

Ossi Ylönen

Raskaankaluston ajovastukset Scania R500 -sarja

Opinnäytetyö
Auto- ja kuljetustekniikka


Huhtikuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 20.4.2015				
Tekijä(t) Ossi Ylönen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto ja Kuljetustekniikka				
Nimeke Raskaan kaluston ajovastusvoimat					
Tiivistelmä Kirjallisuustyössäni tutkitaan kuorma-autoissa käytettävien kahden erilaisen päällirakenteen vaikutusta ajovastuksiin. Ajovastuksien tutkimuksia hyödyntämällä on mahdollista vähentää polttoaineen kulutusta ja parantaa ajoneuvon kannattavuutta. Tutkittavaksi valikoitui Scanian R500-sarjan raakapuunkuljetukseen käytettävä puuauto sekä metsä- ja energiahakkeen ajossa oleva vaihtokuormakoriauto. Työn alussa esittelen lyhyesti aerodynamiikan peruskäsitteitä sekä esittelen kohdekuorma-autojen päällirakenteet. Tutkimusosiossa mitaan ajoneuvon hidastuvuutta ja lopuksi ratkaisen ilmanvastuskertoimen ja vierinvastuskertoimen. Mittaukset suoritettiin Vbox-mittalaitteella ajamalla suoraa tieosuutta useasti molempiin suuntiin tavoite-nopeuteen kiihdyttäen ja vaihde vapaalla rullaten lähes pysähdyksiin. Vbox:in tallentamat mittaukset analysoitiin usean eri tietokoneohjelmien avulla helpommin hallittavaan muotoon. Mittauksen aikana kohdeauton ollessa täydessä puutavara kuormassa saaduista hidastuvuuksista sain laskettua ilmanvastuskertoimeksi $C_w = 1,202$ ja vierinvastuskertoimeksi $f = 0,0077$. Mittauksen onnistumisesta kertoo saatujen tuloksien osuminen eri lähteissä mainittuihin kirjallisuusarvojen vaihteluväleihin $C_w = 0,7-1,4$ ja $f = 0,006-0,01$. Lähde pohjana on käytetty opintomateriaalia, kuljetusalan julkaisuja sekä jo tehtyjä tutkimuksia aiheeseen liittyen.					
Asiasanat (avainsanat) kuorma-auto, aerodynamiikka,					
Sivumäärä 37	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Kieli</td> <td style="width: 33%;">URN</td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	Suomi	
Kieli	URN				
Suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä)					
Ohjaavan opettajan nimi Kari Ehnrooth	Opinnäytetyön toimeksiantaja				

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 20.4.2015
Author(s) Ossi Ylönen	Degree programme and option Automotive and transport engineering	
Name of the bachelor's thesis Driving hardnest of truck		
Abstract The purpose of this Bachelor`s thesis was to study the effect of two kinds of heavy truck bodyworks on the aerodynamic, epecially timber transport and woodchips and mass container vehicle of Scania R500-series. In the beginning of thesis I told basic of aerodynamics and showed the trucks that I researched. After that in investigation part I measured one truck`s acceleration and slowings near by zero. Of that measurements I solved air resistance coefficient and rolling resistance coefficient Measurements had been done by Vbox data logger when driving straight road to both directions achieving the targeted speed to 80km/h and then slowing down to near by zero without transmission attached. In measurements I can verify air resistance coefficient C_w to 1,202 and rolling resistance coefficient f to 0,0077. In origin texts air resistance coefficient C_w is 0,7-1,4 and rolling resistance coefficient f is 0,006-0,01 That way I think my bachelor`s thesis succeeded in the aim what it was designed for.		
Subject headings, (keywords) Heavy truck, aerodynamicks, heavy duty		
Pages 37	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Kari Ehnrooth	Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	3
2	KOHDEAJONEUVOT	4
2.1	Kohdeauto Scania R560 gia.....	4
2.2	Kohdejoneuvo Scania R500 xog.....	5
3	AERODYNAMIIKAN KÄSITTEITÄ	5
3.1	Hitausvoima F_a	5
3.2	Rullausvastus F_r	6
3.3	Vierinvastuskerroin.....	6
3.4	Kitkavoima F_μ , kitkakerroin μ	7
3.5	Otsapinta-ala A	7
3.6	Ilmanvastuskerroin c_w	7
3.7	Ilmantiheys ρ	8
3.8	Ilmanvastus F_i	8
3.9	Tuulipinta-ala m^2_t	8
3.10	Nousuvastus F_n	9
4	KOKONAIS AJOVASTUKSET	9
5	PÄÄLLIRAKENTEET	10
5.1	Yleiset mitat ja massat	11
5.2	Puuauton päällirakenne.....	11
5.3	Pankojen teknillisiä ratkaisuja	12
5.4	Vaihtolava-auton päällirakenne	14
5.5	Päällirakenteen vaikutus	15
6	AJOVASTUKSIIN VAIKUTTAVAT ASIAT	16
6.1	Ajoneuvotyyppi	16
6.2	Ilmanohjaimet	16
6.3	Renkaat	17
6.4	Vallitseva sääolosuhde.....	20
6.5	Vallitseva ajonopeus	20
6.6	Ajoympäristö	21

7	MITTAUKSET	22
7.1	Mittalaite VBOX 2-racelogig	22
7.2	Mittauksien esivalmistelut	23
7.3	Mittaustapahtuma	24
8	TUTKIMUSTULOKSIEN TULKINTA	25
8.1	Ongelmakohdat	25
8.2	Mittauksista johdetut lukuarvot	26
8.3	Lukuarvojen vaikutus ajovastuksiin	28
9	REDUSOITU MASSA	29
9.1	Teoria	29
9.2	Redusoidun massan havainnointi kohdeautoista	30
10	VIRHEIDEN ARVIOINTI	32
11	LOPPUPÄÄTELMÄT	33
	LÄHTEET	

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on tutkia raskaankaluston ilmanvastukseen vaikuttavia tekijöitä kahden eri päällirakenteisen kuorma-auton avulla. Tutkimuksellisessa osiossa pyritään ratkaisemaan kuorma-autojen vierinvastus- ja ilmanvastuskerroin rullauskokeiden avulla.

Kuorma-autojen aerodynamiikka on hankalaa mallintaa johtuen suurista mitoista ja massoista, Suomessa, teknillisellä korkeakoululla (TKK) on tosin alustadynamometri, jolla voidaan mallintaa ja simuloida ajoneuvojen kokonaisajovastuksia. Tässä työssä tutkimus- ja mittausmahdollisuuksia ei ollut laitoksen laboratorioon.

Työssäni esitellään ilmanvastukseen vaikuttavat asiat teoreettisella tasolla sekä fysikaalisina ilmiöinä. Pyrin eri lähteiden avulla selventämään, kuinka kahdenlaiset päällirakenneratkaisut vaikuttavat ilmanvastukseen. Suoritetuilla hidastuvuusmittauksilla pyrin tuomaan todellista ajotilannetta kuvaavamman vierinvastuksen- ja ilmanvastuskertoimen kuin useammat kirjallisuuslähteet ilmoittavat.

Syy, miksi valitsin tämän aiheen, on aerodynamiikan kurssilla tehty ajotilapiirros Scania R500 -sarjan kuorma-autosta. Ajotilapiirroksessa mallinnetaan mäen nousukykyä ja jokaisen vaihteen suurinta mahdollista ajonopeutta. Eri lähteissä annetut kirjallisuusarvot poikkesivat toisistaan suuresti, ja saatujen tulosten oikeellisuus kyseenalaistui joidenkin arvojen muututtua osaltaan järjettömiksi.

2 KOHDEAJONEUVOT

Raskaalla kalustolla suoritettavassa kuljetusliikenteessä pyritään saamaan mahdollisimman kattava taloudellinen hyöty. Toisaalta ajoneuvojen tutkiminen yleisesti on haasteellista monien eri käyttötarkoituksiin asennettujen päällirakenteiden sekä lyhyiden seisottamisaikojen takia.

Kuorma-autot ovat tarkoitettu kuljettamaan suuria kuormia. Mitä enemmän pystyy kuljettamaan hyötykuormaa, eli sitä kuormaa joka on ajoneuvon kokonaispainosta vähennettyä ajoneuvon oma massa. Mutta hyvä hyötykuorman kantokyky ei ole tae kannattavaan yritystoimintaan, on myös otettava monia muitakin asioita huomioon. Hyvä on pohtia myös kuljetustarvetta, sillä väärin suunniteltu ja mitoitettu kuljetuskapasiteetti on valtava kuluerä.

2.1 Kohdeauto Scania R560

Työhön valikoitui raakapuun kuljetukseen erikoistuneen E. Ylönen Ky:n puutavara-auto Scanian R560, 6x4. Ajoneuvo on vuosimalliltaan 2008 ja mittaushetkellä hyötyajoneuvoliikenteessä. Ajoneuvo on päällirakenteeltaan puutavaravarusteinen. Hytti on varustettu tehtaan alkuperäisillä ilmanohjaimilla, mutta erillisiä tarvikeilmanohjaimia ei ole asennettu. Lisävaloja on kaksi paria keulamaskiin asennettuna.



KUVA 1. Kohdeajoneuvo lastattuna kesäolosuhteissa

2.2 Kohdejoneuvo Scania R500

Toinen työssä tutkittava auto on myös E. Ylönen Ky:n omistuksessa oleva Scanian R500, 6x4. Ajoneuvo on vuosimalliltaan 2004 ja mittaushetkellä hyötyliikenteessä karkean metsätaloushakkeen ajossa. Ajoneuvo on päällirakenteeltaan vaihtolavakontti varustein. Koukkulaite on TAM-merkinen. Lisävaloja on asennettu keulamaskiin kaksi paria. Hytti on varustettu jälleenmyyjän toimesta lisäilmaohjaimin.



KUVA 2. Kohdejoneuvo vaihtolava-auto talviolosuhteissa

3 AERODYNAMIIKAN KÄSITTEITÄ

3.1 Hitausvoima F_a

Jokaisella voimalla on vastavoima /5, s.31/. Näin ollen myös ajoneuvoa eteenpäin vievää voimaa vastustaa samansuuruinen voima. Yleisesti voidaan sanoa tämän voiman olevan ajoneuvon liikettä hidastavaa hitausvoima F_a /6, dia 9/.

3.2 Rullausvastus F_r

Rullausvastus tai renkaan vierintävastus F_r on renkaan muodonmuutoksesta ilmenevä voima. Mikäli alusta, jossa rengas vierisi, vastaisi täydellisesti renkaan ominaisuuksia, kuten jäykkä rengas ja jäykkä tie, olisi rullausvastus olematon johtuen muodonmuutoksien puutteesta. Samalla tapaa oikein kimmoisa rengas pomppulinnassa jättäisi vierinvastuksen pieneksi molempien osapuolten tasaisen jouston takia. Vain teoreettisesti tällainen on mahdollista, sillä kumista valmistetussa rakenteessa on sisäistä kitkaa ja näin ollen vain osa joustosta voidaan välittää takaisin tiehen lopun energian lämmittäessä rengasta aiheuttaen rullausvastuksen. /3, s.17./

$$F_r = f \times G = f \times m \times g \quad (1)$$

Kaava 1 on rullausvastuksen likimääräinen laskentakaava. Suureet: f vierinvastuskerroin, G painovoima (N) ja g putoamiskiiktyvyys (m/s^2) /8 s. 378/.

3.3 Vierinvastuskerroin

Vierinvastuskerroin on tienpinnasta ja ajoneuvon pyöristä, telaketjuista tai jalaksista riippuva suureeton lukuarvo. Pyörän pieni säde ja suuri muodonmuutos pyörässä kasvattavat vierinvastusta. Samalla tapaa kuorman ja nopeuden kasvu suurentavat vierinvastusta. Alhainen rengaspaine lisää vierinvastusta renkaan suuren muodonmuutoksensa takia. /8, s.378-379; 19, s 37-38./

TAULUKKO 1. Vierinvastuskerrointaulukko

Käyttötilanne	f	Käyttötilanne	f
Auton rengas		Teräsvanne	
asfaltti	0,01...0,02	asfaltti	0,02...0,03
maapohja	0,05	kivetys	0,3
nupulakiveys	0,02	maa	0,05...0,1
pelto	0,1...0,35	Traktorin rengas	
sepeli, jyrätty	0,02	maapohja	0,15...0,25
Rautatie			
kiskoilla	0,001...0,003		

Taulukossa 1 voidaan huomata, kuinka erityyppinen ajopinta vaikuttaa vierinvastuskerroimen suuruuteen. Kuorma-auton vierinvastuskerroin betonilla ja asfaltilla on 0,006..0,01 /8, s.378/.

3.4 Kitkavoima F_{μ} , kitkakerroin μ

Kaikkien kappaleiden välillä on toisissaan kiinni pitävää voimaa, kitkaa. Vallitsevan kitkan määrä vaihtelee, ja kyseistä suuretta kutsutaan kitkavoimaksi F_{μ} . Kitkavoima koostuu aineiden välillä olevista ”tarrausvoimista”, jotka kerrotaan kitkakertoimen arvolla. Kitkakerroin, μ kuvastaa kahden eri materiaalin välistä kerroinarvoa. Kerroinarvo vaihtelee eri materiaalien ja pintojen välillä. /3, s.23;7, dia 4./

3.5 Otsapinta-ala A

Auton otsapinta-ala tarkoittaa suoraan edestäpäin näkyvää osa-aluetta, johon virtaava ajoilma kohdistuu. Auton otsapinta-alan yksikkö on neliömetri, m^2 . Auton otsapinta-alaan kuuluvat myös renkaat. Otsapinta-ala on se ala joka työntää ilmamassaa ohitse ajotilanteessa. Kuorma-autoissa on näkyvyyden takia massiivinen ja lähes pystysuora tuulilasi, tarpeellisuudestaan huolimatta se kasvattaa otsapinta-alaa /3, s. 27; 8, s. 378./

3.6 Ilmanvastuskerroin c_w

Ilmanvastuskerroin voidaan määrittää ajoneuvon rullauskokeella; käyttämällä kahta eri nopeutta vaihteiston ollessa vapaana ja mielellään tasaisella alustalla taikka ajoneuvovalmistajan toimesta tehdään tuulitunneleissa /3.s.17/. Ilmanvastuskertoimeen vaikuttavat kaikki ajoneuvon ulkopinnalla olevat kulmat ja pyöristykset. Yleisesti ottaen tavallisilla henkilöautoilla päästään arvoihin 0,4-0,7. Kuorma-autoilla ison koon, erilaisten päällirakenteiden ja moninaisten ilmanohjainten yhteisvaikutus mahdollistaa c_w -arvon 0,8-2,6. /8. s.380-381./

3.7 Ilmantiheys ρ

Ilmantiheys ρ on määritetty NTP-olosuhteissa, jossa vallitsevana lämpötilan pidetään 0 °C:tta ja 1013 hPa:n painelukemaa, kyseisten olosuhteiden täyttyessä ilmantiheys on 1.22 kg/m³. Lähdetiedosta riippuen tiheyden arvoiksi on annettu myös 1.202-1,291 kg/m³. /5. s. 32; 8, s. 379./

3.8 Ilmanvastus F_i

Ajoneuvon ilmanvastus koostuu ilmanvastuskertoimesta, vallitsevasta ilmantiheydestä ja vallitsevasta nopeudesta ja otsapinta-alasta /3, s. 27; 8.s. 378/. Ilmanvastuksen lukuarvo on suoraan verrannollinen ajonopeuden kasvuun, tämä johtuu ilmanvastuksen laskennallisesta kaavasta.

$$0,5 * c_w * \rho * A * v^2 \quad (2)$$

Kaavassa (2) c_w on ilmanvastuskerroin, ρ on ilmantiheys (yleisesti annettu lukuarvo 1.22 kg/m³), A on auton otsapinta-ala (m²) ja v on vallitseva nopeus (m/s). Ilmanvastuksen yksikkö on newton (N)

3.9 Tuulipinta-ala m^2_t

Tuulipinta-alalla tarkoitetaan ajoneuvon ulkopinta-alaa. Tuulipinta-alana voidaan pitää sitä aluetta, johon tuuli puhaltaa. Tuulipinta-ala täytyy erityisesti ottaa huomioon kovassa tuulessa ajoneuvon mahdollisen kaatumisvaaran takia. Sivutuulesta johtuvia vaikutuksia voidaan pienentää oikeaoppisella muotoilulla, esimerkiksi pyöristämällä kulmia kuten ajoneuvon katon reunoja. Umpinaisen kuormatilan omaavan ajoneuvoyhdistelmän esimerkiksi vaihtolava-auto, sivupinta-ala ylittää sataan neliömetriin. Näin suurella pinta-alalla on jo vaikutuksia ajovakauteen. /10, s.14-16; 13, s. 50./

3.10 Nousuvastus F_n

Nousuvastuksella tarkoitetaan mäen nousussa aiheutuvaa vastusta. Nousuvastuksen suuruus riippuu mäen nousukulmasta. Ajoneuvossa vain kokonaismassa vaikuttaa ajoneuvoon, joten nousuvastus sama riippumatta ajoneuvotyypistä. /3, s. 23./

$$F_n = G \times \sin \alpha = m \times g \times \sin \alpha \quad (3)$$

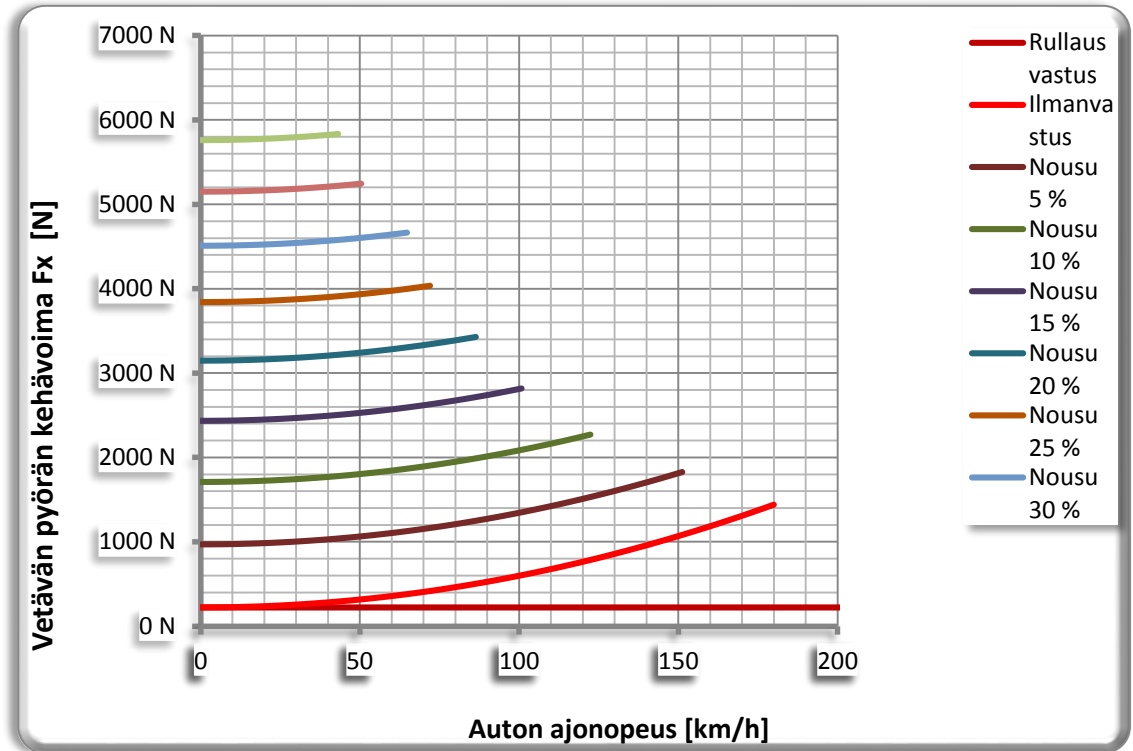
Kaavassa 3 G on painovoima, α mäen nousukulma ($^\circ$) m ajoneuvon massa (kg) ja g putoamiskiihtyvyys (m/s^2) /8, s. 381/

4 KOKONAISAJOVASTUKSET

Ajoneuvon kokonaisajovastukset saadaan, kun lasketaan yhteen ilmanvastus ja vierinvastus sekä nousuvastus. Ajaessa tasaisella alustalla voidaan nousuvastus jättää huomioidatta mäen puuttumisen takia ($\alpha=0^\circ$)

$$F_w = F_r + F_i + F_n \quad (4)$$

Kaavan 4 vastuksille jokaisella on oma laskentakaava. F_r on rullausvastus (N) (kaava 1), F_i on ilmanvastus (N) (kaava 2) ja F_n on nousuvastus (N) (kaava 3) /3, s.27 ;8, s. 378; 9/



KUVIO 1. Mallikuvaus henkilöauton ajovastuksista

Kuvio 1 selventää suuruusluokkaa ajovastuksista. Kuvion pohjana on käytetty tavallista henkilöautoa. Rullausvastus kestää muuttumattomana ajoneuvon nopeudesta riippumatta. Sen sijaan ilmanvastus oletetusti kohoaa (kaava 2) nopeuden neliön mukaisesti. Mäennousuprosentit kertovat, kuinka paljon vaaditaan ajoneuvolta, jotta mäen ylitys onnistuisi helposti tai ylipäätään.

5 PÄÄLLIRAKENTEET

Kuorma-autot on tarkoitettu hyötykuorman ajoon. Hyötykuorma lasketaan vähentämällä ajoneuvon kokonaismassasta sen omamassa. Päällirakenteella tarkoitetaan niitä varusteita tai laitteita, jotka mahdollistavat ajoneuvon tarkoituksen mukaisen käytön /11 s.3; 12 s. 4/. Kaikkia kuljetustarpeita ei voida kuitenkaan suorittaa samalla päällirakenteella, kuten esimerkiksi nesteet ja pylväät. Päällirakentamisen varsinaisiin asennus- ja käyttömääräyksiin sekä teknillisiin hienouksiin en tässä työssä pyri puuttumaan, vaan esittelen tutkimusajoneuvoissa käytetyt päällirakennetkaisu ja näiden vaikutukset ilmanvastukseen.

5.1 Yleiset mitat ja massat

Täyspitkän puunkuljetuskuorma-auton ja vaihtokuormakorisen kuorma-auton mitoituksi on nykyainsäädännön mukaan sallittu korkeudeksi 4.2 m leveydeksi 2.55 m sekä pituudeksi 22 m omamassan ollessa 76 tonnia. Ennen massa- ja mittamuutoksia elokuussa 2013 mitat olivat seuraavat: korkeutta 4.2 m, leveyttä 2.6 m sekä pituutta 22 m, omamassa 60 tonnia. /14, s. 884-892; 15./

5.2 Puuauton päällirakenne

Puuauton päällirakenne koostuu tyypillisesti auton omasta rungosta, apurungosta, nosturista, nosturin asennustelineestä, turvaseinästä eli sermistä, tarpeellisesta määrästä pankoja, minimissään 2 kpl ja kiinteistä kuormasidontavälineistä esimerkiksi ketjut tai sidontaliinat. Apurunkoa käytetään lähes aina päällirakenteessa johtuen pankkojen ja puun lastausnosturin aiheuttamasta pistekuormituksesta varsinaiseen runkoon /11, s. 22./ Kuvassa 3 puutavara-auton helposti havaittavat päällirakenteen osat keulasta edetynä: sermi; ristikko osa hytin jälkeen, pankoja 4 kpl; alumiiniset mustalla rungolla, nosturi; punainen hytitön Kessla,



KUVA 3. Tyypillinen puuauto

Ammattitermistössä puutavarapankolla tarkoitetaan vaakasuuntaista osaa, joka kiinnittyy apurunkoon ns. runko-osa (kuvassa 4. musta, ruostunut osa), ja tolppalla tarkoitetaan pystyosaa, (kuvassa 4. alumiini osa jossa punainen teippi) joka kiinnittyy runko-osaan. Selvyyden vuoksi työssäni pankko tarkoittaa koko kokonaisuutta eli tolppaa ja runko-osa. En myöskään ota kantaa laukaistavien- tai jalkalavapankkojen toimintaan tai käyttöön liittyen. Kyseiset pankot ovat aivan oma alansa raakapuunkuljetuksessa.



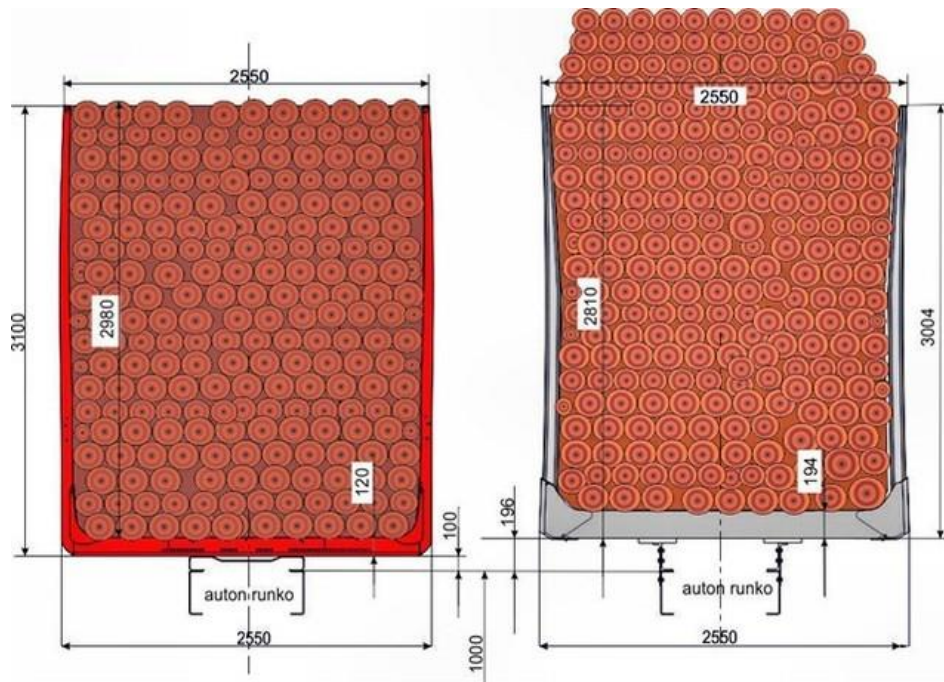
KUVA 4. Tolpan ja rungon havainnekuva

5.3 Pankojen teknillisiä ratkaisuja

Suurin osa uuden auton ostoon vaikuttavista asioista tehdään lähes aina tunnepohjaisena ratkaisuna, joten on ymmärrettävää, että tiellä liikkuu erilaisia autoja. Maksimikorkeusmitta 4.2 m mahdollistaa eripituiset pankkokorkeudet johtuen auton eri alustan ja apurunkomallien suurista korkeuseroista. Pankkojen korkeusvaihtelu on matalimman ja korkeimman erona 30 cm. Autoissa korkeus vaihtelee 2.8 - 3.1 m, perävaunuissa 2.85 m - 3.15 m välillä. Lähes kaikissa ajoneuvoissa käytetään metsäteollisuuden suosittamaa 120 mm purkukorkeutta pankoissa. /17./

Lain sallimissa mitoissa on valmistajien pysyttävä, mutta muutoin muotoilu on vapaampaa. Toisaalta näyttävällä muotoilulla voidaan saada suurta harmia käyttömukavuudessa ja huoltotoimenpiteissä. Ruukin valmistamien XXL-terminator -pankojen valmistaja perustelee omaa tynnyrimaista muotoiluaan perinteistä pystymallia paremmaksi. Kuvassa 5 on XXL-terminator -pankojen erikoisen muotoilun takia laillinen kuorma

verrattuna perinteiseen pystymallin pankoon, joka on jo lastattu ylikuormaksi samalla puumäärällä.



KUVA 5 Havainnekuva eri pankovalmistajien käyttämästä muotoilusta

Tolpan ulkomuotoa voidaan myös muuttaa, jos pysytään lain vaatimissa/sallimissa mittoissa. Pankon ulkomuoto on tavallisemmin ollut kantikas ja ylöspäin kaventuva. Markkinoilla on nähty useitakin erilaisia muotoja, ulkomailla jopa lieriöitä. Suomessa lieriötolppia käytettiin metsäteollisuuden koneellistumisen alkuaikoina.

Lieriömäinen tolppa sallii puiden liikkumisen pitkittäissuunnassa pyöreän muodon tuoman heikon sivupidon takia. Nykyisin käytettävissä tolpissa käytetään viisteitä ja pinnan karheutta estämään kuljetuspuiden liikkuminen ajonaikana sermiä tai nosturia kohden.

XXL-terminator -tolppa on viisikulmainen, eli sisäpuolelta tasainen mutta ulkopuolella ura. Valmistaja ilmoittaa jopa 30 % polttoaineen säästön tämän viidennen kulman takia. Tutkimusajoneuvossani on Alucarin valmistamat alumiinipankot, joten mikäli minulla olisi ollut mahdollisuus mittauttaa myös XXL-varusteinen puutavara-auto, olisin voinut todentaa myyjän väittämän paikkansapitävyyden.

Kuvassa 6 voidaan havaita, miten XXL-terminator -tolpan muotoilu eroaa tavanomaisempaan alumiinipankoon verrattuna. Vaikka XXL-terminator -panko on valmistajan ja myyjän toimesta useaan kertaan kehitetty, siinä on myös heikkouksia. Tolppa ja runko-osa ovat hitsattu yhteen valmistusvaiheessa, joten mahdollista pelkkää tolpan vaihtoa ei voi suorittaa. Tolpan vaihto tulee ajankohtaiseksi ajoneuvon kaatuessa tehtaalla purkukouran huolimattomalla käytöllä tai esteeseen osumisen seurauksena.



KUVA 6. Tolpan muodon ja rakenteen vertailua

5.4 Vaihtolava-auton päällirakenne

Konttiauton päällirakennearratkaisu riippuu kontin siirreltävyydestä, eli onko kuormakontti irrotettavissa vai kiinteästi asennettuna apurunkoon. Irrotettava kontti on hakekuljetuksissa osassa kuljetuksissa jopa ainut ratkaisu, useimmiten järkevämpi kuin kiinteästi asennettu. Kontti sijoitetaan lähes aina apurungon päälle poikkeuksena tietyt korkearunkoiset kuorma-autot /11. s.16-18 ;12, s.4./

Vaihtolavakonttia voidaan siirtää vaijerivetoisesti, ketjuvetolaitteella tai koukkulaitteella sekä jalkalavana. Vaihtolaite mahdollistaa päällirakenteen muuttumisen, tämä tarkoittaa kontin siirtoa tyhjänä tai lastilla kuormattuna sekä ns. alusta-ajoa. Alusta-ajossa ei ole vaihtolavaa kyydissä vain pelkkä kiinteästi asennettu siirtolaite. Siirtolaite asennetaan tikapuumaisen apurungon sisään tai joissakin tapauksissa apurungon päälle.

Asennustapa määräytyy kuljetustarpeen ja asiakkaiden toiveiden mukaan. Asennuksen saa suorittaa vain ammattitaitoinen henkilö ja kaikkien asennettavien laitteiden ja varusteiden on täytettävä CE-vaatimukset sekä ajoneuvon valmistajan ohjeet. /11. s. 29-32./



KUVA 7. Vaihtolava-ajoneuvon koukku alas ajettuna

Kuvassa 7 vetolaitteen koukku on ajettu alas kontin kyytiin ottoa tai laskua varten. Nou-sevalla telillä (kuvassa ylös nostettu) voidaan säätää koukun tartuntakorkeutta kontin salpaan nähden helpommin kuin koukkulaitteessa itsessään olevalla säädöllä. Tosin on makuasia, jonka jokainen ammattitaitoinen kuljettaja päättää itse, käyttääkö telinsäätöä vai koukkulaitteen säätöä työskentelymenetelmänä.

5.5 Päällirakenteen vaikutus

Puutavara-autoissa kuormansidonnessa elintärkeät pankot tuovat auton otsapinta-alaan noin 6 - 18m²:n lisäystä. Tyhjänä puutavara-auton ilmanvastuskerroin C_w on 1,6:sta aina 2,1:een asti. Sen sijaan kuormatun puuauton C_w arvo laskee suuruusluokkaan 1.2 -1.3. Energiatohkaimmalla kuorma-auton päällirakenteen ratkaisulla voidaan saada C_w -arvoksi 0.8. /2./

Suuri ilmanvastuskertoimen kasvu tyhjällä puuautolla ajaessa aiheutuu pankojen sijoituksessa johtuvista pyörrevirtauksista, jotka edesauttavat ilmanvastuskertoimen kasvua. /1, s. 8/. Puuauton pelkistetty otsapinta-ala on 9.4 m^2 , konttiauton otsapinta-ala on noin 9.3 m^2 ja c_w 0.9 /2/.

6 AJOVASTUKSIIN VAIKUTTAVAT ASIAT

6.1 Ajoneuvotyyppi

Aerodynamiikan kannalta katsellessa on täysperävaunuyhdistelmässä kaksi epäjatkuvuuskohtaa, nämä ovat vetoautossa hytin ja kuormatilan välissä sekä vetoauton kuormatilan ja perävaunun välissä /4, s 19/. Näin ollen saman kokonaismassan omaavat autot vievät eri määrän polttoainetta riippuen, onko kyseessä puoliperävaunuyhdistelmä vai täysperävaunuyhdistelmä. Osaa kuljetuksista ei voida suorittaa pelkästään polttoainetta säästävillä puoliperävaunuyhdistelmillä johtuen alan erikoispiirteistä, mm. raaka-puun kuljetusta kapealta metsäautotieltä.

6.2 Ilmanohjaimet

Ilmanohjaimet eli spoilerit edesauttavat ohikulkevan ilmavirran tasaista ohitusta. Näin ollen pyörteilyä ei pääse syntymään. Kuorma-auton katolle oikein sijoitetulla tuulenohjaimella voidaan saada yli 5 %:n säästö polttoaineen kulutuksessa /4, s.65/. VTT:n mittauksilla on todettu moduuliyhdistelmän erilaisten aerodynamiikka-pakettien pudottavan perusauton vastuskerrointa c_w 0.97 jopa 40 %, näin ollen c_w arvo jäisi arvoon 0.58. Voidaankin väittää pienellä ja oikein muovatulla muovilla olevan merkittävä tekijä ilmanvastuksessa ja näin ollen polttoaineenhyötykäytöstä. /10, s.14 - 17./

Aerodynamiikan kannalta katsellessa on täysperävaunuyhdistelmässä kaksi epäjatkuvuuskohtaa; nämä ovat vetoautossa hytin ja kuormatilan välissä sekä vetoauton kuormatilan ja perävaunun välissä /4, s 19/. Näin ollen saman kokonaismassan omaavat autot vievät eri määrän polttoainetta riippuen, onko kyseessä puoliperävaunuyhdistelmä vai täysperävaunuyhdistelmä.

Ilmanohjainten hinnat ovat useissa sadoissa euroissa jopa tuhansissa riippuen materiaalista ja värisävystä. Näin ollen spoilerit mielletään usein lisävarusteeksi ja vain ulkonäkötekijöiksi unohtaen todellinen tuulitunnelikokeissa todettu aerodynaaminen merkitys. Jos useimmat kuljetusyrietykset ostaisivat spoilereita, saataisiin niiden hinta edullisemmaksi markkinatalouden kysynnän ja tarjonnan lain mukaan.

6.3 Renkaat

Tyypillisesti kuorma-autoissa on vetämättömät etupyörät vetävät vetopyörät ja telipyörät. Metsäteollisuuden ajotehtävissä suositaan vetävää teliakselistoa, joka parantaa ajopito-ominaisuuksia huonoilla teillä sekä mahdollistaa suurempi hyötykuormien ajon.

Renkaan vaikutus vierinvastukseen on merkittävä. Renkaan pintamalli vaikuttaa, sillä sileämpi rengas vierii herkemmin kuin karkea tien pintaan nähden. Sileä ja loppuun kulunut rengas on vaarallinen heikomman pidon takia. /4,s.41./

Alipaineinen rengas kuluttaa auton rakenteita ja samalla lisää vierinvastusta. Ylipaineinen rengas sen sijaan on vierinvastukseltaan pienempi, mutta rasiukset pyöräntuentaan ja laakerointiin kertaantuvat ja räjähdysvaara on ilmeinen. Myös luvattu kilometritulos pienenee ja samalla käyttöikä lyhenee väärin paineistetulla renkaalla. Näin ollen oikea painelukema ja säännöllinen ilmanpaineen seuranta mahdollistavat parhaan tuloksen vierinvastukseen /4, s.41./ Raskaalla kalustolla vierinvastuksen osuus suoralla tieosuudella on yksi suurimmista ajovastuksista johtuen mittavasta massasta /3, s.23/.

Raakapuun kuljetussuoritteissa on energiatehokkaimman renkaan valinta usein vaikeaa, jopa mahdotonta, johtuen vaihtelevasta tiestöstä, kuiva asfaltti vs. märkä soratie. Siksi pintamalleissa suositaan karkeampaa ja pitävämpää kuin helposti rullaavaa. Helposti rullaavassa renkaassa renkaan kuviointi on suoraviivaista tai loivaa palapintaa.

Karkean renkaan pintamalli on voimakkaasti kuvioitu v-uralla tai kulmikkailla palapinnalla. Myös pyörimissuunta on usein määrätty suuremman vetokitkan omaavissa renkaissa. Käytössä on myös ”kahden kauden renkaita”. Kyseiset renkaat asennetaan syksyllä, ja talvipinta toimii talven ajoissa, mutta keväällä teiden sulaessa ja renkaan kuluessa enemmän se muuttuu kesäpinnaksi ja pintamallista tulee vähemmän pitävämpi.

Kyseessä ei ole henkilöautoissa käytettävä vaarallinen säästökikkailu, missä nastarenkaista nypitään nastat ja ajetaan kesärenkaana.

Kuvissa 8-10 on esitelty yleisimmät vetävien pyörien pintamallit, joita käytetään energiapuunajossa sekä huonokuntoisemmilla tieosuuksilla raskaan liikenteen osalta. Kuvassa 10, W990-pintamalli on jälkinastoitettu, jotta heikomman tiehuollon omaavilla tiellä matka ei lopu kesken. Kuvassa 11 on yleisemmin vapaasti pyöriville akseleille sijoitettavan renkaan pintamalli. Pääteillä tapahtuvissa runkokuljetuksissa käytetään BZA-pintamallia (kuva 11) myös vetävillä akseleilla. /18./



KUVA 8. BDR-W+ -pintamalli



KUVA 9. Perinteinen palapinta GT33



KUVA 10. W990-pintamalli nastoitettuna



KUVA 11. BZA-pintamalli

6.4 Vallitseva sääolosuhde

Tuulitunneli- ja laboratorio-olosuhteissa voidaan mallintaa tuulen suuntaa, voimakkuutta, kulmaa ja jopa lämpötilaa /3 s. 265/. Oikeassa liikenneympäristössä ei ole järkevää valita ajosuoritteita sään mukaan, joten toisinaan jo pelkät tuuliolosuhteet vaikuttavat ajoneuvoon hyvinkin radikaalisti. Myös lämpötila vaikuttaa ilmantiheyteen, joka näin ollen fyysisenä ilmiönä muuttaa NTP-olosuhteessa määriteltyä lukuarvoa. /5, s 32; 8, s. 379./

6.5 Vallitseva ajonopeus

Ilmanvastus on suoraan verrannollinen ajonopeuden neliöön (kaava 2). Nopeuden kasvaessa ilmanvastus suurenee, minkä seurauksena ajovastuksetkin kasvavat. On paljon ”pehmeämpää” ajaa 40 km/h kuin 90 km/h. /8, s.378-382; 3, s. 22-23./ Vallitsevan ajonopeuden sovittaa viime kädessä ammattitaitoinen kuljettaja itse.

6.6 Ajoympäristö

Erilaisella ajoympäristöllä on varsin suuri merkitys, sillä erilaiset tienpinnat mahdollistavat erityyppiset kitkakertoimet. Erityyppiset kitkakertoimet mahdollistavat erilaisen rullausvastuksen /3, s. 18/. Koska tien kunto on kaikille sama, voi kuljettaja itse vaikuttaa vallitsevaan ajoympäristöön hyvin vähän. Harva toimittaja hyväksyy keruusuoritteiden hylkäyksen huonon ympäristön takia. Poikkeustapauksena voidaan pitää keväällä oleva kelirikkoaika sekä ympäri vuoden painorajoitettut tiet.

Todella liukkailla teillä varsinkin ylämäissä käytetään vetävissä pyörissä pitoa parantavaa ajoketjua pyörään kiinnitettynä (kuva 12). Ketjuja ei suositella käytettäväksi yli 50 km/h vauhdissa. Tutkimukseen ei ollut järkevää ottaa ketjujen merkitystä mukaan niiden poikkeustilanteissa käytettävyyden vuoksi. Oletetusti suuremman kitkapidon takia vierinvastuskerroin olisi voinut ollut varsin suuri johtuen suuresta rullausvastuksesta.



KUVA 12. Ketjut asennettuna heikon pidon vuoksi

7 MITTAUKSET

Ajoneuvon vierinvastus- ja ilmanvastuskerroin voidaan mitata rullauskokeella saaden oikeita ja paikkaansa pitäviä arvoja /8, s. 379/. Tutkimus suoritettiin mittaamalla kiihtyvyyttä ja hidastuvuutta. Mittaus suoritettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun lainaamalla ja oikein hyvin huolletulla VBOX 2 racelogig -mittalaitteella. Tutkimuspaikaksi valikoitui Vanhamäentiellä 78 oleva 2,1 kilometriä pituudeltaan oleva ns. Muinolan suora. Suoralla ei ole mainittavaa kallistusta ja korkeuseroja, joten tämän tyyppiseen tutkimukseen se oli kelpaava.

Useamman mittauskerran jälkeen huomasi, ettei kyseinen paikka ole optimaalinen joutuen heikoista satelliittiyhteyksistä. Näin ollen siirsin mittaukset Pieksämäentiellä 72 olevalle lentokoneiden varalaskupaikalle, ns. Hiirolan suoralle, jolla on pituutta 2,8 km. Suoralla on aiemminkin tehty hidastuvuusmittauksia, joten satelliitteja löytyi huomattavasti enemmän kuin Vanhassamäessä.

7.1 Mittalaite VBOX 2-racelogig

VBOX 2 -mittalaite, tarkemmin määriteltynä VBOX II 20Hz GPS Data logger, mahdollistaa kiihtyvyyden, nopeuden, kuljetun matkan, jarrutusmatkan, kierrosaikojen sekä ajoneuvoon kohdistuvien g-voimien mittauksen. Laitteessa itsessään on sisäinen muisti, mutta suositeltavaa olisi käyttää ulkoista muistikorttia. Laitteen sisällä on kiihtyvyyssanturit, jotka mittaavat pitkittäistä sekä sivuttaista kiihtyvyyttä. Satelliittien avulla saadaan kuljetun matkan ja karttasijainnin tiedot. /20./

GPS			
Velocity		Distance	
Accuracy	0.1 Km/h (averaged over 4 samples)	Accuracy	0.05% (<50cm per Km)
Units	Km/h or Mph	Units	Metres / Feet
Update rate	20 Hz	Update rate	20Hz
Maximum velocity	1000 Mph	Resolution	1cm
Minimum velocity	0.1 Km/h	Height accuracy	6 Metres 95% CEP**
Resolution	0.01 Km/h	Height accuracy with DGPS	2 Metres 95% CEP**
Absolute Positioning		Time	
Accuracy	3m 95% CEP**	Resolution	0.01 s
Accuracy with DGPS	1.8m 95% CEP**	Accuracy	0.01 s
Update rate	20 Hz		
Resolution	1 cm		
Heading		Power	
Resolution	0.01°	Input Voltage range	6v-18v DC
Accuracy	0.1°	Current	Typically 560mA
Acceleration		Environmental and physical	
Accuracy	0.5%	Weight	Approx500 grammes
Maximum	20 G	Size	119mm x 128mm x 30mm
Resolution	0.01 G	Operating temperature	-30°C to +60°C
Update rate	20Hz	Storage temperature	-40°C to +80°C
Memory		Definitions	
Compact Flash	Type I	** CEP = Circle of Error Probable	
Recording time	Dependent on flash card capacity*	95% CEP (Circle Error Probable) means 95% of the time the position readings will fall within a circle of the stated diameter	
* Approximately 4.3Mb per hour used when logging GPS data at 20Hz			

KUVA 13. VBOX 2:n tekniset tiedot

Kuvasta 13 käy ilmi, että laitteen mittaustarkkuudet ja toiminta-ajat ovat omaan tutkimukseeni varmasti riittävän tarkat. VBOX-mittalaitteita käytetään yleisesti moottoriurheilussa, mutta laitteen hankintahinta on useimmalla harrastajalle liian kallis. Mahdollinen laitteen huoltoprosessikin on aikaa vievä, sillä vain Englannissa on osaavia korjaajia.

7.2 Mittauksien esivalmistelut

Tarkastin viileiden kuorma-autonrenkaiden ilmanpaineet ja paineistin alipaineiset renkaat normaaleihin ajopaineisiin: etupyörät 9.0 bar (315/80-22.5), vetopyörät 7.5 bar (315/80-22.5) ja telipyörät 7.5 bar (315/80-22.5). Vetopyörät ja telipyörät ovat paripyöräasenteiset. Mekaanisia osia, kuten jarruja, voimansiirtoa tai ohjausta, en huoltanut, sillä molemmat kuorma-autot ovat jokapäiväisessä ajossa, joten pidin kuljettajien kertomusta ajoneuvojen sen hetkisestä kunnosta uskottavana. En myöskään poistanut ylimääräisiä tavaroita ja roskia hytistä sekä roskia rungon päältä tai lokasuojista, sillä niiden osuus tässä mittaustilanteessa olisi mielestäni olematon. Molemmat ajoneuvot olivat siinä kunnossa, missä ne yleisemmin ajosuorituksen aikana sekä jokapäiväisessä käytössä ovat.

7.3 Mittaustapahtuma

Mittauksia aloittaessa molemmat Scaniat olivat olleet lämmitystyhjäkäynnillä useita minuutteja, joten näin ollen öljyt olivat notkeita sekä paineilmajärjestelmä tila vastasi normaalia ajotilannetta. Mittaussuoralla kiihdytin 0-70 km/h ja vaihdoin vaihteiston vapaalle ja annoin ajoneuvon rullata omalla massallaan lähes nolllaan. Käänsin ajoneuvon ja ajoin toiseenkin suuntaan paikaltaan kiihdyttäen tavoitenopeuteen ja vapaasti rullaten lähes nolllaan. Ajoin suoraa molempiin suuntiin, jotta maastonmuodoista (n. 3m korkeusero) ja tuulesta johtuva virhe olisi minimoitavissa. Otin muut tielläliikkujat huomioon näyttämällä suuntamerkkiä oikealle mittausajojen koko aikana.

TAULUKKO 2. Erään mittausajon tietojen osa

Time	velocity	Distance	Accel	Identifier
seconds s	km/h	m	m/s ²	
0	75	0	-0,8	Test start
1,36	74	28,11	-0,6	Speed line
3	73	61,66	-1,3	Speed line
4,44	72	90,73	-0,3	Speed line
6,09	71	123,6	-0,4	Speed line
7,65	70	154,1	-0,9	Speed line
9,22	69	184,5	-0,6	Speed line
11,11	68	220,3	-0,1	Speed line
12,74	67	250,9	-0,6	Speed line
14,44	66	282,4	-1,5	Speed line
16,24	65	315,1	-1,3	Speed line

Taulukko 2 on erään mittaustilanteen rullausvaiheen alkupäästä oleva havainnettaulukko. Vbox:n omasta ohjelmasta uudelleen ajon seurauksena saadut tulokset ovat tämän tyyppisessä muodossa kun ne ovat muistioon tallennettu. Muistioon tallennetut tiedot ovat näin helpoiten käytettävissä Excelissä taulukointia varten. Tietojen hakeminen vbox:n omalta ohjelmalta on työläämpi tapa kuin muistion kautta käyttö.

Hidastuvuuden/kihtiyyden laskentakaava on

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (5)$$

kaavassa 5 merkinnät: Δv tarkoittaa kahden eri nopeuden (korkean ja matalan) erotusta (m), a tarkoittaa vallitsevaa kiihtiyyttä (m/s^2) ja Δs kahden eri ajan välistä erotusta (s).

8 TUTKIMUSTULOKSIEN TULKINTA

8.1 Ongelmakohdat

Vbox antaa mitta-arvoja hyvin lyhyellä aikavälillä (20Hz = 20 kertaa sekunnissa), tämän seurauksena tutkimusdataa on hyvinkin runsaasti. Omassa mittauksessani tarvitsin vain nopeuden, kuljetun matkan, kiihtiyyden, näihin käytetyn ajan sekä korkeusvaihtelut. Mikäli havainnollistavampi viivadiagrammi piirrettäisiin laitteen antamilla arvoilla, olisi tulosviiva lähempänä sydänpäätä kuin selkeästi ymmärrettävää kaaviota. Jouduin sieventämään saatuja arvoja, otin koko mittauksesta saadut arvot ensimmäiseen sarakkeeseen ja laskin hidastuvuuden pienellä aikavälillä. Seuraavassa sarakkeessa aikaväli oli hieman suurempi ja kolmannessa vielä suurempi. Neljännen sarakkeen aikaväli on jopa kymmeniä sekunteja. Itse tein tuloksien ”pehmennyksen” Excelissä, mutta se onnistuisi myös Vboxin omassa ohjelmassa (VBOX-software 8.2).

TAULUKKO 3. Mittauksien sievennyksien havainnetaulukko

Time seconds	Nopeus km/h	Nopeus m/s	Välimatka m	Tarkkuus 1	Tarkkuus 2	Tarkkuus 3	Tarkkuus 4
0,00	75,0	20,83	0				
1,25	74,0	20,56	26	0,18			
3,13	73,0	20,28	64	0,17	0,17		
4,61	72,0	20,00	94	0,17	0,18	0,18	
6,44	71,0	19,72	131	0,19	0,18	0,17	0,18
7,59	70,0	19,44	153	0,19	0,18	0,18	0,17
9,34	69,0	19,17	187	0,17	0,19	0,17	0,17
10,94	68,0	18,89	218	0,18	0,16	0,17	0,17
12,42	67,0	18,61	245	0,16	0,17	0,17	0,17
14,34	66,0	18,33	281	0,16	0,17	0,17	0,17
15,99	65,0	18,06	311	0,17	0,16	0,17	0,17

Taulukko 3 havainnollistaa, kuinka saadut lukuarvot voidaan haarukoida erilaisiin tarkkuuksiin ja näin ollen pienentää Gps-paikkatiedosta mahdollisesti johtuvaa virhettä. Keskiarvollisesti saatu tulos ei liian suuresti muutu verrattuna ensimmäisiin johtuen laitteen ominaisuuksista.

8.2 Mittauksista johdetut lukuarvot

Vboxin sisäiseen muistiin ja muistikortille tallentunut data siirrettiin tietokoneelle. Laitteen oman ohjelman (VBOX-software 8.2) ansiosta mittausdataa oli alussa helppo analysoida. Ohjelmassa mittausajojen uudelleenajon seurauksena saadut lukuarvot siirrettiin muistion kautta Excel-taulukkolaskentaohjelmaa apuna käyttäen helpommin käytettävään muotoon. Excel-tiedostossa pystyi kaavoja 6-9 apuna käyttäen ratkaisemaan ilmanvastuskertoimen ja rullausvastuksen.

Kahdella eri nopeudella ajetuista rullauskokeen tuloksista voidaan laskea ilmanvastuskerroin c_w käyttämällä ilmanvastuskertoimen ratkaisukaavaa.

$$c_w = \frac{6 \times m \times (a_1 - a_2)}{A \times (v_1^2 - v_2^2)} \quad (6)$$

Kaavassa 6 suureet m ajoneuvon massa (kg), a_1 on keskihidastuvuus suurella nopeudella ($\frac{km}{h}$), a_2 keskihidastuvuus pienellä nopeudella ($\frac{km}{h}$), A ajoneuvon otsapinta-ala (m^2), v_1 ajoneuvon keskinopeus suurella nopeudella (km/h) ja v_2 on ajoneuvon keskinopeus pienellä nopeudella (km/h) /8, s.378/.

Ilmanvastuskerroin voidaan laskea myös kaavalla

$$C_w = \frac{2 \times m \times (a_1 - a_2)}{\rho \times A \times (v_1^2 - v_2^2)} \quad (7)$$

Kaavassa 7 suureet ovat samat kuin kaavassa 6, ainoana muutoksena on ρ , joka tarkoittaa ilmantiheyttä (kg/m^3). /3, s. 36; 9/

Vierinvastuskertoimen laskeminen onnistuu kahden eri kaavan avulla.

$$f = \frac{28.2 \times (a_2 \times v_1^2 - a_1 \times v_2^2)}{10^3 \times (v_1^2 - v_2^2)} \quad (8)$$

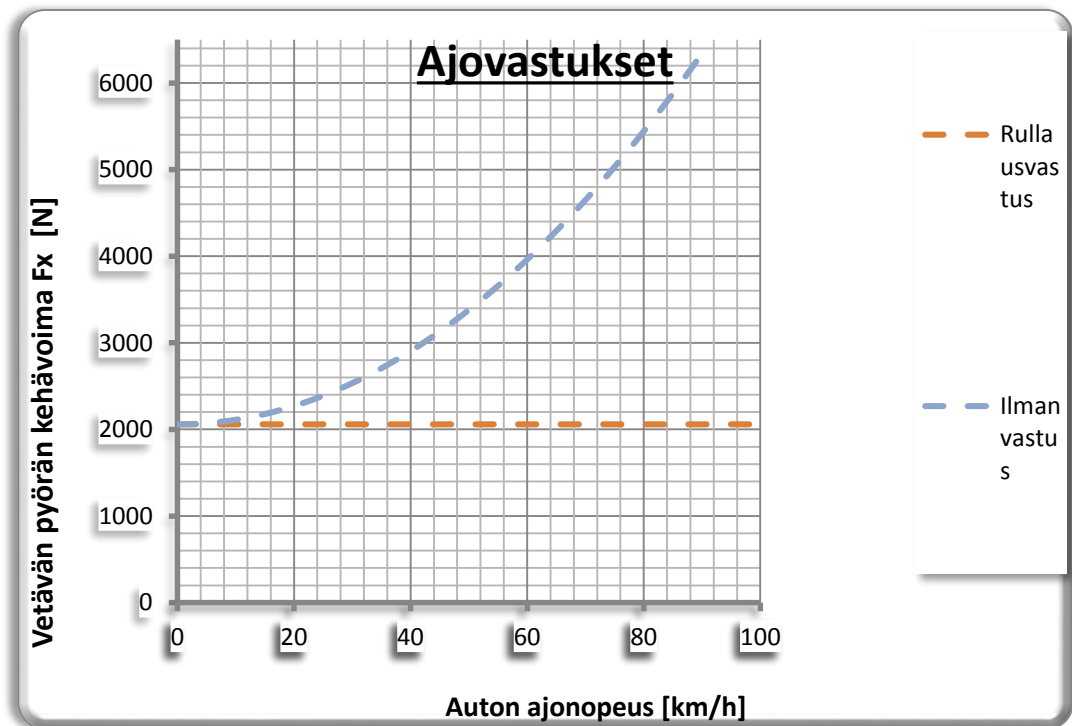
$$f = \frac{a_2 \times v_1^2 - a_1 \times v_2^2}{g \times (v_1^2 - v_2^2)} \quad (9)$$

Kaavoissa 8 ja 9 suureet on pääsosan samoja kuin kaavoissa 6 ja 7. Poikkeuksena on kaavassa 9 käytetty g , joka on putoamiskiiktyvyys (m/s^2). /3, s. 36; 8, s 379; 9/

Kaikista onnistuneista mittausajoista lasketuista ilmanvastuskertoimista voidaan todentaa ilmanvastuskertoimen keskiarvon olevan $C_w = 1,202$, eri lähteiden ilmoittama luku-arvo on suuruusluokaltaan (0.8-1.4). Vierinvastuskertoimen keskiarvoksi onnistuneista mittauksista laskin $f=0.0077$, eri lähteet ilmoittamat asfaltilla kulkevan kuorma-auton vierinvastuskertoimeksi (0,006-0,01)

8.3 Lukuarvojen vaikutus ajovastuksiin

Saatuja lukuarvoja voidaan pitää onnistuneina johtuen niiden sattuessa erilähteissä ilmoitettuihin kirjallisuusarvoihin. Kuvaajassa 1 on laskettu kaavoja 1 ja 2 käyttäen puutavarakohdeauton ilmanvastus sekä rullausvastaus. Vallitseva ajonopeus on koko käyttöalueen läpi ja ajoneuvon tarkka massa saatiin tehtaalla kuormanpurun yhteydessä saadusta vaakatositteesta. Ajoneuvon ajetaan kuormattuna tehtaalle tullessaan vaa`alle ja poistuessaan uudelleen vaa`alle ja näiden erotuksena saadaan tarvittava massa tarkasti selville.



KUVAAJA 1. Ajovastukset lasketuilla arvoilla

9 REDUSOITU MASSA

9.1 Teoria

Redusoidulla massa tarkoitetaan kappaleen tai kappaleiden laskennallista massaa, jolla on sama massahitaus eli inertia. Kirjallisuudessa redusoitu massa lyhennetään usein m_{red} . Redusoitu massa syntyy, kun pyöriviin osiin sitoutunut liike-energia, pääsee purkautumaan. /5./

Männän liikkeestä aina pyörivään pyörään oleva voimansiirtolinja voidaan redusoida vetopyörien hitausmomentiksi. Tämä taas voidaan redusoida pyörän kehällä olevaksi suoraviivaisen liikkeen massaksi. Näin ollen pyörivistä osista saatu redusoitu massa on lähestulkoon suoraan verrattavissa ajoneuvon muihin kiihdytettäviin massoihin. /9./ Pyörivää liikettä on ajoneuvoissa paljon, ja niiden yksittäiset omamassat sekä pyörintänopeudet ovat suuruudeltaan varsin poikkeavia.

Pyörivät osat voidaan pyörimisnopeuksien perusteella jakaa kolmeen pääryhmään: A) Ajoneuvon pyörien nopeudella pyörivät osat, näitä ovat renkaat, jarrurummut ja/tai jarrulevyt, vetoakselit sekä iso vetopyörä. Niiden yhteistä hitausmomenttia merkitään J_p ja kulmanopeus ω_p . /19, s.40./

B) Pienen vetopyörän nopeudella pyörivät osat, näitä ovat pieni vetopyörä, kardaaaniakseli, sekä osa vaihteiston hammaspyöristä. Näiden hitausmomentti J_k ja kulmanopeutta ω_k . B)-osion pyörivien osien vaikutus on yleensä hyvin pieni. /19, s.40./

C) Moottorin pyörintänopeudella pyörivät osat, näitä ovat loppuosa vaihteistosta (B), kytkin sekä vauhtipyörä, kampiakseli, tuuletin jne. moottorin apulaitteet. Tarkoissa laskuissa moottorin eri osien vaikutus on laskettava, vaikkakin se usein on hyvin hankalaa. Usein kuitenkin moottorin eri apulaitteiden vaikutus huomioidaan lisäämällä vauhtipyörän hitauteen 20 %. Hitausmomenttia merkitään J_m ja kulmanopeutta ω_m . /19, s.40./

Kiihdytys- ja hidastumisvastusvoiman laskentakaava on

$$F_a = m_{red} \times a = \varphi \times m \times a \quad (10)$$

Kaavassa 10, F_a on kiihdytysvastusvoima, m ajoneuvon massa, φ pyörivien osien hitauskerroin ja a on ajoneuvon kiihtyvyys. Kaavasta 10 voidaan redusoitu massa ratkaista erikseen, mikäli kiihdytysvastusvoima F_a tiedetään. /19, s.41-42./

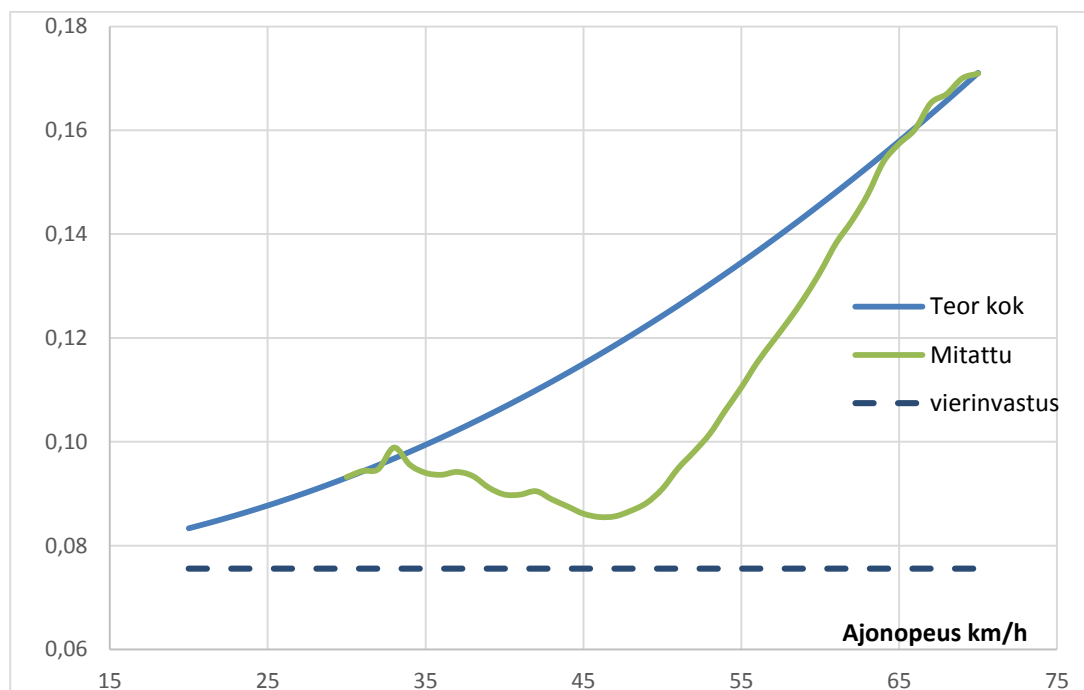
Redusoidun massan laskentakaava ratkaistuna

$$m_{red} = \frac{F_a}{a} = \frac{F_a}{\varphi \times m \times a} \quad (11)$$

Kaavassa suureet ovat samat kuin kaavassa 10, mutta redusoitu massa on tuntematon.

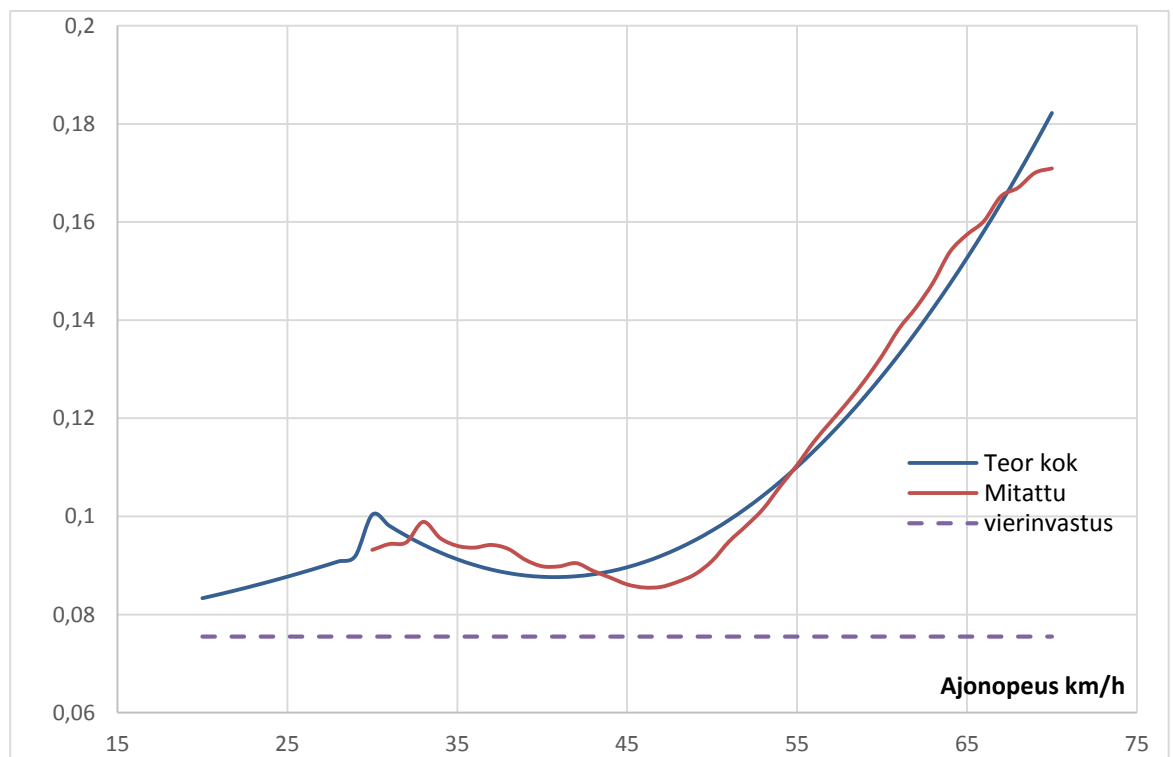
9.2 Redusoidun massan havainnointi kohdeautoista

Kuvaajassa 2 on redusoidun massan havainnollistuminen. Ajoneuvon kokonaisajovastuksia havainnollistettaessa viivadiagrammiin huomataan oletetusti nopeuden noustessa kokonaisvastuksienkin nousevan varsin jyrkästi.



KUVAAJA 2. Teoreettisen ja laskennallisen arvon kohtaaminen

Kuvaajasta 2 voidaan todeta mitatun käyrän olevan selvästi alemmalla tasolla kuin teoreettisesti laskettu. Mahdollisia syitä tähän on pohdittu usean eri lehtorin kanssa, mutta aivan varmaa syytä emme keksineet. Ajoneuvon mekaanisissa osissa on voinut olla tietty pyörintänopeus normaalissa ajonopeudessa, mutta nopeuden laskiessa 45km/h:n tietty pyörintänopeus muuttuu radikaalista ja alkaa jarruttaa ajoneuvoa. On myös mahdollista, että ilmavirta on muuttunut laminaarisesta turbulenttiseksi, joka omalta osaltaan aiheuttaa hidastumista. Mikäli kyseinen ”jarrutustapahtuma” olisi vain yhdessä mittauksessa, voisi olettaa ajoneuvon jarruissa olevan vikaa ja tulkita tapahtuneen mitausvirheeksi.



KUVAAJA 3. Korjauskertoimen avulla muutetut käyrät

Kuvaajassa 3 teoreettisen kokonaisajovastuksen ja mitatun ajovastuksen käyriä on muutettu kaavalla: $-0,0000909381 * \text{Nopeus}^2 + 0,008997 * \text{Nopeus} - 0,195344$. Kyseinen korjaustekijä on vähennetty teoreettisista lukuarvoista. Täyttä varmuutta, kuinka tämän tyyppiseen tulokseen pääsisi todellisuudessa, emme yhdessäkään saaneet selville, mutta numeroiden avulla käyrien kulmakertoimet voitiin muuttaa vastaamaan toisiaan. /24./

10 VIRHEIDEN ARVIOINTI

Mittauksia suorittaessa keli oli perinteisen keväinen, lämpötilaltaan +3°C. Tuulennopeus mittaria minulla ei ollut käytössä, mutta puissa eivät oksat liikkuneet, joten oletin tuulen vaikutuksen olevan todella vähäinen. Lämpötilan poiketessa NTP-olosuhteista laskennassa käytetty ilmantiheyden lukuarvo on suuntaa antava.

Renkaiden ilmanpaineiden mittauksessa käytetty rengaspainemittari oli E. Ylönen Ky:n huoltohallilla kaikkien käytössä, joten virheellistä käyttöä on voinut tapahtua. En kalibroinut painemittaria, vaan luotin rengasalalta saatuun ammattitaitoon sekä mittarin pintapuoliseen tarkisteluun toimintakunnosta. Vaikkakin väärin paineistettu rengas antaa eri tuloksen kuin oikean lukeman omaava rengas, en pidä kyseisessä mittauksessani virheen mahdollisuutta tai merkitystä kovinkaan suurena.

Renkaat olivat olleen käytössä jo jonkin aikaa, joten on mahdollista, että pehmeä kumi-pinta olisi voinut alkaa kovettua. Tosin kuorma-autojen renkaiden suuren vaihtuvuuden (6 kk tai 100 000 km) takia kumiseos ei pääse liiaksi kovettumaan ja muuttamaan vierinvastuserrointa. Renkaiden ollessa loppuun kuluneet olisi siltäkin ollut vaikutusta heikomman pidon takia.

Vanhanmäen tienpinta ei ollut aivan tasainen. Suomen talviolosuhteet ja harva liikenne olivat urauttaneet muutaman mittaussuoran kohdan ja henkilöauton ojaanajon seurauksena muutamia lumipaakkuja oli eräällä kohdalla mittaussuoralla. Esteiden ylityksen seurauksena aiheuttavat ne renkaan muodonmuutosta, mikä taas lisää vierinvastusta. Kalustoa, jolla tien olisi voinut aurata kauttaaltaan, minulla ei ollut mahdollista käyttää, ja pidän tätä mittaustapahtumaa jäästä huolimatta hyvänä.

Pieksämäentiellä suoritettut mittaukset olivat paljon luotettavampia johtuen kuivaan keskeliin verrattavasta tien kunnosta. Tuulta avoimella suoralla on vaikea arvioida, mutta mittaustapahtuman vastakkaiset ajosuunnat ovat heikentäneet tuulen mahdollisuuden vääristää mittaustuloksia. Mittauspaikan haittana on verrattain suuri liikenne. Vaikka ajokaistoja on neljä, kaksi suuntaansa, on erinopeuksisten ajoneuvojen vaikea hahmottaa edellä ajavan raskaan kaluston hidastuvaa nopeutta.

Vbox-mittalaite käyttää hyväkseen satelliitteja paikantaakseen ajoneuvon. Vboxin käyttöohjeissa todetaan jo neljän satelliittilinkin tuovan todenperäistä mittaustietoa, mutta mitä useampi satelliittilinkki löytyy, sen tarkempi on mittaustieto. Tiheä metsä, suuret rakennukset sekä poikkeavat maastonmuodot voivat heikentää satelliittilinkkien yhteyttä. Mittaustilanteen aikana laitteen valosignaaleista pystyin todentamaan satelliittien lukumääräksi 3-8 kappaletta Vanhamäentiellä. Pieksämäentiellä satelliittien lukumäärä vaihteli 8-16 kappaleen välillä. Koska satelliittien määrä vaihteli, on mahdollista, ettei ajoneuvon jokainen liike tallentunut parhaalla mahdollisella tavalla.

11 LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyössäni esiteltiin kuorma-autojen päällirakenteita sekä aerodynamiikan peruskäsitteitä. Hidastuvuusmittauksien avulla ratkaistiin kuormatun ajoneuvon vierinvastuskerroin sekä ilmastuskerroin. Alkuperäinen suunnitelma oli tutkia ja vertailla ajoneuvoja keskenään tyhjänä ja kuormattuna, mutta mittaustulosten analysointi osoittautuikin työläämmäksi mittaustietojen laajuuden ja suuren redusoidun massan takia. Tässä vaiheessa päätinkin keskittyä vain puutavaravarusteiseen kohdeautoon.

Kokonaisuutena opinnäytetyöni oli haastava. Kirjallisuutta oli saatavilla, mutta osa lähteistäni oli vanhempia, vaikkei liikaa toistensa kumoavia tietoja. Vastaavan tyyppiseen tutkimukseen, jonka olen itse tehnyt, en ole törmännyt auto- ja kuljetusalan julkaisuissa tai internetissä. Vaikeutena oli kuorma-autoista saatavat tarkemmat tiedot sekä redusoidun massan laskentakaava. Redusoidun massan mallintaminen ja oikeaoppinen laskeminen on haasteellista johtuen useiden eri laskentakaavojen ristiriitaisuuksista. Myöskään moni lehtori ei osannut antaa selkeää vastausta, kuinka kuorma-auton redusoitu massa voidaan laskea.

Vboxin mittaustaikaa suunnitellessa on hyvä käydä tekemässä ennakkotiedustelua satelliittien lukumäärästä, etteivät vasta varsinaiset mittaukset osoittautuisi huonoiksi niitä purkaessa. Kannettavan tietokoneen käyttö mittaajojen tallennusvälineenä helpottaisi, sillä mahdollinen virheajo tulisi ilmi jo kohdepaikalla. Näin vältetään turhilta mittaajoilta.

Useamman mittausajon tehdessäni huomasin saavani kiihdytysajat lähemmäksi toisiaan kuin mitä ensimmäisien mittausajojen kiihdytysajat. Kaiken kaikkiaan työtä varten ajoin 40 - 50 kpl mittausajoa, joista n. 20 % oli huonoa dataa satelliittien puuttuessa tai muun liikenteen sotkiessa mittausta. Onneksi mittaukset olivat alkupäässä, jolloin muutenkin vielä harjoittelin laitteistojen käyttöä.

Mittaustulosten analysointi otti suuremmin osan koko työhön käytetystä ajasta. Tämä johtui todella laajoista Excel-tiedostoista ja näiden useista erityyppisistä viivadiagrammeista. Oman vaikeutensa toi myös luetun materiaalin sisäistäminen ja sen vertaaminen itse laskettuihin tuloksiin.

Suurten massojen ja mittojen vuoksi virhemarginaali on hyvin pieni järjettömän ja mahdollisen tuloksen välillä. Tämän takia kaikki lähtötiedot kannattaa merkitä Excelissä työkirjan alkuun ja käydä sieltä poimimassa tarpeellinen tieto varsinaiseen leikkeeseen.

Työn tarkoituksena oli syventää omaa oppimistasoa ajovastuksissa ja ratkaista kuorma-auton vierintävastus erityyppisellä päällirakenteella. Näissä onnistuttiin varsin hyvin ottaen huomioon muutaman yllätysmuuttajan mukaantulo. Tutkittavassa aiheessa on vielä potentiaalia seuraavillekin jatkaa.

LÄHTEET

- /1/ Koskinen, Olavi H. Puutavara-auton ilmanvastusvoimat on vielä monelle täyttävä utopiaa. XX-Magazine 1/2013, 7-8.
- /2/ Metsäalan Ammattilehti. Ilmanvastus on puutavara-auton suurin ajovastusvoima www.ammattilehti.fi/uutiset.html?2227. Päivitetty 14.8.2013. Viitattu 16.8.2014
- /3/ Laine, Olavi. Ajo-ominaisuudet osa 1. Jyväskylä, Gummerus Oy. 1985
- /4/ Motiva. 2005. HD-energia. Liikenneprojekti. Raskaankaluston energiakäytön tehostaminen. PDF-dokumentti
http://www.motiva.fi/files/1026/HDEnergia_yhteenvetoraportti_lopullinen_viim.pdf
Julkaistu 27.3.2006. Luettu 15.7.2014
- /5/ Hautala, Mikko & Peltonen, Hannu. Insinöörin (AMK) perusfysiikka osa 1. Lahden teho-opetus. 2011.
- /6/ Ehrnrooth, Kari 1. Massan hitaus. Mikkelin ammattikorkeakoulu, Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelman luentomateriaali. 2012
- /7/ Ehrnrooth, Kari 4. Kitkapaino Mikkelin ammattikorkeakoulu, Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelman luentomateriaali. 2012
- /8/ Bosch, Robert. Autoteknillinen taskukirja, 6.painos. Gummerus Oy. 2003
- /9/ Kääriäinen, Kari. Mikkelin Yhteiskoulun lukio, Dynamiikan luentomateriaali 2008
- /10/ Mutanen, Tommi. Aerodynamiikan vaikutus mitattu. Suomen autolehti 1/2013, 14-17
- /11/ Sisu Polar Päällerakenneohjeistus 4. osa. PDF-dokumentti.
http://www.vehotrucks.fi/fi/SiteCollectionDocuments/Paallirakenteet/Paallirakenteet_Sisu_04_Vaantojoustavat_paallerakenteet.pdf. Julkaistu 9.12.2010. Viitattu 12.9.2013
- /12/ Sisu Polar Päällerakenneohjeistus 5. osa. PDF-dokumentti.
http://www.vehotrucks.fi/fi/SiteCollectionDocuments/Paallirakenteet/Paallirakenteet_Sisu_05_Vaantojaykat_paallerakenteet.pdf. Julkaistu 9.12.2010. Viitattu 13.9.2013
- /13/ Mäkinen, Marko. Parivertailu Ford Ranger ja Nissan Navara. Moottori 9/2014, 46-52
- /14/ Suomen tieliikennelait 2014 A Ajoneuvojen käytöstä tiellä Vi 229, 27. painos Talentum Media Oy 2014

- /15/ Asetus ajoneuvon käytöstä tiellä 4.12.1992/1257 4 luku Ajoneuvon ja ajoneuvoyhdistelmän massat ja päämitat käytettäessä ETA-valtiossa rekisteröityä tai käyttöön otettua ajoneuvoa Suomessa 4 luku § 20-25 WWW-dokumentti <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1992/19921257#L4a> Päivitetty 11.11.2014. Viitattu 11.1.2015
- /17/ Metsäalan Ammattilehti. Puutavara-autojen kuormatilan vertailu. <http://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?4412> Julkaistu 19.1.2013 Viitattu 22.2.2014
- /18/ Bandag Tread Chart&Data Book 2013 Bandag Oy 2013
- /19/ Juhala, Matti. Kuljetusvälinetekniikan perusteet 2006. PDF-dokumentti. https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/kul-24.3000/luennot/Kul-24_3000_maakuljetusvalineet_ja_liikkuvat_tyokoneet.pdf. Luotu 12.12.2006. Viitattu 2.11.2014
- /20/ Vbox 2 User Guide. Racelogic Co 2008
- /21/ Lehto, Heikki & Luoma, Tapani. Fysiikka 3 Lämpö ja energia Mekaniikka. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy 2000
- /22/ Kytö, Matti, Erkkilä, Kimmo & Nylund, Nils-Olof 2008. Raskas ajoneuvokalusto: turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka ”RASTU” yhteenvetoraportti 2006-2008. PDF-dokumentti. http://www.motiva.fi/files/2278/RASTU-loppuraportti_2006-2008.pdf. Julkaistu 2.6.2009. Viitattu 14.5.2014
- /23/ Nylund, Nils-Olof 2007. Raskas ajoneuvokalusto: turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka ”RASTU” vuosiraportti 2006. PDF-dokumentti. http://www.motiva.fi/files/949/vuosiraportti_-2006_rev1.pdf. Päivitetty 20.6.2007. Viitattu 3.6.2014
- /24/ Turunen, Jaakko 2015. Redusoidun massan laskenta. Sähköpostiviesti 10.4.2015. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Lehtori