

Antti Ruusu

POLTTOAINEEN KULUTUKSEN VÄHENTÄMINEN

Opinnäytetyö
Auto- ja kuljetustekniikka

Toukokuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU <small>Mikkeli University of Applied Sciences</small>	Opinnäytetyön päivämäärä 30.5.2013
Tekijä(t) Antti Ruusu	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto- ja kuljetustekniikka
Nimeke Polttoaineen kulutuksen vähentäminen	
Tiivistelmä Tarkoituksenani oli tutkia keinoja auton polttoainekulutuksen vähentämiseksi ilman, että auton käytettävyys suuremmin kärsii. Helpoimmin tämä tapahtuu auton vastusvoimia vähentämällä. Vastusvoimia ovat auton massa, korin ilmanvastus sekä renkaan vierinvastus. Muita tekijöitä jotka vaikuttava polttoaineen kulutukseen ovat moottorin hyötysuhde ja tehonsiirtolaitteet, mutta niihin en pienten resurssien takia pystynyt syvällisesti perehtymään. Tavoitteeni oli rakentaa kohdeautoa, että pystyn tutkimaan eri muutoksien vaikutusta kulutukseen. Työn edetessä projektiauto jäi taustalle ja keskityin vain yksittäisten tekijöiden vaikutusten tutkimiseen. Rulaukset olivat suuressa roolissa. Käytin apunani myös auton OBD-tietoväylään kytkettävää mittaria. Käytännön tilanteessa suurin kulutukseen vaikuttava tekijä on kuitenkin kuljettaja. Ajotavan merkitys voi olla helposti useita litroja sadalla kilometrillä, mutta myös monilla pienillä tekijöillä, kuten rengasvalinnalla turhan tavaran poistamisella autosta sekä auton huollolla voidaan vaikuttaa polttoaineen kulutukseen.	
Asiasanat (avainsanat) polttoaineen kulutus, ilmanvastus, vierinvastus, taloudellinen ajo,	
Sivumäärä 32	Kieli Suomi
URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Janne Varis	Opinnäytetyön toimeksiantaja

DESCRIPTION

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Date of the bachelor's thesis 30.5.2013
Author(s) Antti Ruusu	Degree programme and option Automotive- and transport engineering	
Name of the bachelor's thesis Reduction of fuel consumption		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to explore ways to lower fuel consumption without affecting the usability of the car. The most important thing was outside resistances. Drag forces are body air resistance, the weight and the rolling resistance of the wheels. The engine efficiency and drivetrain also have an effect.</p> <p>A project car was built, so I could research how different types of changes impact on fuel consumption. As the work progresses I just focused on the impact of a single factor on fuel consumption. Rolling test played a big role in my work. I also used OBD-broad computer to measure fuel consumption in my work.</p> <p>In everyday life biggest thing that matters is the driver and the driving style. Differences in fuel consumption can be many litres per hundred kilometres. Also many little things like tire choice, keeping car clean of unnecessary stuff and servicing the car regularly can lower the fuel consumption.</p>		
Subject headings, (keywords) fuel consumption, air resistance, rolling resistance, economic driving		
Pages 32	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Janne Varis	Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	YLEISTÄ	1
2.1	Polttoaineen kulutuksen mittaus	1
2.1.1	NEDC, New European Driving Cycle	1
2.1.2	WLTP, Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures	3
2.2	Taloudellinen ajotapa.....	4
3	ILMANVASTUS	4
4	VIERINVASTUS.....	7
5	MASSA.....	9
6	SÄHKÖNKULUTUS	10
7	MITTAUKSIEN SUORITUS	10
7.1	Kulutuksen mittaus	11
7.2	Otsapinta-alan laskenta.....	13
8	KOHDEAUTO CITROEN XSARA.....	15
8.1	Muutokset	15
8.2	Osa 1	17
8.3	Osa 2	18
8.4	Osa 2,5	20
8.5	Osa 3	20
8.6	Mittaukset	21
9	KOHDEAUTO PEUGEOT 406	24
9.1	Mittaukset	25
9.2	Kohdeauto 3.....	29
10	TULOKSET	30
11	POHDINTA	30
	LÄHTEET.....	32
	LIITE/LIITTEET	
	1 Yksisivuinen liite	
	2 Monisivuinen liite	

1 JOHDANTO

Auton polttoaineen kulutukseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kolmeen ryhmään: moottori, tehosiirtolaitteet ja ajovastukset. Työssä on tarkoitus perehtyä ulkoisten vastusvoimien eli ajovastusten vaikutukseen polttoaineen kulutuksessa. Ne voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: ajoneuvon massa, ilmanvastus ja renkaiden vierinvastus. Ulkoisia ajovastuksia voidaan pienentää autoa keventämällä, aerodynamiikkaa parantamalla ja vierinvastusta pienentämällä. 10 %:n pudotus henkilöauton painossa, ilmanvastuksessa tai vierinvastuksessa pienetään polttoaineen kulutusta vastaavasti noin 6 %, 3 % tai 2 % . /1./

Tänä päivänä autotehtaat kiinnittävät näihin asioihin paljonhuomiota autoja suunnitellessaan. Näin ei kuitenkaan ole aina ollut. Vielä 10 vuotta sitten polttoaineiden hinnat eivät olleet sillä tasolla, että kuluttajaa olisi merkittävästi kiinnostanut kuinka paljon auto kuluttaa. Nykyään monissa maissa vähän kuluttavat automallit saavat jopa verohelpotuksia. Kuitenkin merkittävin tekijä miksi autotehtaat panostavat vähän kuluttaviin autoihin on EU:n lainsäädäntö. Vuonna 1999 julkaistu tavoite oli että vuonna 2012 henkilöautojen keskimääräinen hiilidioksidi päästö olisi 120g/km. Vuonna 2005 kuitenkin huomattiin, että se ei tule toteutumaan. Tämän takia EU määräsi lain jossa valmistajat jotka eivät tavoitteeseen pääse, joutuvat maksamaan sakkoja. /13./

2 YLEISTÄ

2.1 Polttoaineen kulutuksen mittaus

Polttoaineen kulutuksen mittaamiseen on käytössä useita erilaisia testisyklejä ympäri maailmaa. Nykyään mittaukset tehdään lähes aina laboratorio-olosuhteissa, jossa ajovastukset luodaan keinotekoisesti.

2.1.1 NEDC, New European Driving Cycle

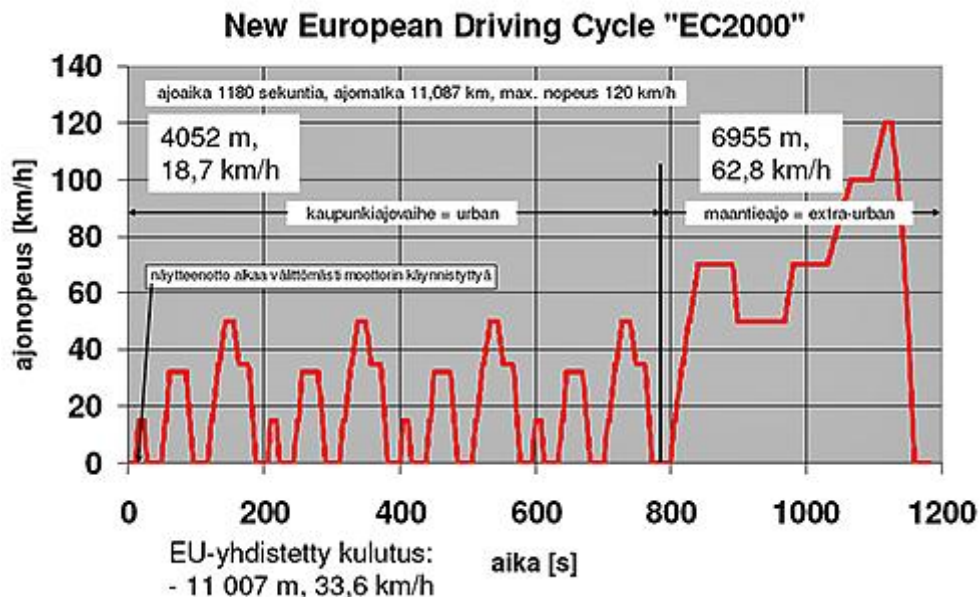
Henkilöauton keskikulutus lasketaan Euroopassa 93/116/EEC-ajosyklin mukaan. Mittaukseen kuuluu neljä samanlaista 195 sekunnin pituista kaupunkiajosykliä ja yksi 400 sekunnin maantiejakso. Pakokaasut kerätään pussiin ja analysoidaan kokeen jälkeen.

Hiilitaseen avulla lasketaan CO-, HC- ja CO₂-komponentit. Koska pakokaasujen hiilidioksidipitoisuus on verrannollinen polttoainenkulutukseen, sen avulla voidaan määrittellä auton bensiinin tai dieselpolttoaineen kulutus. Auton koemassa on auton tyhjämassa lisättynä 100 kg:n kuormalla.

EU-kaupunkikulutus on tutkimuslaitoksessa mitattu arvo, joka on saatu kaupunkiajoa jäljittelevässä 4 052 metrin pituisessa mittausajossa, joka sisältää myös useita pysähdyksiä. Mittaus kestää 780 sekuntia. Keskinopeus on 18,7 km/h ja maksiminopeus on 50 km/h.

EU-maantiekulutus on niin ikään mitattu tutkimuslaitoksessa. Mittaus jäljittelee maantiejajoa, jonka pituus on 6 955 metriä. Mittausaika on 400 sekuntia. Keskinopeus on 62,6 km/h ja maksiminopeus on 120 km/h.

EU-yhdistetty kulutus on sekalaista ajoa kuvaava kaupunki- ja maantiejajokulutusten yhdistelmä. Koska ajosykli on eripituiset, luvuista ei lasketa keskiarvoa vaan ajosyklien pituuden mukaan painotettu kulutusten keskiarvo. Kaupunkikulutuksen painokerroin on siten 36,81 % ja maantiekulutuksen 63,19 %.



KUVA 1. NEDC – ajosykli /8/

Koska testi tehdään laboratorio-olosuhteissa testirullilla, autoon ei kohdistu ulkoisia voimia. Ne pitää luoda keinotekoisesti. Ajovastuksia ei mitata autosta mitenkään erikseen, vaan valmistaja antaa arvot mittauslaitokselle.

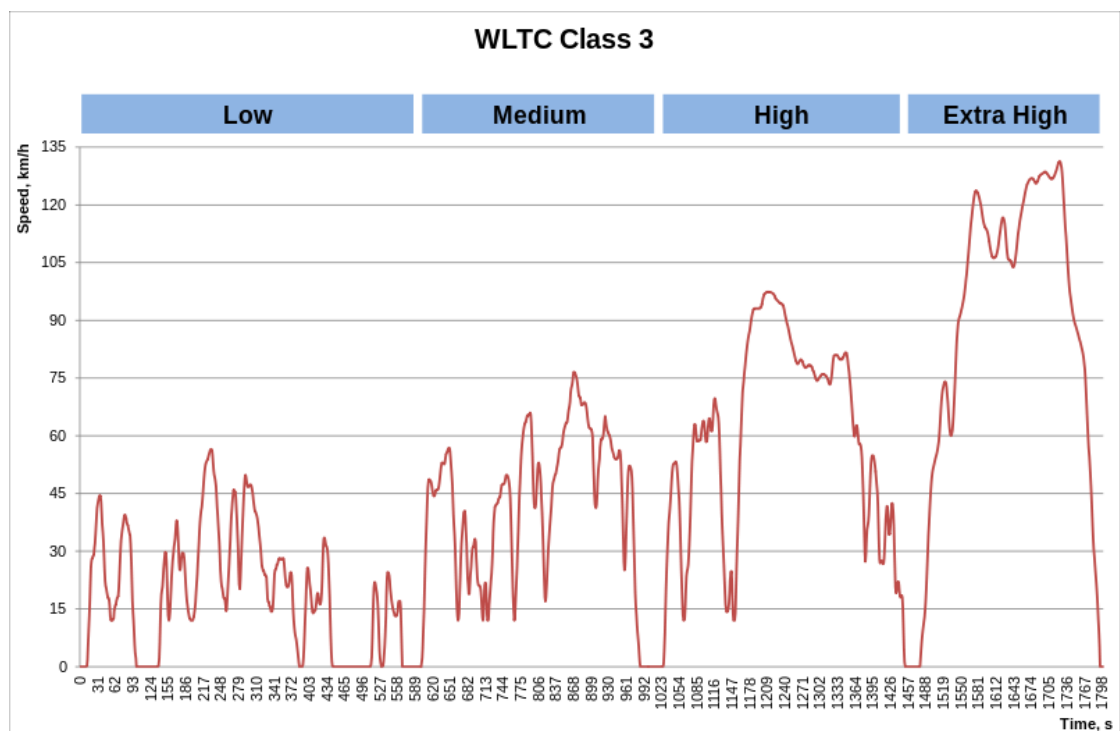
2.1.2 WLTP, Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures

WLTP on kehitteillä oleva kansainvälinen kulutusnormi, jolla mitataan henkilöautojen hiilidioksidi päästöjä, polttoaineen- tai sähkönkulutusta ja sähköauton toimintamatkaa. Normia kehittelevät Euroopan unioni, Japani ja Intia. Normin valmis versio on tarkoitus esitellä vuonna 2014.

Testin ohjeistus antaa tarkat ohjeet koskien mittausdynamometrin olosuhteita ja liikevastoja, vaihteiden vaihtoa, auton painoa, polttoaineenlaatua, rengasvalintaa sekä renkaan ilmanpainetta. /5./

Testi on jaettu kolmeen eri luokkaan ajoneuvon tehopainosuhteen mukaan. Käytännössä kaikki Euroopassa myytävät henkilöautot kuuluvat Class 3- luokkaan, joiden tehopainosuhte on yli 34 kW 1000 kg kohden. Class 2 -luokkaan kuuluvat autot, joiden huippunopeus on tehopainosuhte 22 - 34 kW/1000 kg. Pienimpään Class 1 -luokkaan kuuluvien tehopainosuhte jää alle 22 kW/1000 kg. /5./

Ajosykli muodostuu neljästä eri vaiheesta, jotka on jaettu ajonopeuden mukaan hitaaseen kaupunkiajoon (low), keskinopeaan taajama-ajoon (medium), nopeaan maantietäajoon (high) sekä moottoritieajoon (extra high). Ajomatka on yhteensä 23 262m, kesto 1800 s jolloin keskinopeus on 46.5 km/h /5./



KUVA 2. WLTC luokka 3 –ajosykli /5/

2.2 Taloudellinen ajotapa

Taloudellisen ajotavan omaksuminen on tehokas ja edullinen keino vaikuttaa autoilun energiankulutukseen ja kustannuksiin, sillä sen niisit ovat jokaisen kuljettajan hyödynnettävissä auton iästä riippumatta.

Rahamääräiset hyödyt ovat sitä suuremmat, mitä raskaammasta ajoneuvokalustosta on kyse, mutta myös henkilöautoilijan kannattaa parantaa ajotapaansa. Säästö on yleensä 5-15 %. /6./ Polttoaineenkulutuksen vähentymisen lisäksi taloudellinen ajotapa parantaa liikenneturvallisuutta, vähentää huolto-, korjaus- ja rengaskustannuksia, vähentää kuljettajan stressin tunnetta liikenteessä, lisää matkustusmukavuutta ja kohentaa yrityskuvaa erityisesti silloin, kun autossa on yrityksen tunnuksset.

Taloudelliseen ajotapaan koulutettiin vuonna 2005 lähes 2 400 henkilö-, kuorma- ja linja-auton kuljettajaa. Testiajoissa saavutettu säästöprosentti on keskimäärin 12 %. /7./

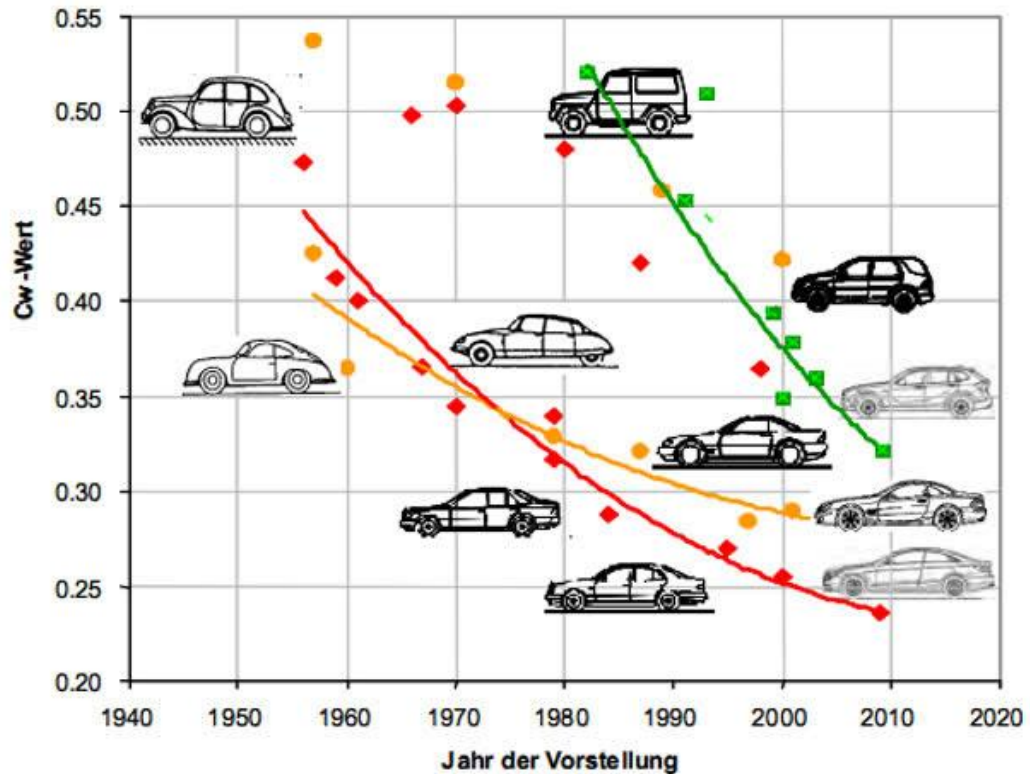
Ohjeet taloudelliseen ajotapaan voi kiteyttää kahteen sääntöön:

1. Alhaiset kierrokset ja oikea vaihde. Tasaista nopeutta ajettaessa mahdollisimman iso vaihde, jolla moottori jaksaa vetää. Kiihdytykset reippaita ja pienemmillä vaihteilla.
2. Ennakointi. Tiellä olevien esteiden ennakointi vähentää jarrutustarvetta ja ajonopeuden pystyy pitämään tasaisena. Kiihdyttämiseen tarvitaan paljon energiaa.

3 ILMANVASTUS

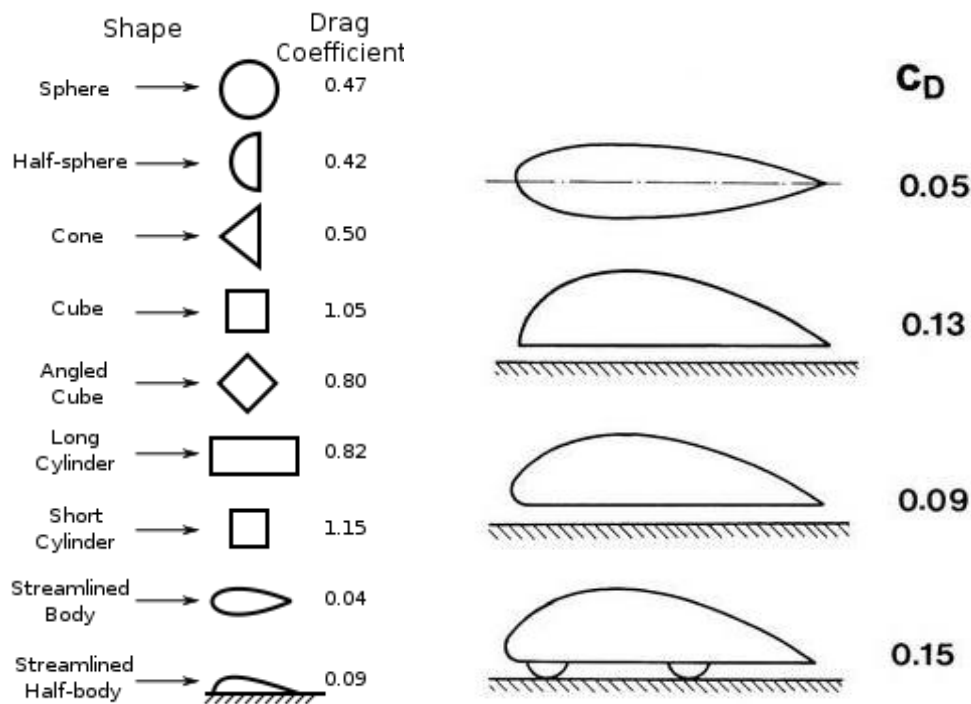
Autoihin kohdistuu useita liikettä vastustavia voimia. Auto liikkuu maan pinnalla, ja sen liikuttamiseen tarvittava voima välitetään tien pintaan renkaiden välityksellä. Edelessään auton kori läpäisee ilmassa, joka joutuu väistymään auton tieltä ja virtaamaan auton pintoja pitkin. Ensimmäisissä autoissa ilmanvastuksella ei ollut juurikaan merkitystä, koska nopeudet olivat niin alhaisia. Asiasta ei myös ollut juurikaan kokemusta. Nopeudet kuitenkin kasvoivat, ja varsinkin nopeusennätysautoissa ilmanvastukseen kiinnitettiin paljon huomiota muotoilemalla auto mahdollisimman virtaviivaiseksi.

Vaikka aerodynamiikan vaikutus autoissa on tunnettu yli sata vuotta, ei autoja tänä päivänäkään muotoilla pelkästään pienen ilmanvastuksen ehdoilla. Auton ulkomuotoihin vaikuttavat monet muut seikat, kuten ulkonäkö ja siihen liittyvät perinteet, mitoitus ja siihen liittyvät kokoluokat, lainsäädännön vaatimat varusteet sekä ennen kaikkea valmistuskustannukset.



KUVA 3. Eri korimallisten autojen ilmanvastuskertoimia vuosien varrelta /12/

Pienissä nopeuksissa ilmanvastuksen osuus ajovastuksista on vähäinen. Tämän takia hitaasti kulkevia ajoneuvoja ei yleensä suunnitella ilmanvastuksen ehdoilla. Maantienopeuksilla tilanne on toinen, sillä kun nopeus kaksinkertaistuu, kasvaa ilmanvastus nelinkertaiseksi. Tämän voi päätellä ilmanvastusvoiman laskukaavasta $F = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_w$, (ρ on ilman tiheys, v on ilmavirran nopeus, A on kappaleen poikkileikkauksen pinta-ala ja C_w on ilmanvastuskerroin). Esimerkiksi kun auto tulee maantieltä moottoritiele ja ajonopeus nousee 100 km/h \rightarrow 120 km/h, on nopeuden kasvu 20 prosenttia, mutta samaan aikaan ilmanvastus kasvaa 40 prosenttia.



KUVA 4. Erilaisten muotojen ilmanvastuskertoimia /11/

Auton ilmanvastukseen siis vaikuttavat auton koko, eli poikkileikkauksen pinta-ala A sekä ilmanvastuskerroin C_w . Jos ilmapirta kohdistuu täysin pystyyn pintaan, on ilmanvastuskerroin 1. Ilmanvastuskerroin voi olla myös yli 1 joissakin tavara-autoissa, joissa kuorma muodostaa ilmanvastuksen kannalta hyvin epäedullisia ulokkeita ja ilmataskuja.

Henkilöautoissa ilmanvastuskertoimet ovat selvästi alhaisempia. Jos tämän päivän tuotantoauton muotoilu on hyvin onnistunut, ilmanvastuskerroin voi olla 0,25. Joissakin urheiluautoissa ilmanvastusta voivat nostaa erilaiset siivekkeet, joiden avulla pyritään kasvattamaan ilmapirran aiheuttamaa maata kohti painavaa voimaa ja auton tiessä kiinni pysymistä. Moniin henkilöautoihinkin on asennettu erilaisia siivekkeitä ja helmasarjoja, mutta niiden pääasiallinen merkitys on ulkonäöllinen, usein ylimääräiset siivekkeet voivat lisätä ilmanvastusta ja polttoainekulutusta. /3./

Ilmanvastuskerroin ei sinänsä kerro auton ilmanvastusta, vaan vastuskerroin (C_w) täytyy kertoa auton otsapinta-alalla (mitä suurempi auto, sitä suurempi pinta-ala). Sen takia pienet autot ovat yleensä kokonaisvastukseltaan kaikkein parhaita. Pienimmät vastuskertoimet on yleensä isoissa autoissa. Pieneen autoon ei saada yhtä optimaalista muotoa. Ilmanvastuksen kannalta paras muoto on yleensä loivaperäinen.

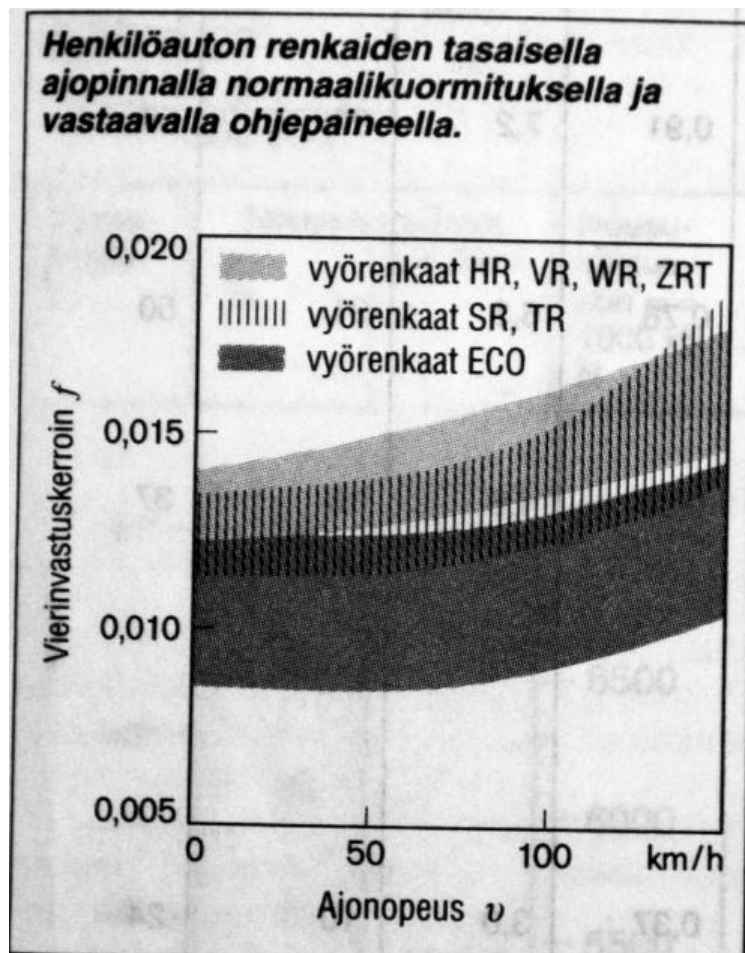
Ilmanvastuskerroin mitataan tuulitunnelissa, joita on esim. suurimmilla autotehtailla. Täysikokoisessa tuulitunnelissa ilmavirta tuotetaan puhaltimella, jota pyörittävien moottorien teho on muutamia megawatteja. /4./

Ilmanvastuskertoimen pudottaminen 0,35:stä 0,25:een pudottaa polttoaineenkulutusta maantieajossa hieman alle litran 100 km:lla. 150 km/h:n nopeudessa vaikutus olisi jo lähes 2 litraa, kaupunkiajossa 0,1...0,2 litraa. Tyypillisessä keskikokoisessa perheautossa ilmanvastuksen voittamiseen tarvitaan 100 km/h nopeudessa tehoa noin 10 kW, lisäksi noin 5 kW kuluu auton lisälaitteille ja vierintävastuksen voittamiseen. /4./

4 VIERINVASTUS

Renkaan vierinvastuksella on suora yhteys auton polttoaineen kulutukseen. Renkaan vierinvastus aiheutuu pääosin renkaan rungon muodonmuutoksista sekä kulutuspinna- kumin ja sivupintakumin vaimennusominaisuuksista, eli hystereesi-ilmiöstä. Lisäksi vierinvastusta aiheuttaa tien ja renkaan välinen kitka, adheesio. Vierinvastuskerroin on sitä suurempi, mitä pienempi on pyörän säde ja mitä suurempi on syntyvä muodonmuutos. Kerroin siis kasvaa, kun kuorma kasvaa, nopeus kasvaa ja rengaspaine piene- nee /1./

Renkaan vierinvastusta voidaan pienentää kaventamalla rengasta ja valitsemalla muo- donmuutoksessa vähemmän lämpiäviä kumimateriaaleja. Tyypillinen henkilöauton vyörenkaan vierinvastuskerroin on kovalla pinnalla 0,010-0,015. Kiskokalustossa te- räspsyörien vierinvastus on selvästi alhaisempi, noin 0,001-0,002, kun taas maatalous- traktoreiden renkaiden vierinvastus voi maapohjalla olla 0,15-0,25. /3./



KUVA 5. Henkilöauton renkaan vierinvastuksia /1/

Liian matala renkaiden ilmanpaine lisää vierintävastusta. Esimerkiksi 0,5 barin alipaine lisää polttoaineenkulutusta 0,1-0,3 litraa 100 kilometrin matkalla. /2./ Nykyään renkaiden vierintävastuksesta aiheutuva osuus henkilöauton kokonaispolttoaineen kulutuksesta on noin 13 – 18 %. Noin 25 % alennus vierintävastukseen alentaa polttoaineen kulutusta 3 – 5 %. Vuonna 2012 käyttöön otettiin renkaiden energialuokitus, joka helpottaa kuluttajaa renkaan energiataloudellisuuden arvioinnissa. Renkaiden energiamerkintä kiinnittää kuluttajan huomion erityisesti renkaan energiankulutukseen ja märkäpitoon. Kuluttajan kannattaa kuitenkin pitää mielessä se, että rengas on kompromissi, eivätkä kaikki ominaisuudet voi olla samalla renkaalla huippuluokkaa. Jos tehdään pinnaltaan tiivis herkästi rullaava rengas, sen pito-ominaisuudet eivät välttämättä ole parhaat mahdolliset. Pehmeästä kumista valmistettu rengas voi olla hyvin pitävä ja hiljainen, mutta sen kestoikä jää lyhyemmäksi kuin kovemmasta kumista tehdyn renkaan. /3./

5 MASSA

Ajoneuvon paino vaikuttaa huomattavasti polttoaineen kulutukseen. Tämä koskee sekä itse auton painoa että esimerkiksi matkatavaratilassa olevaa lisäpainoa. Mitä enemmän autolla on massaa, sitä enemmän energiaa sen liikkeelle saaminen vaatii. Autoa keventämällä voidaan siis säästää polttoainetta. Auton massaan vaikuttavat koko, rakenne ja varusteet. Mitä pienempi ja yksinkertaisempi auto on, sitä paremmat edellytykset sillä on olla energiatehokas, mutta sellainen auto ei välttämättä ole turvallinen tai tiloiltaan sopiva.

Korirakenteen massaa pyritään nykyisissä autoissa vähentämään materiaalivalinnoilla ja entistä kehittyneemmällä suunnittelulla. Tietokonesimuloinnilla voidaan testata erilaisten geometrioiden vaikutusta korin lujuuteen ja käyttöön törmäystilanteessa, mikä antaa jo suunnitteluvaiheessa mahdollisuuden kehittää kevyt ja luja kori.

Entistä ohuempia suurlujusteräketä sekä alumiinin ja komposiittien käyttö keventävät myös rakenteita. Eri materiaaleja voidaan liittää toisiinsa entistä luotettavammin modernilla liimaustekniikalla.

Viime vuosikymmeninä autoissa on ollut kehityssuuntana koon ja varusteiden määrän kasvu, ja niiden myötä kasvanut paino, mikä on kasvattanut energiankulutusta. Vielä 1980-luvulla keskiverto perheauto painoi reilusti alle 1 000 kg, kun 2000-luvulla saman kokoluokan auton paino saattoi olla yli 1 300 kg. Osasyynä tähän ovat olleet entistä kovemmat turvallisuusvaatimukset. /9./

Kehitys on kuitenkin kääntymässä energiankulutuksen kannalta positiiviseen suuntaan, sillä autojen massat pienenevät usein uusien mallisukupolvien myötä. Yhtenä syynä tähän on EU:n hiilidioksidipäästöihin sidottu autoverotus sekä valmistajille määrättävät sanktiot paljon kuluttavien autojen valmistamisesta. /9./

Keskimääräisen, noin 1500 kg:n painoisen auton kuormittaminen sadalla lisäkilolla lisää polttoaineen kulutusta noin 7 %. Ajoneuvossa oleva lisäpaino tulisi siis pitää mahdollisimman pienenä. Tyypillisesti lisäpainoa tuovat turhat tavarat, joita vain harvoin tarvitaan autossa. /2./

6 SÄHKÖNKULUTUS

Pieni osa ajoneuvon kuluttamasta polttonesteestä tarvitaan generaattorin käyttämiseen. Keskimääräinen polttoaineenkulutuslisä 100W:n käyttöteholle on noin 0,1 L/100km. /1./

Helppo keino sähkönkulutuksen vähentämiseen on auton polttimoiden vaihto vähemmän kuluttaviin malleihin. LED valojen käyttö onkin yleistynyt uusissa autossa niiden pienen virrankulutuksen ja pitkän käyttöiän takia. LED-päiväajovalot säästävät myös auton varsinaisia ajovalopolttimeita.

Uusissa autoissa hyödynnetään myös ns. jarrutusenergian talteenottoa. Laturi lataa akkua ainoastaan silloin, kun kaasupoljin ei ole painettuna, jolloin jarrujen kautta lämmöksi muuttuva energia pienenee. Vastaavasti kiihdytystilanteessa laturi kytketään pois käytöstä kokonaan, jolloin moottorin tehoa ei mene hukkaan energian tuottamiseen. Kaikki teho saadaan kiihdytykseen.

7 MITTAUKSIEN SUORITUS

Tarkoitukseni on tutkia auton ulkoisten vastusvoimien vaikutusta polttoaineen kulu-
tukseen sekä keinoja vastusten vähentämiseen. Ulkoisten vastusten mittaamiseen käytin rullauskoetta. Rullauskokeella pystyy mittamaan ilmanvastuksen sekä vierinvastuksen.

Koepaikaksi valitsin Mikkelin lähistöllä sijaitsevan Hirolan varalaskupaikan tiellä 72. Tie on n. 2 km mittainen täysin suora ja suhteellisen tasainen. Mittaukset tein ajaen molempiin suuntiin, jotta saisin keskiarvon johon mahdolliset mäet ja tuulet eivät vaikuttaisi. Suuren nopeuden mittauksen tein antamalla auton vauhdin pudota vapaalla rullaten nopeudesta 80km/h nopeuteen 60km/h. Tällä testillä pystyn tutkimaan ilmanvastuksessa tapahtuvia muutoksia. Hitaan nopeuden mittaukset tein samalla tavalla antaen vauhdin hidastua 40km/h nopeudesta 20km/h. Tällä pystyn tutkimaan renkaan vierinvastusta. Otin aikaa sekuntikellolla mittarinopeudesta sekä tiedot tallentavalla

GPS paikannusjärjestelmällä todellisesta nopeudesta. Toistin mittaukset useaan kertaan.

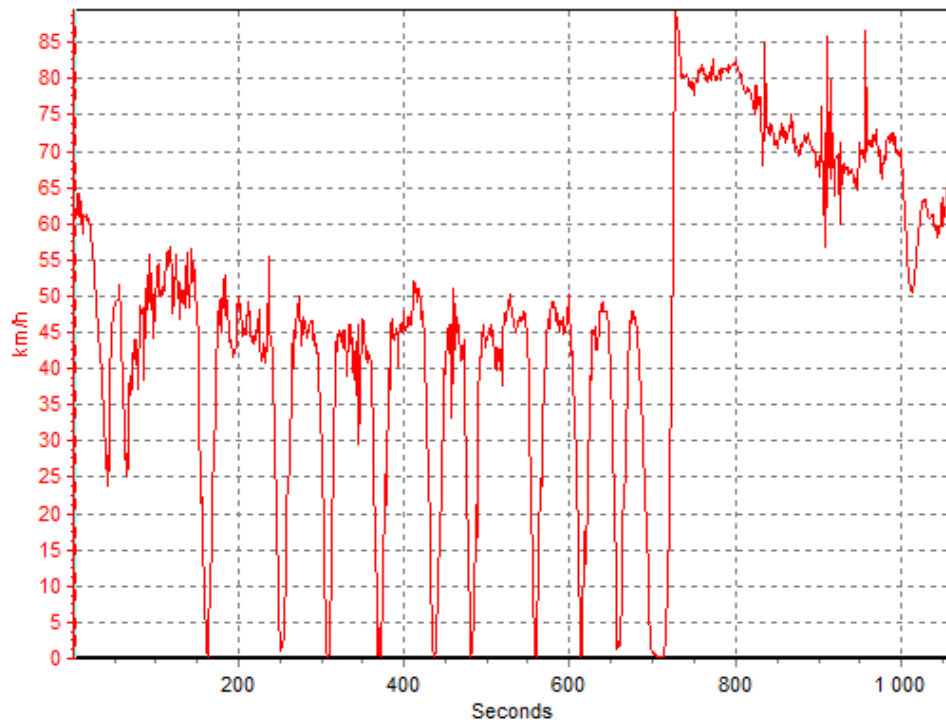
7.1 Kulutuksen mittaus

Kulutuksen mittaukseen käytin auton OBD-tietoväylään liitettävää ScanGauge II -mittaria. Laite lukee auton moottorinohjauksesta tietoja, kuten moottorinkäyntinopeuden lämpötiloja, nopeuden sekä polttoainekulutuksen. Laitteella onnistuu myös vikakoodien luku sekä nollaus. Ilmoitetun polttoaineen kulutuksen pystyy kalibroimaan. Tein kalibroinnin alkuun kahteen kertaan; toisella kerralla arvoja ei tarvinnut enää muuttaa, joten uskoin mittarin näyttävän varsin todellisia lukemia. Kun on ajettu tankillinen polttoainetta melkein loppuun, auto tankataan uudestaan ja kerrotaan, kuinka paljon tankkiin on polttoainetta lisätty. Aina tankatessa tarkistin, pitääkö tankattu määrä ja mittarin ilmoittama kulutettu määrä paikkaan. Jossain vaiheessa huomasin, että arvot vaihtelivat paljon. Kahden ensimmäisen tankkauksen sama arvo olikin ilmeisesti vain sattumaa. Seuraavien tankkauksien arvot heittelivät noin 10 %. Esimerkiksi kun tankkasin 45 l todellisuudessa, mittari väitti auton käyttäneen 40 l. Mielestäni virhe oli liian suuri. Noin litran virheen tankillisessa olisin vielä hyväksynyt.



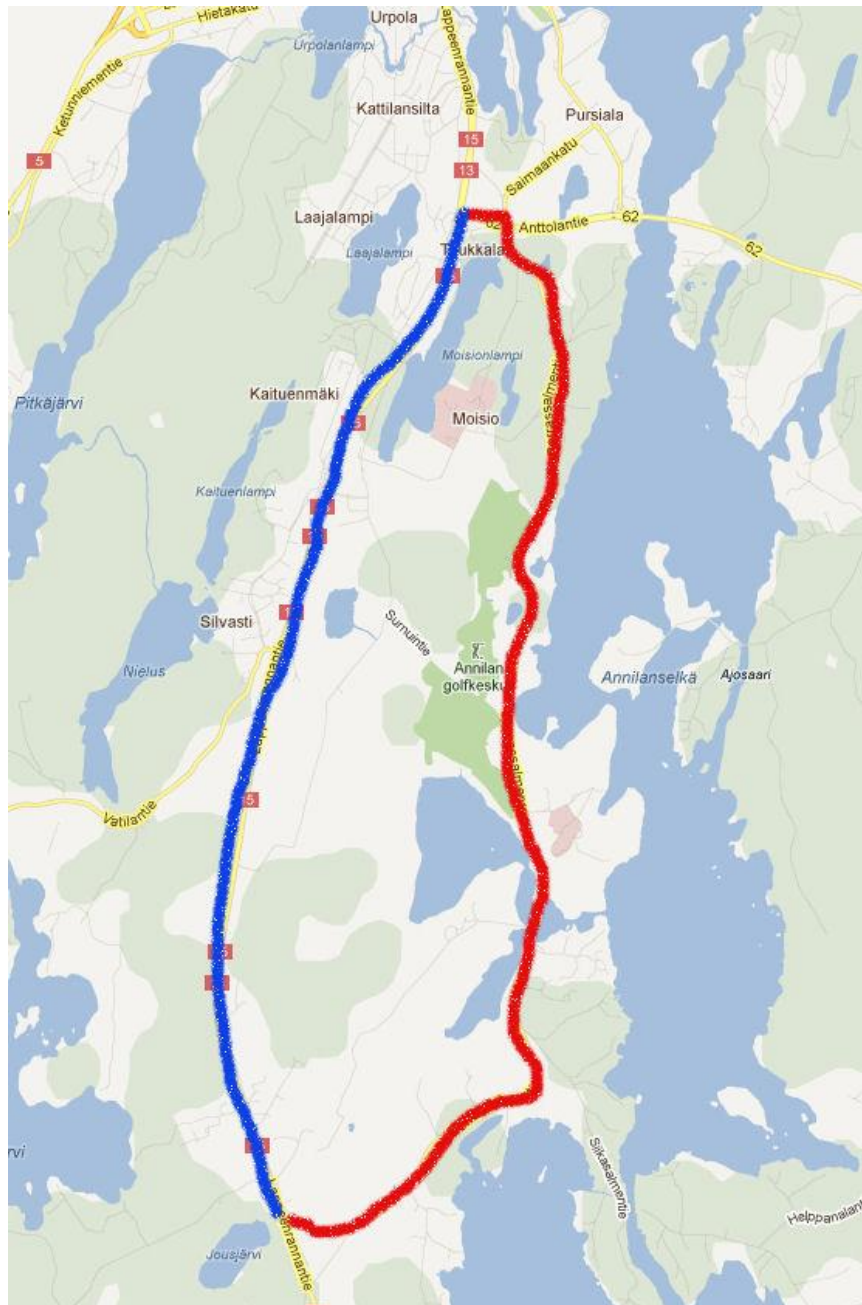
KUVA 6. ScanGauge 2 OBD –ajotietokone

Pyrin omissa mittauksissani lähelle EU-syklin mukaista ajojaksotusta. Olisin mahdollisesti pystynyt täysin identtiseen nopeus-aika kuvaajaankin, mutta katsoin sen olevan tarpeetonta sekä vaaraksi muulle liikenteelle. Testi olisi tällöin pitänyt suorittaa suljetulla alueella.



KUVA 7. Suorittamani ajosykli (kuvassa ruuhka-aikaan tallennettu esimerkki)

Oma ajoreittini sijoittui Mikkelin eteläpuolelle Moisio- ja Annilanselän alueelle. Kaupunkiajaja jäljittelevä reitti kulkee Porrassalmentietä pitkän ja on merkitty karttaan punaisella. Tien on mäkinen ja mutkainen. Maantieajo on merkitty karttaa sinisellä ja se kulkee Lappeenrannantietä pohjoiseen kohti Mikkeliä. Ajolenkin kokonaispituus 13625 m ja aika 955 s. Kaupunkiajon osuus 7480 m ja 665 s keskinopeuden ollessa n. 40 km/h. Maantieajon osuus 6145 m ja 290 s keskinopeuden ollessa n. 76 km/h. Ajolenkin kolme kertaa, jolloin mittasin kaupunki syklin ja maantiesyklin erikseen. Kaupunkiajo lenkillä pysähdyin kymmenellä linja-autopysäkillä simuloitakseni risteys- ja liikennevalopysähdyksiä todellisessa ajossa. Maantieajo sisältää kiihdytyksen ylämäkeen 0-80 km/h. Noin puolessa välissä maantieajoa nopeus vaihtuu 70 km/h.



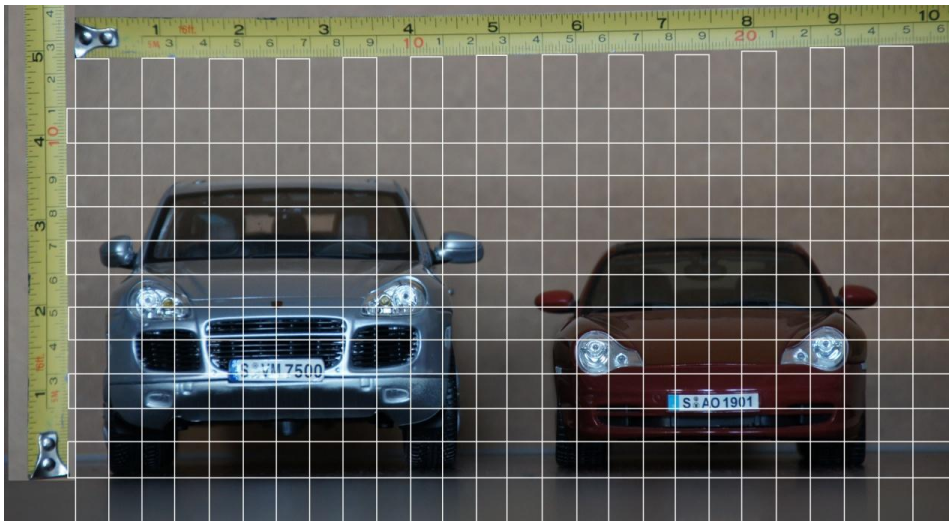
KUVA 8. Ajamani koeajolenkki

7.2 Otsapinta-alan laskenta

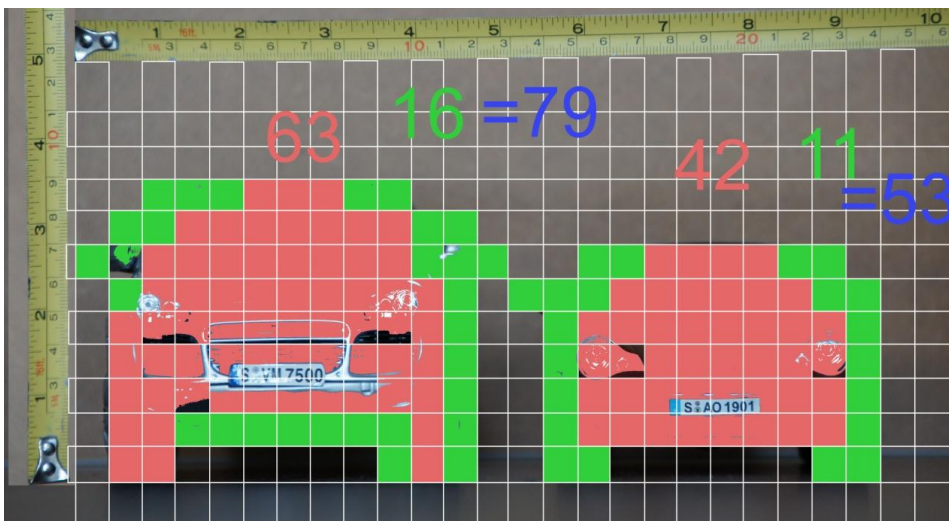
Auton otsapinta-ala on helppo laskea esimerkiksi valokuvasta, joka on otettu suoraan edestäpäin ja jossa on mittakaava mukana. Havainnollistin asiaa ottaman kuvan kahdesta pienoismalliautosta. Kuvaan otin mukaan mittanauhan mittakaavaksi. Kuvankäsittely ohjelmalla piirsin ruudukon sentin välein mittanauhan avulla. Kuvasta on näin helppo laskea, kuinka monta neliötä auton pinta täyttää. Ensin on hyvä laskea täydet

ruudut ja lopuksi vajaat. Täysikokoisessa autossa on hyvä käyttää esimerkiksi 10 cm mittaväliä.

Laskemani ruudukot pitää tässä tapauksessa vielä kertoa autojen mittakaavalla. Porsche Cayenne Turbon ilmoitettu otsapinta-ala on $2,78 \text{ m}^2$. Sain pienoismallista lasketua arvon $2,84 \text{ m}^2$. Porsche 911:n ilmoitettu arvo on $2,0 \text{ m}^2$. Mittaamani arvo $1,91 \text{ m}^2$. Lähtökohdat huomioon ottaen laskemani arvot ovat hyvin lähellä. Oikeassa autosta mittaustapa on vielä tarkempi. Yksinkertaisin tapa selvittää auton otsapinta-ala on laskea: auton korkeus * leveys * 0,85.



KUVA 9. Esimerkki otsapinta-alan laskemisesta



KUVA 10. Esimerkki otsapinta-alan laskemisesta

8 KOHDEAUTO CITROEN XSARA

Ensimmäinen kohdeautoni oli 5-ovinen Citroen Xsara. Auto oli vuosimallia 2001, ja sillä oli ajettu noin 310 tkm. Moottorina oli 2-litrainen yhteispaineruiskutus turbodiesel. Rekisteriotteen mukaan omamassa oli 1275 kg. Paino on ilmoitettu nestetasot puolessavälissä standardikuljettajan kanssa. Punnitsin auton itse koulun laitteilla ja tulokseksi tuli 1268 kg ilman kuljettajaa polttoainesäiliö täynnä. Valmistajan ilmoittamat kulutuslukemat ovat kaupunki: 7,3 l/100 km, maantie: 4,2 l/100 km, yhdistetty keskikulutus: 5,4 l/100 km, CO₂ päästö 140 g/km. Moottorin teho 66 kw/4000 rpm, vääntömomentti 205 Nm/1900 rpm. Tehtaan ilmoittama otsapinta-ala 1,98 m². Laskemani 1,94 m²



KUVA 11. Kohdeauto Citroen Xsara

8.1 Muutokset

Päätin jakaa muutokset alun perin kolmeen eri osaan, koska pientä yksittäistä muutosta on erittäin vaikea havaita mittausmenetelmilläni. Tarvittaisiin laboratorio-olosuhteet ja erittäin tarkka kulutusmittari, jotta muutos ei häviäisi virhetarkkuuteen. Jokainen osa koostuu siis useammasta pienestä muutoksesta. Muutosten tavoitteen oli pienentää ulkoisia vastusvoimia ja tutkia, vaikuttaako laajahuolto polttoaineen kulutukseen.

TAULUKKO 1. Erivaiheissa kohdeautolle tekemäni muutokset

	Muutokset
Osa 1.	<ul style="list-style-type: none"> - Kitkarenkaat - Umpinaiset pölykapselit - LED-huomiovalot - Vararengas pois - Rungottomat pyyhkijänsulat - Vaihteistoöljyt - Termostaatti
Osa 2.	<ul style="list-style-type: none"> - Takalasinpyyhin pois - Pyöränkulmat - Pohjamuovit - Saumoja tiivistetty - Ilmanottoaukkoja peitetty
Osa. 2,5	<ul style="list-style-type: none"> - Kesärenkaat - Keula auki (lämpöongelmia)
Osa 3.	<ul style="list-style-type: none"> - Moottorinilmansuodatin - Matalakitkaiset öljyt - Polttoainesuodatin - Öljytilan puhdistuskäsittely - Suuttimien puhdistuskäsittely - Moottorinalamuovi pois

**KUVA 13. Tarvikkeita muutoksia varten**

8.2 Osa 1

Ensimmäisen osan muutokset ovat ns. helppoja muutoksia, jotka pystyy tekemään ilman suuria muutostöitä. Autoon vaihdettiin ensimmäisenä Nokian Hakkapeliitta R - kitkarenkaat. Renkaissa on erittäin pieni vierinvastuskerroin. Rengaskooksi valittiin hieman auton normaali kokoa isommalla kehällä oleva rengas kokoa 195/60 R15. Näin voimansiirron välityssuhteet pidentyvät ja moottorin pyörintänopeus alenee. Myös auton nopeusmittari alkaa näyttää useimmissa tapauksissa lähdes todellista nopeutta. Tässä tapauksessa mittarivirhe oli ennen 4 km/h, eli kun ajoi mittarinopeutta 100 km/h, todellinen nopeus oli 96 km/h. Renkaiden vaihdon jälkeen todellinen nopeus oli 99 km/h. Virhenopeus väheni siis 3 km/h.

Uudet matalan vierinvastuksen kitkarenkaat asennettiin lisäksi erittäin kevyille alumiinivanteille. Yhden 15” vanteen paino on vain 4,8 kg. Jousittamattoman- ja auton kokonaismassan pienentymisen lisäksi pyörivä massa pienentyy. Lisäksi vanteisiin asennettiin sileät pölykapselit ilmanpyörteilyn vähentämiseksi. Tämä tietenkin vaikuttaa teoriassa jarrujen jäähtytykseen, mutta en usko sillä olevan käytännön merkitystä Suomen olosuhteissa. Autolla ei kuitenkaan olla radalle tai vuoristoon menossa ajamaan.

Auton painon vähentäminen pienellä budjetilla jälkikäteen on haastavaa, jos auto halutaan pitää jokapäiväisessä käytössä toimivana ja mukavana. Helpoin toimenpide on poistaa varapyörä ja lisätä tilalle paikkausainepullo. Tämä toteutettiin omassa autosanikin. Citroen Xsarassa on täysikokoinen varapyörä, joten painonsäästö tässä tapauksessa on lähes noin 15 kg. Joissain autossa on erittäin pienikokoinen varapyörä. Silloin painonsäästö jää hieman alle 10 kg luokkaan.

Muita toteuttamiani painonpudotuskeinoja oli kaikkien kumimattojen- ja keskimmäisen takamatkustajan niskatuen pois ottaminen. Lisäksi siivosin auton kaikesta turhasta tavarasta ja hiekasta. Autosta poistettiin myös takalasinpyyhin moottoreineen sekä auton ulkopuolella ollut antenni. Kyseessä on erittäin pieniä muutoksia, mutta jokainen poistettu kilo auttaa.

Yhdistin ensimmäiseen osioon myös sähkökulutuksen vähentämisen. Työssäni asensin autoon LED-päivävalot. Näiden yhteen laskettu sähkönkulutus on noin 10 W. Nykyinen EU-lainsäädäntö mahdollistaa, ettei auton takaosassa tarvitse palaa päiväsaikaan mitään valoja, joten kytkin automaattiset ajovalot pois käytöstä, eli autossa ei pala päiväsaikaan muita valoja kuin edessä olevat huomiovalot. Takavalloissa on edelleen normaalit hehkulankapolttimet. Jos haluttaisiin kokonaisvaltaista sähkökulutuksen alentumista, kaikki hehkulankapolttimet pitäisi vaihtaa led polttimoihin.

Jouduin vaihtamaan uudet vaihteistoöljyt jo tässä vaiheessa autoon, koska vetoakselin tiiviste vuoti niin pahasti. Vaihdon olisin halunnut ajoittaa muiden huoltotoimenpiteiden kanssa samaan aikaan. Toinen muutos joka tuli ns. väärään aikaan oli termostatti. Sen uusiminen oli järkevää tehdä samalla, kun lämpötila-anturi vaihdettiin. Anturi aiheutti vikakoodin, joten sen uusiminen oli myös tarpeellista. Termostaattikaan ei pitänyt moottorin lämpötilaa normaalina, vaan moottori kävi hieman alilämpöisenä. Moottorin oikean toiminnan kannalta on tärkeää oikean käyntilämpötila.

8.3 Osa 2

Seuraavassa vaiheessa paneuduin hieman parantamaan auton aerodynamiikka. On olemassa muutama hyvinkin helposti toteutettava keino ilmanvastuksen alentamiseen. Tämä koskee varsinkin hieman vanhempia autoja, joissa asioita ei vielä ole otettu kovin tarkasti huomioon.

Yksi helpoin tapa ilmanvastuksen alentamiseen on auton keulan ilmanottoaukkojen tukkiminen. Autojen jäähdytys järjestelmät on yleensä mitoitettu niin, että autoilla voi ajaa vaativissakin olosuhteissa esimerkiksi mäkisessä maastossa peräkärriä vedettäessä tai yli 30 asteen kuumuudessa. Tämä on Suomessa harvinaista. Auton mukana tuli valmistajan oma maskipeite, joka menee suoraan pikakiinnikkeillä paikalleen. Maskipeiton ansiosta moottori myös lämpenee toiminta lämpötilaansa nopeammin ja kovilla pakkasilla myös auttaa pitämään lämmön normaalina.

Uuden Mercedes Benz B-mallin innoittamana tiivistin tiivistysnauhalla auton konepellin saumoja. Käytännön hyöty tästä on hyvin pieni. Sen sijaan suurempi hyöty saadaan tasoittamalla auton pohjaa. Varsinkin moottorin alapuoli ja taka-akselin alue ovat ongelmallisia. Ilmavirran osuessa jousituksen tukivarsiin aiheutuu tarpeetonta pyörteilyä

ja vastusta. Kun nämä osat peitetään, ilmavirta pääsee virtaamaan auton alitse va-
paammin, vähentäen epäedullista pyörteilyä. Pohjan tasoittamiseen käytin joustavaa
polyeteenilevyä, jota on helppo työstää ja on materiaali suhteellisen kevyttä. Pohjan
suojaamisella saadaan myös se hyöty, että alusta pysyy puhtaana kurasta, suolasta ja
ennen kaikkea kiveniskulta. Leikkasin muovista sopivan muotoiset palat moottorin
alapuolelle sekä koko taka-akselin alle. Kiinnitys tapahtui nippusiteillä. Kiinnityksessä
pitää ottaa huomioon, että auton jousituksella on tilaa liikkua sekä mahdollinen läm-
pöeristys jos muovia laitetaan jonkin kuuman esimerkiksi pakoputken lähelle. Käyt-
tämäni polyeteeni ei kovin kuumaa kestä. Valmistajan mukaan maksimi käyttölämpö-
tila on noin 60 astetta. Kalliimpi ABS-muovi kestäisi paremmin kuumuutta.
Tässä mallissa takalasin pyyhin oli takaikkunanpäällä vaakatasossa. Arvelin sen sot-
kevan ilmavirtauksia selvästi. Pyyhin on tässä mallissa muutenkin hieman turha, lasi
on niin vaakatasossa, että kura ei pääse siihen ajossa lentämään. Päädyin poistamaan
pyyhkimen tarpeettomana.



KUVA 12. Tyhjä vararengas häkki auton pohjassa

Yhdistin tähän vaiheeseen myös pyöränkulmien säädön. Parhaan rullautuvuuden saa-
vuttamiseksi liian suurella aurauksella on varmasti haittavaikutuksia. Kunnossa olevat
pyöränkulmien säädöt säästävät myös rengaskuluissa, kun rengas kuluu tasaisesti.
Auton kulmat olivat lähes kunnossa. Ainoastaan oikean etupyörän aurausta piti säätää
hieman.



KUVA 14. Kohdeauton alustan muovitukset

8.4 Osa 2,5

Tässä vaiheessa kevättä tuli ajankohtaiseksi vaihtaa kesärenkaat alle. Renkaiksi valitsin Michelin EnergySaver -mallin. Malli on tunnettu pienestä vierinvastuksesta sekä hyvästä kulutuskestävyydestä. Kooksi valikoitui tälläkin kertaa hieman auton vakio kokoa suurempi rengas. Näin saadaan moottorin kierroslukua pudotettua, koska voimansiirron välityssuhteet kasvavat. Toinen vaikuttava tekijä oli, että 60-profiilin rengas on halvempi kuin autossa vakiona oleva 55-profiilinen.

Säiden lämmettyä auton moottorin lämpötila alkoi nousta normaalin yläpuolelle. Tästä syystä jouduin poistamaan keulalla olevan maskipeiton. Tässä vaiheessa alkoi myös valkenemaan autossa piilevä kannentiiviste vika, jonka takia lämpötila oli herkempi nousemaan. Kunnossa olevassa moottorissa ongelmaa ei varmasti olisi ollut.

8.5 Osa 3

Viimeisessä vaiheessa oli tarkoitus tutkia, vaikuttaako auton huolto polttoaineen kulutukseen. Auto oli ennestään kohtuullisen hyvin huollettu. Määräaikaishuollot oli tehty ajallaan. Uusin kaikki suodattimet, sisältäen öljynsuodattimen, moottorin ilmansuodat-

timen, raitisilmansuodattimen ja polttoainesuodattimen. Moottorin ilmansuodatin ei ollut vielä kovin likainen. Vanhalla suodattimella oli ajettu noin 15 tkm. Vaihtoväli huolto-ohjelman mukaan on 60 tkm. Ennen öljynvaihtoa kaadoin vanhan öljyn sekaan öljytilan puhdistusaineen. Käytin moottoria korotetulla joutokäyntinopeudella noin 15 min, jonka aikana puhdistava aine öljyn seassa pitäisi irrottaa likaa moottorista. Tämän jälkeen vaihdoin uudet öljyt moottoriin. Öljynä käytin valmistajan hyväksymää laatua, jossa olisi mahdollisimman pieni viskositeettiarvo. Öljy oli Total-merkkistä viskositeettiarvoltaan 0w30. Matalaviskositeettisen öljyn pitäisi pienentää hyvällä juoksevuudellaan moottorin sisäisiä kitkoja, jolla on vaikutusta polttoaineen kulutukseen. Lisäksi tein polttoaineen sekaan kaadettavan suuttimien puhdistuskäsittelyn. Täytin uuden polttoainesuodattimen puhdistusaineella ja loput kaadoin tankkiin. Kesän lähestyessä auton moottorin lämmöt jatkoivat nousuaan, joten joudun samalla ottamaan tekemäni moottorin alamuovin pois, jotta moottori saisi enemmän jäähdytystä myös alakautta.

8.6 Mittaukset

Kitkarenkailla, pienellä painon vähennyksellä ja huomiovalojen vähentyneellä sähkökulutuksella päästiin 0,2 - 0,3 l/100km polttoaineen säästöön.

Kokeeni loppuvaiheessa polttoaineen kulutusmittari antoi varsin suuria lukemia. Kone väitti maantiekulutuksen lisääntyneen noin litran/100km ja kaupungissa yli 2 l/100km. Rullauskokeet tukevat kulutuksen nousua, mutta määrällisesti lukema on liian suuri. Tässä kohdin epäilyt mittarin paikkaansa pitävyydestä varmistuivat. Suurin todellinen vaikuttava tekijä kulutuksen nousuun oli kesärenkaiden käyttöönotto sekä maskisuojan pois ottaminen.

TAULUKKO 2. Mitatut polttoaineen kulutusarvot eri vaiheissa

	Vakio	Muutokset 1.	Muutokset 2,5
Maantie	4,2 l/100km	4,0 l/100km	5,3 l/100km
Kaupunki	6,3 l/100km	6,1 l/100km	8,4 l/100km

Pieleen menneet kulutusmittaukset eivät vaikuttaneet rullausmittauksiin. Tosin esimerkiksi ilmansuodattimen vaihtaminen tai LED-huomiovalojen asentaminen ei vaikuta rullausaikaan. Rullausmittauksilla pystytään toteamaan ainoastaan ulkoisten vas-
tusvoimien muutoksia. Rengastyypillä huomataan olevan taas suuri vaikutus rullaus-

matkoihin etenkin hitaissa nopeuksissa. Taulukko 3:sta voidaan huomata, että muiden muutosten vaikutus esimerkiksi muutosten 1. ja 2. välillä on häviävän pieni. Käytännössä muutos menee virhemarginaalin sisään.

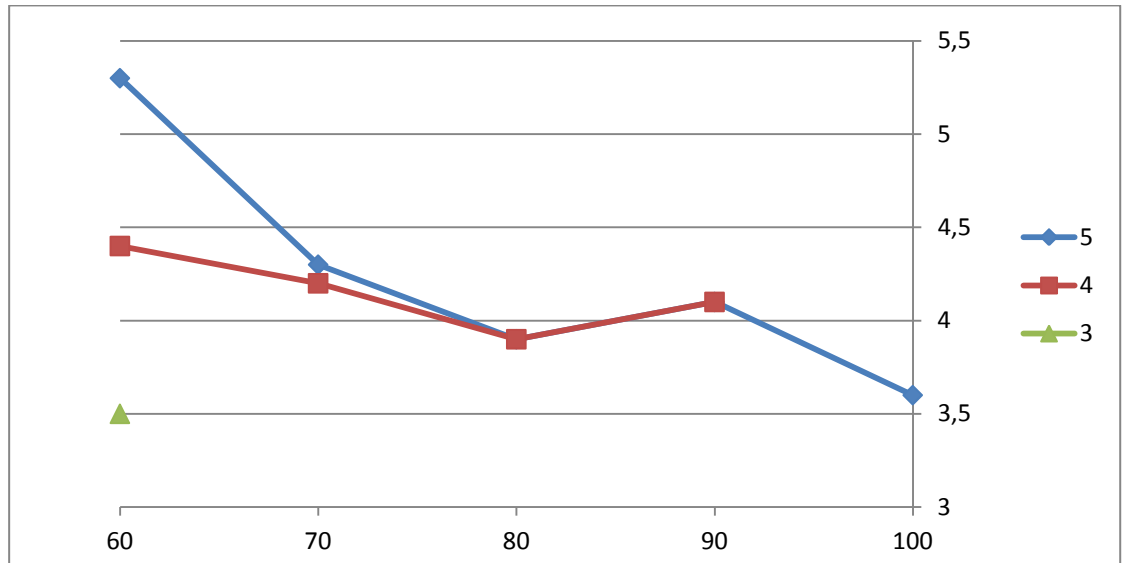
TAULUKKO 3. Rullausaikoja ei muutosvaiheiden yhteydessä

	40-20km/h	80-60km/h	Rengastyyppe
Vakio	35,3	23,1	Nasta
Muutos 1.	48,4	26,1	Kitka
Muutos 2.	49,3	25,5	Kitka
Muutos 2½.	34,9	20,4	Uusi kesä
Lopussa	42,5	22,8	Vanha kesä

Mittasin tasaisen nopeuden kulutuksia eri vaihteilla ja kirjasin ylös myös moottorin pyörintänopeuden kyseisellä nopeudella ja vaihteella. Jos kulutusmittariin on uskominen, tätä moottoria ei kannata ajaa pienillä moottorin pyörintänopeuksilla. Alhaisimpiin polttoaineen kulutuslukemiin päästiin, kun moottorin pyörintänopeus oli yli 2000 kierrosta minuutissa, eli parhaan vääntömomentin kohdilla. Tämä on tietenkin jokseenkin loogista. Yleensä pienin moottorin ominaiskulutus on juuri maksimi vääntömomentin kohdalla, täyskaasulla ajettaessa ainakin.

TAULUKKO 4. Tasaisen nopeuden kulutuksia eri vaihteilla ja kierrosluvuilla

	3. vaihde	4. vaihde	5. vaihde
60 km/h	3,5 l/100km 2350rpm	4,4 l/100km 1710rpm	5,3 l/100km 1370rpm
70 km/h	-	4,2 l/100km 1980rpm	4,3 l/100km 1560rpm
80 km/h	-	3,9 l/100km 2240rpm	3,9 l/100km 1790rpm
90 km/h	-	4,1 l/100km 2510rpm	4,1 l/100km 2010rpm
100 km/h	-	-	3,6 l/100km 2230rpm



KUVA 15. Polttoaineen kulutuskäyrät eri vaihteilla. Y-akselilla kulutus l/100km X-akselilla nopeus km/h.

9 KOHDEAUTO PEUGEOT 406

Toinen kohdeautoistani oli vuosimallia 2003 oleva Peugeot 406. Auto on farmarikorimallia ja varustettu 3-litraisella v6-moottorilla. Sillä on ajettu noin 145 tkm ja omamassaa rekisteriotteen mukaan 1580 kg. Tämä sisältää siis kuljettajan. Auton paino tyhjänä 1505 kg. Tässä autossa on varusteena auton oma ajotietokone. Mittausteni perusteella auton mittaama polttoaineenkulutus on hyvin realistinen tarkkuuden ollessa n. 0,2 l/100km. Tällä ei kuitenkaan ole suurta merkitystä työni kannalta, koska en tee vertailua muihin autoihin, vaan pyrin mittaamaan autoon tekemieni muutosten aiheuttamia eroja. Valmistajan ilmoittaman kulutuslukemat ovat kaupunki: 13,9 l/100km, maantie: 7,4 l/100km, yhdistetty keskimuutos: 9,8 l/100km ja CO₂ päästö: 234 g/km. Moottorin teho 152 kW/6000rpm, vääntömomentti 285 Nm/3750 rpm. Ilmoitettu otsapinta-ala on 2,07 m². Mittapiirroksesta laskemani 1,98m²



KUVA 16. Kohdeauto Peugeot 406

Tähän autoon en tehnyt mitään varsinaisia mekaanisia muutoksia. Keskityin mittaamaan lähinnä eri renkaiden vierintävastuksen sekä korin ilmanvastuksen vaikutusta kulutukseen ja auton rullausmatkaan.

Tein vierintämittaukset neljällä eri rengasmallilla. Ilmanpaineet testihetkellä kaikissa renkaissa oli 2,5 bar.

TAULUKKO 5. Mittauksissa käyttämäni rengasmallit

	Malli	Koko	Urasyyvyys
16” kesärenkas	Continental PremiunContact 2	205/55 16” V	4mm
15” kesärenkas	Michelin EnergySaver	195/60 15” H	7mm
16” nastarenkas	Michelin X-ice north 2	205/55 16” T	8mm
15” kitkarenkas	Nokian Hakkapeliitta R	195/60 15” R	7mm

Mittaukset tein samalla tekniikalla kuin edellisessäkin autossa. Korkean nopeuden mittaukset, josta ilmenee ilmanvastus, sekä hitaan nopeuden, joka havainnollistaa vierinvastusta. Korkean nopeuden testissä annoin vauhdin hidastua vapaalla 80 km/h, 60 km/h nopeuteen ja hitaalla nopeudella 40 km/h, 20 km/h:ssa. Mittasin aikaa nopeudenmuutokseen sekunneissa tallentavan GPS-laitteen avulla.

Tein myös tasaisen nopeuden kulutusmittauksia auton ajotietokoneen avulla. Ajoin noin 2 km suoran tien mitan vakionopeudella. Auton vakionopeudensäätimen ansiosta nopeus pysyi tasaisena koko mittausjakson ajan. Ajoin tien molempiin suuntiin saadakseni keskiarvotuloksen, joka kompensoi korkeuserot ja mahdolliset tuulet. Mittausta vaikeutti käyttämieni renkaiden eroavat koot. Tämä vaikuttaa renkaan vierintäkehän suuruuteen, joka taas muuttaa moottorin kierrosnopeutta kun nopeus pysyy vakiona. Huomasin että sain realistisemmat arvot, kun olisin ajanut kaikki testit käyttäen samaa kierrosnopeutta verrattuna käyttämäni tapaan pitää nopeus vakiona. Suurimman ja pienimmän renkaan välinen kokoero aiheutti suurimmillaan n. 100 kierroksen per minuutti pyörintänopeuseron moottoriin. Kyseisen moottorin rakenteeseen paljon perehtyneen henkilön mielestä juuri kyseisellä pyörintänopeusalueella, jolla testit tein, moottorin sisäisissä vastuksissa on suuria eroja. Tämä aiheutti sen, että kun moottorin pyörintänopeus kasvoi 100 kierrosta minuutissa, kulutus vastaavasti aleni jopa n. 0,5 l/100km.

9.1 Mittaukset

Kuten aikaisemmin totesin, erilaiset rengaskoot vaikeuttivat todellisten kulutuserojen löytämistä. Taulukosta voidaan kuitenkin havaita selkeästi samankokoisten renkaiden väliset erot. Myös tekemäni ns. tarkistusmittaus tietyllä kierrosluvulla antaa oikeam-

paa suuntaa verrattaessa eri rengaskokoja. Ero parhaan ja huonoimman välillä on selkeä, noin 0,4 l/100km. Prosentteissa ero on noin 5 %. Taulukosta myös helppo todeta, että talvirengas rullaa kevyemmin, oli se sitten nasta- tai kitkarengas. Jos verrataan mittarinopeudella mitattuja arvoja, ero parhaan ja huonoimman välillä on yli 15 %.

TAULUKKO 6. Rullausaikoja ja tasaisen nopeuden kulutuksia eri renkailla

	40-20km/h	kulutus 80km/h	kulutus 2000rpm
Kesärengas 16”	28,6 s	8,1 l/100km	7,6 l/100km
Kesärengas 15”	28,2 s	7,9 l/100km	-
Nastarengas 16”	32,8 s	7,7 l/100km	-
Kitkarengas 15”	35,3 s	7,3 l/100km	7,2 l/100km

Tutkin myös rengaspaineiden vaikutusta kahdella erilaisella rengaspaineella. Matalana paineena käytin huoltoaseman mittarin mukaan 1,8 bar painetta ja korkean paineen arvona 3,0 bar. Auton suositusrengaspaineet vakioirengaskoolle 205/55 16” ovat 2,4 bar eteen ja taakse. Kuormattuna takarenkaiden paine suositellaan nostettavan 3,0 bar paineeseen. Mittasin polttoaineen keskikulutuksen ajamalla tasanopeutta 80 km/h 5. vaihteella sekä 55 km/h 4. vaihteella. Mittasin arvot neljään kertaan, joista laskin keskiarvon. Lisäksi tein hitaan nopeuden rullauskokeen.

TAULUKKO 7. Renkaan ilmanpaineen vaikutus kulutukseen ja rullausaikaan

	80km/h	55km/h	40-20km/h s
1,8 bar	7,5 l/100km	8,0 l/100km	33,2 s
3,0 bar	7,1 l/100km	7,6 l/100km	38,9 s

Mittauksieni perusteella reilu yhden barin ero rengaspaineessa muuttaa kulutusta noin 0,4 l/100 km, sekä lähes kuusi sekuntia rullausaika, joka kestää kun auto hidastuu 40 km/h nopeuteen 20 km/h. Ero prosentteina ilmoitettuna on kulutuksessa hieman yli 5 % sekä vierinvastusta mittaavassa rullausajassa jopa 17 %. Matalan rengaspaineen vaikutus onkin suurempi pienissä nopeuksissa. Huomioitavaa on, että moni pitää 1,8 bar rengaspainetta vielä täysin normaalina, varsinkin vanhemmat ihmiset, joilla on mielessä vanhat ristikudosrenkaat, jotka eivät kestä kovempia paineita muuttamatta muotoaan. Ristikudosrenkaat pullistuvat renkaan keskilinjasta selvästi, jos painetta on paljon, mikä aiheuttaa epätasaista kulumista. Nykyrenkaissa tilanne on lähes päinvas-

tainen. Renkaan pinta kuluu keskeltä enemmän vajaalla kuin liian korkealla paineella. Koskiessaan asfalttia löysä rengas pääsee joustamaan pitkittäissuunnassa. /10./

Korkeampien rengaspaineiden käyttöä puoltaa myös autojen kasvaneet massat. Renkaan pitää kantaa entistä enemmän kuormaa. Matalaprofiiliset renkaat tarvitsevat myös hieman korkeampaa painetta.

Havainnollistin ilmanvastuksen kasvua laittamalla 88 cm*78 cm*56 cm kokoisen pahvilaatikon auton katolle. Auton otsapinta-alaa laatikko kasvatti 0,68 m². Normaali kunnossa auton otsapinta-ala on 2,07 m². Laatikon kanssa pinta-ala on yhteensä 2,75 m². Vertailun vuoksi esim. BMW X5 -kaupunkimaastoauton otsapinta-ala on 2,7 m². Auton ilmanvastuskerroin kasvaa myös, koska laatikkoa ei ole muotoiltu ilmanvastuksen kannalta optimaalisesti. Suoraseinäisen itsenäisen laatikon ilmanvastuskerroin cW on noin 1. Mittauksieni perusteella ilman laatikkoa auton ilmanvastuskerroin cW oli 0,49. Laatikon kanssa Cw-arvo oli 0,79. Arvot eivät ole vertailukelpoisia muiden mitausten kanssa, mutta kertovat, että laatikko lähes kaksinkertaistaa ilmanvastuskertoimen. Laatikon aiheuttamaa ilmanvastusta kuvaa hyvin se, että laatikkoa oli erittäin vaikea saada pysymään katolla 80km/h nopeudessa. Ensin tein laatikkoon reiät, joista kiinnitin sen neljällä nippusiteellä auton kattokaiteisiin. Vaikka laatikko oli tukevaa pahvia, nippusiteet repivät pahvin riekaleiksi. Vasta kahdella sidontaliinalla sain laatikon pysymään tukevasti katolla. Tämän jälkeen huomio kiinnittyi siihen miten voimakkaasti tuuli otti laatikkoon kiinni. Vaikka päivä oli suhteellisen tyyni, auton sisällä tunsin hyvin, miten ilmavirta ravisti autoa sivuttain.

TAULUKKO 8. Laatikon vaikutus kulutukseen ja rullausaikaan

	Laatikko	Ei laatikkoa
60km/h	8,2 l/100km	6,8 l/100km
80km/h	9,2 l/100km	7,3 l/100km
80-60km/h	12,8 s	20,2 s
40-20km/h	31,3 s	35,7 s



KUVA 17. Ilmanvastusta lisäävä laatikko

Laatikon vaikutus polttoaineen kulutukseen oli todella selkeä. Lisäystä 80 km/h nopeudessa oli lähes 2 l/100 km. Moottoritie nopeuksissa ero olisi vielä suurempi. 60 km/h nopeudessa ero oli edelleen hyvin selkeä. Laatikon kanssa kulutus lisääntyi n. 1,5 l/100 km. Rullausajassa 80 – 60 km/h aika lähes puolittui 20 sekunnista, alle 13 sekuntiin. Ero prosenteissa noin 37 %. 40 - 20km/h nopeudessa ilmanvastuksella ei ole enää niin suurta vaikutusta, mutta ero silti noin 13 %. Pudotus 35,7s -> 31,9s.



KUVA 18. Ilmanvastusta lisäävä laatikko

Tutkin hieman myös painon vaikutusta kulutukseen Peugeot 406 -autolla. Ajoin saman aikaisemmin mainitsemani Moision alueen lenkin. Tällä kertaa otin kaksi testiajaja, joiden keskiarvon laskin. Autossa oli kyydissä kuljettajan lisäksi neljä henkilöä. Henkilöiden keskipaino asettuu noin 75 kg tietämille, joten yhteispainoa tuli lisää noin 300 kg. Se tarkoittaa painon lisääntymistä noin 19 %.

TAULUKKO 9. Lisäpainon vaikutus kulutukseen

	Kaupunkiajo	Maantieajo
Ilman lisäkuormaa	10,3 l/100km	7,8 l/100km
Lisäkuorman kanssa	10,7 l/100km	8,3 l/100km

Yllättäen molemmissa sekä maantie- että kaupunkiajoa simuloivissa testeissä kulutus lisääntyi määrällisesti lähes saman verran. Prosentuaalisesti kasvua oli enemmän maantieajokulutuksessa. Eron ollessa n. 7 %. Kaupunkiajossa prosentuaalinen ero jäi noin 4 %:iin.

Uskoisin, että maantieajokokeen lyhyen ajomatkan, mäkinen maaston ja suhteellisesti kokonaismatkaan nähden pitkän kiihdytysmatkan takia kulutus lisääntyikin enemmän maantiellä. Teoriassa massan lisäämisen pitäisi näkyä kaupunkiajossa enemmän. Boschin autotekninen taskukirja sanoo 10 % painon vähentämisen laskevan kulutusta 6%. En pääsyt ihan näin suureen hyötyyn, mutta tämä voi johtua autossa olevasta suhteellisen tehokkaasta ja vääntävästä moottorista. Moottori ei joudu tekemään lisääntyneestä massasta huolimatta merkittävästi enempää työtä. Pienemmässä ja tehottomammassa moottorissa auton massalla olisi varmasti suurempi merkitys.

9.2 Kohdeauto 3

Toistin vierintämittaukset myös kolmannella autolla. Autona oli Peugeot 206 vuosimallia 1999. Kesärenkaina autossa oli ContinentalEcoContact 3 kokoa 165/70 13” sekä talvirenkaina Nokian Hakkapeliitta R -kitkarenkaat kokoa 175/70 13”. Rengaspaineina käytin kyseisessä autossa myös n. 2,5 bar. Sain tässäkin testissä hyvin samansuuntaisia tuloksia kuin aiemmissa. Auton rullausmatka kasvaa ajassa mitattuna noin 15 % kitkarenkaita käytettäessä.

TAULUKKO 10. Rengastyypin vaikutus rullausaikaan

	40-20km/h
Kesärenkas	29,8 s
Kitkarenkas	34,9 s

10 TULOKSET

Ensimmäisestä kohdeautostani en saanut kunnollisia mittaustuloksia aikaiseksi. Pitkän ajan kulutus seurannassa ei tapahtunut merkittävää muutosta. Kulutus pyöri puolen vuoden ajan, jonka auto minulla oli, noin 5 l/100 km kulutuksen ollessa suurimmillaan 5,47 l/100km ja pienimmillään 4,51 l/100km.

Toisen kohdeautoni tulokset ovat selvempiä. Renkaiden vaikutus kulutukseen on selkeä. Talvirenkaat rullaavat pidemmälle kuin kesärenkaat. Myös oikea ilmanpaine on tärkeä. Liian matala ilmanpaine voi lisätä kulutusta jopa 0,5 l/100 km.

Kokonaisilmanvastuksen kasvaminen noin 30 %:lla lisää kulutusta 80 km/h vauhdissa noin 2 l/100 km. Ilmanvastusta on vaikea pienentää nykyaikaisista henkilöautoista. Jokainen pystyy kuitenkin vaikuttamaan siihen, ettei aiheuta lisää ilmanvastusta autoon, esimerkiksi irrottamalla kattotelineet, kun niitä ei käytetä. Sama asia koskee auton painoa. Autossa on turha kantaa mukana sinne kuulumatonta tavaraa jatkuvasti. Mittauksissani ajoneuvonpainon lisääntyminen 19 %:lla lisäsi kulutusta noin 5 %. Painon merkitys korostuu etenkin pienissä, kevyissä ja tehottomissa autoissa. Käyttämäni testiauto oli suurikokoinen perheauto ja varustettu tehokkaalla moottorilla.

11 POHDINTA

Alkuperäinen ideani oli tutkia, miten ns. kotioloissa pystyy vähentämään polttoaineen kulutusta projektiauton avulla ilman, että auton käytettävyys suuremmin kärsii. Työ lähtikin hyvin käyntiin, ja tuloksia alkoi heti tulla. Jatko ei kuitenkaan ollut niin onnistunut kuin olisin halunnut. Auton ja erityisesti kulutuksen mittauksen kanssa ilmeni ongelmia. Tämän takia työn luonnetta jouduttiin hieman muuttamaan. Kokonaisvaltainen kulutuksen vähentäminen jäi taka-alalle, ja päätin tutkia vain yksittäisiä keinoja kulutuksen vähentämiseen. Tämä piti resurssien puutteen takia tehdä niin, että ajovastuksia oli lisättävä, jotta pääsisin riittävän suureen muutokseen. Esimerkiksi en pudottanut auton painoa 50 kg vaan lisäsin 300 kg. Vaikutus on sama, mutta päinvastainen. Sain varsin hyvää tietoa, joka oli hyvin lähellä teoreettisia arvoja. Olisi ollut mielenkiintoista rakentaa pienikokoinen tuulitunneli 1:18 kokoluokan pienoismalliautoille. Tämä idea tuli kuitenkin toteuttamisen kannalta liian myöhään. Saattaa kuitenkin olla, että toteutan projektin vapaa-aikanani. Ajotavan ja kuljettajan merkitys on kokonai-

suutena suurin yksittäinen tekijä, mikä vaikuttaa ajoneuvon kulutukseen. Aiheesta voisi tehdä ihan oman tutkielman. Olisi kuitenkin ollut mielenkiintoista tehdä mittauksia eri kuljettajien välillä.

Työn tekeminen oli mittausten ja testien osalta mukavaa, joskin aikaa vievää. Mittausajoa tuli useita satoja kilometrejä. Kirjallinen puoli ei kuitenkaan ole vanhin alueeni, sen takia aikataulu venyikin huomattavan pitkäksi. Pikkuhiljaa työlle alkoi kuitenkin kertyä pituutta riittävästi. Seuraava haaste olikin saada teksti loogiseen muotoon ja järjestykseen.

LÄHTEET

1. Bosch autoteknillinen taskukirja, 6. painos, 2003, Gummerus Oy
2. Motiva 2013, Vinkit ennen ajoon lähtöä, Verkkodokumentti, http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/taloudellinen_ajotapa/vinkit_ennen_ajoon_lahtoa, Päivitetty 7.2.2013, Luettu 11.10.2012
3. Motiva 2013, Aerodynamiikka ja ajovastukset, Verkkodokumentti, http://www.motiva.fi/liikenne/polttoaineet_ja_ajoneuvotekniikka/aerodynamiikka_ja_ajovastukset, Päivitetty 21.9.2012, Luettu 23.5.2013
4. Ajovalo.net, Ilmanvastus, Verkkodokumentti, <http://www.ajovallo.net/Ilmanvastus1.htm>, Päivitetty 23.5.2013, Luettu 23.5.2013
5. Wikipedia, Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures, Verkkodokumentti http://en.wikipedia.org/wiki/Worldwide_harmonized_Light_vehicles_Test_Procedures, Päivitetty 29.4.2013, Luettu 23.5.2013
6. Motiva, Taloudellinen ajotapa, Verkkodokumentti http://www.motiva.fi/liikenne/taloudellinen_ajotapa, Päivitetty 6.3.2013, Luettu 23.5.2013
7. Motiva, Taloudellinen ajaminen, PDF-dokumentti http://www.motiva.fi/files/2130/Taloudellinen_ajaminen_-_alykas_ajotapa.pdf, Päivitetty 27.6.2007, Luettu 23.5.2013
8. Motiva, Kulutussykli, Verkkodokumentti http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloauton_valinta/uusien_autojen_kulutus_ja_paastotiedot/kulutussykli, Päivitetty 27.11.2012, Luettu 23.5.2013
9. Motiva, Kori ja alusta, Verkkodokumentti, http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/kori_ja_alusta, Päivitetty 3.10.2012, Luettu 23.5.2013
10. Michelin, Renkaiden kuluminen, Verkkodokumentti, http://lehdisto.michelin.fi/fi/front/affich.jsp?&codePage=20090622114915_25012010223250&lang=FI&codeRubrique=20090622114915, Päivitetty 23.5.2013, Luettu 23.5.2013
11. Ilmanvastuskertoimia eri muodoille, Verkkokuva, <http://s279.photobucket.com/user/DamoRC1/media/DragCoeff.png.html>, Päivitetty 23.5.2013, Luettu 23.5.2013
12. Ilmanvastuskertoimien kehitys, Verkkokuva, <http://i39.tinypic.com/21dg6mh.jpg>, Päivitetty 23.5.2013, Luettu 23.5.2013
13. Wikipedia, Euroopan päästö määräykset, Verkkodokumentti http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards, Päivitetty 12.4.2013 Luettu 23.5.2013

LIITE 1.

Yksisivuinen liite

LIITE 2(1).

Monisivuinen liite

LIITE 2(2).

Monisivuinen liite