitä raskaan kaluston perävaunuja on valmistettu jo useita kymmeniä vuosia, mutta vain testaus ja kehitys mielessä. Laajempialaista valmistusta ja käyttöä ovat rajoittaneet niiden huomattavasti korkeampi hinta ja eksoottisten materiaalien liitosongelmat. Vasta viimeisten vuosien aikana komposiittiperävaunut ovat yleistyneet kuljetuskalustossa, mutta niitä on yhä todella pieni osa kokonaiskalustosta.

Perävaunukaluston keventäminen onnistuu keveämmillä materiaaleilla, uusilla liitostekniikoilla ja käyttämällä FEM-laskentaa 3D-suunnitteluohjelmien rinnalla. Näiden ohjelmien käyttö ei ole ollut kovin yleistä, vaan on toimittu ”vanhoilla hyviksi todetuilla tavoilla” ja vasta viime vuosien aikana niitä on aloitettu käyttämään laajemmin suunnittelun osana. Myös suurlujuusmateriaalit ovat varteen otettavia vaihtoehtoja. Näiden materiaalien ja tekniikoiden suuri hinta on rajoittava tekijä niiden yleistymiselle kuljetuskalustossa. Tällä hetkellä ns. hybridirakenteet ovat kärjessä kevennystä ajatellen. Ne eivät anna parasta mahdollista keveyttä, mutta valmistuskustannukset ovat samassa suuruusluokassa perinteisten raskaampien rakenteiden kanssa. Loppuun asti kevennetty kalusto antaisi parhaan tonni-km suhteen, mutta teollisessa mittakaavassa niiden valmistus ei olisi kannattavaa.

Euroopan muuttuvat mitta- ja kokonaismassasäädökset toteutuessaan mahdollistaisivat pidempien ja raskaampien yhdistelmien käytön koko EU:n alueella ja näin ollen kevyempi kalusto voisi kuljettaa enemmän hyötykuormaa kerralla. Useiden tutkimusten perusteella on havaittu, että harvemmin käytetään 100 % kuljetuskapasiteetista, varsinkaan kappaletavaroiden kuljetuksessa. Näin ollen kappaletavarakuljetuksissa saataisiin kevennyksestä tuleva massan pudotus suoraan hyödynnettyä yhdistelmän pienemmässä kokonaismassassa.

Suuremman hyötykuorman myötä tiellä liikkuva raskasliikenne vähentyisi ja liikenneturvallisuus parantuisi. Polttoaineen kulutuksen pienentymisen myötä myös päästöt ja ympäristövaikutukset vähenisivät. Ainoa ongelma muodostuisi edelleen vajaista kuormista ja niiden aiheuttamasta ”hukkatyöstä”.

Yksi vaihtoehto olisi uudistaa kuljetuskalusto vastaamaan sen kuljettamaa kuormaa tai suunnitella ja yhdistellä entistä paremmin olemassa olevia resursseja. Näin saataisiin lähes aina 100 % hyötykuorma ja kuormaa vastaava kuljetuskalusto, jonka kapasiteetti ei olisi moninkertainen kuljetettavaan tavaraan nähden.

Lähteet

- /1/ Trailer/Body Builders. Kesäkuu 2005, osa 46 nro 8, s. 22-24.
- /2/ <http://www.finlex.fi>
- /3/ Trailer/Body Builders. Helmikuu 2005, osa 46 nro 4, s. 42-42
- /4/ Trailer/Body Builders. Toukokuu 2005, osa 46 nro 7, s. 21-21
- /5/ Jan Verhaeghe, Reinforced Plastics. Toukokuu 2006, osa 50, nro 5, s. 34-37
- /6/ <http://www.compositrailer.com/products.aspx?iSectionID=20&iArticleID=17>
- /7/ Paul Abelson, Land Line Magazine. Marraskuu 2006.
- /8/ Andrew Ryder, Transport Topics. Elokuu 2003, nro 3548 s. S1
- /9/ Paul Schenck, Trailer/Body Builders. Helmikuu 2005, osa 46 nro 4, s. 29
- /10/ Bob Zirlin, Trailer/Body Builders. Kesäkuu 2005, osa 46 nro 8, s. 56-61
- /11/ Asko Kähönen, Valtteri Pärssinen, Reijo Iivonen ja Aslak Siljander, VTT tiedotteita 2008. Putkipalkkien ja korkealujuuksisten terästen käyttö ajoneuvorakenteissa. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T2008.pdf>.
- /12/ Jorma Järvenpää, VTT automaatio. Päällerakenteiden vaatimukset ja rakennevirheet. <http://www.autokorjaus.fi/Raskaskalusto/paallerakenteet.htm>
- /13/ <http://www.skal.fi>
- /14/ Paul Schenck, Trailer/Body Builders. Helmikuu 2006, osa 47 nro 4, s. 32-44
- /15/ Trailer/Body Builders. Toukokuu 2006, osa 47 nro 7, s. 30
- /16/ FreedomCAR and Vehicle Technologies Program FY 2004, Progress Report for High Strength Weight Reduction Materials.
- /17/ FreedomCAR and Vehicle Technologies Program FY 2005, Progress Report for High Strength Weight Reduction Materials.
- /18/ Coker, Development of a fibre composite semi-trailer, ACUN-2: International Composites Conference on Composites in the Transportation Industry. Sydney; Australia 14-18 Helmikuuta 2000, s.321-326.
- /19/ <http://www.vastauksia.com/Ajoneuvoyhdistelma>
- /20/ <http://www.narko.com>
- /21/ <http://www.wheelbase.net/trailer-chassis-manufacture/tri-axle-roll-onoff.html>
- /22/ De Winter, Design of an ultra light weight composite semi-trailer 29th International Symposium on Automotive Technology and Automation. Vuosi 1996 s. 887-894.
- /23/ Verhaeghe, Compositrailer: design, analysis, testing and market issues, 47th International SAMPE Symposium and Exhibition 2002. Long Beach, California, 12-16 Toukokuu 2002, s.1602-1610.

- /24/ Carrera, Development of an Innovative Concept of Light Semi-Trailer By Means of FEM and Testing. S.A.E. transactions Vuosi 2005, osa 113 nro 5, s.641.
- /25/ <http://www.swedfreight.se/sidor/statistik.html>
- /26/ Carla Sciullo, Maria Smihily, Statistics in Focus. Transport 5/2006. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- /27/ Simo Pasi, Statistics in Focus. Transport 27/2007. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- /28/ SKAL, tilastotietoa kuljetus- ja logistiikka-alalta, 2007. <http://www.skal.fi>
- /29/ <http://www.fgilt.com/>
- /30/ Ingemar Åkerman, Rikard Jonsson, European Modular System for road freight transport, experiences and possibilities. TFK, Report 2007:2 E
- /31/ Luxemburg: Euroopan yhteisöjen virallisten julkaisujen toimisto, Valkoinen kirja – Eurooppalainen liikennepolitiikka vuoteen 2010: valintojen aika.
- /32/ Prof. Johan Wideberg, University of Seville, Dr. Erik Dahlberg, Scania, Martin Svensson, KTH. Study of stability measures and legislation of heavy articulated vehicles in different OECD countries. Transportation Engineering University of Seville.
- /33/ Markku Ikonen, Arvet Palkov, Kalle Viljanen, Selvitys raskaiden ajoneuvojen massoista Suomessa. Maaliskuu 2007, Turun ammattikorkeakoulu.
- /34/ Haibin Ning, Gregg M. Janowski, Uday K. Vaidya, George Husman, Thermoplastic sandwich structure design and manufacturing for the body panel of mass transit vehicle. Composite Structures, osa 80 nro 1, syyskuu 2007, s. 82-91.
- /35/ http://www.opony.com.pl/technologie/456_goodyear__jeden_rowna_sie_dwa.html
- /36/ Antti Lajunen, TKK. Diplomityö, Simulation of driver behaviour influence on fuel consumption, 2005.
- /37/ www.stat.fi
- /38/ <http://www.bmvbs.de/en/Transport/Roads-,2075/HGV-toll.htm>
- /39/ Valtiovarainministeriö, Venäjän tavarakaupan esteiden selvittäminen. 27/2003
- /40/ Markku Käppi, Yleinen teollisuusliitto. Venymävaihtelukollektiivin kehittäminen ja käyttö ajoneuvojen keventämissuunnittelussa, 2001.
- /41/ Nils-Olof Nylund, Kimmo Erkkilä, Christer Söderström, VTT. Rakettruck 2004: Euro 3 kuorma-autokaluston polttoaineen kulutus ja pakokaasupäästöt.

Liitteet

Liitteet

Liite 1

 **SUURIMMAT SALLITUT MITAT JA MASSAT SUOMESSA 2004**

KUORMA-AUTOT (NUPPIAUTOT)

	Korkeus 4.2 m Pituus 12 m	Leveys 2.6 m Kokonaismassa 18 t
	Korkeus 4.2 m Pituus 12 m	Leveys 2.6 m Kokonaismassa 25/26 t
	Korkeus 4.2 m Pituus 12 m	Leveys 2.6 m Kokonaismassa 32 t
	Korkeus 4.2 m Pituus 12 m	Leveys 2.6 m Kokonaismassa 38 t

PUOLIPERÄVAUNUYHDISTELMÄT (REKKA-AUTOT)

	Korkeus 4.2 m Pituus 16.5 m	Leveys 2.6 m Kokonaismassa 42 t
	Korkeus 4.2 m Pituus 16.5 m	Leveys 2.6 m Kokonaismassa 45/46 t
	Korkeus 4.2 m Pituus 16.5 m	Leveys 2.6 m Kokonaismassa 48 t

Liitteet



KESKIAKSELIPERÄVAUNUYHDISTELMÄ



Korkeus 4.2 m Leveys 2.6 m
Pituus 18.75 m
Kokonaismassa 44 t

VARSINAINEN PERÄVAUNUYHDISTELMÄ

4 - akselinen



Korkeus 4.2 m Leveys 2.6 m
Pituus 22 m
Kokonaismassa 36 t

5 - akselinen



Korkeus 4.2 m Leveys 2.6 m
Pituus 22 m
Kokonaismassa 44 t

6 - akselinen



Korkeus 4.2 m Leveys 2.6 m
Pituus 22 m
Kokonaismassa 53 t

7 - akselinen



Korkeus 4.2 m Leveys 2.6 m
Pituus 22 m
Kokonaismassa 60 t

Liitteet



MODUULIT (RAKENTEELLINEN PITUUS YLI 22 M)

Moduuli on ajoneuvoyhdistelmä, jonka rakenteellinen pituus on yli 22 m.

Varsinainen perävaunuyhdistelmä



Korkeus 4.2 m Leveys 2.55/2.60 m
Pituus 25.25 m
Kokonaismassa 60 t

Kuorma-auto + dolly + puoliperävaunu



Korkeus 4.2 m Leveys 2.55/2.60 m
Pituus 25.25 m
Kokonaismassa 60 t

Puoliperävaunuyhdistelmä + keskiakseliperävaunu



Korkeus 4.2 m Leveys 2.55/2.60 m
Pituus 25.25 m
Kokonaismassa 60 t

Puoliperävaunuyhdistelmä + puoliperävaunu - B-trailer



Korkeus 4.2 m Leveys 2.55/2.60 m
Pituus 25.25 m
Kokonaismassa 60 t

Moduuliyhdistelmässä kuormakorien yhteenlaskettu pituus saa olla enintään 21.42 m.

Liitteet

Liite 2

North American Truck Trailer Output							
Rank	Company	2005 Output			2004 Output		
		Trailers	Chassis	Containers	Trailers	Chassis	Containers
1	Great Dane (estimate)	55,000			55,000		
2	Wabash National Corp	51,808		2,279	47,744	874	1,476
3	Utility Trailer Manufacturing	34,333			30,802		
4	Stoughton Trailers	17,005	2,240	2,850	14,850	2,200	1,000
5	Hyundai Translead	11,514	15,427	3,246	9,270	19,364	4,625
6	Fontaine Trailer Company	8,478			7,357		
7	Trailmobile Canada	8,246			7,943		
8	Manac	6,600			6,500		
9	Strick Corp & Cheetah Chassis Corp	6,025	7,950		6,208	8,550	
10	Transcraft Corporation	5,635			4,538		
11	Vanguard National	4,903			2,910		
12	Heil Trailer International	4,000			3,000		
13	Trail King Industries	3,510			3,191		
14	Lufkin Trailers	3,501			3,135		
15	Wilson Trailer Co (estimate)	3,500			3,500		
16	Road Systems	3,083			2,115		
17	Timpte Inc	2,746			2,336		
18	Kentucky Trailer	2,595			2,798		
19	Reitnouer Inc	2,577			1,685		
20	East Manufacturing Company	2,500			1,925		
21	MAC Trailer	2,162			1,582		
22	Pitts Trailers	1,902			1,794		
23	Polar Tank Trailer	1,782			1,575		
24	Beall Corporation	1,058			885		
25	Talbert Manufacturing	1,002			736		
26	Kidron	990			975		
27	Western Trailer	976			783		
28	Benson International	975			982		
29	Brenner Tank	900			800		
30	Travis Body and Trailer	843			582		
31	Clement Industries	825			650		
	TOTAL	250,974	25,617	8,375	228,151	30,988	7,101

Liitteet

Liite 3

Terve,

Teen diplomityötä TKK:lla Otaniemessä autolaboratoriossa ja aiheena on raskaan kaluston perävaunun omamassan muodostuminen. Tarkoitus on tehdä raportti erilaisista mahdollisuuksista, sekä materiaalin että rakenteen puitteissa, joita hyödyksi käyttämällä saadaan perävaunun omamassaa pudotettua merkittävästi. Tällä hetkellä pääpaino työssä on kuitenkin tämän hetkinen omamassan muodostuminen. Työn on tarkoitus olla valmis syksyllä 2007 ja vapaasti kaikkien saatavilla, sekä hyödynnettävissä. Työn tarkoituksesta löytyy tietoa osoitteesta <http://www.motiva.fi/fi/raskaskalusto/rastu/>. ”Ajoneuvotekninen kehitys -alatehtävässä tutkitaan lisäksi mm. rengasvalintojen ja kevytrakennetekniikan mahdollisuuksia polttoaineen kulutuksen pienentämiseksi.”

Ajankohtaiseksi aiheen tekevät Keski-Euroopan muuttuvat paino- ja mittasäännökset. Tarkoitus ei ole ottaa kantaa, mikä on oikea tai väärä tapa rakentaa perävaunuja, vaan tarkastella eri rakenteiden mahdollisuuksia. Kaikki vastaukset käsitellään ja dokumentoidaan työhön anonyymisti. Yksittäisen vastaajan vastauksen eri osia ei ole mahdollista yhdistää toisiinsa.

Työhöni tarvitsisin taustatiedoiksi seuraavia asioita, joista olisin kiitollinen.

- valmistettavat mallit ja niiden kantavuus
- valmistusmäärät vuodessa (jos mahdollista, karkea arvio)
- tuotteiden omamassat, sekä eri osien osuus siitä (akselit, jarrut, päällirakenne jne.)
- suunniteltu elinikä ja myyntihinta
- suunnittelun lähtökohdat (mihin kiinnitetään huomiota, esim. keveys/kestävyys jne.)
- henkilöstön määrä

Jos teillä on edellisten kysymysten lisäksi vielä näkökantoja, joita haluaisitte korostaa, olen kiinnostunut kuulemaan niistä.

Yst. Terv. Henri Ritola

Henri Ritola
Helsinki University of Technology
Laboratory of Automotive Engineering
Mail: P.O.Box 4300, FIN-02015 TKK
Street: Puumiehenkuja 5 A, Otaniemi, Espoo
Phone: +358-9-451 3257
Fax: +358-9-451 3469
E-mail: henri.ritola@tkk.fi

Ps. Koska työni on opinnäyte projekti, jonka tavoitteena on valmistua aikataulussa, pyytäisin vastauksia viimeistään huhtikuun alussa.

Liitteet

Liite 4

	Tyyppi 1	Tyyppi 2	Tyyppi 3	Tyyppi 4	Tyyppi 5
Bruttomassa kg	35000/39000	35000/39000	36000	36000	
Omamassa kg	n. 6460	n.6890	16000	12000	
Akseliväli mm	1310	1310			
Kok. pituus mm	13900	13900	13600	13600	13570
Kok. leveys mm	2550	2550			2550-2600
Korkeus mm	4000	4050			
Sisäpituus mm	13620	13620			
Sisäleveys mm	2480	2480			
Sisäkorkeus mm					
Renkaat	385/65R22.5	445/45R19.5	275/70R22.5, 385/65R22.5,425/55R19.5		385/65R22.5, 385/55R22.5, 445/55R19.5
Akselit kpl	3	3	2	3	3
ATP-luokitus			FNA, FRC	FNA, FRC	FNA
	Tyyppi 6	Tyyppi 7	Tyyppi 8	Tyyppi 9	Tyyppi 10
Bruttomassa kg	31000	34050	39000	35000	35000
Omamassa kg	n.7000	n.7050	6400	5500	7300
Akseliväli mm			1310	1310	1310/1410
Kok. pituus mm			13720	13720	15250
Kok. leveys mm	2550	2550	2550	2550	2550
Korkeus mm	4045	4045	4000	4000	4085
Sisäpituus mm	13620	13620	13620	13620	14920
Sisäleveys mm	2480	2480	2480	2480	2480
Sisäkorkeus mm	2820	2970	2750/2900	2600/2780	2860/3000
Renkaat	385/65R22.5	445/45R19.5	445/40R22.5	385/65R22.5	435/50R19.5, 445/45R19.5
Akselit kpl	3	3	3	3	3
ATP-luokitus					
	tyyppi 11	Tyyppi 12			
Bruttomassa kg	39000	36000			
Omamassa kg	7200	5350			
Akseliväli mm	1310	1310			
Kok. pituus mm					
Kok. leveys mm					
Korkeus mm					
Sisäpituus mm	13620	13620			
Sisäleveys mm	2480	2480			
Sisäkorkeus mm	2575	2600-2650			
Renkaat	385/65R22.5	385/65R22.5			
Akselit kpl	3	3			
ATP-luokitus					