

Ville Vähäkangas

**HCT-AJONEUVOYHDISTELMÄN POLTTOAINEEN
KULUTUSVERTAILU RUNKOREITEILLÄ**

HCT-AJONEUVOYHDISTELMÄN POLTTOAINEEN KULUTUSVERTAILU RUNKOREITEILLÄ

Ville Vähäkangas
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Ville Vähäkangas
Opinnäytetyön nimi: HCT-ajoneuvoyhdistelmän polttoaineen kulutusvertailu
runkoreiteillä
Työn ohjaaja: Mauri Haataja
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017 Sivumäärä: 39 + 2 liitettä

Suomen valtionneuvosto muutti vuonna 2013 ajoneuvojen käytöstä tiellä annettua asetusta parantaakseen Suomen kilpailukykyä ja vähentääkseen liikenteestä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Uusi asetusta mahdollisti aiempaa suuremmat massat ja mitat kuljetusliikenteessä, sekä High Capacity Transport -ajoneuvoyhdistelmillä (HCT) liikennöinnin poikkeusluvalla. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa Oulun Autokuljetukselle tutkimustulosta yrityksen HCT-ajoneuvoyhdistelmän kannattavuudesta ja ympäristöystävällisyydestä. Opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla HCT-ajoneuvoyhdistelmän polttoaineenkulutusta ja kuormaan suhteutettua polttoaineenkulutusta suurimman sallitun täysperävaunuyhdistelmän kulutukseen. Vertailuajanjaksoksi valittiin koko vuosi 2016.

Vertailun tuloksiin vaikuttavat ajoneuvoyhdistelmien kuljettamat hyötykuormat ja ajoneuvoyhdistelmien kulkemat reitit. Työhön valittiin ajoneuvoyhdistelmät, jotka ovat kuljettaneet samanlaisia kuormia samoilla reiteillä. Työssä laskettiin molempien ajoneuvoyhdistelmien reittikohtaiset, koko runkolinjan käsittävät ja ajoneuvoyhdistelmien kuormaan suhteutetut polttoaineenkulutukset, jotka esitettiin graafisesti koko vuoden ajalta.

Työn tuloksista nähdään molempien ajoneuvoyhdistelmien polttoaineenkulutus vuonna 2016. HCT-ajoneuvoyhdistelmä kuluttaa koko runkolinjalla keskimäärin enemmän polttoainetta kuin vertailuyhdistelmä. HCT-ajoneuvoyhdistelmä todetaan polttoainetehokkaammaksi elintarvike- ja päivittäistavarakuormilla, kun polttoaineenkulutus suhteutetaan ajoneuvoyhdistelmän eurolavapaikkojen määrään. Oulusta Etelä-Suomeen suuntautuvilla massakuormilla HCT-ajoneuvoyhdistelmän hyötykuorman massa suhteutettu kulutus on keskimäärin vuonna 2016 hieman korkeampi kuin vertailuyhdistelmällä, mutta loppuvuodesta tämäkin laskee jo pienemmäksi kuin vertailuyhdistelmällä. Vertailusta huomataan, että HCT-ajoneuvoyhdistelmän polttoaineenkulutus laskee vuoden 2016 aikana suhteessa vertailuyhdistelmään ja kuljetukset muuttuvat polttoaine-taloudellisemmiksi. Tarkat polttoaineenkulutukset ja niiden käsittelyt on jätetty pois yrityksen pyynnöstä. Täydellinen raportti säilytetään yrityksessä.

Asiasanat: tutkimus, polttoaineenkulutus, HCT-ajoneuvoyhdistelmä, vertailu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 POLTTOAINEEN KULUTUKSESTA YLEISESTI	7
2.1 Ajoneuvon hyötysuhteet	8
2.2 Ajovastukset	10
2.2.1 Ilmanvastus	10
2.2.2 Nousuvastus	12
2.2.3 Vierintävastus	13
2.3 Ajotapa	14
2.3.1 Ennakoiva ajaminen	14
2.3.2 Ajoneuvon kiihdyttäminen	15
2.3.3 Tasaisella nopeudella ajaminen	15
2.3.4 Ajoneuvon hidastaminen	16
2.3.5 Mäkisessä maastossa ajaminen	17
2.4 Polttoaineenkulutuksen määrittäminen	18
3 VERTAILUN AJONEUVOYHDISTELMÄT	20
3.1 OAK:n Green Double	20
3.2 Vertailuyhdistelmä	21
4 LIIKENNÖINTIREITIT	23
5 POLTTOAINEENKULUTUKSEN SEURANTAJÄRJESTELMÄ	26
6 KULUTUSVERTAILU	27
6.1 Reitti 1, massakuormat	27
6.2 Reitti 2, siirtymäajo	29
6.3 Reitti 3, elintarvike- ja päivittäistavarakuormat	30
6.4 Runkolinja	32
7 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	37
LIITTEET	
Liite 1 Green Doublen polttoaineenkulutukset	
Liite 2 Vertailuyhdistelmän polttoaineenkulutukset	

1 JOHDANTO

Kuljetusliikenteestä puhuttaessa hyvin usein avainkysymyksiksi nousevat kilpailukyky ja ympäristöystävällisyys. Useimmiten nämä seikat ovat ristiriidassa keskenään. Ympäristöä säästävä tekniikka ja ratkaisut lisäävät kustannuksia. Kilpailukykyä ylläpidettäessä ympäristöasiat usein otetaan huomioon vain pakon sanelemana. Nykyaikaisella ajoneuvotekniikalla pystytään vähentämään ajoneuvojen tuottamia muita päästöjä, mutta kasvihuoneilmiötä aiheuttaviin hiilidioksidipäästöihin voidaan vaikuttaa ainoastaan vähentämällä ajoneuvon polttoaineenkulutusta.

Mahdollisuus entistä tehokkaampiin, taloudellisempiin ja ympäristöystävällisempiin kuljetuksiin kuitenkin avautui, kun valtioneuvosto muutti ajoneuvojen käytöstä tiellä annettua asetusta. Muutos nosti raskaiden tavarankuljetusajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien suurimpia sallittuja mittoja ja massoja. Muutoksen päätarkoituksena on pienentää Suomen sisäisiä kuljetuskustannuksia ja siten parantaa Suomen kilpailukykyä. Muutoksen myötä myös hiilidioksidipäästöjen on arvioitu vähenevän liikenteen osalta. Uusi asetus astui voimaan 1. lokakuuta 2013. (1.) Asetus mahdollisti myös entistä suurempien HCT-ajoneuvoyhdistelmien liikennöinnin poikkeusluvalla.

Oulun Autokuljetus Oy (OAK) on osakasyrittäjien omistama osakeyhtiö, joka on perustettu vuonna 1946. Yhtiön toimenkuvaan kuuluvat kuljetus- ja maanrakennusalan palvelut. OAK:lle on myönnetty ISO14001 -ympäristösertifikaatti vuonna 2011. Yhtiö pyrkii kestävään kehitykseen ja pienempään hiilijalanjälkeen. Kestävän kehityksen päämääräksi yhtiö on asettanut polttoaineen ja energian kulutuksen vähentämisen. (2, s. 2.) OAK aloitti HCT-ajoneuvoyhdistelmällä liikennöinnin vuoden 2015 lopussa.

Poikkeusluvalla liikennöinnin aloittamiselle asetettiin ehtoja, joista yksi on, että ajoneuvoyhdistelmien kannattavuudesta, ympäristöystävällisyydestä, turvallisuudesta ja käytöstä liikenteessä tuotetaan tutkimusta (3, s. 3 - 5). Tämän opinäytetyön tavoitteena on tuottaa tutkimustulosta Oulun Autokuljetus Oy:lle heidän HCT-ajoneuvoyhdistelmän kannattavuudesta ja ympäristöystävällisyydestä

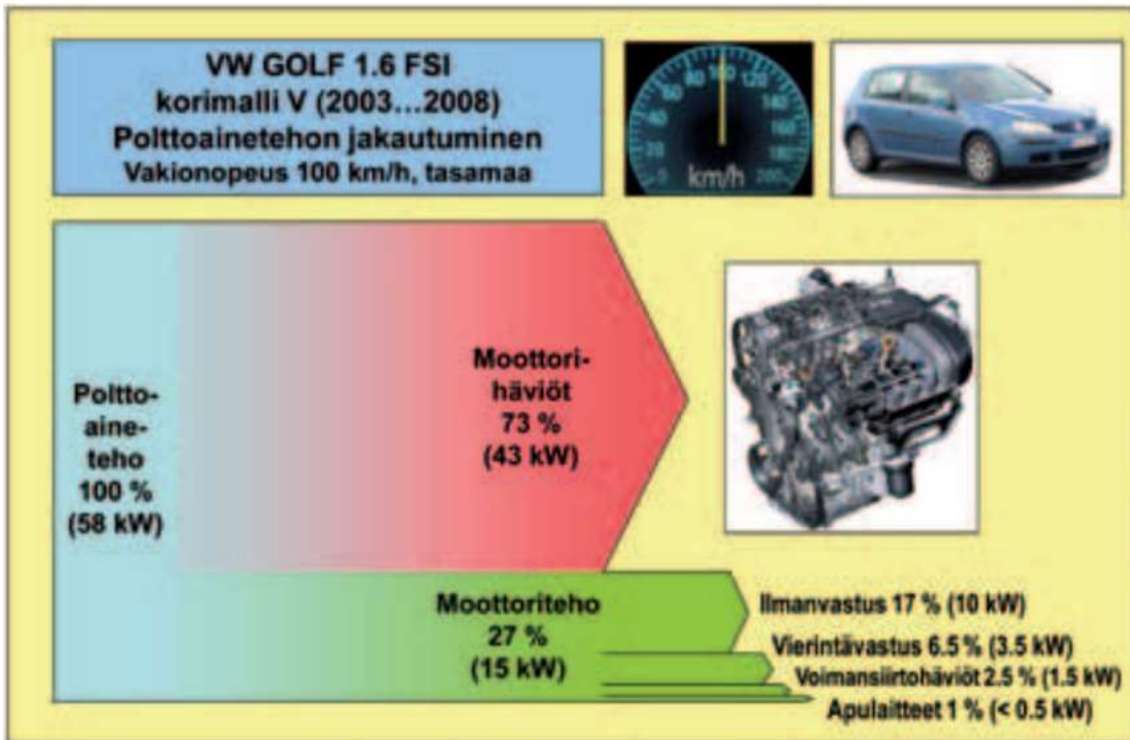
vertaamalla sen polttoaineen kulutusta suurimpaan ilman poikkeuslupaa hyväksyttävään ajoneuvoyhdistelmään. Polttoaineenkulutusta vertaillaan koko vuoden 2016 ajalta ja suhteutettuna ajoneuvoyhdistelmien kuljettamaan hyötykuor-
maan.

Tarkat polttoaineenkulutukset ja niiden käsittelyt on määritelty salaisiksi. Täydellinen opinnäytetyö säilytetään yrityksessä.

2 POLTTOAINEEN KULUTUKSESTA YLEISESTI

Ikonen (4, s. 7) jakaa ajoneuvon energiantarpeeseen eli polttoaineenkulutukseen vaikuttavat asiat kolmeen päätekijään, jotka ovat ajoneuvo, olosuhteet ja kuljettaja. Ajoneuvovalinnalla voidaan vaikuttaa ajovastusten ja hyötysuhteiden suuruuteen. Olosuhdetekijöitä ovat muun muassa liikenneympyrät, risteykset, muu liikenne, tien pinta, vallitseva lämpötila, tuulen nopeus ja suunta sekä maaston korkeusvaihtelut. Vaikka kuljettaja voi harvoin vaikuttaa ajoneuvon tekniikkaan ja olosuhteisiin, hän voi vaikuttaa siihen, mikä vaikutus niillä on kulutukseen. (4, s. 7.)

Moottorille syötettävän polttoaineen sisältämästä energiasta suurin osa kuluu erinäisiin häviöihin. Jäljelle jäävä energia kuluu ajovastuksien voittamiseen. (Kuva 1.) Ajoneuvossa syntyy häviöitä moottorissa, voimansiirrossa ja apulaitteiden toimesta. Kokonaisajovastus muodostuu ilmanvastuksesta, vierintävastuksesta ja mahdollisista nousu- ja kiihdytysvastuksista. Energiantarve eli polttoaineenkulutus riippuu näiden ajovastuksien ja häviöiden suuruudesta. Ajoneuvojen valmistajat ja suunnittelijat pyrkivät vähentämään ajovastuksien ja häviöiden vaikutusta polttoaineenkulutukseen, mutta kuljettaja voi omalla toiminnallaan maksimoida oman ajoneuvonsa hyötysuhteen ja vähentää ajoneuvon kohdistuvia ajovastuksia. (4, s.22 - 30.)



KUVA 1. Polttoaineesta saatavan energian jakautuminen esimerkiajoneuvossa (4, s. 30)

2.1 Ajoneuvon hyötysuhteet

Energiaa ei voida tehdä tyhjästä, eikä sitä voida hävittää olemattomiin. Energia täytyy tuoda jostakin, ja se voi ainoastaan muuttua muotoaan. Energiamuunnoksien huono puoli on, että niissä syntyy aina häviöitä. Polttomoottoriajoneuvossa energiaa saadaan mukana kuljetettavasta polttoaineesta, joka on kemiallisen energian muodossa. Polttomoottorissa polttoaineeseen sitoutunut energia muutetaan mekaaniseksi työksi palotapahtuman avulla. (4, s.22.)

Osa polttomoottoriin syötetystä polttoaineen sisältämästä energiasta kuluu häviöihin, eikä sitä saada moottorista mekaanisena työnä. Osa energiasta kuluu lämpöön, pakokaasuun, kitkan voittamiseen, apulaitteiden toimintaan ja moottorin sisäiseen kaasunvaihtoon. Parhaimmillaankin dieselmoottoreilla päästään noin 45 % hyötysuhteeseen ja bensiinimoottoreilla vain noin 40 %. (5, s. 6; 6, s. 399 - 400.) Polttomoottorin kokonaishyötysuhde lasketaan kaavalla 1 (7, s. 12).

$$\eta_e = 3,6 \cdot 10^6 \frac{1}{bh_f}$$

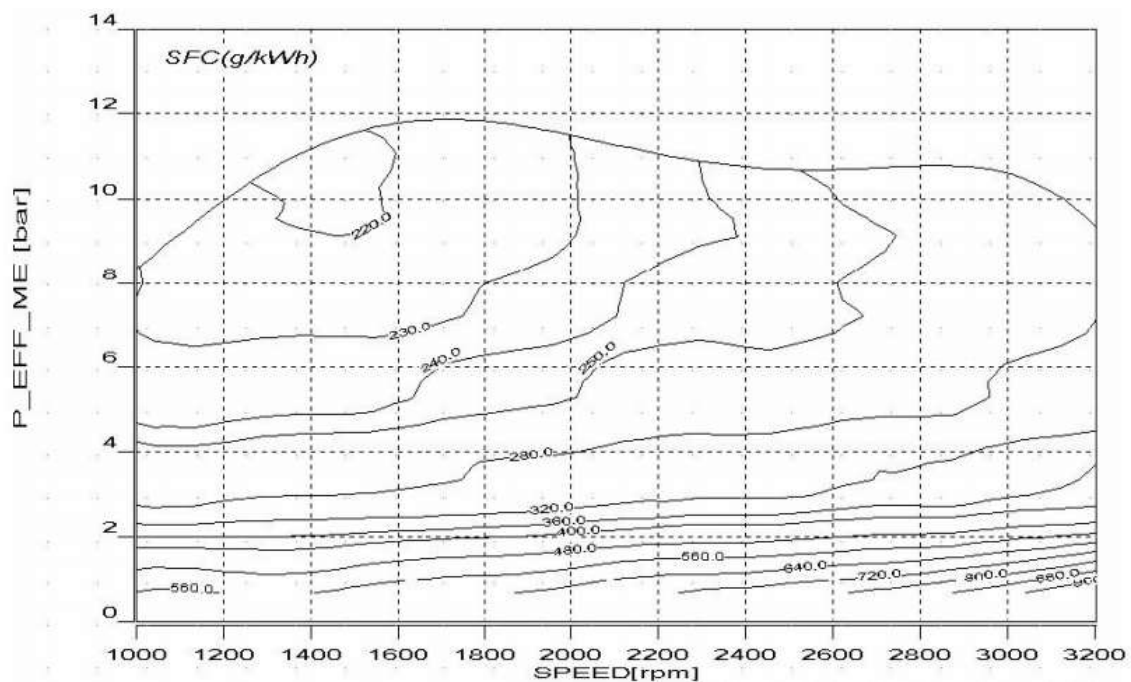
KAAVA 1

$\eta_e = \text{moottorin kokonaishyötysuhde}$

$b = \text{polttoaineen ominaiskulutus} \left(\frac{\text{g}}{\text{kWh}} \right)$

$h_f = \text{polttoaineen alempi lämpöarvo} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$

Moottorin hyötysuhde ei ole kuitenkaan vakio ja vaihtelee kierrosluvun ja moottorin kuormituksen mukaan (kuva 2). Tämä tarkoittaa, että moottorin kierrosalueella on polttoaineenkulutukselle epäedullisia alueita, joissa moottori käyttää enemmän polttoainetta tuotettua tehonyksikköä kohden. Suurin kokonaishyötysuhde ja pienin ominaiskulutus saavutetaan tavallisesti korkealla kuormituksella ja käyttämällä lähelle samaa kierrosnopeutta, jossa moottori tuottaa eniten vääntöä. (4, s.44.)



KUVA 2. Esimerkki kierrosluvun ja kuormituksen vaikutuksesta ominaiskulutukseen (8)

Polttoaineenkulutukseen vaikuttaa myös ajoneuvon käyttämä polttoaine ja sen laatu. Tarkemmin merkitystä on polttoaineen tehollisella lämpöarvolla, jota kutsutaan usein alemmaksi lämpöarvoksi. Alempi lämpöarvo kertoo lämpömäärän, joka syntyy, kun polttomoottorissa poltetaan yksi massayksikkö polttoainetta. (9, s. 12.) Kaavasta 2 nähdään, että saman tehon saavuttamiseksi pienemmällä

tehollisella lämpöarvolla tarvitaan joko enemmän polttoainetta tai parempi moottorin kokonaishyötysuhde (7, s. 11).

$$P_e = \eta_e \dot{m}_f h_f$$

KAAVA 2

P_e = moottorilta mitattu teho (kW)

\dot{m}_f = polttoaineen massavirta ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$)

h_f = polttoaineen alempi lämpöarvo ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)

η_e = moottorin kokonaishyötysuhde

Moottorin tuottamaa mekaanista työtä ei kuitenkaan saada täysimääräisenä ajoneuvon pyörille, sillä ajoneuvojen voimansiirroissa tapahtuu myös häviöitä. Voimansiirron häviöt ovat yleensä moottorin häviöitä paljon pienempiä ja voimansiirron hyötysuhde on tyypillisesti noin 90 %. Ajoneuvon voimalinjan kokonaishyötysuhde saadaan kertomalla voimansiirron ja moottorin hyötysuhteet keskenään. Tuloksesta käy ilmi, että vain osa polttoaineen sisältämästä energiasta on käytettävissä ajoneuvon vetävillä pyörillä. (4, s.22.)

2.2 Ajovastukset

Ajovastuksilla tarkoitetaan voimia, jotka kohdistuvat ajoneuvoon sen ollessa liikkeessä. Jos moottorilta tuleva voima katkaistaan, ajoneuvo pyrkii ajovastuksien takia pysähtymään. Ajovastusvoiman ollessa yhtä suuri renkailta saatavan vetovoiman kanssa, ajoneuvo on tasaisessa liikkeessä. Ajovastuksien ja ajoneuvon kokonaismassan takia ajoneuvon kiihdyttämiseen ja vauhdin ylläpitämiseen tarvitaan tehoa ajoneuvon moottorilta. (10, s. 5 - 11.)

2.2.1 Ilmanvastus

Ilmanvastusvoima on merkittävässä roolissa erityisesti korkeilla nopeuksilla liikkuvissa ajoneuvoissa. Ilmanvastus on voima, joka syntyy, kun ajoneuvo liikkuu väliaineessa eli ilmassa. Edetessään ajoneuvon kori läpäisee ilmamassaa, joka joutuu mukautumaan ajoneuvon muotoihin ja virtaamaan korin linjoja pitkin. Ilmanvastusvoima koostuu useista eri tekijöistä. Suurin vastusvoima muodostuu ajosuuntaan nähden kohtisuorassa tasossa ajoneuvon poikkileikkausalan ja

patopaineen muodostamasta voimasta. Toisia ilmanvastuksen tekijöitä ovat ilmavirtauksen aiheuttamat kitkavoimat korin pinnassa, sisäiset ilmavirtausvastukset ja lisävarusteiden aiheuttamat vastukset. (10, s. 46; 6.)

Hitaasti liikuttaessa ilmanvastusvoiman merkitys on vähäinen. Maantienopeuksilla ilmanvastusvoima on kuitenkin merkittävässä roolissa, sillä ajonopeuden kaksinkertaistuessa ilmanvastusvoima kasvaa 4-kertaiseksi ja ilmanvastusteho 8-kertaiseksi. Tämä käy myös ilmi ilmanvastusvoiman ja ilmanvastustehon laskentakaavoista (kaava 3, kaava 4). Suurilla ajonopeuksilla tasaisella tiellä ja vakionopeudella ajettaessa ilmanvastusvoiman osuus on suurin kokonaisajovastuksista. Tämän seurauksena ilmanvastus aiheuttaa suurimman osan polttoaineenkulutuksesta vastaavissa olosuhteissa. (10, s. 46.)

$$F_a = \frac{1}{2} \rho C_w A v^2 \quad \text{KAAVA 3}$$

$$P_a = F_a v = \frac{1}{2} \rho C_w A v^3 \quad \text{KAAVA 4}$$

$F_a = \text{ilmanvastusvoima (N)}$

$P_a = \text{ilmanvastusteho (W)}$

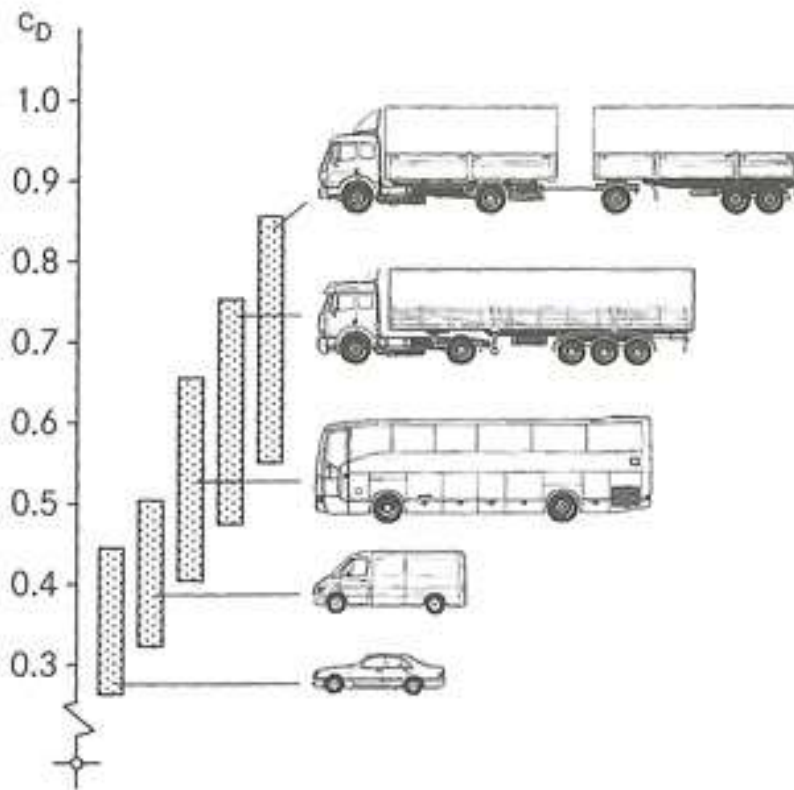
$\rho = \text{ilmantiheys } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$v = \text{ajoneuvon nopeus } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

$A = \text{ajoneuvon otsapinta – ala (m}^2\text{)}$

$C_w = \text{ajoneuvon ilmanvastuskerroin}$

Kuorma-autoissa ilmanvastuskertoimet ovat huomattavasti suurempia henkilöautoihin verrattuna. Kuorma-autoissa on suuremman otsapinta-alan lisäksi usein hyvin epäedullinen muotoilu henkilöautoihin verrattuna. Keula nousee melkein pystysuoraan ja korissa on epäjatkuvuuskohtia vetoauton ja perävau-
nujen välissä. (Kuva 3.) Nämä epäjatkuvuuskohdat aiheuttavat pyörteitä ja lisäävät ilmanvastuskerrointa. Ilmanvastusvoimaan ja sitä kautta polttoaineenkulutukseen voidaan vaikuttaa ajonopeudella ja ajoneuvon muotoilulla. (11.)



KUVA 3. Eri ajoneuvotyyppien ilmanvastuskertoimia (12)

2.2.2 Nousuvastus

Nousuvastus tarkoittaa ylämäessä ajoneuvon painovoiman tien suuntaista komponenttia, joka on vastustaa ajoneuvon liikettä menosuuntaan. Se riippuu ajoneuvon massasta ja nousukulmasta. Tämän takia se pysyy vakiona ajoneuvosta riippumatta. (4, s. 38.) Nousuvastusvoima lasketaan kaavalla 5 (10, s. 45).

$$F_n = m_a g \sin \alpha$$

KAAVA 5

$$F_n = \text{nousuvastusvoima (N)}$$

$$m_a = \text{ajoneuvon massa (kg)}$$

$$g = \text{painovoiman kiihtyvyyys (9,81 \frac{m}{s^2})}$$

$$\alpha = \text{nousun kaltevuuskulma (^\circ)}$$

Maantiellä ajettaessa tulee vastaan vastamäkiä ja myötämäkiä. Myötämäessä nousuvastusvoima on saman suuruinen kuin yhtä jyrkässä vastamäessä, mutta

pyrkii viemään ajoneuvoa eteenpäin. Myötämässä moottorilta tarvitaan siis saman verran vähemmän tehoa kuin vastamässä tarvittiin lisää. Polttoaineenkulutukseen vaikutus ei kuitenkaan ole näin yksiselitteinen, koska moottori-kuormituksen laskiessa muuttuu myös moottorin hyötysuhde. Moottorin hyötysuhde on yleensä pienellä kuormituksella huonompi. Siksi myötämässä saavutettu hyöty ei usein pysty korvaamaan vastamässä syntynyttä ylimääräistä polttoaineenkulutusta. (4, s. 39.)

2.2.3 Vierintävastus

Vierintävastuksella tarkoitetaan voimaa, joka kuluu renkaiden ja tienpinnan väliin vuorovaikutukseen, laakereiden kitkahäviöihin ja jarrujen laahauksesta aiheutuviin kitkahäviöihin. Ajoneuvon koko paino lepää renkaiden päällä, joka aiheuttaa muodonmuutoksia kumiseoksesta valmistetuissa renkaissa ja tienpinnasta riippuen myös tiessä. Liikuttaessa renkaan ja tien muodonmuutokset tarvitsevat energiaa, joka muuttuu renkaassa lämpöenergiaksi. Mitä enemmän rengas muuttaa muotoaan tienpinnan mukaan, sitä suurempi on sen vierintävastus. Vierintävastusvoimaan vaikuttavat ajoneuvon massa, vierintävastuskerroin ja mahdollinen tien kaltevuuskulma. (kaava 6). (10, s. 5 - 11.)

$$F_r = f_r m_a g \cos\alpha$$

KAAVA 6

$$F_r = \text{vierintävastusvoima (N)}$$

$$f_r = \text{vierintävastuskerroin}$$

$$m_a = \text{ajoneuvon massa (kg)}$$

$$g = \text{painovoiman kiihtyvyys (9,81 \frac{m}{s^2})}$$

$$\alpha = \text{tien kaltevuuskulma (°)}$$

Vierintävastus on hitaasti ajettaessa suurin ajovastus, mutta ei kasva kovinkaan paljon nopeuden kasvaessa. Vierintävastusta voidaan pienentää oikeilla rengaspaineilla, hyvin suunnatuilla pyörillä, kapeammilla ja paremmin suunnitelluilla renkailla sekä pienemmillä kuormilla. (4, s.32 - 33.)

2.3 Ajotapa

Polttoaineenkulutukseen vaikuttavista tekijöistä yksi suurimmista on kuljettajan ajotapa. Polttoaineenkulutus määräytyy moottorista otettavan energian (kWh) ja moottorin ominaiskulutuksen (g/kWh) välisen kertolaskun tuloksena. Ajoneuvon kuljettaja voi omalla ajotavallaan vaikuttaa matkan kulkemiseen tarvittavan energian määrään ja siihen millä ominaiskulutuksella ajoneuvon moottori tuottaa tarvittavan energian. (4, s. 48.) Tässä luvussa esitetään joitakin tapoja, joilla kuljettaja voi vaikuttaa ajoneuvon polttoaineenkulutukseen.

2.3.1 Ennakoiva ajaminen

Ennakoiva ajaminen on tärkeimpiä taloudellisen ajon perusasioita. Ennakoivasti ajamalla voidaan myös usein välttää vaaratilanteita ja ehkäistä niiden syntymistä. Ennakoiva ajaminen on erityisen tärkeää raskaalla kalustolla, koska ajoneuvojen massat ovat suurempia ja tätä kautta säästetyt polttoainemäärät ovat myös suurempia.

Ennakoivalla ajamisella tarkoitetaan edessä ja ympärillä olevan liikenteen ja esteiden tarkkailua mahdollisimman kaukaa ja niihin oikealla tavalla reagointia hyvissä ajoin. Ennakoivalla ajamisella pyritään minimoimaan tai jopa poistamaan jarruttamisen ja pysähtymisen tarve. Tähän pystytään esimerkiksi punaisiin valoihin tullessa sillä, että nostetaan jalka kaasulta hyvissä ajoin ja vähennetään ajonopeutta. Näin tekemällä voidaan usein välttyä jarruttamiselta, pysähtymiseltä ja suuremmalta kiihdyttämisen tarpeelta. Tällä tavoin liikenne myös kulkee sujuvammin, sillä valojen vaihtuessa vihreäksi ajoneuvot ovat jo liikkeessä. (4, s. 64 - 66.)

Liikkeessä olevaan ajoneuvoon on sitoutunut moottorin tuottamaa energiaa ja joka kerta kun ajoneuvolla jarrutetaan, muuttuu tämä polttoaineesta saatu energia turhaksi lämmöksi ajoneuvon jarruissa. Tämän lisäksi aina kun nopeutta joudutaan nostamaan ajoneuvoa kiihdyttämällä, kulutetaan ylimääräistä energiaa verrattuna tasaisella nopeudella ajamiseen. Tämä nostaa matkan kulkemiseen tarvittavan energian määrää ja lisää tätä kautta ajoneuvon polttoaineenkulutusta. (4, s. 64.)

2.3.2 Ajoneuvon kiihdyttäminen

Ajoneuvon nopeuden kasvattaminen vaatii energiaa, sillä ajoneuvon liike-energiaa kasvatetaan. Kiihdytykseen vaadittava energia riippuu ajoneuvon massasta ja kiihdytettävästä nopeuserosta. Kiihdytykseen käytettävällä ajalla ei ole merkitystä ja hitaasti suoritettu kiihdytys ei vaadi sen enempää energiaa kuin nopea kiihdytys. Ajoneuvon kiihdyttämistavalla on kuitenkin merkitystä kiihdytykseen kuluvan polttoaineen määrään. Ajoneuvon kuljettaja voi omalla toiminnallaan vaikuttaa siihen, kuinka hyvällä hyötysuhteella ajoneuvon moottori tuottaa kiihdyttämiseen tarvittavan energian polttoaineesta. (4, s. 79.)

Kuten aiemmin jo todettiin, moottorin hyötysuhde ei ole vakio ja se muuttuu kierrosnopeuden ja kuormituksen mukaan. Kiihdyttäminen tulisi suorittaa siten, että ajoneuvon moottori tuottaa kiihdyttämiseen tarvittavan energian mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Moottorin paras hyötysuhde sijaitsee yleensä alhaisilla kierroksilla ja korkeahkoilla kuormituksilla.

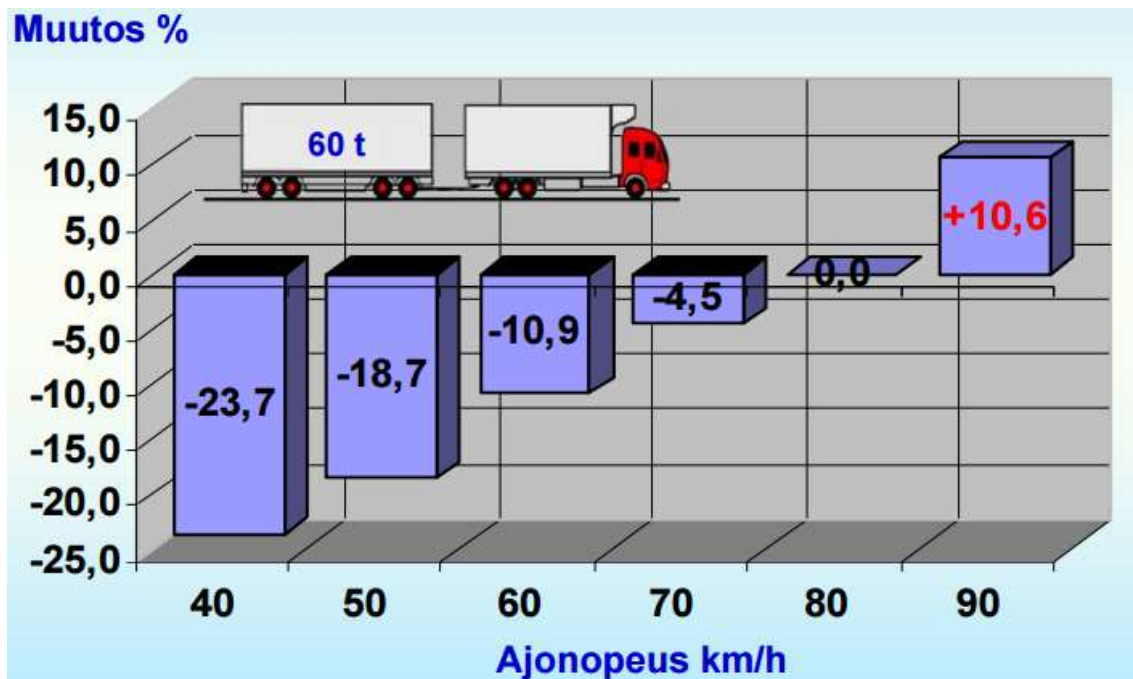
Taloudellisuutta ajatellessa ajoneuvolla tulee kiihdyttää kohtalaisen nopeasti. Moottoria kuormitetaan noin 80 % maksimista, mutta vaihde tulee kuitenkin vaihtaa seuraavaan mahdollisimman aikaisin. Vaihdetta ei kuitenkaan saa vaihtaa liian aikaisin. Vaihteella tulee kiihdyttää siihen asti, että moottori jaksaa kiihdyttää ajoneuvoa seuraavalla vaihteella ilman ylimääräisiä ääniä ja värähtelyjä ja moottori toimii parhaalla mahdollisella hyötysuhteella kiihdytyksen ajan. (4, s. 79.)

2.3.3 Tasaisella nopeudella ajaminen

Se, millä vaihteella ajoneuvolla ajetaan, vaikuttaa suoraan ajoneuvon moottorin kierroksiin ja moottorin kuormitustasoon. Aiemmin esitettiin kuinka nämä asiat vaikuttavat moottorin hyötysuhteeseen ja sitä kautta polttoainekulutukseen. Tasaisella nopeudella ajettaessa vaihde tulisi moottorin ominaiskulutuksen minimoimiseksi valita siten, että kuormitus saadaan korkeammaksi ja kierrokset matalaksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ajetaan aina suurimmalla mahdollisella vaihteella, jolla ajoneuvon moottori pystyy toimimaan hyvällä omi-

naiskulutuksella ja tasaisesti. Esimerkiksi tasaisella tiellä myötätuulessa ajattaessa vaihde voi olla paljon suurempi kuin vastamäkeen ajattaessa. (4, s. 76.)

Kuten aiemmin käsiteltiin, ilmanvastusteho kasvaa ajonopeuden tuplaantuessa kahdeksankertaiseksi. Mitä nopeammin ajetaan, sitä enemmän tehoa ajoneuvon moottorilta vaaditaan ilmanvastustehon voittamiseksi. Polttoaineenkulutus ei kuitenkaan kasva samassa suhteessa kuin ilmanvastus, koska ilmanvastus ei ole ainut ajoneuvon vaikuttava ajovastus ja moottorin hyötysuhde usein kasvaa kuormituksen kasvaessa. Ajonopeudella on kuitenkin merkittävä vaikutus matkalla kulutetun energian määrään. (4, s. 68.) Raskaalla kalustolla polttoaineenkulutus vähenee noin 10 % kun ajonopeus tiputetaan 90 - 80 km/h (13). Ajonopeuden vaikutusta polttoaineenkulutukseen on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Ajonopeuden vaikutus polttoaineenkulutukseen ajoneuvoyhdistelmällä Volvo FM, DH12C420 (14)

2.3.4 Ajoneuvon hidastaminen

Polttoainetaloudellisin tapa jarruttaa ajoneuvoa on olla jarruttamatta ollenkaan. Ajonopeus tulisi sen sijaan säätää sopivaksi sillä, että ajoneuvoa kiihdytetään ja kaasua painetaan ainoastaan sen verran kuin on tarpeellista, jotta päästään esimerkiksi seuraavaan risteykseen, liikenneympyrään ja liikennevaloihin. Ajo-

neuvolla tulisi rullata ennakoivan ajon periaatteita noudattaen ilman että polttoaineella tuotettua liike-energiaa hukataan jarruttaessa. Erityisesti maantienopeuksissa vapaalla rullaaminen on kaikista polttoainetaloudellisin hidastamistapa. Hyvissä ajoihin aloitetulla vapaalla rullaamisella liikenteessä ollut este voi ehdiä poistua, jolloin tilanteesta selvitetään mahdollisimman pienellä nopeuden pudotuksella ja vähäisimmällä kiihdytyksellä. (4, s. 64; 4, s. 85 - 89.)

Liikennetilanteet kuitenkin muuttuvat ja liikenteessä voi tapahtua odottamattomiakin asioita, joten joskus jarruttaminen on tarpeen ja jopa välttämätöntä. Ehdottomasti taloudellisin tapa jarruttaa nykyaikaisella ajoneuvolla on niin sanottu moottorijarrutus. Moottorijarrutuksessa kaasua vapautetaan täysin vaihteen ollessa vielä kytkettynä. Tämä aiheuttaa nykyaikaisissa ajoneuvoissa sen, että polttoaineensyöttö moottoriin katkeaa kokonaan ja polttoaineenkulutus on jarrutuksen aikana nolla. Ajoneuvon liike pitää vetävien pyörien kautta ajoneuvon voimalinjan kierroksia yllä. Ajoneuvon voimansiirron ja moottorin häviöt vastavasti jarruttavat ajoneuvon liikettä. Moottorin polttoaineensyöttö kuitenkin jatkuu, jos moottorin kierrokset tippuvat tarpeeksi matalalle. Jos moottorijarrutusta halutaan ylläpitää koko pitkän jarrutuksen ajan, usein on tarpeellista vaihtaa pienempi vaihde jarrutuksen aikana. (4, s. 84 - 85.)

Moottorijarrutuksen ollessa riittämätön hidastamaan vauhtia tarpeeksi nopeasti, jarrutusta voidaan tehostaa ensisijaisesti pakokaasujarrulla, erillisillä hidastimilla ja viimeiseksi jarruilla. Pakokaasujarru ja erilliset hidastimet säästävät ajoneuvon jarruja kulumiselta ja vähentävät jarrujen lämpenemistä. Tällä tavoin säästetään jarrujen huoltokustannuksissa ja jarrut ovat paremmassa toimintakunnossa hätätilanteen varalta.

2.3.5 Mäkisessä maastossa ajaminen

Ajettaessa vastamäkeen ajoneuvon kulkua vastustaa painovoimasta johtuva tien suuntainen komponentti. Vastamäki siis lisää tehontarvetta moottorilta, jos ajoneuvon nopeus halutaan vastamäessä pitää vakiona. Polttoaineenkulutus ei kuitenkaan kasva tällöin usein samassa suhteessa kuin tehontarve, sillä moottorin kuormituksen kasvaessa moottori toimii paremmalla hyötysuhteella. Moottori siis tuottaa tällöin enemmän tehoa yhtä polttoainelitraa kohden. Myötämä-

essä ajoneuvon kulkua edistää sama tien suuntainen ajoneuvon massasta aiheutuva painovoiman komponentti. Tavallisilla polttomoottoriajoneuvoilla taloudellisinta olisi ajaa täysin tasaisessa maastossa, mutta se ei usein ole mahdollista. (4, s. 102.)

Vastamäkeä noustessa ajoneuvon potentiaalienergia kasvaa. Hankitun potentiaalienergian suuruus riippuu korkeuserosta ja ajoneuvon massasta. Sillä kuinka nopeasti ajoneuvolla noustaan mäen päälle ei ole merkitystä potentiaalienergian suuruuteen. Ajoneuvon nopeutta ei siis ole taloudellista hidastaa nousussa, sillä se ainoastaan vähentää moottorin kuormitusta ja pienentää sen hyötysuhdetta tilanteessa. Alamäessä vasta hankittu potentiaalienergia muuttuu liikeenergiaksi ja ajoneuvon moottorin kuormitus laskee. Tällöin myös moottorin hyötysuhde yleensä huononee. (4, s. 102 - 103.)

Mäkisessä maastossa polttoainetaloudellisin ajotapa on nousta mäet ylös vakionopeudella. Alamäet on maantienopeuksissa taloudellisinta rullata vapaalla, jos sellainen on mahdollista ilman, että ajoneuvon nopeus nousee yli sallitun tai nopeutta joudutaan hidastamaan jonkin liikenne-esteen takia. Jos tiedetään, että ajoneuvon nopeus tulee myötämässä nousemaan yli sallitun tai että edessä on liikenne-este, tulee rullaaminen aloittaa jo ennen myötämäkeä. Näin vältetään polttoaineella hankitun liike-energian jarruttamiselta ja potentiaalienergiasta saatu liike-energia ei kulu hukkaan. (4, s. 102 - 104.)

2.4 Polttoaineenkulutuksen määrittäminen

Polttoaineenkulutus voidaan määrittää usealla eri tavalla. Kaikille tavoille yhteistä on kuitenkin, että selvitetään ajosuoritteen suuruus ja kulutetun polttoaineen määrä. Polttoaineenkulutus voidaan Euroopassa ilmoittaa g CO₂/km tai l/100 km. USA:ssa polttoaineenkulutus ilmoitetaan maileina galloniaa kohti (mpg) ja Japanissa kilometreinä litraa kohti (km/l). (6, s.785 – 786.)

Henkilöautojen viralliset polttoaineen kulutusarvot mitataan dynamometrillä suoritettavan ajosyklin avulla. Eri puolilla maailmaa on käytössä eri ajosyklejä ja Euroopassa on käytössä New European Driving Cycle. Ajosyklin aikana syntyneet hiilivety-, häkä- ja hiilidioksidipäästöt kerätään talteen. Syntyneen hiilidiok-

sidipäästön määrä on suoraan verrannollinen kulutetun polttoaineen määrään. Jakamalla hiilidioksidi päästön massan ajosyklissä suoritettulla ajosuoritteella saadaan selville, kuinka paljon hiilidioksidia syntyy keskimääräisesti ajosyklin aikana. Hiilidioksidipäästöt ilmoitetaan g/km . Hiilidioksidipäästöstä voidaan laskea ajosyklin aikainen keskimääräinen polttoaineenkulutus. (6, s. 785.)

Helpon ja yleisin tapa polttoaineen kulutuksen laskemiselle on mahdollinen, kun tiedetään moottorin kuluttama polttoaine ja ajoneuvolla ajettu matka. Kulutetun polttoaineen määrä voidaan ottaa joko ajoneuvon moottorinohjaukselta tulevasta tiedosta, tai merkitsemällä muistiin ajoneuvoon tankatun polttoaineen määrän ja ajatut kilometrit. Kun tiedetään kulutetun polttoaineen määrä ja ajatut kilometrit, keskimääräinen polttoaineenkulutus voidaan laskea kaavalla 7.

$$B_e = \frac{V_f}{s} \quad \text{KAAVA 7}$$

$$B_e = \text{keskimääräinen polttoaineenkulutus} \left(\frac{l}{100 \text{ km}} \right)$$

$$V_f = \text{kulutettu polttoaine (l)}$$

$$s = \text{ajettu matka (100 km)}$$

Usein pelkkä ajoneuvojen keskimääräisten kulutuksien vertailu ei riitä, vaan on aiheellista suhteuttaa kulutus muuhunkin saavutettuun hyötyyn kuin ajettuihin kilometreihin. Tavaraliikenteessä voidaan laskea polttoaineenkulutus suhteessa kuljetetun tavarantoiminnan määrään, sillä tämä kertoo ajoneuvon polttoainetehokkuuden tarkemmin. Tämän tyyppinen ominaiskulutus lasketaan kaavalla 8.

$$b_t = \frac{V_f}{s m_1} \quad \text{KAAVA 8}$$

$$b_t = \text{ominaiskulutus (l/tonni – km)}$$

$$V_f = \text{kulutettu polttoaine (l)}$$

$$s = \text{ajettu matka (km)}$$

$$m_1 = \text{hyötykuorman massa (t)}$$

3 VERTAILUN AJONEUVOYHDISTELMÄT

3.1 OAK:n Green Double

Oulun Autokuljetus Oy (OAK) aloitti HCT-ajoneuvoyhdistelmällä liikennöinnin loppuvuodesta 2015. Ajoneuvoyhdistelmät saivat nimekseen Green Double. Green Double (kuva 5) on OAK:n, Scanian ja NTM:n yhteistyöllä toteutettu erikoisyhdistelmä, joka mahdollisti aiempaa suuremmat massat ja tilavuudet runkoliikenteeseen. Green Doublella liikennöi Eero Sjögren Oy. Yhdistelmä on suunniteltu massa- ja elintarvikeliikenteeseen. Sen tarkoitus on parantaa ympäristöystävällisyyttä, turvallisuutta ja tehokkuutta kuljetusliikenteessä suuremman kapasiteettinsa avulla. (2.)



KUVA 5. Green Double (16)

Ajoneuvoyhdistelmän vetoautona toimii Scanian R730-malli, jossa on korkea makuuohjaamo. Vetoauto on kolmiakselinen ja telivetoinen. Vetoauton perään kytketään kaksi NTM:n valmistamaa kolmiakselista samanlaista puoliperävau-

nua, jotka on liitetty toisiinsa paripyörä-dollylla. Puoliperävaunut ovat FRC-luokiteltuja ja varustettu välitasoilla ja sivuovilla. Puoliperävaunuissa on neste-mäisellä hiilidioksidilla toimivat CryoTech CT-15 -kylmäkoneet. (2.)

Yhdistelmä on 32 metriä pitkä, 4,4 metriä korkea ja kokonaispainoa sillä on 88 tonnia. Hyötykuormaa voidaan kuljettaa 66 eurolavapaikan verran tai vaihtoehtoisesti kahden 40 jalan merikonttikuorman verran. (2.) Yhdistelmässä vetoauton ohjaava akseli ja puoliperävaunujen viimeiset itseohjautuvat akselit on varustettu yksittäispyörillä. Muut ajoneuvoyhdistelmän akseleista on varustettu paripyörillä. Ajoneuvoyhdistelmän yksittäispyörien renkaina käytetään kokoa 385/55R22,5. Paripyörien koko on 275/70R22,5. Green Doublen tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1.

3.2 Vertailuyhdistelmä

Vertailuyhdistelmäksi valittiin OAK:n ajoneuvoyhdistelmistä Eero Sjögren Oy:n liikennöimä täysperävaunuyhdistelmä (kuva 6). Ajoneuvoyhdistelmä kuljettaa päätoimisesti lämpösäädelyjä kuljetuksia Etelä-Suomesta Oulun seudulle ja massakuormia Pohjois-Suomesta Etelä-Suomeen. Ajoneuvoyhdistelmän vetoautona toimii Volvon FH13. (15.)



KUVA 6. Vertailuyhdistelmä (15)

Vertailuyhdistelmä on 9-akselinen ja koostuu kuorma-autosta ja varsinaisesta perävaunusta. Vetoauto on neliakselinen ja telivetoinen. Ajoneuvoyhdistelmä on 25,25 metriä pitkä ja 4,4 metriä korkea. Kokonaispainoa yhdistelmällä on 76 tonnia ja on täten painavin yhdistelmä, jolla voidaan liikennöidä ilman poikkeuslupaa. Kuljetuskapasiteettia yhdistelmällä on 51 eurolavapaikan verran ja kantavuutta 47 tonnia. Vertailuyhdistelmän akseleista kaikki paitsi ohjaava ja neljäs akseli on varustettu paripyörillä. 1- ja 4-akselilla on käytössä 385/55R22,5 kokoiset renkaat, 2- ja 3-akselilla 315/70R22,5R ja perävaunun kaikki renkaat ovat kokoa 275/70R22,5. (15.) Vertailuyhdistelmän tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Ajoneuvoyhdistelmien tekniset tiedot (2; 16, s. 3; 17; 15)

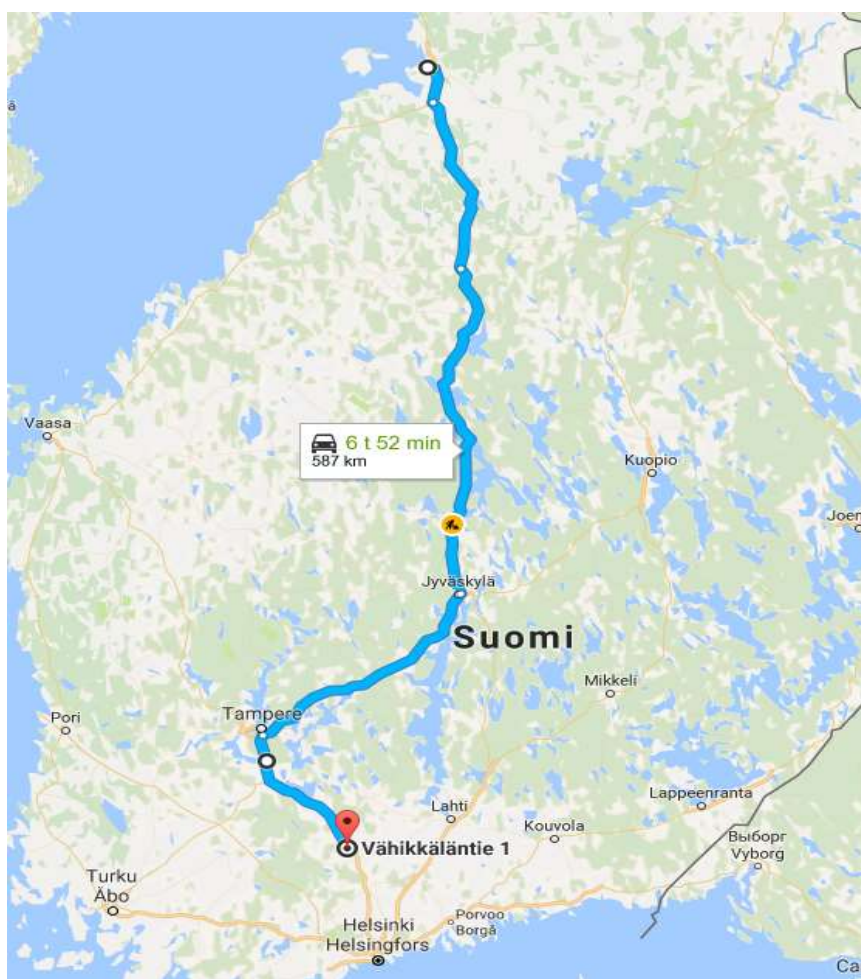
	Green Double	vertailuyhdistelmä
moottorin tyyppi	DC16 103 730	D13K540
päästöluokka	Euro 6	Euro 6
moottorin rakenne	90° V8	rivi 6
iskutilavuus	16,4 litraa	12,8 litraa
teho	537 kw/1 900 rpm	397 kW/1 450 - 1 800 rpm
vääntö	3 500 Nm/1 000 - 1 400 rpm	2 600 Nm/1 000 - 1 450 rpm
vaihteisto	Scania Opticruise	Volvo I-shift
vetotapa	6x4	8x4
yhdistelmän tyyppi	A-double	täysperävaunu
akselien lukumäärä	11	9
jousitus	ilmajousitus	ilmajousitus
pituus	32 metriä	25,25 metriä
korkeus	4,4 metriä	4,4 metriä
kokonaismassa	88 tonnia	76 tonnia
eurolavapaikkoja	66	51
kuormatilavuus	200 kuutiometriä	156 kuutiometriä

4 LIIKENNÖINTIREITIT

Vertailuajoneuvot ovat liikennöineet samalla runkolinjalla. Runkolinja koostuu massatavaran kuljettamisesta, siirtymäajosta kuormaamattomalla yhdistelmällä ja elintarvike- ja päivittäistavarakuormien kuljettamisesta. Polttoaineen kulutuksen tarkan vertailun mahdollistamiseksi runkolinja jaettiin kolmeksi eri reitiksi, jotka vaihtuvat aina ajoneuvoyhdistelmien kuormauksen muuttuessa.

Reitti 1. Oritkari, Oulu – Tervakoski, Janakkala

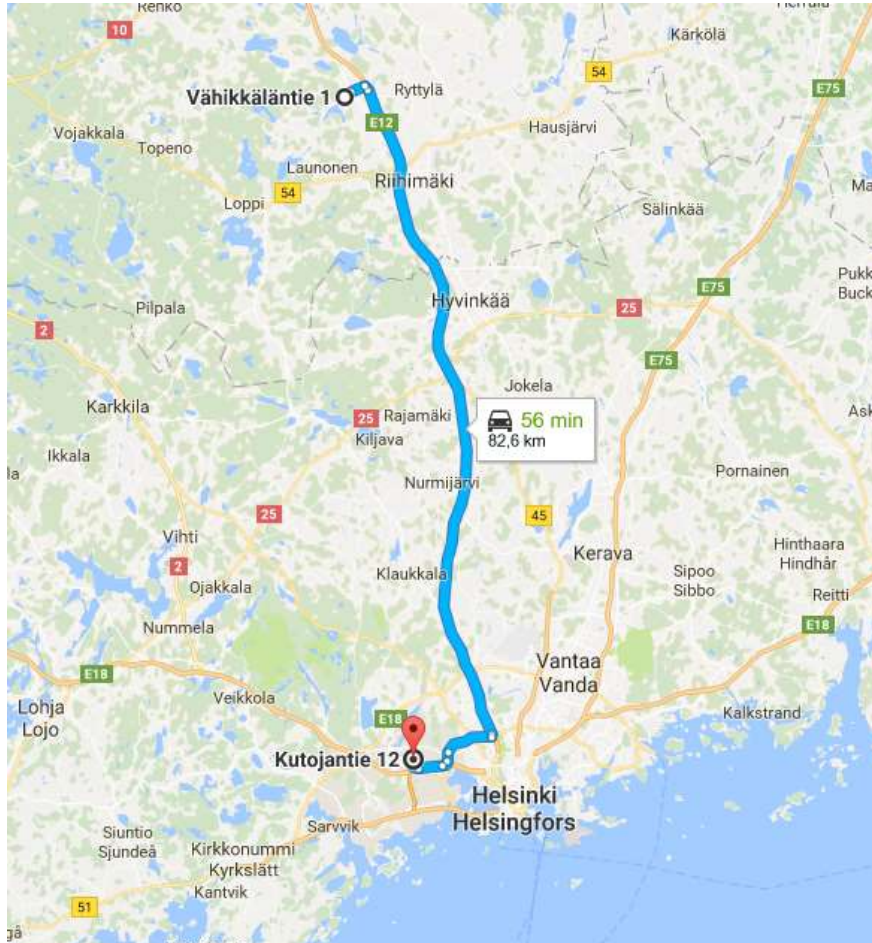
Ajoneuvoyhdistelmät kuljettavat massakuormia Oulun Oritkarista, jotka puretaan Tervakoskelle. Reitti 1 (kuva 7) on seuraava: Oritkari, Oulu – Poikkimaan- tie, Oulu – Pohjantie E8 – kiertoliittymä, Liminka – Valtatie 4 E75 – Jyväskylä – Valtatie 9 E63 – Tampere – Valtatie 3 E12 – Tervakoski, Janakkala.



KUVA 7. Reitti 1. Oritkari – Tervakoski (18)

Reitti 2. Tervakoski, Janakkala – Kilo, Espoo

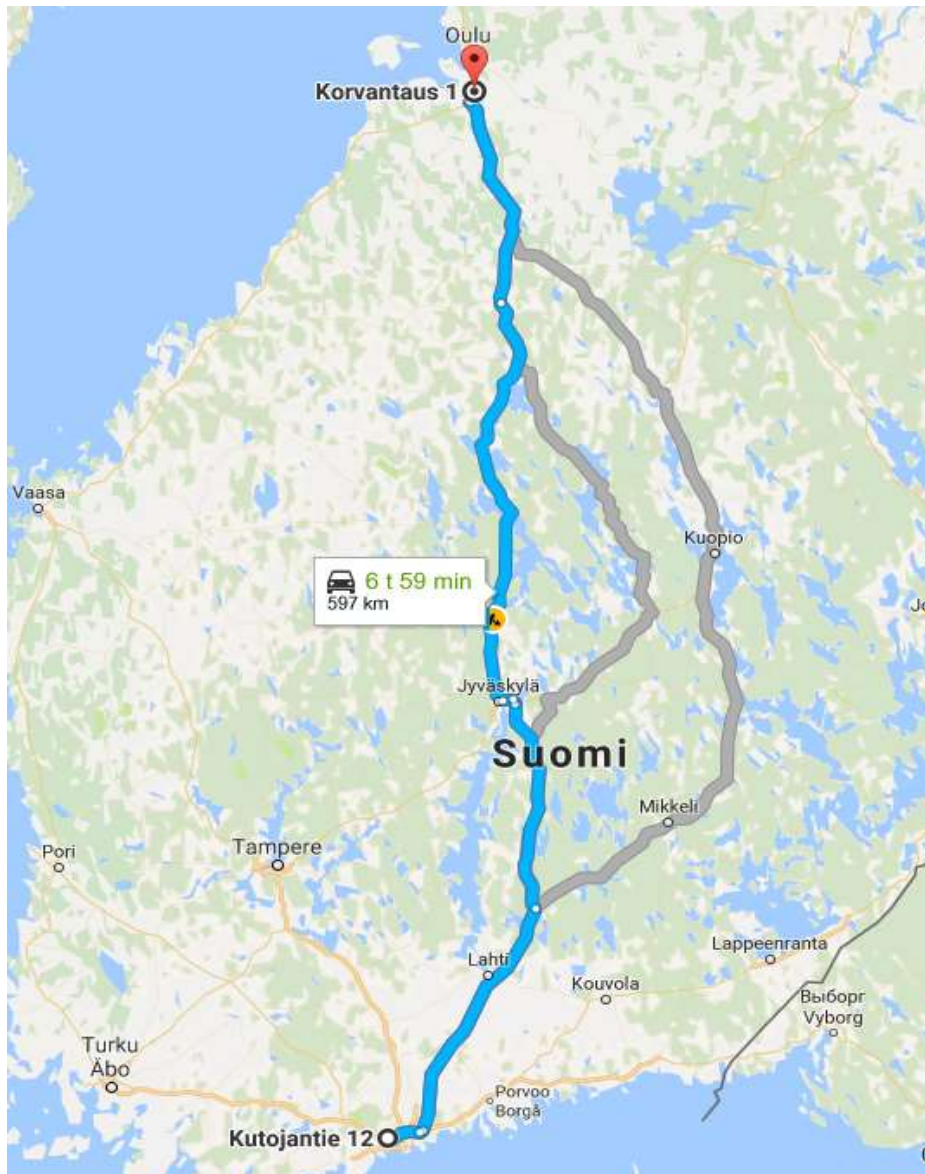
Reitillä 2 ajoneuvoyhdistelmät siirtyvät kuormaamattomalla ajoneuvoyhdistelmällä Tervakoskelta Espoon Kiloon. Siirtymän pääte oli joskus Sipoossa, mutta nämäkin matkat laskettiin reitti 2:ksi. Reitti 2 (kuva 8) on seuraava: Tervakoski, Janakkala – Valtatie 3 E12 – Kehä 1 – Valtatie 1 – Kilo, Espoo.



KUVA 8. Reitti 2. Tervakoski – Kilo (18)

Reitti 3. Kilo, Espoo – Tupos, Liminka

Paluukuormana Etelä-Suomesta ajoneuvoyhdistelmät kuljettavat elintarvike- ja päivittäistavarakuormia pääsääntöisesti Limingan Tupokseen. Elintarvikkeet toimitettiin välillä muualle Oulun alueella, mutta nämäkin matkat laskettiin reitti 3:ksi. Reitti 3 (kuva 9) on seuraava: Kilo, Espoo – Valtatie 1 – Kehä 1 – Valtatie 4 E75 – kiertoliittymä, Liminka – Pohjantie E8 – Tupos, Liminka.



KUVA 9. Reitti 3. Kilo – Tupos (18)

5 POLTTOAINEENKULUTUKSEN SEURANTAJÄRJESTELMÄ

Molemmat Oulun Autokuljetus Oy:n ajoneuvoyhdistelmät on varustettu AC Panther -ajoneuvotietokoneilla. Ajoneuvotietokoneessa on lukuisten ominaisuuksien lisäksi paikannus ja polttoaineenkulutuksen seuranta. Ajoneuvotietokone saa moottorinohjaimelta tietoonsa käytetyn polttoaineen määrän ja paikannustoimintonsa avulla kuljetun matkan. (19.)

Ajoneuvotietokone tallentaa nämä tiedot reaaliajassa ja välittää tiedon kuljetuista matkoista ja kulutetusta polttoaineesta langattomasti palvelimelle. Ajoneuvon kulkemat reitit ja kuluttamat polttoaineet ovat näin tallessa palvelimella. (19.) Tietoja pääsee tarkastelemaan AC-Sähköautot Oy:n verkkosivuille kirjautumalla.

6 KULUTUSVERTAILU

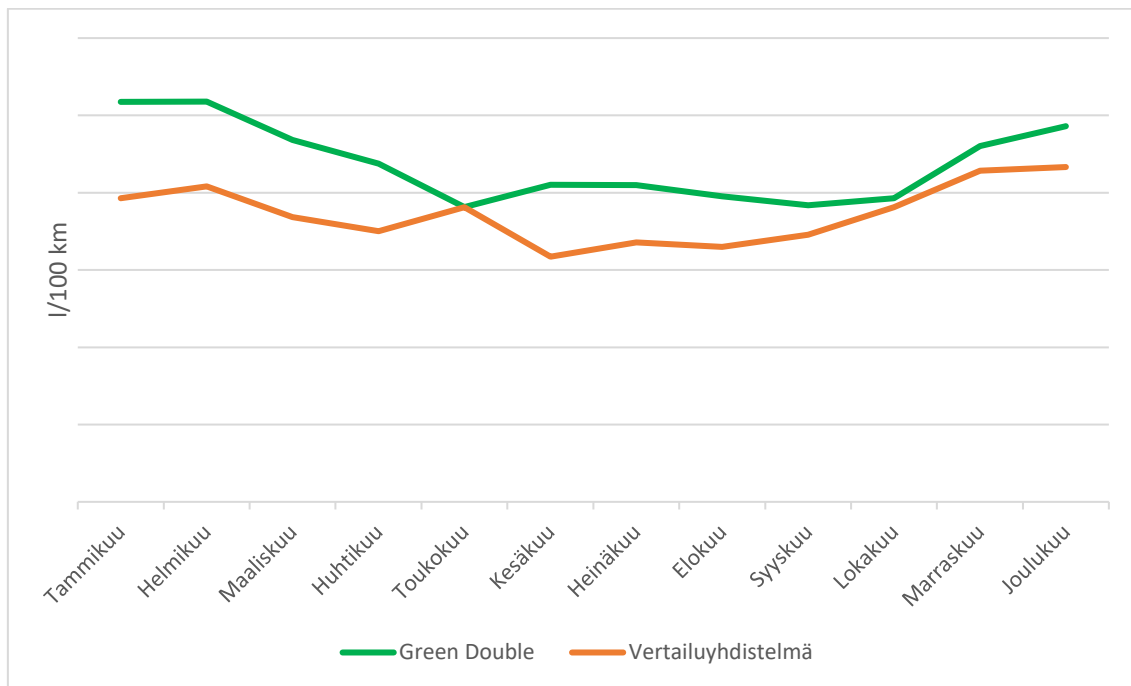
Polttoaineenkulutusta on seurattu ympäri vuoden ja tähän vertailuun on valittu kaikki matkat, jotka tapahtuivat samoilla ja samankaltaisilla reiteillä ja kuormilla. Ajoneuvoyhdistelmät liikennöivät pääasiassa samoilla reiteillä. Molemmat ajoneuvot kuljettivat samanlaisia, mutta erisuuruisia kuormia. Vertailuun kerätty tieto on tallennettu samoina kuukausina, jotta olosuhteet olisivat molemmilla ajoneuvoilla mahdollisimman tasavertaiset ja vertailu olisi mahdollisimman tarkka. Vertailusta poistettiin matkat, joilla kulutus oli aivan poikkeuksellisen suuri. Vertailuyhdistelmällä näin kävi kahdella matkalla helmikuussa 2016. Kyseiset matkat on korostettu punaisella liitteessä 2.

Esitetyt keskiarvolliset polttoaineen kulutukset on laskettu polttoaineenkulutuksen seurantajärjestelmästä lasketuista matkakohtaisista kulutuksista (liite 1, liite 2). Polttoaineenkulutukset laskettiin seurantajärjestelmästä poimituilla tiedoilla Microsoft Excel -ohjelmistoa käyttäen. Vuoden keskiarvoiset kulutukset on laskettu jokaisen kuukauden keskiarvoista, jotta matkojen määrän vaihtelu kuukausittain ja ajoneuvo kohtaisesti ei vääristäisi tuloksia. Kulutusvertailu ei ota huomioon lastatessa ja pysähdyksissä kulutettua polttoainetta. Massatavara-kuormien massana käytetään keskiarvoista hyötykuorman massaa, joka on laskettu lastaustiedoista saaduista massoista. Elintarvikekuormien kohdalla ominaiskulutus on laskettu suhteessa ajoneuvon lavapaikkojen määrään.

6.1 Reitti 1, massakuormat

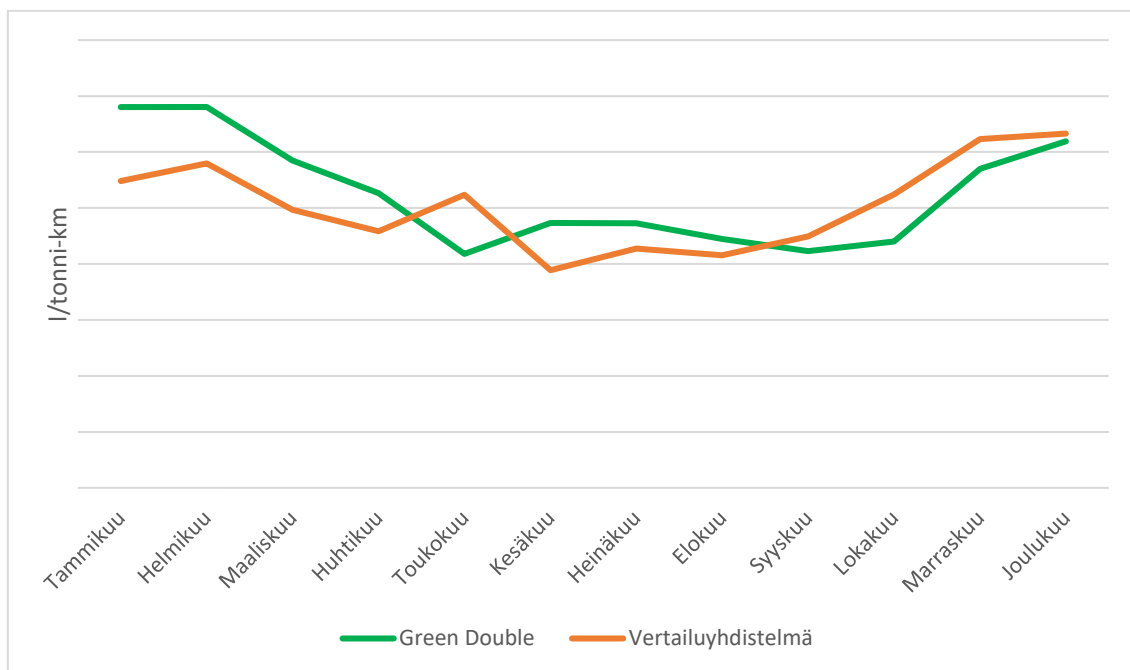
Reitillä 1 ajoneuvoyhdistelmät ovat kuljettaneet massakuormia. Green Doublen keskimääräinen hyötykuorma tällä reitillä oli 52 tonnia. Vertailuyhdistelmän vastaava arvo oli 47,5 tonnia. Suurin osa kuormista oli Oulun Oritkarista Tervakoskelle, mutta vertailussa käytettiin myös muita vertailukelpoisia matkoja.

Suuremman kokonaisuusmassan omaava Green Double kuluttaa reitillä 1 enemmän polttoainetta kuin vertailuyhdistelmä. Green Doublen polttoaineenkulutus reitillä 1 oli keskimäärin 11,5 % suurempi kuin vertailuyhdistelmän. Green Doublen polttoaineenkulutus laskee suhteessa vertailuyhdistelmään vuoden loppua kohden. Ajoneuvoyhdistelmien reitin 1 keskikulutukset on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Ajoneuvoyhdistelmien keskikulutukset reitillä 1

Reitillä 1 kuljetetaan massakuormia, joten polttoaineenkulutusta tarkastellaan myös ominaiskulutuksena suhteessa kuljetettuihin tonneihin (kuva 11). Green Doublen ominaiskulutus oli alkuvuodesta suurempi kuin vertailuyhdistelmällä, mutta laski tasaisesti suhteessa vertailuyhdistelmään. Syyskuussa Green Doublen ominaiskulutus laskee alle vertailuyhdistelmän ja pysyy siellä vuoden loppuun asti. Myös toukokuussa Green Double saavuttaa pienemmän ominaiskulutuksen, mutta siinä voi osittain olla syynä se, että vertailuyhdistelmälle kertyy ainoastaan kaksi matkaa toukokuussa. Keskimäärin Green Doublen ominaiskulutus oli 1,8 % suurempi vuonna 2016 kuin vertailuyhdistelmän.



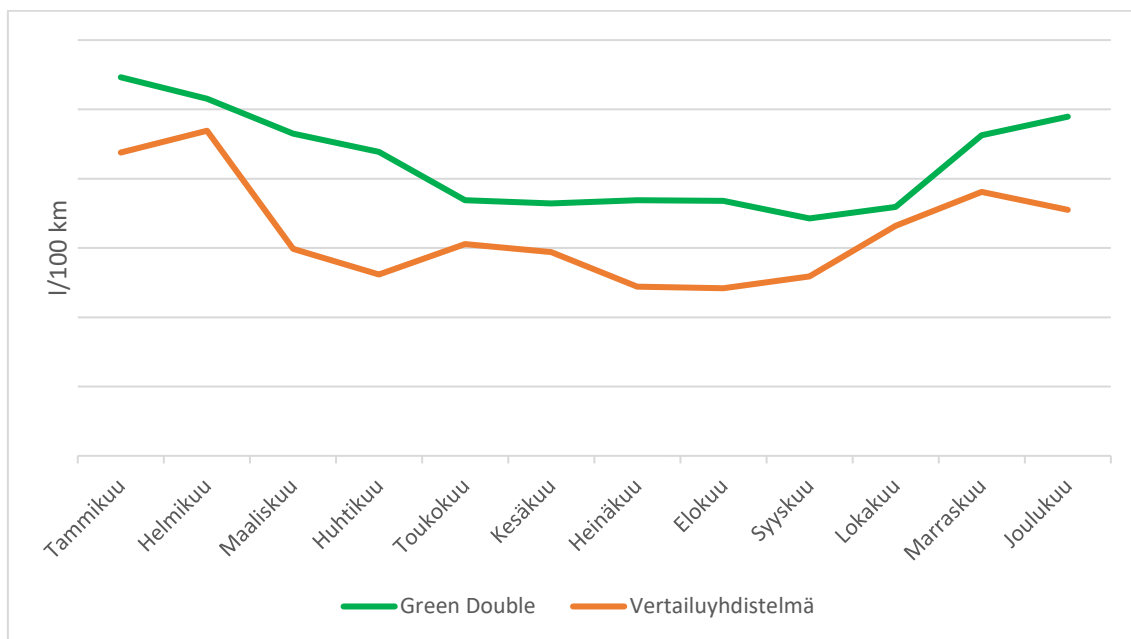
KUVA 11. Ajoneuvoyhdistelmien ominaiskulutukset reitillä 1

6.2 Reitti 2, siirtymäajo

Reitillä 2 ajoneuvoyhdistelmät siirtyivät kuormaamattomina Tervakoskelta Espoon Kilon. Muitakin lähtö- ja pääte pisteitä oli, mutta kaikki vertailuun otetut matkat tapahtuivat kuormaamattomalla yhdistelmällä ja Etelä-Suomessa.

Reitillä 2 ei kuljeteta hyötykuormaa, joten polttoaineenkulutusta tarkastellaan ajettuihin kilometreihin nähden. Green Doublen suurin keskipolttokulutus kirjattiin tammikuussa 2016. Vertailuyhdistelmän kulutushuippu tapahtui helmikuussa. Green Double kulutti keskimäärin 13,9 % enemmän polttoainetta kuin vertailuyhdistelmä reitillä 2.

Ajoneuvoyhdistelmien polttoaineenkulutuksessa ei ole havaittavissa mitään mitavia keskinäisiä muutoksia vuoden varrella. Suurimmat muutokset johtuvat luultavasti vertailuyhdistelmän pienemmästä matkaotannasta ja hieman vaihtelevista vertailumatkoista. Molempien ajoneuvoyhdistelmien keskipolttokulutus laskee kuukausina jolloin ei ole lunta ja nousee taas lumisateiden myötä (kuva 12).

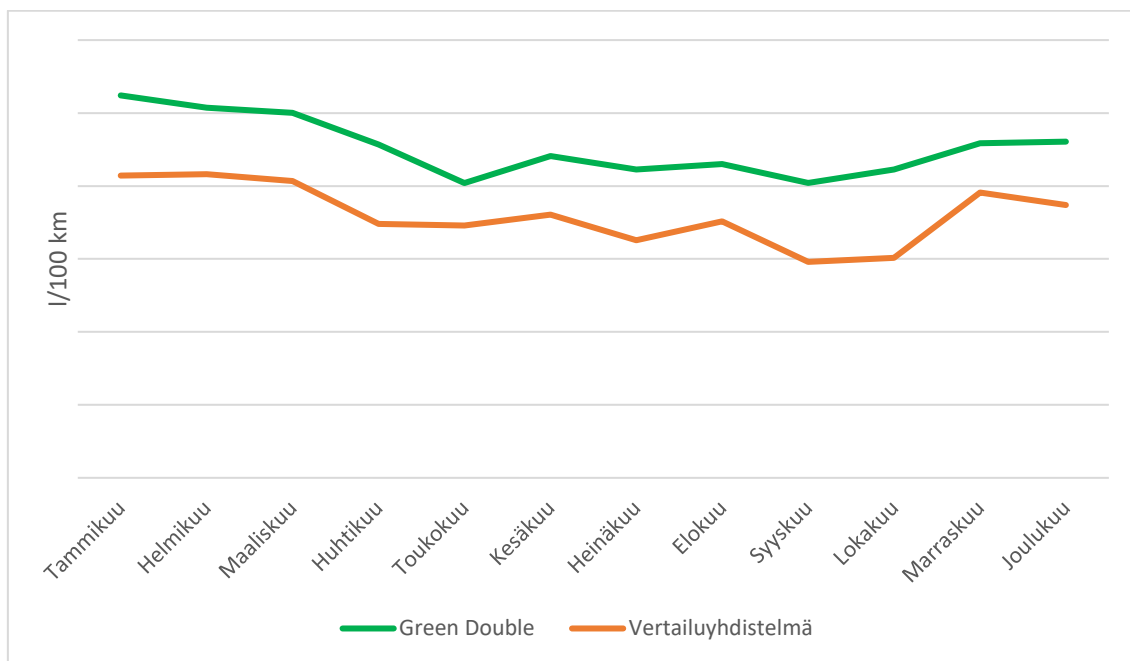


KUVA 12. Ajoneuvoyhdistelmien keskikulutukset reitillä 2

6.3 Reitti 3, elintarvike- ja päivittäistavarakuormat

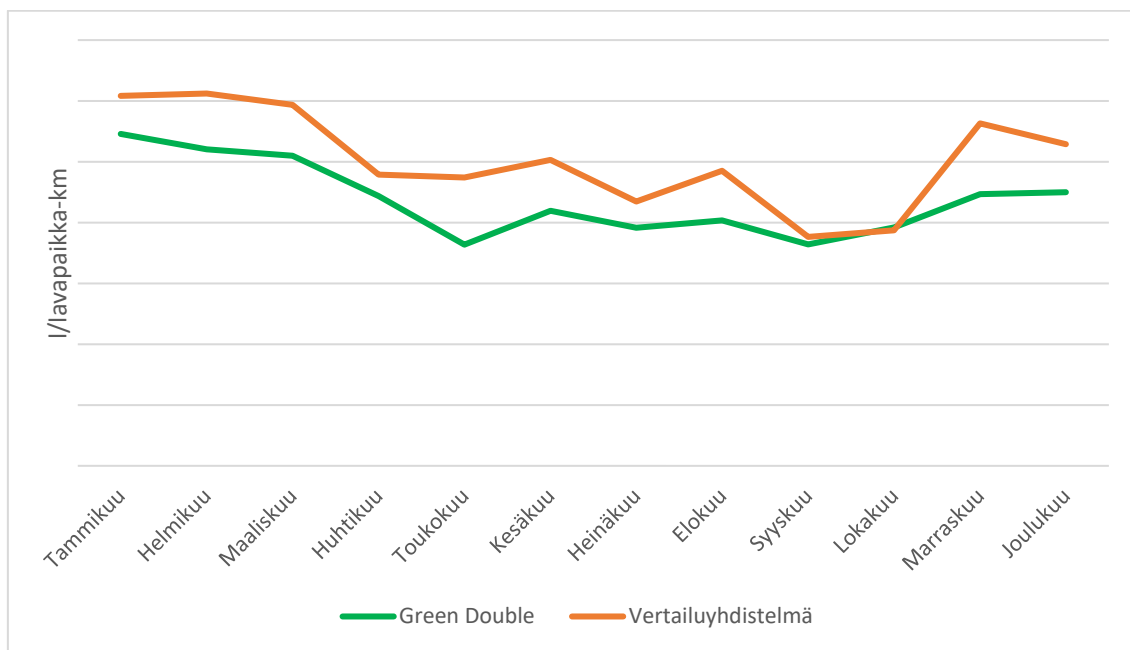
Reitti 3 koostuu matkoista, joilla ajoneuvoyhdistelmät ovat kuljettaneet päivittäistavara- ja elintarvikekuormia pääkaupunkiseudun terminaaleista Ouluun. Pääasiassa Espoon Kilosta Oulun Tupokselle, mutta muitakin vertailukelpoisia matkoja on otettu mukaan otannan suurentamiseksi. Green Double pystyy kuljettamaan tällä matkalla hyötykuormaa 66 eurolavapaikan verran ja vertailuyhdistelmä 51 eurolavapaikan verran.

Green Double kuluttaa reitillä 3 keskimäärin 19,9 % enemmän polttoainetta kuin vertailuyhdistelmä. Ero polttoaineenkulutuksen suuruudessa pysyy ajoneuvoyhdistelmien välillä hyvin samanlaisena läpi vuoden. Reitin 3 kuukausikohtaiset keskikulutukset on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Ajoneuvoyhdistelmien keskipoltotukset reitillä 3

Reitillä 3 ajoneuvoyhdistelmien polttoaineen kulutusta tarkastellaan suhteessa ajoneuvojen lavapaikkojen määrään (kuva 14). Green Doublen lavapaikkojen määrään suhteutettu polttoaineenkulutus oli vuonna 2016 keskimäärin 7,3 % pienempi kuin vertailuyhdistelmällä. Green Doublen ominaiskulutus on pienempi kaikkina muina kuukausina paitsi lokakuussa. Tähän voi olla osasyynä se, että vertailuyhdistelmällä kertyi lokakuussa vain vähän vertailukelpoisia matkoja, joten otanta on pieni.

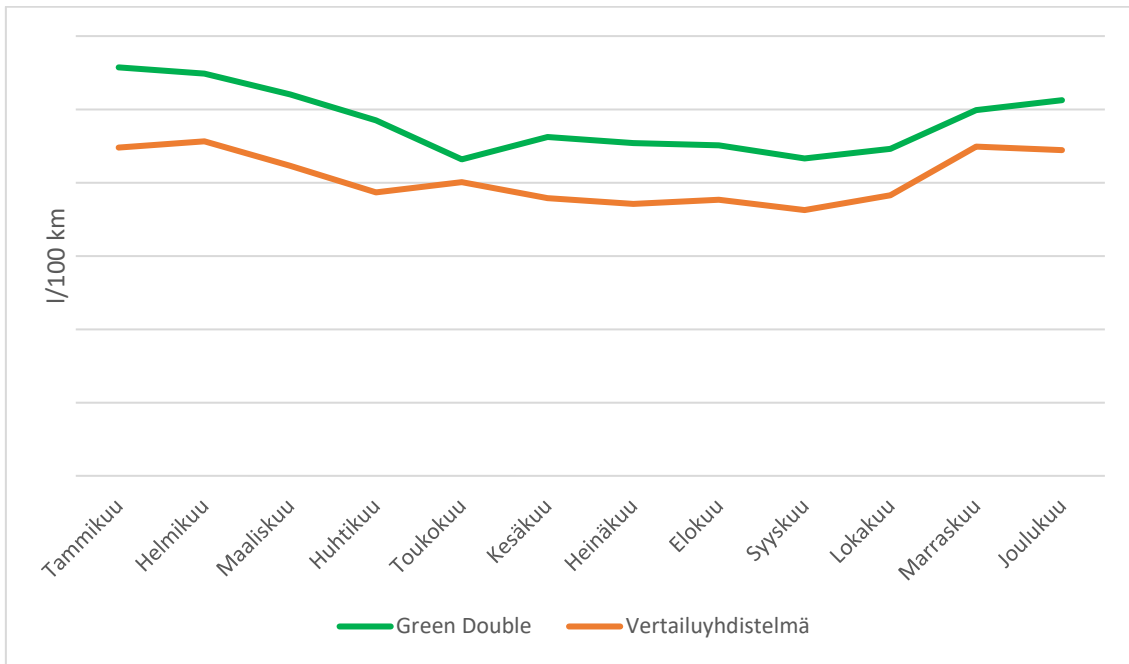


KUVA 14. Ajoneuvoyhdistelmien ominaiskulutukset reitillä 3

6.4 Runkolinja

Runkolinja muodostuu kolmesta aiemmin vertailusta reitistä. Tässä osiossa esitetään ajoneuvoyhdistelmien koko runkolinjan keskikulutukset vuonna 2016.

Green Double kuluttaa koko runkolinjalla keskimäärin 15,2 % enemmän polttoainetta kuin vertailuyhdistelmä. Green Doublen keskikulutus on suurimmillaan tammikuussa 2016. Vertailuyhdistelmän suurin kulutus tapahtuu helmikuussa. Pienimmän keskikulutuksen Green Double saavuttaa toukokuussa. Vertailuyhdistelmän pienin keskikulutus sijoittuu syyskuulle. Ero ajoneuvoyhdistelmien polttoainekulutuksessa pienenee loppuvuotta kohti ja Green Doublen kulutus laskee suhteessa vertailuyhdistelmän kulutukseen (kuva 15).



KUVA 15. Ajoneuvoyhdistelmien keskikulutukset runkolinjalla

7 YHTEENVETO

Ajoneuvojen polttoaineenkulutuksen seuranta on tärkeä keino, kun halutaan vähentää kustannuksia ja ympäristölle haitallisia päästöjä. Vähemmän polttoainetta kuluttava ajoneuvo säästää automaattisesti ajoneuvon omistajan rahoja ja tuottaa vähemmän ympäristölle haitallisia päästöjä. Ympäristölle haitallisia päästöjä voidaan nykyaikaisella tekniikalla vähentää, mutta kasvihuonoilmiötä aiheuttavia hiilidioksidipäästöjä ajoneuvotekniikka ei vielä nykyisellään voi poistaa. Ajoneuvon hiilidioksidipäästöt ovat suoraan verrannollisia ajoneuvon polttoaineenkulutukseen. Kuljetusala on yksi toimialoista, jolla kulutetaan paljon polttoainetta ja josta täten koituu suuret hiilidioksidipäästöt.

Kun uudet HCT-ajoneuvoyhdistelmät aloittivat liikennöinnin, Oulun Autokuljetus Oy oli kiinnostunut niiden kannattavuudesta ja ympäristöystävällisyydestä. HCT-ajoneuvoyhdistelmillä on voinut liikennöidä vasta 1.10.2013 lähtien, ja Oulun Autokuljetus aloitti niillä liikennöinnin loppuvuodesta 2015. HCT-ajoneuvoyhdistelmien kannattavuudesta ja ympäristöystävällisyydestä ei ole vielä paljon tutkimustulosta ja vuosi 2016 oli ensimmäinen kokonainen vuosi, jolloin OAK:n Green Double toimi liikenteessä. Työ oli täten ajankohtainen ja tarpeellinen Oulun Autokuljetukselle, sillä polttoaineenkulutusta toiseen samalla reitillä liikennöivään ajoneuvoyhdistelmään vertaamalla saadaan tärkeää tietoa HCT-ajoneuvoyhdistelmän tehokkuudesta, kannattavuudesta ja ympäristöystävällisyydestä.

Työn tavoitteena oli tuottaa tutkimustulosta HCT-ajoneuvoyhdistelmän taloudellisuudesta ja ympäristöystävällisyydestä vertaamalla sen polttoaineenkulutusta 76 tonnisen täysperävaunuyhdistelmän polttoaineenkulutukseen. Polttoaineenkulutustietojen seurantajaksoksi määriteltiin vuosi 2016. Polttoaineenkulutusta tuli vertailla reittikohtaisesti ja kuukausikohtaisesti, jotta saataisiin selville HCT-ajoneuvoyhdistelmän kannattavuus erilaisissa olosuhteissa ja erilaisilla hyötykuormilla. Yhdeksi tavoitteeksi asetettiin, että polttoaineenkulutusta verrataan suhteutettuna kuljetetun hyötykuorman määrään.

Työ aloitettiin määrittelemällä reitit, joilla polttoaineen kulutusvertailu tapahtuu. Reiteiksi muodostuivat massakuormien kuljetus Oulusta Etelä-Suomeen, siirtymäajo Etelä Suomessa tyhjällä yhdistelmällä ja Päivittäistavara- ja elintarvikekuormien kuljetus Etelä-Suomesta Ouluun. Tämän jälkeen selvitettiin, mihin polttoaineenkulutusta suhteutetaan, jotta polttoaineenkulutusta voidaan tarkastella suhteessa hyötykuorman määrään. Massakuormilla kuorman kokoa tarkasteltiin tonneissa ja elintarvike- ja päivittäistavarakuormilla ajoneuvoyhdistelmän eurolavapaikkojen määrissä. Ajoneuvoyhdistelmien polttoaineenkulutukset laskettiin käyttämällä Microsoft Excel -ohjelmistoa ja ajoseurannasta saatuja tietoja.

Polttoaineen kulutusvertailu suoritettiin tilaajan toiveiden mukaisesti, ja työstä käy ilmi HCT-ajoneuvoyhdistelmän ja vertailuyhdistelmän polttoaineenkulutus vuonna 2016. Kulutukset saatiin jaettua reittikohtaiseksi ja polttoaineenkulutukset on ilmoitettu suhteessa kuljetettuun hyötykuormaan. Polttoaineenkulutuksia vertailtiin reittikohtaisesti ja tulokset esitettiin graafisesti. Työ myös esittelee ajoneuvon polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät ja niihin vaikuttamisen keinot.

Vertailusta käy ilmi, että Green Double kuluttaa polttoainetta runkolinjalla keskimääräisesti 15,2 % enemmän kuin vertailuyhdistelmä. Massakuormilla Green Doublen keskimääräinen kulutus oli noin 11,5 % suurempi kuin vertailuyhdistelmällä. Massakuormien massa suhteutettuna Green Doublen kulutus oli vain noin 1,8 % suurempi kuin vertailuyhdistelmän. Elintarvike- ja päivittäistavarakuormilla Green Double kulutti keskimäärin noin 19,9 % enemmän polttoainetta kuin vertailuyhdistelmä. Kun ajoneuvojen kulutukset suhteutettiin ajoneuvojen eurolavapaikkoihin, Green Double kulutti polttoainetta noin 7,3 % vähemmän yhtä eurolavapaikkaa kohti. Tyhjällä ajoneuvoyhdistelmällä siirtymäajossa Green Double kulutti noin 13,9 % enemmän polttoainetta kuin vertailuyhdistelmä.

Tuloksista käy yleisilmeeltään ilmi, että HCT-ajoneuvoyhdistelmä Green Doublen polttoaineenkulutus hieman laskee vuoden 2016 aikana suhteessa vertailuyhdistelmään. Mahdollinen syy tälle on HCT-ajoneuvoyhdistelmän uutuus,

jonka takia kuljettajat ajan myötä vasta oppivat ajamaan taloudellisemmin uudella yhdistelmällä. Green Doublen kuljettajille pidettiin ajokoulutusta, mutta koulutusta ei ollut vielä alkuvuodesta 2016 suoritettu loppuun. Vertailun tuloksista huomataan, että Green Double pystyy suuremman tilavuutensa ansiosta kuljettamaan taloudellisemmin suhteessa eurolavapaikkoihin, mutta massakuormilla parempaan tehokkuuteen ei vielä vuonna 2016 päästä. Kehityksestä voidaan kuitenkin huomata, että myös massakuormilla HCT-ajoneuvoyhdistelmä ohittaa polttoainetehokkuudessa vertailuyhdistelmän loppuvuodesta 2016.

Saadut tulokset ovat suurimmilta osin luotettavia ja johdonmukaisia. Hieman vaihtelua johdonmukaisuuteen ja luotettavuuteen kuitenkin tuli, sillä vertailuyhdistelmälle kertyi joinakin kuukausina harmittavan vähän vertailukelpoisia matkoja. Vertailuyhdistelmän kulutuksia laskettaessa jouduttiin tämän takia käyttämään myös hieman eri matkoja, mutta nämä todettiin vertailukelpoisiksi.

Työstä saadaan arvokasta tietoa HCT-ajoneuvoyhdistelmän kannattavuudesta ja ympäristöystävällisyydestä. Vertailun tuloksia voidaan käyttää myös perusteluna HCT-ajoneuvoyhdistelmillä liikennöinnin jatkumiselle. Työssä esitettyjen tuloksien ja tietojen perusteella tilaaja voi mahdollisesti parantaa nykyisen HCT-ajoneuvoyhdistelmänsä polttoainetehokkuutta tai ottaa esitetyt asiat huomioon mahdollista uutta HCT-ajoneuvoyhdistelmää hankkiessaan. Mahdollinen jatkotyö aiheesta voisi olla tutkimus, jossa selvitetään, kuinka tehokkaasti nykyinen Green Double pystyy minimoimaan ajovastuksia ja tuottamaan tarvittavan energian liikkumiseen. Jatkotyön tuloksilla voitaisiin joko kehittää nykyistä HCT-ajoneuvoyhdistelmää tai suunnitella entistä taloudellisempi ajoneuvoyhdistelmä tulevaisuudessa.

LÄHTEET

1. Kilpailukykyä parannetaan raskaan liikenteen uusilla mitoilla ja massoilla. 2013. Tiedote. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavissa: <https://www.lvm.fi/-/kilpailukyky-parannetaan-raskaan-liikenteen-uusilla-mitoilla-ja-massoilla-790532>. Hakupäivä 5.5.2017.
2. Kustannustehokkuutta kuljetuksiin. Green Double. Esite. Oulu: OAK, Oulun Autokuljetus Oy. Saatavissa: http://www.oak.fi/wp-content/uploads/2015/06/OAK_A4_leaflet_GD_0906.pdf. Hakupäivä 21.3.2017.
3. Päätös poikkeuksen myöntämisestä ajoneuvoyhdistelmän mittoihin ja massoihin. 5.11.2015. Liikenteen turvallisuusvirasto TraFi. Saatu käyttöön kuljetuspäällikkö Jussi Kinnuselta Oulun Autokuljetus Oy:n tiloissa tammikuussa 2017.
4. Ikonen, Markku 2013. Aja taloudellisesti. Ajoneuvon, kuljettajan ja olosuhteiden vaikutus polttoainekulutukseen. Turun ammattikorkeakoulun oppimateriaaleja 80. Turun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522163936.pdf>. Hakupäivä 12.5.2017.
5. Heavy-Duty Vehicle Diesel Engine Efficiency Evaluation and Energy Audit. Final Report. Länsi-Virginia: CAFEE, Center for Alternative Fuels, Engines & Emissions. Saatavissa: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/HDV_engine-efficiency-eval_WVU-rpt_oct2014.pdf. Hakupäivä 12.5.2017.
6. Automotive Handbook. 9th edition. 2014. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.
7. Haataja, Mauri 2016. Polttomoottoritekniikan perusteet 5 op. Luentomateriaali. Oulu: Oulun yliopisto, koneensuunnittelun tutkimusryhmä. Saatu käyttöön professori Mauri Haatajalta toukokuussa 2017.
8. Ilomäki, Janne 2016. T333903 Moottorilaboratorion mittaukset 3 op. Luentomateriaali kevät 2016. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

9. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2000. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>. Hakupäivä 12.5.2017.
10. Haataja, Mauri 2017. Ajoneuvotekniikan perusteet 5 op. Luentomateriaali. Oulu: Oulun yliopisto, koneensuunnittelun tutkimusryhmä. Saatu käyttöön professori Mauri Haatajalta toukokuussa 2017.
11. Aerodynamiikka ja ajovastukset. 2016. Motiva Oy. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_visaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/aerodynamiikka_ja_ajovastukset. Hakupäivä 27.3.2017.
12. Aerodynamics. 2017. Platform for Aerodynamic Road Transport. Saatavissa: <http://www.part20.eu/en/background/aerodynamics/> Hakupäivä 12.5.2017.
13. Fuel economy. 2017. Scania AB. Saatavissa: <https://www.scania.com/global/en/home/products-and-services/trucks/fuel-economy.html>. Hakupäivä 12.5.2017.
14. Tonneittain vastuuta. esitys. osa 3. SKAL, Suomen Kuljetus ja Logistiikka ry. Saatavissa: https://www.skal.fi/files/1464/TONNEITTAIN_VASTUUTA_osa3.pdf. Hakupäivä 12.5.2017.
15. Kinnunen, Jussi 2017. HCT-opinnäytetyöhön tietoja vertailuyhdistelmästä. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Vähäkangas, Ville. 9.5.2017.
16. Scania's range of Euro 6 V8s completed with the 730. Press info. Scania AB. Åslund, Örjan 24.10.2013. Saatavissa: https://www.scania.com/group/en/wp-content/uploads/sites/2/2015/09/P13X01EN_V8_range_tcm40-397279.pdf. Hakupäivä 12.5.2017.

17. Volvo FH:n voimansiirtolinjan erittelyt. Volvo kuorma-autot. AB Volvo. Saatavissa: <http://www.volvotrucks.fi/fi-fi/trucks/volvo-fh-series/specifications/driveline.html>. Hakupäivä 12.5.2017.
18. Google Maps. karttapalvelu. Google Inc. Saatavissa: <https://www.google.fi/maps>. Hakupäivä 12.5.2017.
19. AC Panther kuljetusliikkeille: Älykästä ajamista. AC-Sähköautot Oy. Saatavissa: <https://www.acev.fi/kuljetusliikkeille>. Hakupäivä 12.5.2017.

Sisältö salattu yrityksen pyynnöstä.

Sisältö salattu yrityksen pyynnöstä.

Sisältö salattu yrityksen pyynnöstä.

Sisältö salattu yrityksen pyynnöstä.

Sisältö salattu yrityksen pyynnöstä.

Sisältö salattu yrityksen pyynnöstä.

Sisältö salattu yrityksen pyynnöstä.