

Kaukanen Antti, Nevalainen Lauri

# Auton moottoritehon määrittäminen kiihtyvyyssmittauksen avulla

Opinnäytetyö  
Auto- ja kuljetustekniikka


Toukokuu 2009




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  22.06.2010
<b>Tekijä(t)</b> Nevalainen Lauri, Kaukanen Antti		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Auto- ja kuljetustekniikka
<b>Nimeke</b>  Auton moottoritehon määrittäminen kiihtyvyydenmittauksen avulla		
<b>Tiivistelmä</b>  Työn tarkoituksena oli tutkia kiihtyvyydenmittarin käytön järkevyyttä ajoneuvojen moottoritehon mittaukseen. Mittaustapa voisi tarjota järkevän ja edullisen vaihtoehdon perinteiselle jarrudynamometrille. Autojen kiihtyvyydet mitattiin VBOX-merkkisellä tiedonkeräysjärjestelmällä, jonka jälkeen tiedoista laskettiin autojen moottoriteho ajodynamiikan kaavoja hyväksi käyttäen. Työssä käyvimme läpi eri ajovastuksien vaikutuksen auton kiihtyvyyteen, määritimme autojen ilmanvastus- ja vierinvastuskertoimia, ja tärkeimpänä tarkastelimme mittaustavan tarkkuuden riittävyyttä.  Mittauskohteeksi on valittu mahdollisimman paljon erilaisia autoja, jotta autojen erojen vaikutus (esim. suuri ja pieni otsapinta-ala) mittaukseen saadaan selvitettyä. Laskettuja tehokäyriä verrattiin myös perinteisellä tyyllillä mitattuihin tehokäyriin mittaustavan tarkkuuden tutkimista varten.  Työn tulokset osoittivat hieman yllättäen, että kiihtyvyyden perusteella mitatut tehokäyrät ovat tarkkuudeltaan riittävän hyviä ns. harrastelijakäyttöön. Esimerkiksi auton virittämisen yhteydessä mitattavaan tehomittaukseen metodi sopii hyvin, mutta kahden auton välisten tehoerojen mittaukseen suosittelemme edelleen klassista tehomittaukseen. Kalliin hinnan vuoksi mittari kuitenkin on useimpien harrastelijoiden käyttöön liian kallis, joten halvan ja luotettavan tehomittauksen etsintä jatkuu edelleen.		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Ajodynamiikka, tehokäyrä, ajovastukset, ilmanvastus, vierinvastus		
<b>Sivumäärä</b> 37	<b>Kieli</b> suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Kari Ehrnrooth		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  22.06.2010
<b>Author(s)</b> Nevalainen Lauri, Kaukanen Antti		<b>Degree programme and option</b> Bachelor's degree in automotive technology
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Calculating the engine power of road vehicles from acceleration curves		
<b>Abstract</b>  The main purpose of this thesis is to evaluate the use of acceleration measurements of a vehicle as a method of calculating engine power. The same driving resistances and laws of physics apply to every moving object, so our task was to find out whether they can be calculated accurately.  The measured cars vary from small hatchbacks to big vans, so we could study the effects of different variables on the accuracy of the method (e.g. small vs. big drag-coefficient). As we couldn't find all factory-values for all of the cars, we tested a measurement-method that allowed us to calculate the drag-coefficient and rolling-resistance-coefficient. The accelerations of the vehicles were measured with a gps based data logging device. After measuring the cars, the data was analyzed, and with a excel-based calculating program transferred into power-curves. At the end we compare the calculated power-curves to ones that were measured using "regular" methods, like a wheel- or flywheel dynamometer.  The results show us, that measuring a car's power by its acceleration is reasonable, as long as the results are evaluated critically. Continuously changing variables (e.g. drag) affect the shape of the power curve slightly, but for amateur applications the method is accurate enough.		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  driving dynamics, powercurve, resistive forces, drag		
<b>Pages</b> 37	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Kari Ehrnrooth		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	FYSIKAALISET ILMIÖT JA MITTAUS .....	2
3	MITTAUSTEN KULKU .....	7
4	VBOX-TIEDONKERUULAITTEISTO.....	8
5	MITATTAVAT AUTOT .....	10
6	AJOVASTUKSET .....	13
	Ilmanvastus .....	15
6.1	Nousuvastus .....	16
6.2	Vierintävastus .....	16
6.3	Kitkahäviöt/hyötysuhteet.....	17
6.4	Hitausmomentti.....	18
7	VIERIN- JA ILMANVASTUKERTOIMIEN LASKENTA.....	20
8	MITTAUSTEN YHTEENVETO.....	23
9	LASKENTA.....	25
10	TULOKSET .....	26
11	POHDINTA .....	34
12	LÄHTEET .....	36
13	LIITEET .....	37

## 1 JOHDANTO

Ammattikorkeakoulun päättötyönä tehtävän tutkimuksen tavoitteena on mitata erilaisien autojen kiihtyvyyksiä kiihtyvyyssmittarilla ja selvittää, voiko ajovastukset eliminoida mitata auton moottoritehoa tällä yksinkertaisella ja nopealla tavalla. Tehtävänä on selvittää, kuinka tarkkoja tuloksia pelkällä kiihtyvyyssmittauksella on mahdollista saada aikaan ja onko tällainen mittaustapa varteen otettava vaihtoehto esimerkiksi pienen korjaamon tehonmittausvälineeksi. Opinnäytetyömme aiheeksi valitsimme hieman erikoisemman tutkimuksen, jota ei vielä aikaisemmin ole Mikkelin ammattikorkeakoulussa tutkittu. Korjaamoilla olisi käytännöllistä saada mitattua auton moottoriteho nopeasti, helposti ja läpi koko kierrosalueen, jolloin moottoritekniillisiä ongelmia olisi helppo karsia pois vikaa etsiessä. Mittaus antaisi myös korjaamoille keinon todistaa asiakkaalle, että moottori on kunnossa.

Mittauskohteeksi valitsimme niin vanhoja kuin uusiakin autoja, ja valitsimme vielä autoja kahdesta eri ajoneuvoluokasta, henkilöautot ja pakettiautot. Tämän valinnan teemme siksi, että henkilö- ja pakettiautojen välillä on jo isohkoja eroja esimerkiksi ilmanvastuksen ja pyörivien osien hitausmomenttien välillä. Uudet ja vanhat autot taas eroavat toisistaan eniten ilmanvastuskertoimen osalta, ja näin ollen teho/kiihtyvyyssuhde muuttuu. Vanhat autot tosin pienentävät eroja pienemmän massansa ansiosta, joten tutkimuksesta tulee varmasti monipuolinen ja mielenkiintoinen.

Kiihtyvyyssmittaukset suoritetaan V-box racelogic tiedonkeräyslaitteella, jolla saadaan tallennettua muun muassa auton nopeus, kiihtyvyys, sijainti, korkeus merenpinnasta ja niin edelleen. Kun auton kiihtyvyys on tiedossa ja ajovastukset sillä hetkellä, kun kiihtyvyys on mitattu, saa näistä kahdesta muuttujasta laskettua auton moottorin tuottaman tehon sillä hetkellä. Laskutoimituksissa suurimmat ongelmat vaaditun tarkkuuden saamiseksi piilevät autovalmistajien ja erinäisten lähteiden ilmoittamisessa teknisissä arvoissa. Esimerkiksi vanhemmille autoille voi olla ilmoitettu liian pieniä ilmanvastuskertoimia, koska valmistajat mittauttivat ilmanvastuskertoimet useammassa paikassa ja ilmoittivat pienimmän tuloksen. Toisen ongelman voivat aiheuttaa pienten pyörivien osien (vaihdelaatikon rattaat ja akselit) hitausmomentit, joita valmistaja ei usein ole ilmoittanut lainkaan. Tämä otetaan kuitenkin huomioon voimansiirron kokonaisyhteyshäviötä arvioidessa. Todella tehokkaiden autojen mittaustuloksiin tulee myös ”hitaampiin” autoihin verrattuna isoja heittoja, sillä renkaan sutimisen vaikutus

kiihtyvyyteen on lähes mahdotonta eliminoida laskemalla, ilman että tiedossa olisi pyörien pyörintänopeudet koko mittauksen aikana. Mittaukset suoritetaan niin, että mittaus on mahdollisimman pitkä lain sallimissa puitteissa ja että renkaan luisto vaikuttaa mahdollisimman vähän lopputulokseen, eli kiihtyvyydet mitataan mahdollisimman kovassa vauhdissa.

## 2 FYSIKAALISET ILMIÖT JA MITTAUS

Kaikki mekaaniset fysikaaliset ilmiöt maapallolla perustuu kolmeen peruslakiin, jotka tunnetaan paremmin Newtonin lakeina. Näiden lakien avulla voidaan muuttaa ilmiöt matemaattiseen muotoon ja tutkia niitä tarkemmin. Lakien avulla voidaan myös ennakoita, mitä missäkin ilmiössä tapahtuu.

Newtonin ensimmäinen laki:

Jatkuvuuden laki. Kappale, johon ei vaikuta ulkoisia voimia tai siihen vaikuttavien voimien summa on nolla, pysyy levossa tai jatkaa liikettään suoraviivaisesti muuttumattomalla nopeudella.

Newtonin toinen laki:

Dynamiikan peruslaki. Kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima  $F$  antaa kappaleelle, jonka massa on  $m$ , kiihtyvyyden  $a$  siten, että  $F=ma$ .

Tätä yhtälöä sanotaan liikeyhtälöksi. Sen avulla voidaan selvittää kokonaisvoimat, jos kiihtyvyys ja kappaleen massa tunnetaan. Tämä yhtälö on meille kaikkein tärkein, sillä laskuissamme tiedämme kiihtyvyyden  $a$  ja massan  $m$ , ja kokonaisvoima  $F$  on arvo, jota olemme selvittämässä. Joskin emme nyt voi soveltaa yhtälöä laskuihin ihan näin yksinkertaisessa muodossa.

Newtonin kolmas laki:

Voiman ja vastavoiman laki. Jos kappale A vaikuttaa kappaleeseen B jollakin voimalla, vaikuttaa kappale B yhtä suurella, mutta vastakkaisuuntaisella voimalla kappaleeseen A.

## Kaavat

Laskuissa käytämme seuraavia ajodynamiikan yhtälöitä, jotka on johdettu fysiikan perusyhtälöistä. Yhtälöissä käytettävät suureet on selitetty taulukossa 1.

Kokonaisajovastus (kaava 1) koostuu kolmesta vastustavasta voimasta, jotka ovat ilmanvastus, vierinvastus ja nousuvastus.

$$F_W = F_{Ro} + F_L + F_{St} \quad (1)$$

Vierinvastus (kaava 2) lasketaan kertomalla auton maahan vaikuttava voima vierinvastuskertoimella. Vierinvastuskertoimet on määritetty käytännön kokeilla. Jokaisella pinnalla ja renkaalla on oma vierinvastuskerroin.

$$F_{Ro} = f * m * g \quad (2)$$

Ilmanvastusvoima (kaava 3) lasketaan kertomalla ilmantiheys, ilmanvastuskerroin, otsapinta-ala sekä nopeuden toinen potenssi, jonka jälkeen tulos jaetaan kahdella. Autokohtaiset ilmanvastuskertoimet on määritettyä käytännön kokeilla.

$$F_L = \frac{1}{2} * \rho * c_w * A * (v + v_0)^2 \quad (3)$$

Nousuvastus (kaava 4) lasketaan kertomalla auton maahan vaikuttava voima sin (nousukulmalla)

$$F_{St} = m * g * \sin\alpha \quad (4)$$

Kun autoa kiihdytetään, on auton moottorin kumottava kaikki ajovastukset ja vasta yli jäävä energia voidaan käyttää kiihdyttämiseen. Tässä tilanteessa täytyy muistaa, että autossa on paljon pyöriviä osia, jotka täytyy myös kiihdyttää ajonopeutta vastaavaan vauhtiin, ja tämä vaatii paljon energiaa. Tämä energiatarve saadaan lasketuksi, kun tiedetään auton pyörivien osien (voimansiirron osat, jarrut ja pyörät) hitauskerroin (kaava 5).

$$Q = \frac{F - F_W}{k_{mi} * m} \quad (5)$$

Kun tiedetään kokonaisvoima, joka vie autoa eteenpäin, voidaan siitä laskea moottorin tuottama vääntömomentti, kun tiedetään vaihdelaatikon sekä tasauspyörästä välitys-suhteet ja pyörän säde (kaava6).

$$F = \frac{M \cdot i}{r} \quad (6)$$

Auton moottorin pyörintänopeus voidaan laskea, jos tiedetään auton ajonopeus, vaihteiston ja tasauspyörästäön välityssuhteet ja pyörän säde (kaava7).

$$n = \frac{60 \cdot v \cdot i}{2\pi r} \quad (7)$$

Laskennallinen ilmanvastuskerroin saadaan laskettua rullauskokeesta saadun hidastuvuuden perusteella. Kiihtyvyydet  $a_1$  ja  $a_2$  ovat keskihidastuvuudet kahdesta eri hidastuvuuskokeesta, suurella ja pienellä nopeudella suoritetuista mittauksista. Lisäksi sen laskemiseen tarvitaan auton otsapinta-ala, joka on joko valmistajan ilmoittama tai itse laskettu. Yhtälö (8) vertailee hidastuvuuksien suhdetta eri nopeuksissa, ja koska vierinvastus pysyy lähestulkoon samana nopeudesta riippumatta, ei sitä ole otettu kaa-vaan mukaan.

$$c_w = \frac{6m \cdot (a_1 - a_2)}{A \cdot [(v_1^2 - v_2^2)]} \quad (8)$$

Laskennallinen vierinvastuskerroin (9) saadaan laskettua rullauskokeesta saadun hidastuvuuden perusteella. Kiihtyvyydet  $a_1$  ja  $a_2$  ovat keskihidastuvuudet kahdesta eri hidastuvuuskokeesta suurella ja pienellä nopeudella suoritetuista mittauksista.

$$f = \frac{28,2(a_2 \cdot v_1^2 - a_1 \cdot v_2^2)}{10^8 \cdot (v_1^2 - v_2^2)} \quad (9)$$

Taulukko 1. Yhtälöiden suureitten selitykset /1,muokattu/

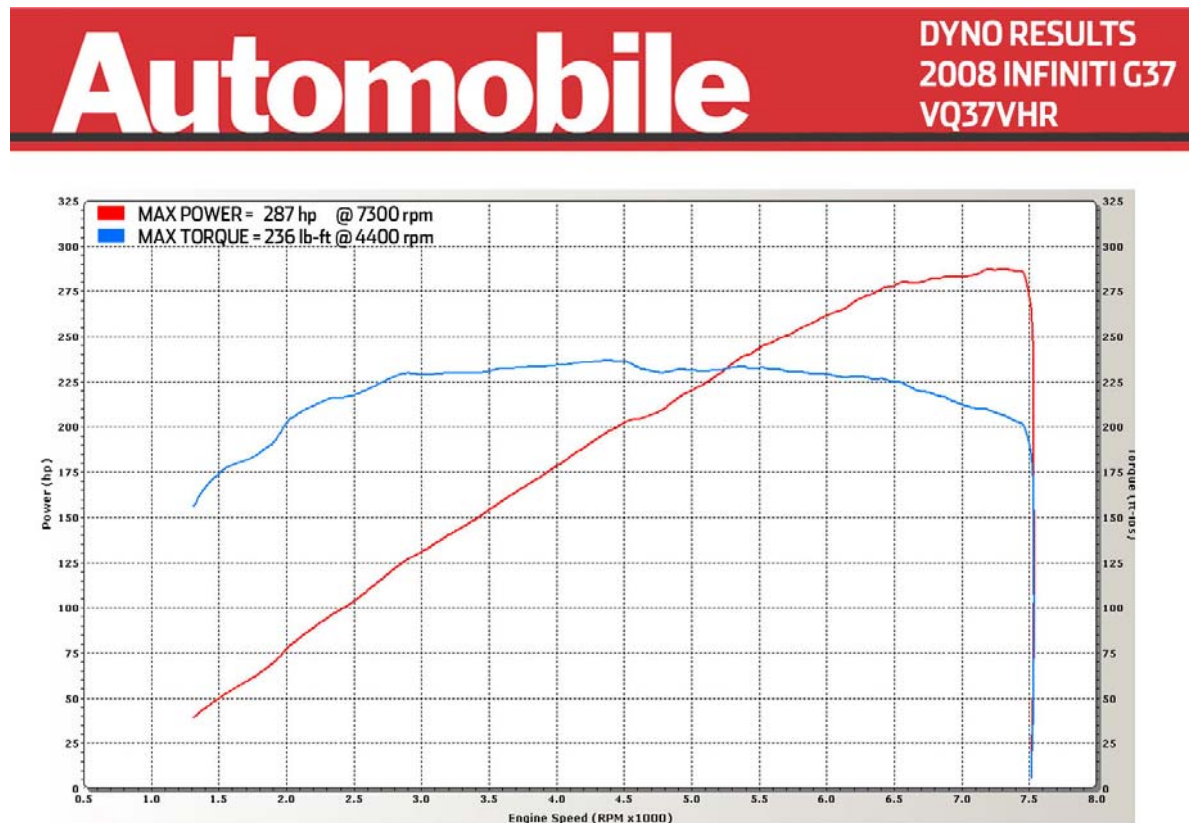
Suure	Selitys	Yksikkö
A	Auton suurin poikkipinta, otsapinta	$m^2$
f	Kiihtyvyys, hidastuvuus	$\frac{m}{s^2}$
$c_w$	Ilmanvastuskerroin	-
F	Käyttövoima vetäviltä pyöriltä	N
$F_d$	Keskipakovoima	N
$F_L$	Ilmanvastus	N
$F_{ro}$	Vierinvastus, rullausvastus	N



$F_{St}$	Nousuvastus	N
$F_{Av}$	Ajovastus	N
$f$	Vierinvastuskerroin	-
G	Painovoima = $m \cdot g$	N
$g$	Putouskiihtyvyys = $9,81 \text{ m/s}^2$	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
$i$	Kokonaisvälytyssuhde mootto- rista vetäville pyörille	-
M	Moottorin vääntömomentti	$\text{N} \cdot \text{m}$
m	Auton massa (paino)	kg
$n$	Moottorin pyörimisnopeus	$\text{min}^{-1}$
P	Teho	W
$P_{Av}$	Ajovastusteho	W
$p$	Nousuprosentti (=100 tan $\alpha$ )	%
r	Renkaan (dynaaminen vierin- täsäde)	m
s	Matka	m
t	Aika	s
v	Ajonopeus	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
$v_0$	Tuulen nopeus	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
W	Työ	J
$\alpha$	Nousukulma	°
$\mu_r$	Kitkakerroin (maksimi)	-

Tulokset esitämme perinteisellä tehokäyrällä (kuva 1.), jossa x-akselilla on moottorin pyörimisnopeus ja y-akselilla moottorin teho ja vääntömomentti.

1. esimerkki auton moottorin tehokäyrästä



kuva 1 Infiniti g37 tehokäyrä. [http://www.dragtimes.com/images\\_dyno/12346-2008-Infiniti-G37-Dyno.jpg](http://www.dragtimes.com/images_dyno/12346-2008-Infiniti-G37-Dyno.jpg)

### 3 MITTAUSTEN KULKU

Mittaukset suoritamme joka autolle mahdollisimman samalla tavalla, jottei mittausta- pa vääristä tuloksia. Aluksi ideana oli kiihdyttää autoilla seisoviltaan 100 kilometrin tuntinopeuteen, mutta sitten päädyimme ratkaisuun jossa ei tarvitse vaihtaa vaihteita sen ollessa huomattavasti yksinkertaisempaa. Päädyimme siihen lopputulokseen, että mittaus olisi järkevintä suorittaa auton toisella vaihteella, koska sillä vauhti nousee jo niin korkeaksi, että ilmanvastus kasvaa dominoivaksi ajovastukseksi. Toisella vaihteella autojen vetävien pyörien luistokaan ei kasva niin isoksi, että se vääristäisi mittau- stuloksia merkittävästi. Osassa autoista (paketti- ja lava-autot) moottori ei kierrä tar- peeksi ylös, joten mittaamme osan autoista kolmannella vaihteella.

Mittaukset suoritettiin seuraavalla tavalla: auto suoran päähän toinen vaihde kytketty- nä, sitten rullataan joutokäynnillä, kunnes mittalaitteisto on valmiina mittaukseen. Sen jälkeen täyskaasulla kiihdytetään, kunnes auto tapaa toisella vaihteella kierrostenra- joittimen, sitten annetaan auton rullata vapaasti kytkin poljin pohjaan painettuna alku- nopeuteen. Vaihdetta ei kytketä vapaalle, vaan toisen vaihteen annetaan olla kytketty- nä, ja kytkinpoljin pidetään pohjassa loppuun asti, koska vaihdelaatikon hitausmo- mentti, joka jarruttaa autoa kiihdyttäessä, vaikuttaa saman verran käänteisesti auton rullatessa.

Tässä valitsemassamme mittaustyyliässä on se ylivoimainen etu muihin mahdollisiin tapoihin verrattuna, että näin mitattuna kiihtyvyy- ja ajovastuskäyrät tallentuvat v- boxin käyrästöön peräkkäin, ja näin ollen niitä on helppo käsitellä. Tämä myös helpot- taa ajovastusten laskemista suuresti kiihtyvyyden ollessa tasaista vaihtojen puuttuessa. toisella vaihteella loppunopeus on autosta riippuen noin 90–120 km/h, joten mittauk- set voidaan myös suorittaa lain sallimissa puitteissa.

Mittauspaikkana toimii lentokoneitten varalaskupaikka Mikkelin lähellä. Tällä tien- pätkällä nousut ja laskut ovat maltillisia, tien pinta on tasainen ja hyvässä kunnossa muutenkin, ja tie on aivan suora. Tien pinnan laadun tasaisuus on mittaukselle tärkeä, koska se vaikuttaa kitkakertoimeen todella paljon. Mittaukset suoritamme mahdolli- simman tyynellä säällä, koska tuulennopeuden mittaus ei meidän tilanteessamme ole mahdollista, ja kova tuuli vaikuttaa mittaukseen liikaa. Kitkakerrointa emme vaihtele, vaan se pysyy saman koko laskujen ja mittausten ajan. Nousut ja laskut otamme huo-

mioon, mikäli korkeus vaihtelee tarpeeksi, että mittari saa ne mitattua, koska ne vaikuttavat mittauksiin paljon, ja saamme luettua mahdolliset korkeusvaihtelut mittalaitteesta.

#### **4 VBOX-TIEDONKERUULAITTEISTO**

VBOX on tehokas mittainstrumentti, jota käytetään liikkuvan ajoneuvon nopeuden ja paikkatiedon mittaamiseen. VBOX-mittalaitteet perustuvat uuden sukupolven tehokkaisiin satelliittivastaanottimiin, joilla voidaan mitata nopeutta, kuljettua matkaa, kiihtyvyyttä, jarrumatkaa, kierrosaikoja, g-voimia ja mm. ajoneuvon tai veneen kallistuksia eri akseleilla /2./

Mittauksissa käytämme Racelogicin valmistamaa GPS-valmiudella varustettua VBOX II kiihtyvyydsmittaria. Mittarissa on sisäänrakennettuna kiihtyvyyssanturit, jotka mahdollistavat pitkittäisen ja sivuttaisen kiihtyvyyden mittaamisen. Matka- ja paikkatiedot laite saa GPS-tekniikan avulla. Me tarvitsemme laskemista varten seuraavat tiedot: pitkittäinen kiihtyvyys, nopeus, kuljettu matka, mittauspaikan korkeusvaihtelut ja tietysti aika. Kaikki nämä saamme Vboxista, joten mitään ylimääräisiä mittalaitteita emme tarvitse. Vbox mittaa edellä mainittuja arvoja 20 hertsin taajuudella (20 kertaa sekunnissa), joten tarkkuuskin on varmasti riittävä tämän tyyliin mittauksiin.

VBOXissa on sisäinen muisti mittausten tallentamista varten, mutta me käytimme tallentimena kannettavaa tietokonetta, jonka saa liitettyä VBOX:iin analogisen sarjaportin kautta. Koska VBOX:issa ei ole näyttöä, joten tulosten lukeminen ei onnistu ilman tietokonetta. Tulosten reaaliaikainen seuraaminen on järkevää, koska pilalle menneen mittauksen huomaa heti, eikä vasta kotona tietoja käsitellessä. ”Seurannasta” on myös paljon apua alussa, kun ei tiedä varmasti, milloin ja miten laite aloittaa mittaamaan vetoja. Onnistuneet mittaukset tallennamme suoraan tietokoneen kiintolevyille myöhempää käyttöä varten. VBOX:in ohjelmisto näyttää mittaukset käyrästeinä, jotka ovat sinällään käytännöllisiä, mutta eivät meidän työtämme helpota. Siksi mittauksien tulokset siirretään numeroarvoina VBOX:in ohjelmasta Microsoft Exceliin, jolla suoritamme tarvittavat laskutoimitukset.

## Taulukko 2. Racelogic VBOX II mittatarkkuudet /3/

<b>Nopeus</b>		<b>Absoluuttinen sijainnin määrittäminen</b>	
Tarkkuus	0,1 Km/h (4 mittauksen keskiarvo)	Tarkkuus	3m
Yksikkö	Km/h tai M/h	Tarkkuus DGPS	1,8m
Päivitystaajuus	20 Hz	Päivitystaajuus	20Hz
Maksimi nopeus	1000 M/h	Pienin muutos	1cm
Minimi nopeus	0,1 Km/h		
Pienin muutos	0,01 Km/h		
<b>Kiihtyvyys</b>		<b>Kuljettu matka/etäisyys</b>	
Tarkkuus	0,5% (<50cm/Km)	Tarkkuus	0,05%
Maksimi	20 G	Yksikkö	metrit/jalat
Minimi	0,01 G	Päivitystaajuus	20 Hz
Päivitystaajuus	20 Hz	Pienin muutos	1cm
		korkeustarkkuus	6 metriä
		korkeustarkkuus DGPS	2 metriä

/3/

## 5 MITATTAVAT AUTOT

Mittauskohteeksi valitsimme mahdollisimman monipuolisia autoja, pienistä vanhoista kauppakasseista uusiin isoihin pakettiautoihin. Erilaisten autojen mittaukset mahdollistavat sen, että teknisten ominaisuuden muutosten vaikutuksen mittaustuloksiin huomaa helposti. Isoimman mitatun auton otsapinta-ala onkin lähes 3-kertainen pienimpään autoon verrattuna, ja samojen autojen pyörivien osien massojen hitausmomenttien välinen ero on suuresta rengaskokomuutoksesta johtuen iso. Painoakin isoimmalla autolla on tuplasti enemmän kuin pienimmällä. Seuraavassa on listattu autot ja mittauksiin/laskuihin tarvittavat tekniset tiedot.

Jos otsapinta-alaa ei ole valmistajalta saatavilla, on se laskettu kaavalla (kaava 10)

$$A = 0,9 * \text{raideväli} * \text{korkeus} \quad (10)$$

### **Honda civic HB 91 1,5i 16v**

Moottoriteho	51kw
Paino (omamassa + 2 henk.)	1000
Otsapinta-ala	1,91 m <sup>2</sup>
Ilmanvastuskerroin	0,360
Vaihteistovälitys 2. vaihde	1,894
Perävälitys	4,058
Rengaskoko	185/65-14

### **Honda civic HB 88 1,6i DOHC 16v**

Moottoriteho	92kw
Paino (omamassa + 2 henk.)	1150 kg
Otsapinta-ala	1,91 m <sup>2</sup>
Ilmanvastuskerroin	0,360
Vaihteistovälitys 2. vaihde	1,944
Perävälitys	3,888
Rengaskoko	215/35 -18

**Honda civic HB 3dr 08 1,8 i-VTEC**

Moottoriteho	103kw@6300 rpm
Paino (omamassa + 2 henk.)	1445 kg
Otsapinta-ala	2,32m <sup>2</sup>
Ilmanvastuskerroin	0,31
Vaihteistovälitys 2. vaihde	1.869
Perävälitys	4,294
Rengaskoko	205/55-16

**BMW 118i 08 3dr**

Moottoriteho	105kw@6000 rpm
Paino (omamassa + 2 henk.)	1520kg
Otsapinta-ala	2,09m <sup>2</sup>
Ilmanvastuskerroin	0,31
Vaihteistovälitys 2. vaihde	2,46
Perävälitys	3,39
Rengaskoko	205/55-16

**Nissan qashqai 08 1,6i**

Moottoriteho	84kw@6000
Paino (omamassa + 2 henk.)	1572 kg
Otsapinta-ala	2,58m <sup>2</sup>
Ilmanvastuskerroin	0,34
Vaihteistovälitys 2. vaihde	2,0476
Perävälitys	4,500
Rengaskoko	215/65-16

**Nissan Primastar 07 2,5 dci L2H1**

Moottoriteho	107kw@3500
Paino (omamassa + 2 henk.)	2080kg
Otsapinta-ala	2,84
Ilmanvastuskerroin	0,53 (laskettu)
Vaihteistovälitys 3. vaihde	1,387
Perävälitys	4,4375
Rengaskoko	215/65-16

**Nissan Interstar 08 2,5 dci L3H2**

Moottoriteho	107kw@3500
Paino (omamassa + 2 henk.)	2130
Otsapinta-ala	4,45m <sup>2</sup>
Ilmanvastuskerroin	0,485 (laskettu)
Vaihteistovälitys 3. vaihde	1,387
Perävälitys	4,4375
Rengaskoko	225/65-16

**Toyota hilux cab 09 2,5 d4-d**

Moottoriteho	88kw@3600
Paino (omamassa + 2 henk.)	1950 kg
Otsapinta-ala	2,84 m <sup>2</sup>
Ilmanvastuskerroin	0,37
Vaihteistovälitys 3. vaihde	1,436
Perävälitys	3,909
Rengaskoko	255/70-15



## 6 AJOVASTUKSET

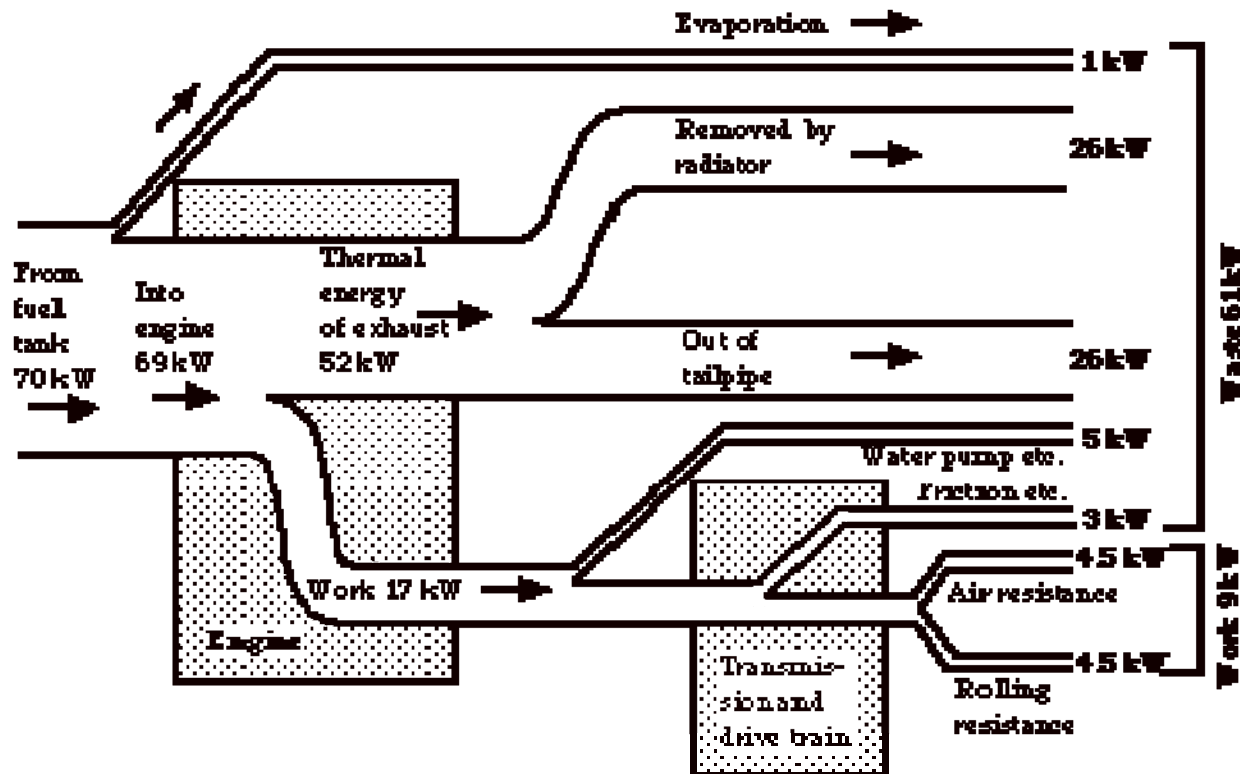
Auton moottorin tuottama teho käytetään seuraavien vastuksien voittamiseen. Vasta mahdollinen yli jäävä teho voidaan käyttää auton kiihdytykseen.

Vastuksia ovat ilmanvastus, vierintävastus, pyörivien osien hitausmomentti, nousuvastukset sekä voimansiirron tehohäviöt (kitkahäviöt).

Seuraavassa kerromme näiden ajovastusten vaikutuksesta tarkemmin. Alla olevassa kuvassa (kuva 2) on kaaviona kuvattu, mihin polttoaineesta saatava energia menee ja missä suhteessa. Luvut ovat suuntaa antavia eivätkä absoluuttisia totuuksia. Esimerkkinä on käytetty 69-kilowattista bensiinimoottoria, jonka käyttö itse asiassa ottaa polttoaineesta 70 kilowatin tehon 1 kilowatin mennessä hukkaan bensiinin haihtumisen kautta. Hukkaan tehoa menee kokonaisuudessa 61 kilowattia, ja auton liikuttamiseen jää näin ollen vain 9 kilowattia. Nämä 9 kilowattia käytetään sitten ajovastuksien voittamiseen ja mahdollisesti auton kiihdyttämiseen. Nämä esimerkkitapauksen 9 kilowattia ilmenevät sitten auton kiihtyvyyttä mitattaessa kiihtyvyyden suuruuteen vaikuttaen. Auton kiihtyvyydestä voi sitten laskea ajovastuksien ja tehohäviöiden avulla ”takaperin”, paljonko auton moottori tuottaa tehoa.

kuva 2. auton energiavirrat

[http://physics.uark.edu/hobson/pubs/04.02.energy%20flow%20diags\\_files/image015.gif](http://physics.uark.edu/hobson/pubs/04.02.energy%20flow%20diags_files/image015.gif)



Käännökset kuvateksteille

From fuel tank = tehomäärä joka polttoainesäiliöstä käytetään

Evaporation = haihtuvassa polttoainemäärässä hukkaan menevä teho

Into engine = polttoaineena moottoriin menevä teho

Engine = moottori

Thermal energy of exhaust = Pakokaasujen lämpöhukkateho

Removed by radiator = Jäähdyttäjän poistama lämpöhukkateho

Out of tailpipe = pakoputkesta poistuva lämpöhukkateho

Work = polttoaineesta saatu mekaaninen työ

Transmission and drivetrain = vaihteisto ja voimansiirto

Waterpump etc. = vesipumppu ja muut apulaitteet

Friction etc. = kitkahäviöt

Air resistance = ilmanvastus

Rolling resistance = vierinvastus

## **Ilmanvastus**

Vierintävastuksen mukaisesti ilmanvastuskin vaihtelee ja on autokohtainen. Auton ilmanvastus riippuu kahdesta tekijästä: auton otsapinta-alasta ja auton ilmanvastuskertoimesta. Otsapinta-ala on auton poikkipinta-ala, joka on kohtisuoraan ajosuuntaa vastaan. Ilmanvastuskerroin taasen on automallikohtainen kerroin, joka määritetään tuulitunnelissa suoritettavilla mittauksilla. Tyypillisen nykyauton ilmanvastuskerroin on 0,30 ja 0,35 välillä. Ilmanvastus on karkeasti ilmanvastuskerroin kertaa otsapinta-ala.

Meidän opinnäytetyössämmeikin ilmanvastuksen huomioinnilla on suuri merkitys, sillä kiihtyvyyksimittauksissa auton nopeus käy välillä yli 100 kilometrin tuntinopeuksissa. Koska autovalmistajat ilmoittavat ilmanvastuskertoimet ja otsapinta-alat hyvinkin tarkkaan, saamme laskettua ilmanvastukset tarkkaan, ja näin ollen virhe tulee olemaan ilmanvastuksen osalta pieni. Virheen suuruuteen vaikuttavat tietysti niin ilman tiheys kuin tuulennopeuskin, koska tuulennopeutta ja ilmantiheyttä mittaavia laitteita meillä ei käytössä ole. Ilmantiheys ei luultavimmin suurta virhettä aiheuta, sillä kaikki mittaukset suoritetaan lyhyen ajan sisään (mahdollisimman pienet lämpötila- ja kosteusvaihtelut).

Koska tarkastelumme kohteena on niin vanhoja kuin uusiakin autoja, tulee varmasti ilmanvastuksilla olemaan suuria eroja mittauksien välillä. Pienillä nopeuksilla ilmanvastus ei ole merkittävä ajovastus, mutta sen merkitys kasvaa nopeuden lisääntyessä jyrkästi, sillä kun auton nopeus tuplataan, ilmanvastus nelinkertaistuu  $/4$ . /

**Tyypillisiä ilmanvastuskertoimia** [http://en.wikipedia.org/wiki/Drag\\_coefficient](http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient)

- henkilöautot 0,25...0,40
- kuorma-autot 0,80...1,20
- lentokoneen runko noin 0,14
- pallo 0,34
- pisaranmuotoinen kappale 0,05

## 6.1 Nousuvastus

Kaikilla kappaleilla, jotka ovat maan vetovoiman vaikutuksen alaisena eli Maan gravitaatiokentässä, on potentiaalienergiaa. Gravitaatiovoima eli painovoima vetää maapalloa ja kappaletta toisiaan kohti. Suuresta massaerosta johtuen pienempi kappale joutuu antamaan periksi ja siirtymään, maan pysyessä paikallaan. Siksi sanotaankin yleensä, että kappaleella on potentiaalienergiaa, vaikka se onkin Maan ja kappaleen yhteistä. Tämän vuorovaikutuksen potentiaalienergia on riippuvainen kappaleen massasta, sen etäisyydestä Maahan (potentiaalienergian nollassoon) ja putoamiskiihtyvyydestä ( $9,81\text{m/s}^2$ ). Kun kappale nostetaan korkeudelta 1 korkeuteen 2, tehdään työ, joka on yhtä suuri kuin kappaleen potentiaalienergian lisäys. Kappale, joka putoaa korkeudesta 2 korkeuteen 1, menettää potentiaalienergiaa, ja saa liike-energiaa /5./

Mittauksissa käyttämämme VBOXIN suorituskykymittari ilmoittaa gps-paikkatiedon lisäksi korkeustiedon merenpinnasta, joten voimme mittauksissa ottaa huomioon myös kiihtyvyyssmittauksien aikana mahdollisesti esiintyvät korkeuden vaihtelut, jotka eliminoimalla mittaustulokset tarkentuvat huomattavasti. Korkeusvaihtelut laite ilmoittaa kuitenkin ”vain” 40 senttimetrin tarkkuudella, joten korkeuden vaihtelu vaikuttaa mittaukseen hieman vääristävästi.

## 6.2 Vierintävastus

Renkaan vierintävastus on rengas- sekä autokohtainen, sillä se vaihtelee niin renkaan tyypin, iän, kuluneisuuden ja täyttöpaineen mukaan. Tämän lisäksi myös auton paino vaikuttaa renkaan vierintävastukseen. Renkaan vierintävastuksesta suurin osa johtuu renkaan sisäisestä kitkasta, eli siitä, kun rengas ”muokkautuu” kulkiessaan kosketuspinta-alan yli. Tämän sisäisen kitkan suuruuden voi periaatteessa määrittää mittaamalla renkaan lämpötilamuutoksia ajettaessa, mutta mittaus on epätarkka, ja siksi vierintävastuksen mittauksessa käytetään yleensä dynamometriä, joka mittaa renkaan pyörittämiseen tarvittavan energiamäärän. Koska ei ole yleistä ja standardisoitua tapaa ilmoittaa renkaan vierintävastusta numeroarvona, eivät rengasvalmistajat sitä teekään. Vierintävastukset vaihtelevat kuitenkin suuresti eri renkaiden välillä, mutta koska vierintävastuksen osa kokonais-ajovastuksista on vain lähteestä riippuen noin 4-6 %, ei vierintävastuserojen tulisi vaikuttaa auton kiihtyvyyteen merkittävästi. Auton renkaat

eivät kasvata ajovastuksia kuitenkaan pelkästään vierinvastuksen kautta, vaan tulee ottaa myös huomioon, että rengas vastustaa auton kiihtymistä myös painonsa osalta, hitausmomentin kautta sekä pyöriessään kasvattaa auton ilmanvastusta /6./

Hieman yllättäen talvirenkaiden vierintävastus on pienempi kuin kesärenkaiden. Ero johtuu talvikumeissa käytettävistä silica-sekoituksista ja lamellipinnoista /7/.




### **6.3 Kitkahäviöt/hyötysuhteet**

Vaihdelaatikon tyypistä, iästä ja kunnosta huolimatta siinä esiintyy aina tehohäviöitä. Tämä tehohäviö taasen vaikuttaa auton kiihtyvyyteen, ja näin ollen se tulee ottaa huomioon meidänkin työssämme. Myös kaikissa kitkapinnoissa (pyörän laakerit, kardaaninkannattimet jne.) tapahtuu tehohäviöitä, jotka otamme myös huomioon ja jotka sisällytämme voimasiirron kokonaishyötysuhteeseen. Tämä hyötysuhde pyörii noin 0,9 paikkeilla, eli jo pelkästään kitkahäviöt vievät moottorin tuottamasta tehosta noin 10 prosenttia. Uudemmissa autoissa nämä hyötysuhteet ovat parantuneet jonkun verran verrattuna vanhempiin malleihin, mutta niin dramaattisia muutokset eivät 20 vuoden ajallakaan vielä ole, jotta niillä olisi merkittävä vaikutus kiihtyvyyksmittauksiin. Laskuissa saadun pyörätehon jaamme siis 0,9:llä, jolloin pääsemme käsiksi moottoritehoon.

Alla olevassa kuvassa (kuva3) on esitetty erilaisten voimansiirtoratkaisujen hyötysuhteet. Mitatuissa autoissa on ensimmäistä ja viimeistä vaihtoehtoa, eli suoraa rataskytkenä ja pinjonikytkenä. Näitten kytkentätapojen hyötysuhteet ovat niin suuret, että laskuissa käyttämämme 90 % kokonaishyötysuhde ei poikkea paljoakaan oikeasta hyötysuhteesta.

Kuva 3. Erilaisten ratasparien hyötysuhteita

<http://www.fandmmag.com/article/2009/may/gearbox-Figure-3.jpg>

Gear Type		
Helical	Worm	Spiral Bevel
		
≈ 96%	≈ 79%	≈ 92%

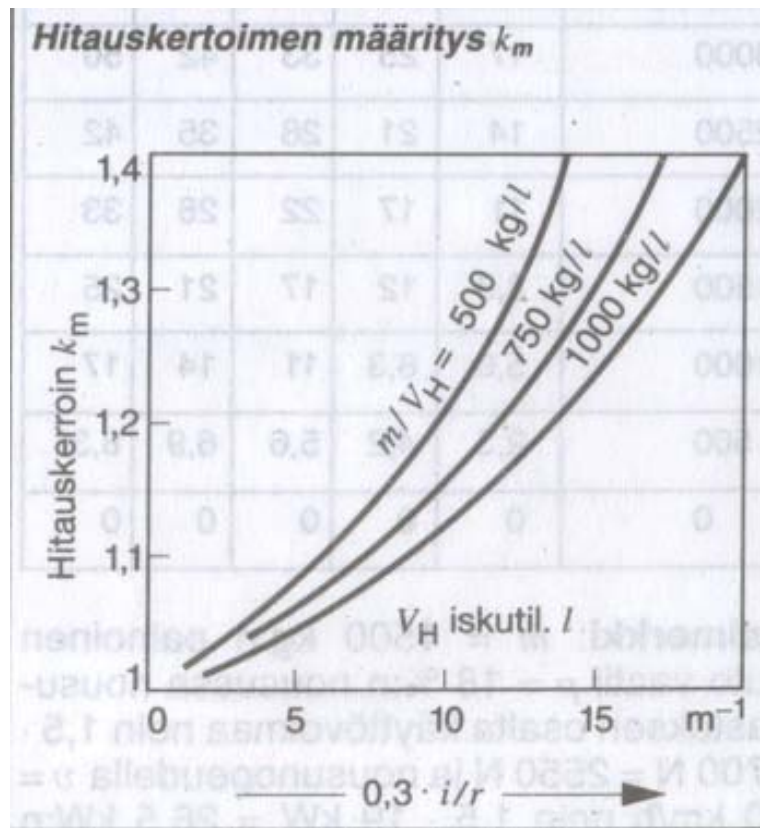
#### 6.4 Hitausmomentti

Hitausmomentin suuruus riippuu kappaleen massasta ja siitä, miten massa on sijoittunut pyörimisakselin suhteen. Esimerkiksi tasapaksun sauvan hitausmomentti on akseli-suunnassa  $J = ml^2/12$ , kun taas kohtisuoraan akselia olevan linjan suhteen hitausmomentti on  $J = ml^2/3$ , eli noin nelinkertainen. Mitä suurempi hitausmomentti on, sitä enemmän tarvitaan energiaa, jotta kappale saadaan pyörimään halutulla kulmanopeudella, mutta taas toisaalta kappaleella on kyky varata enemmän liike-energiaa /8./

Työssämme hitausmomentit tulee ottaa huomioon renkaiden, jarrujen ja voimansiirron osalta. Moottorin hitausmomenteja emme ota huomioon, sillä tarkoituksena on selvittää vauhtipyörällä oleva moottoriteho, joten moottorin hitausmomenteilla ei ole merkitystä. Voimansiirron ja jarrujen massat ovat aika pieniä auton kokonaispainoon nähden, joten ne jätämme laskuista pois, jos emme saa tarkkoja massoja osille. Renkaiden massat ovat kuitenkin otettava huomioon sillä, yksi rengas painaa noin 20 kiloa ja on säteeltään huomattava, joten hitausmomenttikin kasvaa huomattavaksi. Kiihdytyksessä renkaiden hitausmomentit sitovat energiaa ja rullauksessa luovuttavat, joten hitausmomentit vaikuttavat mittaustuloksiin merkittävästi. Koska hitausmomenttien laskemiseen vaadittavat tiedot on lähes mahdottomia hankkia (vaihteiston osien mitat ja massat jne.), otamme hitausmomentin vaikutuksen kiihdytykseen huomioon lisäämällä hitauskerroimen momenttilaskuun. Hitauskertoimet määritämme autoteknillisestä taskukirjasta /1/ löytyvän hitauskerrointaulukon avulla (taulukko 2). Taulukko määrittää hitauskerroimen autonmoottorilavuuden, painon, rengaskoon ja välityssuhteiden

den avulla. Taulukon tarkkuus on kokemuksiemme perusteella riittävä tämäntyyppiin mittauksiin/laskuihin.

Taulukko 2 Hitauskertoimen määrityskaavio /1/



X-akselin arvo lasketaan jakamalla voimansiirron kokonaisvälytyssuhde pyörän säteellä ja kertomalla saatu tulos 0,3:lla. Seuraavaksi auton kokonaismassa jaetaan moottorin litratilavuudella. Saatua tulosta verrataan kaavioon piirrettyihin käyriin, ja valitaan lähimpänä tulosta oleva käyrä. Tämän jälkeen luetaan x-akselin arvon ja käyrän arvon leikkauskohdasta arvo y-akselilta, joka on yhtälöissä käytettävä hitauskertoimen arvo.

## 7 VIERIN- JA ILMANVASTUKERTOIMIEN LASKENTA

Ilmanvastuskertoimen ja kitkakertoimen määrittäminen perustuu hidastuvuuden perusteella. Koska, kaikista autoista ei ole saatavilla ilmanvastuskerrointa, voi sen laskea suuripiirteisesti alla olevalla kaavalla (15).

$$v_1 = \frac{v_{a1} + v_{b1}}{2} \quad (11)$$

$$v_2 = \frac{v_{a2} + v_{b2}}{2} \quad (12)$$

$$a_1 = \frac{v_{a1} - v_{b1}}{t_1} \quad (13)$$

$$a_2 = \frac{v_{a2} - v_{b2}}{t_2} \quad (14)$$

$$c_w = \frac{6m * (a_1 - a_2)}{A * (v_1^2 - v_2^2)} \quad (15)$$

$$f = \frac{28,2 * (a_2 * v_1^2 - a_1 * v_2^2)}{10^3 * (v_1^2 - v_2^2)} \quad (16)$$

Laskemista varten mitataan auton hidastuvuus hitaassa ja nopeassa vauhdissa rullauskokeella. Auton tiedoista laskemiseen tarvitaan vain massa ja otsapinta-ala, jonka voi laskea auton keulan mittojen perusteella. Kitkakerroin vaihtelee suuresti ajoalustan iän ja kunnan mukaan, joten kirjallisuuden tarjoamat noin-arvot eri alustoille voivat poiketa huomattavasti oikeasta kitkakertoimesta. Kitkakertoimen voi laskea samanlaisen hidastuvuuskokeen avulla kuin ilmanvastuskertoimenkin.

Kuten jo arvata saattaa, ei edellä mainittu metodi ole hirveän tarkka keino arvojen määrittämiseen. Kaavoissa on se ongelma, että ne eivät ”erota” ilmanvastusta vierinvastuksesta. Kaksi koriltaan identtistä autoa saivat ilmanvastuskertoimiksi 0,4 ja 0,44 erilaisista vierinvastusominaisuuksista johtuen. Tehdas ilmoittaa kyseisen auton ilmanvastuskertoimeksi 0,36, joten ero laskettuun tulokseen on merkittävä. Alla on taulukko jossa vertaillaan mitattuja ja tehtaan ilmoittamia ilmanvastuskertoimia.



Taulukko 3. Lasketut ilmanvastus- ja kitkakertoimet

Auto	Mitattu	Tehdas (jos ilmoitettu)	erotus
civic 08	0,39	0,31	0,08
hilux	0,54	0,37	0,17
interstar	0,485		
primastar	0,53		
qashqai	0,47	0,34	0,13
civic 1,5	0,4	0,36	0,04
civic 1,6	0,44	0,36	0,08
BMW	0,44	0,31	0,13

Selvitimme autojen ilmanvastuskertoimet mittaamalla ja laskemalla lähinnä siksi, koska kaikista autoista ei ollut saatavilla kyseisiä tietoja luotettavasta lähteestä. Tuloksia vertaillen kuitenkin tulimme siihen lopputulokseen, ettei kyseinen tapa selvittää tietoja sovellu meidän tarkoitukseemme liian suuren epätarkkuuden takia. Tulosten analysoinnin jälkeen tulimme siihen lopputulokseen, että mitä suurempi vierinvastus auton renkaissa on, sitä enemmän mittaustapa ”kasvattaa” ilmanvastuskerrointa. Tähän tulokseen tulimme sillä perusteella, että isoimman eron oikeaan kertoimeen omaavassa autossa oli muta-alusta/maastorenkait (hilux, erotus 0,17) ja pienimmän kertoimen autossa renkaina oli kitkarenkait (civic 1,5, erotus 0,04). Monille yllätyksenä tulee, että usein talvirenkaiden vierintävastus on pienempi kuin kesärenkaiden. Ero johtuu talvikumeissa käytettävistä silica-sekoituksista ja lamellipinnoista /9./

Samoista hidastuvuuskokeista lasketut vierinvastuskertoimet eivät nekään ole tarkkoja. Vierinvastuskertomiksi saadut arvot vaihtelivat 0,0086:sta 0,015:een.

Taulukko 4 mitatut vierinvastuskertoimet

Auto	Mitattu vierinvastuskerroin
civic 08	0,015
hilux	0,011
interstar	0,01
primastar	0,0086

qashqai	0,0086
civic 1,5	0,0113
civic 1,6	0,00974
BMW	0,0091

Mittaustapa kasvattaa ilmanvastuskerrointa huomattavasti, mutta samalla pienentää vierinvastuskerrointa. Laskuissamme käytämme kuitenkin vierinvastuskertoimelle arvoa 0.03, jonka Boschin autoteknillinen taskukirja /1/ arvioi kuivan asfaltin kertoimeksi. Laskujen perusteella tämä arvo on kohtalaisen tarkka käyttämällämme mittausalustalla. Autojen tehokäyrien laskuissa, joista emme saaneet hankittua ilmanvastuskertoimia (primastar & interstar) käytämme mitattua arvoa, jonka suuruus kompensoidaan mitatulla vierinvastuskertoimella. Tämä pienentää testiemme mukaan auton tehotason lähelle oikealla ilmanvastuskertoimella laskettua.

## 8 MITTAUSTEN YHTEENVETO

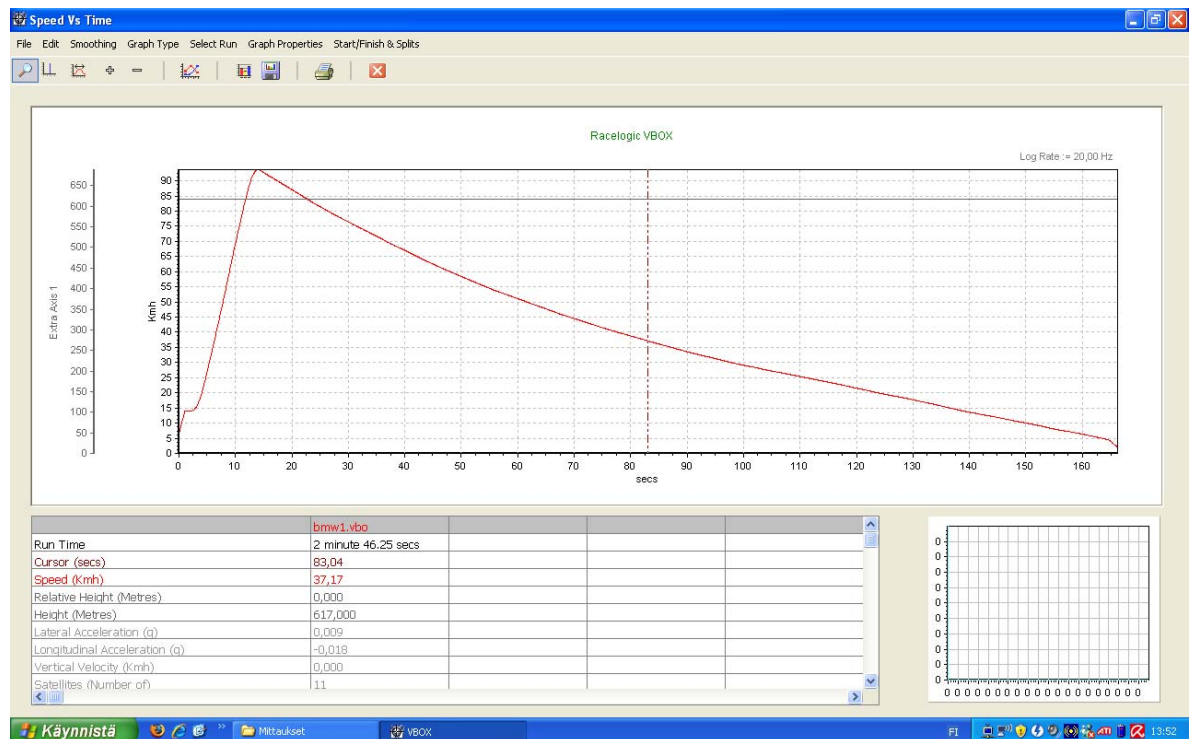
Mittaukset sujuivat odotetusti. Ensimmäiset mittaukset veivät paljon aikaa, ja v-boxin käytössäkin oli hankaluuksia. Muutaman mittauksen jälkeen tastaaminen alkoi kuitenkin toimia ihan mallikkaasti, ja aikaa suorituksiin ei mennyt lopuksi kuin puolesta tunnista tuntiin. Joidenkin autojen kohdalla jouduimme kuitenkin suorittamaan mittauksen useaan kertaan erheiden ja mittalaitteiston häiriöiden takia.

Nopeudet pysyivät lähes lain sallimissa puitteissa, joten suunnitelmien mukainen toinen vaihde oli oikea valinta. Yhden auton osalta jouduimme käyttämään kolmatta vaihdetta lyhyistä vaihdevälityksistä ja dieselmoottorin pienestä kierrosalueesta johtuen. Kaikki mitattavat autot olivat sen verran matalatehoisia, ettei vetävien pyörien sutimista ilmennyt kiihdytyksien aikana. Kiihdytyksen ajaksi sammutimme autoista kaikki mahdolliset sähkölaitteet, jotta apulaitteiden pyörittämiseen menee mahdollisimman vähän tehoa. Ikkunat pidimme tietysti suljettuina ilmastuksen minimoimiseksi.

Mittauksen aikana itse laitteen ohjelmiston käyttöliittymä jätti paljon toivomisen varaa. Se on sekava, ja huomattavasti yksinkertaisempi versio riittäisi tähän käyttöön aivan mainiosti. Pidempään käytettynä ohjelmistoon pääsee varmasti paremmin sisälle. Harmiksemme tiedonsiirto VBOXIN ja Excelin välillä hankaloitui, koska VBOX 8.2 (vboxin softa) antoi tiedot vaikeasti käsiteltävässä muodossa.

Suurimmaksi ongelmaksi mittauksessa kuitenkin muodostui se, että vaikka kuinka yritimme, emme saaneet tallennettua mittauksista korkeustietoa. Mittauksen aikana korkeustieto näkyi ruudulla aivan kuten pitikin ja arvion mukaan piti jopa paikkansa, mutta korkeustietoa ei saanut tallennettua mitenkään. Muilta osin arvot tallentuivat aivan normaalisti, joten kyseessä on luultavasti joku ohjelmistovirhe/ -häiriö. Yritimme käynnistää kaikki laitteet uudestaan ja muuttaa asetuksia ym., mutta korkeustieto jäi silti tallentumatta. Korkeuden vaihtelut olivat onneksemme kuitenkin mittauspätkällä niin pieniä, etteivät ne luultavasti vaikuta tuloksiin merkittävästi.

Alla on esimerkkikuva (kuva4) yhden mittauksen tuloksesta, nopeus- aikakuvaaja. X-akselilla on aika ja Y-akselilla ajoneuvon nopeus. Itse kuvalla emme tee periaatteessa juuri mitään, vaan ohjelman mittaamat numeroarvot, joihin käyrä perustuu, ovat meille tarpeellinen tieto. Jo itse nopeuskäyrää voisi käyttää korjaamokäytössä hyödyksi esim. sytytyshäiriöitä etsittäessä. Jos nopeus kasvaisi hitaammin tietyssä vaiheessa kiihdytystä, voisi moottorin kierrosluvun laskea kyseisellä hetkellä välitysten ja renkauskokojen avulla. Kierrosluvun avulla pääsisi sitten käsiksi mahdollisiin ongelmiin ja esimerkiksi korjaamaan sytytys- ja polttoainekarttoja.



Kuva 4 Vbox8.2 nopeus/aikakuvaaja

Tallensimme mittauksista lähes kaikki mahdolliset arvot, mutta tarvitsemme laskelmiin vain nopeuden ja ajan, jotka siirrämme VBOX 8.2:sta Microsoft Exceliin.

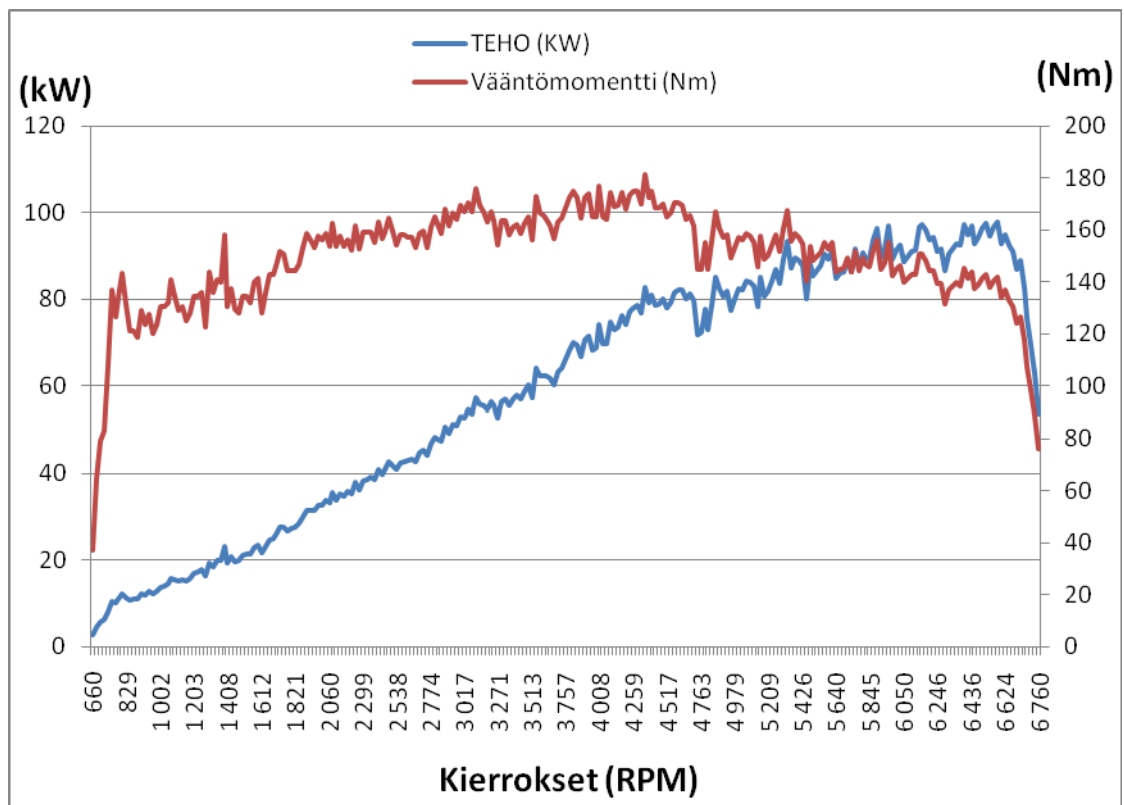
## 9 LASKENTA

VBOXista saadut mittaustulokset käsitelimme Microsoft Excelillä, jota käytimme myös moottoritehokäyrien laskemiseen/piirtämiseen. Teimme Excelillä ohjelman, jolla tietojen käsittely helpottui huomattavasti. Ensimmäisellä välilehdellä on taulukko, johon syötetään auton perustiedot laskemista varten. Viittauksilla ohjelma osaa näin ollen hakea arvot, eikä niitä tarvitse syöttää ohjelmaan kuin kerran. Toinen välilehti on mittaustuloksia varten, jolle tulee VBOX:lta aika, nopeus, kiihtyvyy- ja korkeustiedot. Seuraavalla välilehdellä lasketaan nopeus- ja välitystietojen avulla moottorin pyörintänopeus mittauksen eri vaiheille. Ilman- nousu- ja vierinvastukset lasketaan erillisillä välilehdillä, joilta momentin- ja tehonlaskukaava sitten hakevat tiedot. Lopuksi ohjelma piirtää moottorin teho/vääntökuvaajan lasketuista arvoista suhteessa moottorin pyörintänopeuteen.

## 10 TULOKSET

Tässä vaiheessa päädyimme tulokseen, että tällainen mittaustapa ei voi tuottaa kovinkaan tarkkoja ja todenmukaisia tuloksia. Ensimmäiset tehokäyrät saatuamme kuitenkin yllätyimme positiivisesti. Tehokäyrät ovat hieman rosoisempia kuin esimerkiksi rulladynamometrillä mitatut, mutta huipputeho ja –vääntö pitävät yllättävän hyvin paikkansa siihen nähden, että jouduimme käyttämään laskuissa ”epäilyttäviä” arvoja, kuten taulukosta arvioitua hitauskerrointa. Tehokäyrien rosoisuus johtuu lähinnä mitalaitteiden liiallisesta tarkkuudesta. Pienikin tuulenpuuska jarruttaa autoa kovemmissa nopeuksissa niin paljon, että kuvaajaan tulee kuoppa. Kokeilimme ”siloitella” käyriä VBOX:in ohjelmistolla, mutta se vääristi tehokäyrää liikaa, joten jätimme ne alkuperäiseen muotoon. Seuraavaksi on laitettu autojen lasketut tehokäyrät, ja jos luotettavasta lähteestä on löytynyt, oikeassa dynossa mitattu vastine.

### Honda civic '08 1.8 vtec

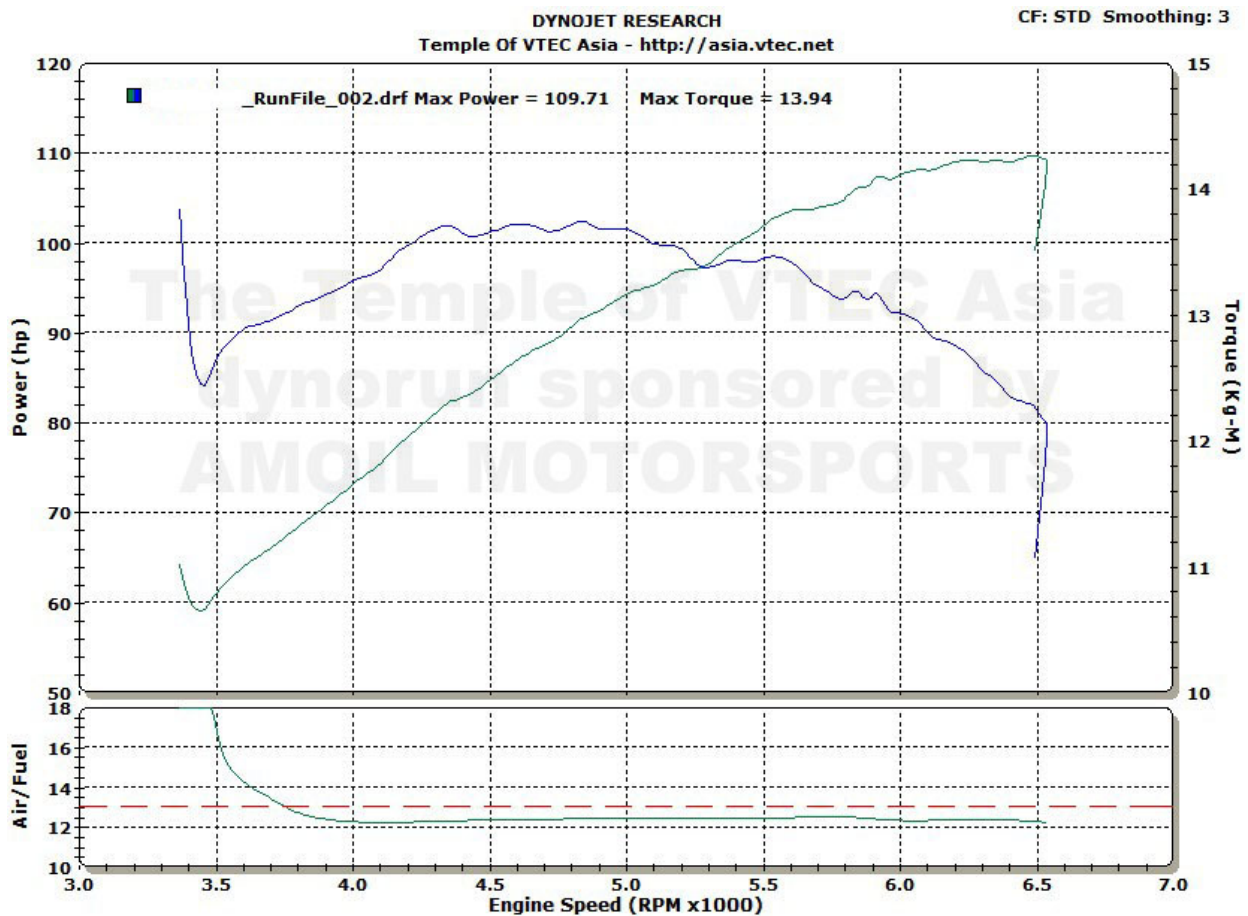


Kuva 5. Honda civicin tehokäyrä

Tehtaan ilmoittamat arvot:

Teho: 103kw@6300 rpm

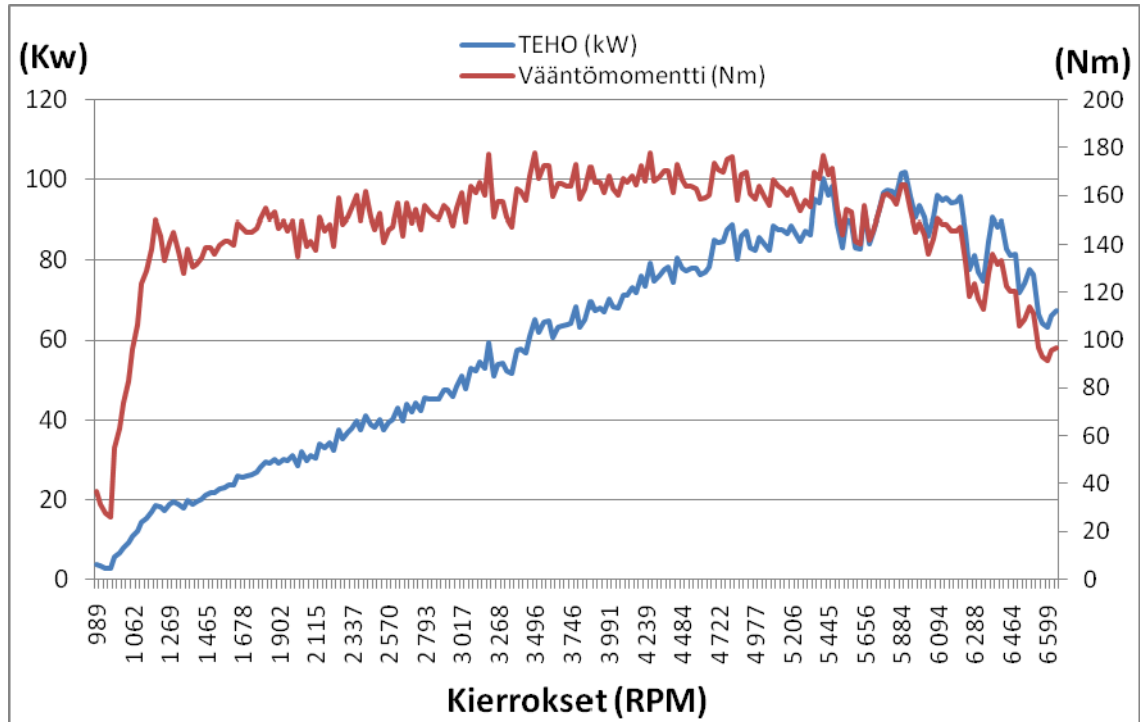
Yllä on (kuva 5) meidän mittaamamme tehokäyrä, jossa huipputeho on n. 99 kW moottorin pyörintänopeuden ollessa 6550 kierrosta minuutissa. Alla olevassa kuvassa (kuva 6) on amerikkalaisen firman mittaama tehokäyrä samalle moottorille. Heidän mittauksessaan huipputeho sijoittuu suunnilleen samalle kohdalle, mutta pyörätehona on 80,1 kw, johon voi lisätä noin 15-20 kw, jolloin päästään lähelle moottoritehon lukemia. Käyrien muotoa tarkkaillessa voi todeta, että kiihtyvyyden perusteella mitattu tehokäyrä ei häviä paljoakaan tarkkuudessa jarrudynamometrillä tehdyille vastaavalle mittaukselle. Honda ilmoittaa kyseisen moottorin huipputehoksi 103 kW, joten meidän mittaustapamme ei tarkkuudessa häpeä jarrudynamometrillä mitatulle käyrälle.



Kuva 6. Honda civic dynamometrissä mitattu tehokäyrä

<http://asia.vtec.net/hardcore/Civic18S/stock.jpg>

### BMW 118i '08



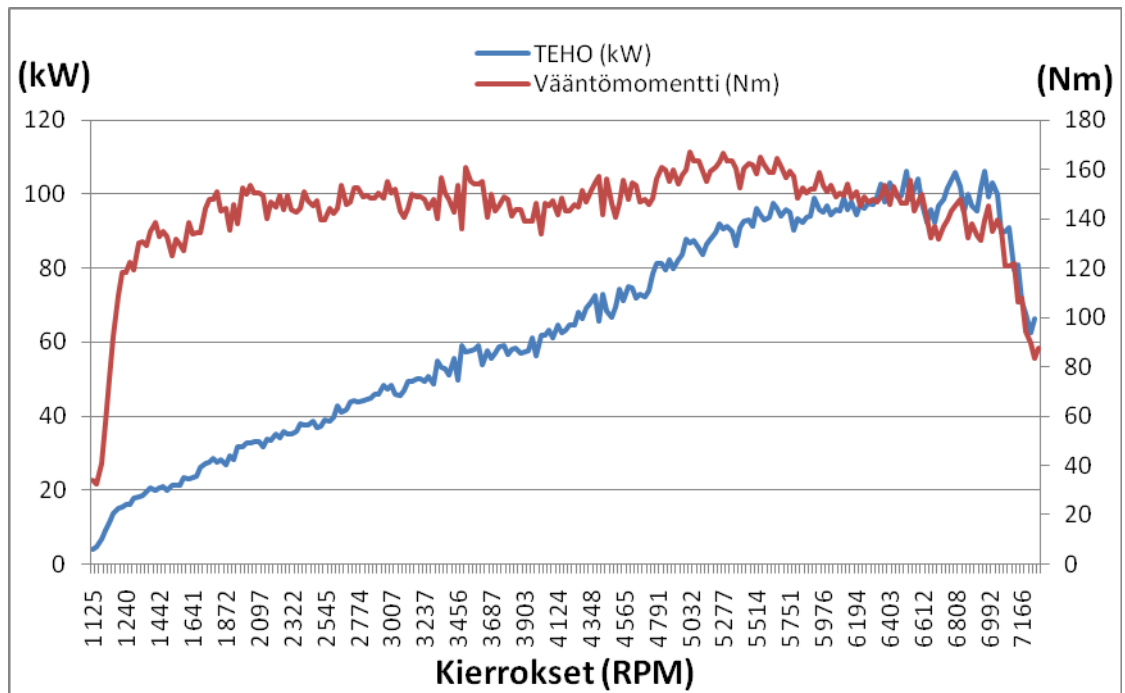
kuva 7

Tehtaan ilmoittamat arvot:

Teho: 105kw@6000 rpm



### Honda civic HB 89 1,6i DOHC 16v



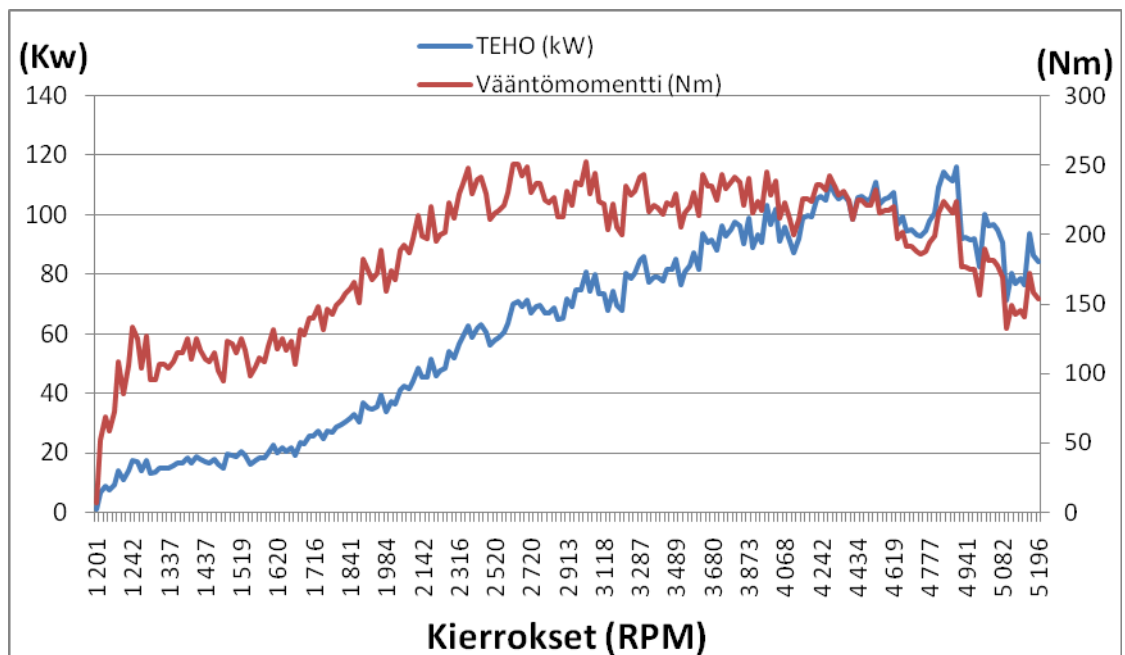
kuva 8

Tehtaan ilmoittamat arvot:

Teho: 93kw@7000 rpm

huomioita: mitattavassa autossa oli mittauksen aikana kiinni viritysosia, joista johtuen teho ylittää tehtaan antaman arvon.

### Nissan Primastar 07 2,5 dci L2H1

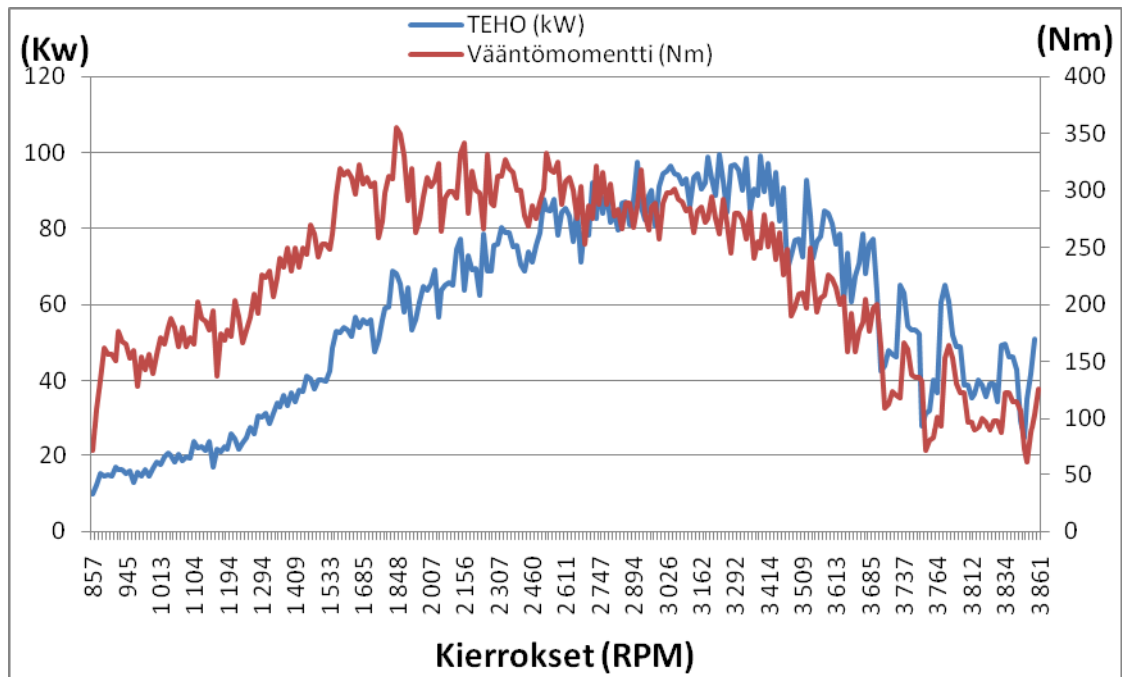


kuva 9

Tehtaan ilmoittamat arvot:

Teho: 107kw@3500 rpm

### Nissan Interstar 08 2,5 dci L3H2

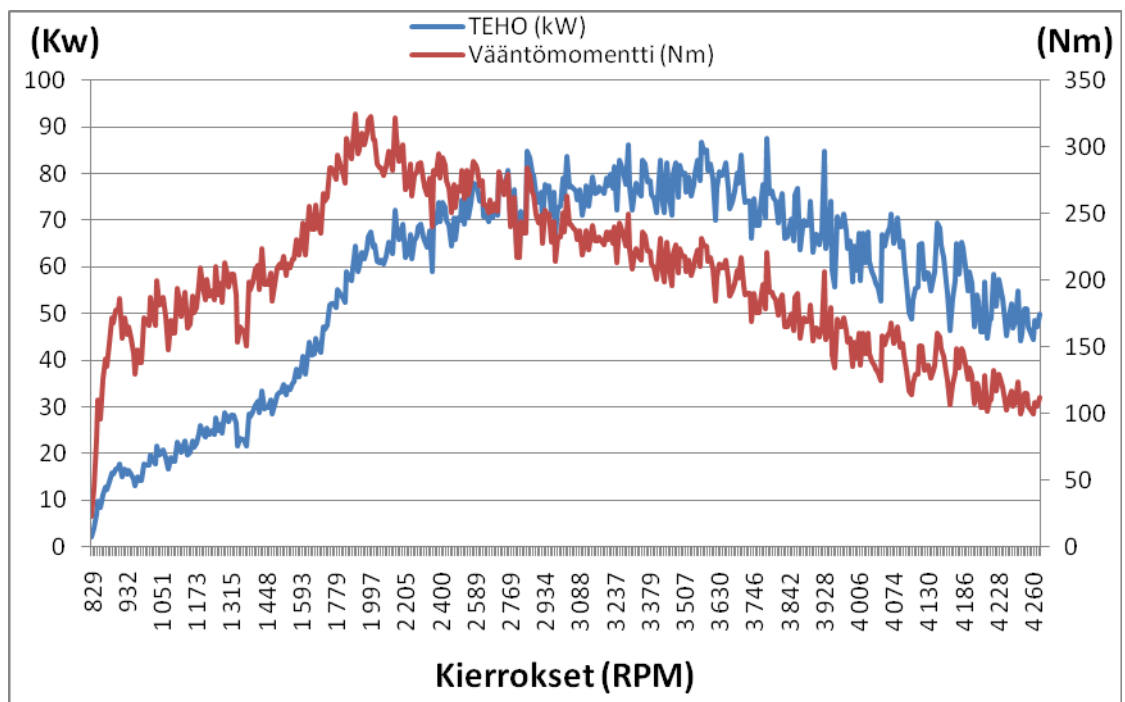


kuva 10

Tehtaan ilmoittamat arvot:

Teho: 107kw@3500 rpm

### Toyota hilux cab 09 2,5 d4-d

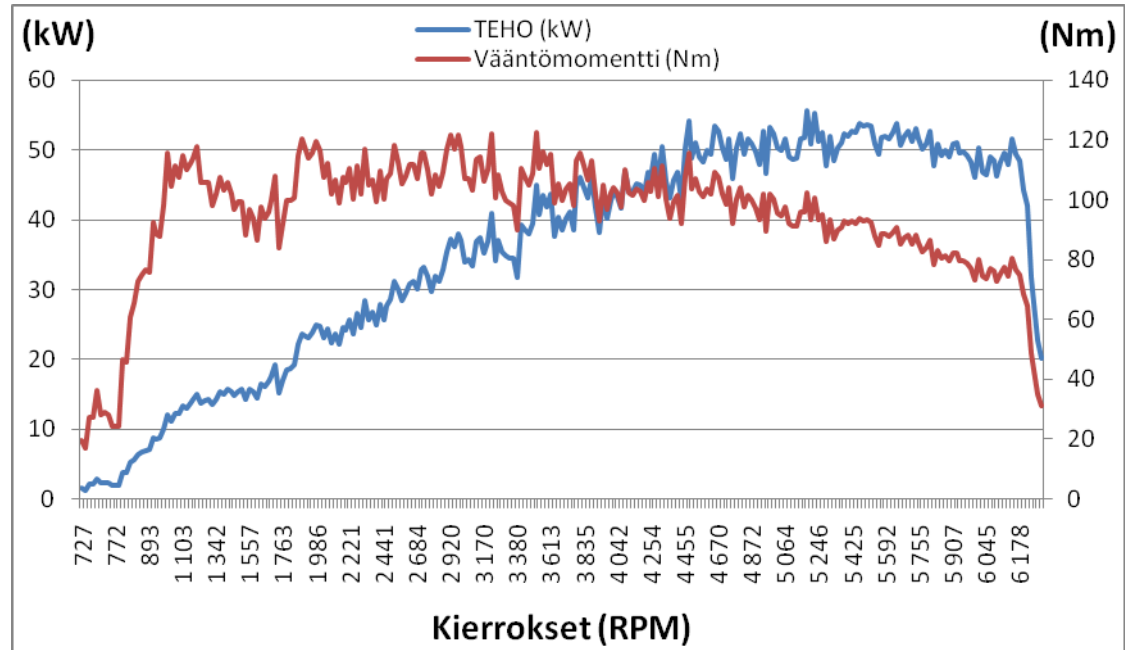


kuva11

Tehtaan ilmoittamat arvot:

Teho: 88kw@3600 rpm

### Honda civic HB 91 1,5i 16v

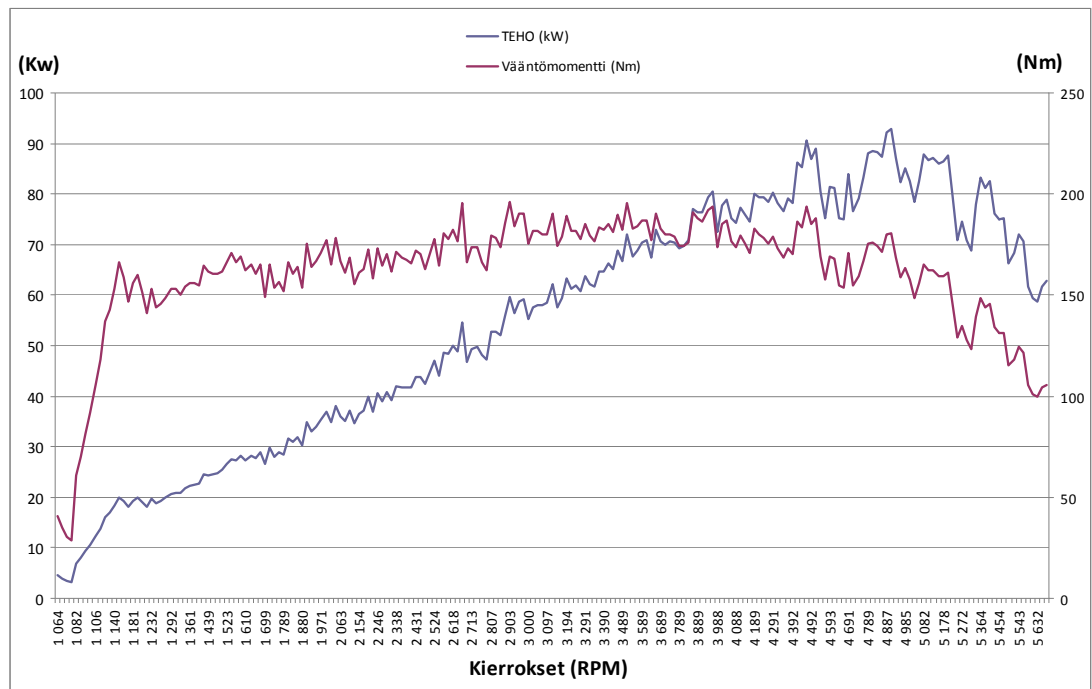


kuva 12

Tehtaan ilmoittamat arvot:

Teho: 51kw@5500 rpm

## Nissan Qashqai 1.6 -08



kuva 13

Tehtaan ilmoittamat arvot:

Teho: 84kw@6000 rpm

## 11 POHDINTA

Työn tavoite oli selvittää kiihtyvyyksimittarin käyttöä auton tehonmittausvälineenä, ja arvioida mittaustavan tarkkuutta ja käytännöllisyyttä. Edellisessä osiossa mainitsimme, että tulokset yllättivät meidät tarkkuudellaan positiivisesti. Työtä aloittaessamme emme osanneet arvata, kuinka antoisa aihe yksinkertaisuudessaan onkaan. Itse työn kulku oli suurin piirtein selvillä jo alusta asti, mutta yllätykseksemme hankalimmaksi osaksi muodostui autojen teknisten tietojen haaliminen luotettavista tietolähteistä. Tutkimuksen hyödyllisyyttä voi jokainen lukija arvioida omasta näkökulmastaan, meitä työ kuitenkin auttoi ymmärtämään auton ajodynamiikkaa ja fysikaalisia ilmiöitä yleensä. Tarkoituksena oli tutkia, onko tutkimamme mittaustapa varteenotettava vaihtoehto tehonmittaustyökaluksi. Ajovastuskaavojen ja laskujen epätarkkuuksien ja pyöristyksien takia tarkkojen teholumien mittaukseen työkalu ei ole optimaalinen, mutta esimerkiksi tehon lisäyksen tai vähennyksen määrittämiseen hyvä sekä edullinen vaihtoehto. Jos mittaolosuhteet (lähinnä mittaustapa ja korkeusvaihtelut) pysyvät mittausten välillä samanlaisina, voi autoa rakentaessa mahdollisen tehomuutoksen määrittää kiihtyvyyden avulla kiitettävällä tarkkuudella. Markkinoilla onkin jo suorituskykykymittareita, jotka ilmoittavat auton maksimitehot kiihtyvyyden perusteella laskettuna. Kyseisillä mittareilla autojen teknisten tietojen hankinta on myös työläin osa, ja mittarit eivät laske auton tehokäyrää, vaan ilmoittavat vaan huipputehon ja –vääntömomentin.

Mittalaitteena käyttämämme VBOX tiedonkeräyslaitteisto on todella kallis yksityiskäyttöön ajateltuna, mutta esimerkiksi ammattikorkeakoulujen projektitoissa sitä voisi hyvinkin käyttää tehomittauksiin, ja laskuosiotkaan eivät ole niin vaikeita, etteivät korkeakouluopiskelijat niitä osaisi. Korjaamokäyttöön mittaustapa ei välttämättä sovellu, koska yksinkertaisuudestaan huolimatta tietojen käsittely ja Excelin käyttö vievät liikaa aikaa tuntiveloitusjärjestelmän huomioon ottaen.

Automaattivaihteistolla varustettuja autoja ei voi mitata, mikäli kierroslukua ei tallenneta mittauksen aikana suhteessa aikaan. OBD-järjestelmällisistä autoista kierrosluvun voisi tallentaa suoraan VBOX:in ohjelmiston avulla ja hyödyntää sitä laskuissa. Tuloksissa (tehokuvaajat) ilmenneet epätasaisuudet poistamalla saisi huomattavasti hyödyllisimpiä tuloksia, varsinkin tehonkasvumittauksissa. Excelin eikä VBOX-ohjelman käyrän ”silotus-ominaisuus” ei auttanut, vaan väärästi käyrän koko muotoa. Käyrässä

ilmenneet epätasaisuudet johtuivat myös osittain mittalaitteistosta, joten epäselväksi jää, saisiko tuloksista vielä tarkempia esimerkiksi kiihtyvyyssmittarilla, joka mittaisi auton kiihtyvyyden nopeuden muutoksesta laskemisen sijaan kiihtyvyyssanturilla. Vaikka kävimmekin aiheen läpi siihen tarkasti paneutuen, jäi muutama asia vielä tutkimatta, joista saisi varmasti jopa hyviä opinnäytetyöaiheita muille opiskelijoille, sen verran mielenkiintoinen ja laaja aihealue on.

Työn tekstiosuus ei ole pisimmästä päästä, mutta tutkimusosuus ja tulosten käsittely veivät yllättävän paljon aikaa. Varsinkin Excel-taulukoiden teko ja sommittelu ja VBOX ohjelmiston käyttö veivät paljon aikaa ja eivät olleet niin yksinkertaisia kuin aluksi luulimme. Lopulliset taulukot, jotka ovat työssä liitteenä, ovat varmaan vasta viideskymmenes kehitysversio ensimmäisistä sommitteluista. Juuri tämän takia työn teksti- ja kerrontaosuus ovat jääneet alkuperäistä suunnitelmaa nähden lyhyemmäksi. Työn tulokset ovat kuitenkin halutunlaisia ja ovat varmasti hyödyksi tulevaisuuden opiskelijoille. Tutkimuksemme varmasti myös auttavat tulevaisuudessa ajodynaamisten ongelmien kanssa painivia opiskelijoita.

## 12 LÄHTEET

/1/ Bosch Auto-teknillinen taskukirja 6. painos Horst Bauer julk. Robert Bosch GmbH  
2002

/2/ <http://www.vbox.fi/>

/3/ Racelogic VBox 2 user guide kirj. CS & KB julk. 22/12/04

/4/ Clancy, L. J. (1975), *Aerodynamics*, Pitman Publishing Limited, London [ISBN 0 273 01120 0](#)

/5/ Fysiikka 2, Fysiikka yhteiskunnassa & aaltoliike s.18 Heikki lehto, tapani luoma ja kirjajayhtymä oy 1994, painaja Gummerus kirjapaino 1999

/6/ <http://www.geocities.com/barrystiretech/rrandfe.html>

/7/ <http://www.aamulehti.fi/teema/autot/jutut/46083.shtml>

/8/ Lehto, Heikki. Luoma, Tapani 2000. Fysiikka 3 Lämpö ja energia Mekaniikka.  
Jyväskylän: Gummerus kirjapaino Oy

/9/ <http://www.aamulehti.fi/teema/autot/jutut/46083.shtml>

kuva 1

[http://images.automobilemag.com/features/news/0705\\_c+2008\\_infiniti\\_g37+dyno\\_ch art.jpg](http://images.automobilemag.com/features/news/0705_c+2008_infiniti_g37+dyno_ch art.jpg)

kuva 2

[http://physics.uark.edu/hobson/pubs/04.02.energy%20flow%20diags\\_files/image015.gif](http://physics.uark.edu/hobson/pubs/04.02.energy%20flow%20diags_files/image015.gif)

kuva 3

<http://www.fandmmag.com/article/2009/may/gearbox-Figure-3.jpg>



kuva 4,5, 7-13

VBOX tiedokeruuohjelma

kuva 6

<http://asia.vtec.net/hardcore/Civic18S/stock.jpg>

### **13 LIITEET**

Sähköisessä muodossa olevat Excel taulukot.