

Mikko Latvala

## **Dynamometrin modernisointi**

Vane 4000-dynamometri

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan ko



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Tekniikan Koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Mikko Latvala

Työn nimi: Dynamometrin modernisointi

Ohjaaja: Ari Saunamäki

Vuosi: 2012 Sivumäärä: 34 Liitteiden lukumäärä: 3

---

Opinnäytetyössä käsitellään vanhan tehodynamometrin päivitystä. Tavoitteena oli asentaa uusi dynamometri ohjainlaite ja ohjelmisto, korvaamaan vanhan analogisen mittalaitteiston. Uusi mittalaitteisto mahdollistaa useamman erillisen anturitiedon lukemisen mittaustilanteessa. Tehonmittaus perustuu hitausmomentin lisäksi pyörrevirtajarrun käyttöön.

Työssä on perehdytty hitausmomentin määrittämiseen eri tavoilla ja tutustuttu pyörrevirtajarrun toimintaan dynamometrikäytössä. Nämä toimivat perustana käytännön toteutuksessa. Työssä kerrotaan myös tehonmittaustavoista sekä sääolosuhteiden vaikutuksista ja standardin mukaisista korjauksista. Lisäksi työssä esitellään uuden ohjelman ominaisuuksia ja kerrotaan asentamiseen liittyvistä asioista.

Asentaminen onnistui tavoitteiden mukaisesti ja tuloksena saatiin päivitetty tehodynamometri, jonka mittaustuloksien perusteella moottorien ohjausyksiköiden säätäminen on mahdollista. Tämä mahdollistaa Eduel Oy:n liiketoiminnan laajentamista autokorjaamoalalla.

Avainsanat: dynamometri, pyörrevirtajarru, hitausmomentti, tehonmittausstandardit

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of technology

Degree programme: Mechanical and production engineering

Specialisation: Mechanical and production engineering

Author/s: Mikko Latvala

Title of thesis: Dynamometer modernization

Supervisor(s): Ari Saunamäki

Year: 2012                      Number of pages: 34      Number of appendices: 3

---

The subject of this thesis was to accomplish an update of an old chassis dynamometer. The update included new hardware and software. A new data logger replaced the old analogue measurement system and it made possible to view several different sensors during the measurement.

This thesis studies how to determine mass of inertia and to get to know eddy current brake in dynamometer usage. These theories are the base also for the practical section. Also different types of power measurements of the vehicle are presented and the correction factors of the different atmospheric conditions are compared. Also new dynamometer software and its features and how those need to be assembled are introduced.

The assembly was successful and the updated dynamometer works great and the useful data can be measured. That helps to tune the engine control management systems. The purpose of this thesis is to expand the Edue Oy business field.

Keywords: dynamometer, eddy current brake, mass of inertia, power correction factors

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	6
1 JOHDANTO .....	7
2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITE .....	8
2.1 Opinnäytetyön tavoitteet .....	8
2.2 Tutkimusongelmat.....	8
3 PYÖRREVIRTAJARRU JA INERTIAN MÄÄRITTELY JA LASKEMINEN.....	9
3.1 Pyörrevirtajarrun toiminta dynamometrikäytössä ja väännön mittaus .....	9
3.2 Inertian määrittely.....	10
3.3 Hitausmassan kokeellinen määrittäminen.....	12
3.4 Jarrun momentin mittaaminen.....	15
4 TEHONMITTAUS JA STANDARDIT .....	17
4.1 Tehonmittausstandardit ja muuttujat .....	17
4.2 Vetopyöräteho vs. moottoriteho .....	20
5 VANE 4000:N PÄIVITTÄMINEN DYNERTIA2-OHJELMALLE .....	21
6 ASENTAMINEN, TESTAUS JA KALIBROINTI.....	26
7 VANE 4000 VS. BOSCH MITTAUKSET.....	28
8 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29
9 POHDINTA .....	30
9.1 Teoreettinen viitekehys .....	30
9.2 Mittaustulokset .....	31
9.3 Kehitysmahdollisuudet .....	31
LÄHTEET .....	32
LIITTEET.....	34

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Vane 4000 ohjain .....	7
Kuvio 2. Pyörrevirtajarru. ....	10
Kuvio 3. 2D-runkokuva rakenteesta. ....	12
Kuvio 4. Hitausmassan kokeellinen mittaustapa (Inertia dyno design tools, [viitattu 9.4.2010]).....	15
Kuvio 5. Pyörrevirtajarrun momentinmittaus. ....	16
Kuvio 6. Pyörrevirtajarrun momentinmittauskuvaaja. ....	16
Kuvio 7. reaaliaikainen mittaustila. (Todd 2009, 32) .....	22
Kuvio 8. vertailutaulukko eri vetojen välille. (Todd 2009, 23) .....	22
Kuvio 9. RPM-adapteri (Todd 2009, 79). ....	23
Kuvio 10. Antureiden kalibrointivalikko (Todd 2009, 67). ....	24
Kuvio 11. Sääasema ja korjauskertoimet (Weather Station, [viitattu 9.4.2010])....	25
Kuvio 12. pyörintänopeusanturi.....	26
Taulukko 1. VANE 4000 pyörivät osat ja ominaisuudet. ....	12
Taulukko 2. Pudotusajan mittaukset. ....	14
Taulukko 3. DIN 70020 ja SAE J1349 vertailu. ....	19

## Kaavaluettelo

1. Newtonin II laki
2. Pyörimisliikkeen perusyhtälö
3. Hitausmomentti vannemaiselle kappaleelle
4. Hitausmomentti kiinteälle sylinterille
5. Suora ympyrälieriö
6. Energiaperiaate
7. Loppunopeus ja matka
8. Kiihtyvyys
9. Loppunopeus
10. Kierrosmäärä
11. Kulmanopeus
12. Pyörän momentti
13. DIN 70020
14. SAE J1349

## Käytetyt termit ja lyhenteet

### **Dyno**

alustadynamometri, dynamometri, tehonmittauspenkki.

### **Inertia**

hitausmomentti, kuvastaa kappaleen kykyä vastustaa pyörimistä ja on verrannollinen kappaleen massaan ja sen etäisyyteen pyörimisakselilta.

# 1 JOHDANTO

Aihe opinnäytetyöhön sai alkunsa kun Eduel Oy päätti hankkia vanhan tehodynamometrin. Vane 4000 -dynamometri (Kuvio 1) on peräisin 1960-luvun lopulta ja mittauslaitteisto on analoginen. Vane 4000 on niin sanottu alustadynamometri, jolloin ajoneuvo on rullien päällä ja mittaus tehdään rullien kiihtyvyyden sekä pyörrevirtajarrun kuormituksen perusteella. Nykyään markkinoilla on tarjolla useita eri vaihtoehtoja vanhan dynamometrin päivittämiseen. Edullisen hinnan perusteella päädyttiin australialaiseen Dynertia2-ohjelmistoon. Ajatus tehodynamometrin tarpeellisuudesta päästä testaamaan ja säätämään ajoneuvoja tuli Eduel Oy:n liiketoiminnan laajentamissuunnitelmasta. Ajoneuvojen eri kuormitustilanteiden hakeminen on liian vaarallista tieliikenteessä ja tarkka säätäminen ei tiekoikeilla onnistu, joten siinä mielessä dynamometrille oli tarvetta.

Eduel Oy on perustettu vuonna 2007 ja se on perheyrittys. Päätoimipisteinä on Haapajärvi ja Kuortane. Yrityksen päätoimialana on tarjota koulutuspalveluita sähköalan ammattilaisille. Tarjolla on erilaisia pätevyys- ja sertifiointikoulutuksia sekä valtuutetun tarkastajan suorittamia määräaika- ja varmennustarkastuksia. Lisäksi Eduel Oy:llä on kaksi alatoiminimeä, Eduel-Asennus ja Eduel-Sport. Eduel-Asennus toimii autokorjaamokoneiden maahantuojana ja jälleenmyyjänä. Eduel-Sport vastaa seiväshyppyseipäiden ja seiväshyppyyn liittyvien tarvikkeiden maahantuonnista ja jälleenmyynnistä.



Kuvio 1. Vane 4000 -ohjain

## **2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITE**

Opinnäytetyön tarkoituksena on sekä perehtyä dynamometrilaitteistoon huolellisesti että auttaa yritystä laajentamaan liiketoimintaa muun toiminnan ohella myös ajoneuvojen tehonmittauksiin ja eri moottorinohjausyksiköiden säätämiseen.

### **2.1 Opinnäytetyön tavoitteet**

Työn tavoitteena on saada asennettua ja päivitettyä dynamometrilaitteisto teoriaa apuna käyttäen. Tavoitteena on myös saada toimiva kokonaisuus, jonka avulla saadaan mitattua hyödyllisiä tietoja moottorin toimintaan liittyen. Tämä helpottaa moottorinohjausyksiköiden säätämistä.

### **2.2 Tutkimusongelmat**

1. Millaisia tehonmittaustuloksia VANE 4000 -dynamometrillä saadaan verrattuna Boschin dynamometrilaitteistoon?
2. Saadaanko laitteiston toistettavuus stabiiliksi ja kuinka usein se vaatii tarkistuskalibrointeja?



### **3 PYÖRREVIRTAJARRU JA INERTIAN MÄÄRITTELY JA LASKEMINEN**

Vane 4000 on sähkötoiminen dynamometri, jossa on kaksi telaparia. Etummaisen telaparin pyörimistä jarruttaa jäähdytetty pyörrevirtajarru, jota jäähdyttämässä on suurtehopuhallin. Jarrutus tapahtuu ilman mekaanista kosketusta magneettikentän avulla. Pyörrevirtajarrun teho on suoraan verrannollinen syötetyn virran määrään, jota voidaan ohjata käsin kuljettajan istuimelta. (Oy Tecalemit Ab 1969.)

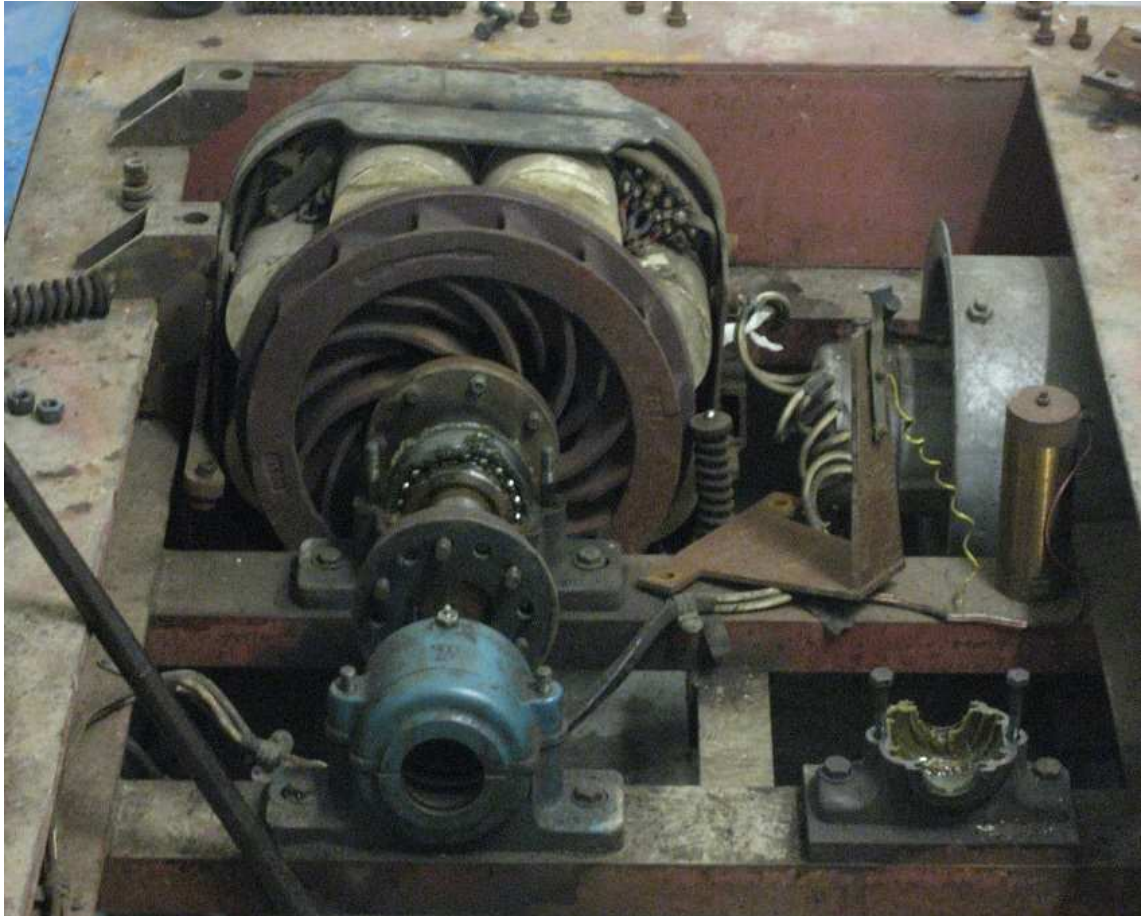
#### **3.1 Pyörrevirtajarrun toiminta dynamometrikäytössä ja väännön mittaus**

Pyörrevirtajarruja käytetään esimerkiksi kuorma-autoissa ja junissa erillisinä jarruina niin sanottuina sähködynaamisina hidastimina. Tehodynamometreissä pyörrevirtajarrua käytetään jarruttamaan moottorin kierrosluvun kasvamista, jolloin on mahdollista tutkia erilaisia kuormitustilanteita. (Oy Tecalemit Ab 1969.)

Pyörrevirtajarru (Kuvio 2.) sijaitsee ajorullien akselin jatkeena ja jarruvoima perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Jarrun kehällä oleville käämeille syötetään sähkövirta, joka synnyttää magneettikentän. Pyörrevirtajarrussa olevat sähköä johtavat levyt kehittävät pyöriessään pyörrevirtoja, jotka vastustavat levyjen ja samalla ajorullien pyörimistä. Ajorullien pyörimistä vastustava voima ja siihen tarvittava energia muuttuu lämmöksi, jonka takia on huolehdittava lämmönsiirtämisestä esimerkiksi vesikiertoisella pyörrevirtajarrulla. Jarrun keskiosasta lähtee vääntövarsi, jonka päässä voi olla voimaa mittaava anturi, esimerkiksi venymäliuska-anturi. Pyörrevirtajarrun tehoa ohjataan säätämällä virran määrää, mikä mahdollistaa nopeita kuormitustilannemuutoksia. Pyörrevirtajarru on rakenteeltaan yksinkertainen, tukeva ja ohjaustekniikan avulla kykeneväinen tuottamaan hyvän jarrutustehon jo pienillä kierrosluvuilla. (Martyr & Plint 2007, 144–169.)

Vane 4000:n pyörrevirtajarru on ilmajäähdytteinen ja käytössä on tehokas ilmapuhallin. Jarrun voimaa mittaavana anturina on vääntövarren päässä oleva liukuvastus. Kuormituksen aiheuttaessa keskiosan kiertymistä, kuormitustieto

saadaan uudelle ohjelmalle jännitetietona. Jarrun keskiön kiertymistä vastustaa neljä joustaa. Jarrua voidaan ohjata joko portaattomasti säätämällä tai rajoittamalla ajonopeus haluttuun nopeuteen. Vanhan ohjainlaitteen kautta hoidetaan edelleen jarrun ohjaaminen ja mittauslaitteistolle tulee vain kuormitustieto. Liukuvastuksen syöttöjännite on ainoa muutos pyörrevirtajarrun toimintaan liittyen.



Kuvio 2. Pyörrevirtajarru.

### 3.2 Inertian määrittely

Inertiaa käytetään alustadynamometreissä hitausmomenttina. Tätä tunnettua momenttia vastaan ajoneuvoa kiihdytetään. Newtonin II lain mukaan kokonaisvoima  $F$  antaa massalle  $m$  kiihtyvyyden  $a$ . (Valtanen 2010, 193.)

$$F = ma \quad (1)$$

Pyörimisliikkeen perusyhtälöön perustuen inertia eli hitausmomentti kuvastaa kappaleen ominaisuutta vastustaa liiketilan muutosta ja on suoraan verrannollinen kulmakiihtyvyyteen  $\alpha$  ja  $J$  on kappaleen hitausmomentti ja  $M$  momentti (Valtanen 2010, 202).

$$M = J \alpha \quad (2)$$

Hitausmomentti  $J$  vannemaiselle kappaleelle saadaan alla olevasta yhtälöstä, jossa  $m$  on kappaleen massa ja  $r$  on etäisyys pyörimisakselista (Valtanen 2010, 196).

$$J = mr^2 \quad (3)$$

Pitkittäisakselien ja rullien päätyjen hitausmomentit saadaan laskettua seuraavalla yhtälöllä (Valtanen 2010, 196).

$$J = \frac{1}{2}mr^2 \quad (4)$$

Dynamometrin rullien ja pyörrevirtajarrun (Kuvio 3) yhdistetyn inertian määrittäminen laskemalla ja jakamalla osat pieniksi osakokonaisuuksiksi on mahdollista ja tällöin ei huomioida vierintävastuksesta aiheutuvaa kitkaa. Kitkaa aiheuttavat lähinnä kartiokuulalaakerit ja voiteluaineet. Pyörrevirtajarrun inertian määrittäminen laskemalla on vaikeaa rakenteensa takia, joten siinä käytetään valmistajan (Liite 3) antamaan inertia-arvoa  $1,87 \text{ kgm}^2$  (Gregg [Viitattu 20.4.2012]). Laskemisen helpottamiseksi kaikki samankokoiset osat yhdistettiin ja tehtiin Exceliin taulukko, johon syöttämällä osien sisä- ja ulkohalkaisijat saadaan kappaleen massa ja hitausmomentti. Materiaalin ominaispainona käytettiin arvoa  $7,85 \text{ kg/cm}^3$ .

Pyöreiden osien tilavuus  $V$  saadaan suoran ympyrälieriön kaavalla,

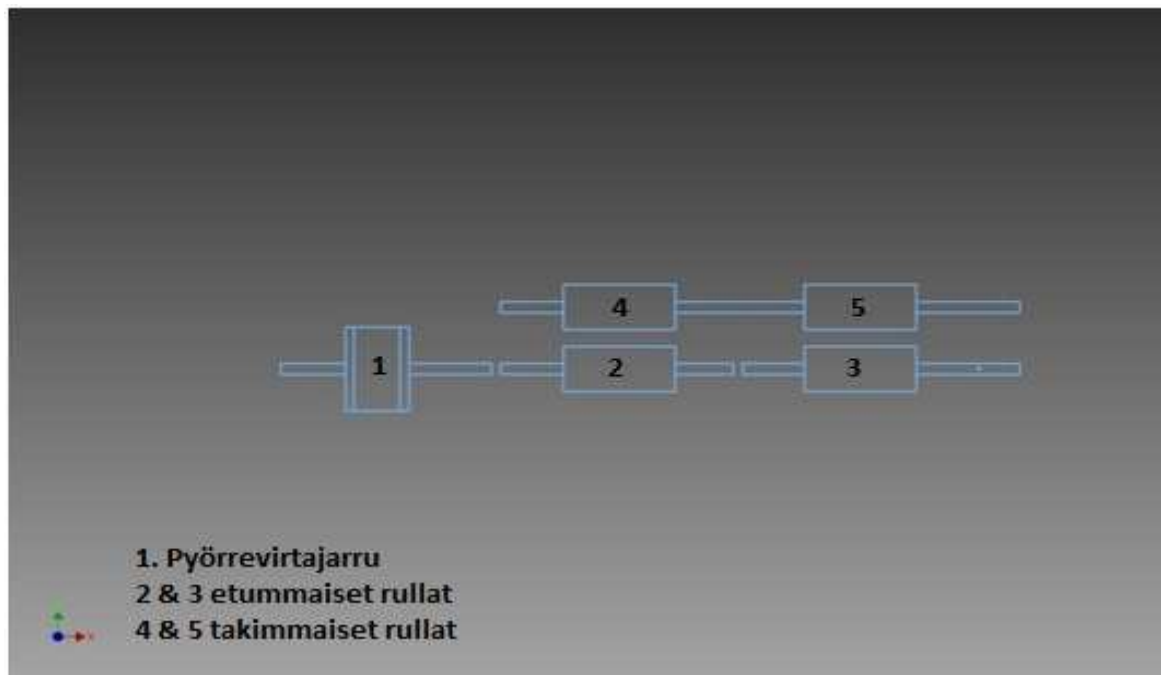
$$V = \pi r^2 h \quad (5)$$

jossa tilavuus  $r$  on säde ja  $h$  on kappaleen pituus. (Valtanen 2010, 29.) Kitkattomaksi hitausmomentiksi VANE 4000 dynamometrille saadaan taulukon 1 mukaisesti noin  $4,47 \text{ kgm}^2$ .

Taulukko 1. VANE 4000:n pyörivät osat ja ominaisuudet.

Osat	Ulk. $\varnothing$	Sis. $\varnothing$	Ominaispaino Pituus (mm)	7,85	$\text{g/cm}^3$
				Massa (kg)	Inertia $\text{kgm}^2$
Akseli 1	63,3	0	1275	31,50	0,016
Akseli 2,3 ja 4	44,5	0	2772	33,85	0,008
Jarrun akseli	63,3	0	600	14,82	0,007
Rullat(1,2,3 ja 4)	270	257	2440	103,08	1,790
Rulla 1 päädyt	257	63,3	50	19,13	0,168
Rullat 2,3 ja 4 päädyt	257	44,5	150	59,26	0,504
Akseliitokset 4kpl	160	63,3	92	12,25	0,045
Akseliitokset 4kpl	102	63,3	140	5,52	0,010
Pyörrevirtajarru*				224	1,87
Kiinnityslaipat 2kpl	175	63,3	70	11,49	0,050
			<b>yhteensä</b>	<b>503,41</b>	<b>4,47</b>

\* Valmistajan ilmoittama arvo  
massa punnittu



Kuvio 3. 2D-runkokuva rakenteesta.

### 3.3 Hitausmassan kokeellinen määrittäminen

Hitausmassa haluttiin selvittää myös kokeellisesti, jotta mahdollinen kitkan osuus selviäisi. Kokeellinen mittaus suoritettiin kuvio 4:n mukaisesti rakentamalla

väkipyöräsysteemi, joka köyden välityksellä kiinnitettiin dynamometrin rulliin ja väkipyörän kautta vastapainoon. Toistamalla koetta saatiin laskettua ajan ja pudotusmatkan avulla painon loppunopeus ja rullien loppukulmanopeus. Näiden arvojen perusteella määritettiin rullien hitausmomentti. Aluksi punnuksia lisättiin varovaisesti rullien lähtiessä kevyesti pyörimään tasaisella nopeudella kiihtymättä. Tämä massa tarvittiin voittamaan rullien ja väkipyörien liikuttamiseen tarvittavan kitkavoiman. Tätä painoa kutsuttiin kompensatiopainoksi. Kompensatiopainon päälle lisättiin reilusti punnuksia. Tätä painoa käytettiin hitausmomentin laskentakaavoissa.

Energiaperiaatteen mukaisesti selvitetään hitausmomentti  $J$ , jossa käytetään nopeuden  $v$  ja kulmanopeuden  $\omega$  loppunopeuksia. Tiputettavalla painolla on potentiaalienergia  $mgh$  ja pudotessaan muuttuu liike-energiaksi  $\frac{1}{2}mv^2$ . Liike-energia on suurimmillaan juuri ennen pysähtymistä. Pyörien rullien rotaatioenergia  $\frac{1}{2}J\omega^2$  on suurimmillaan liike-energian suurimmalla hetkellä, juuri ennen pysähtymistä. (Hitausmomentti [viitattu 23.4.2012].)

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J\omega^2$$

$$\rightarrow mgh - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}J\omega^2 \quad (6)$$

$$\rightarrow J = \frac{mgh - \frac{1}{2}mv^2}{\frac{1}{2}\omega^2}$$

$$\begin{cases} v = v_0 + at \\ s = v_0t + \frac{1}{2}at^2 \end{cases} \quad (7)$$

(Hitausmomentti, [viitattu 23.4.2012].)

Kiihtyvyys  $a$  saadaan pudotusmatkan  $s$  ja ajan  $t$  suhteen (Taulukko 2) alla olevalla kaavalla (Valtanen 2010, 191).

$$a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \cdot 2,00m}{6,122^2} = 0.106727 \text{ m/s}^2 \quad (8)$$

Kiihtyvyyden perusteella saadaan loppunopeus  $v$  kertomalla kiihtyvyys ajalla. (Valtanen 2010, 202).

$$v = at = 0,106727 \frac{m}{s^2} * 6,122sek = 0,653381 m/s \quad (9)$$

Loppukulmanopeus  $\omega$  selvittämiseksi lasketaan ensin rullien pyörimismäärä. Pyörimismäärä saadaan pudotusmatka  $s$  jaettuna rullien kehänpituudella ( $\pi \times d$ ), koska yksi kierros on radiaaneissa on  $2\pi$ . Kerrotaan se pyörimismäärällä ja jaetaan ajalla, jolloin saadaan keskikulmanopeus. Keskikulmanopeus kerrottuna kahdella saadaan loppukulmanopeus  $\omega$  (Valtanen 2010, 199.).

$$n = \frac{s}{\pi * d} = \frac{2,00m}{\pi * 0,27m} = 2,35 \text{ kierrosta} \quad (10)$$

$$\omega = \frac{n * 2 * \pi}{T} = \frac{2,35785 * 2 * \pi}{6,122s} = 2,41993 \text{ rad/s} \quad (11)$$

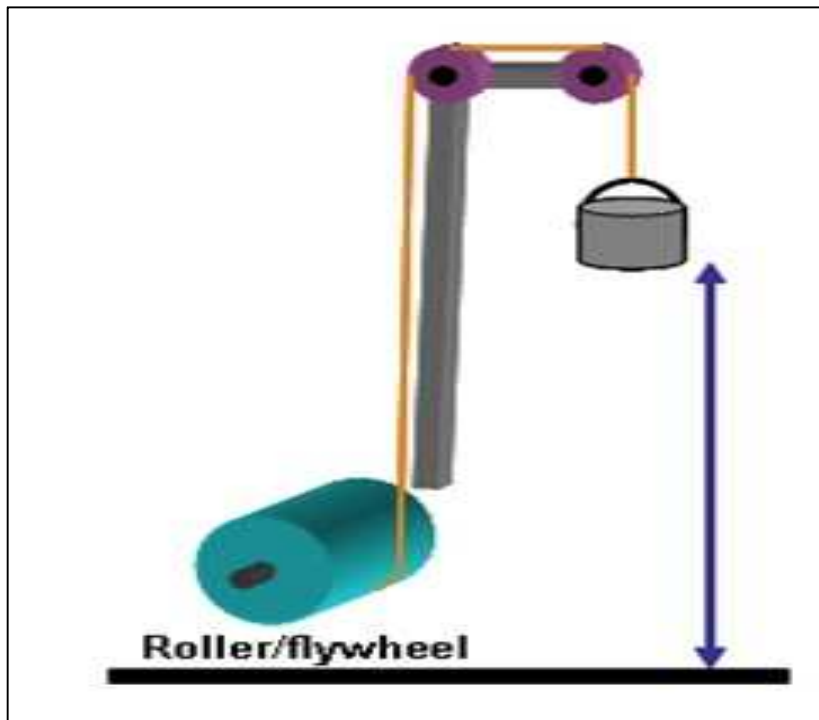
Sijoittamalla yllä saadut lukuarvot liike-energian yhtälöön

$$J = \frac{mgh - \frac{1}{2}mv^2}{\frac{1}{2}\omega^2} = \frac{3,446kg * \frac{9,81m}{s^2} * 2,00m - \frac{1}{2} * 3,446kg * 0,653381^2}{\frac{1}{2} * 2 * 2,41993^2} = 5,71kgm^2$$

Inertia-arvoksi muodostui kokeellisesti  $5,71 \text{ kgm}^2$ . Inertian ja rullien kehän pituuden avulla Dynertia2-ohjelma osaa piirtää tehokuvaajan.

Taulukko 2. Pudotusajan mittaukset.

<b>Kitkan voittava, ns. kompensatiopaino</b>	<b>5,66 kg</b>
<b>Käytetty paino</b>	<b>3,446 kg</b>
<b>Pudotusmatka</b>	<b>2,00m</b>
<b>Mittauskerrat</b>	<b>Aika</b>
1	6,25
2	6,04
3	6,03
4	6,04
5	6,25
<b>ka</b>	<b>6,122</b>



Kuvio 4. Hitausmassan kokeellinen mittaustapa (Inertia dyno design tools, [viitattu 9.4.2010]).

### 3.4 Jarrun momentin mittaaminen

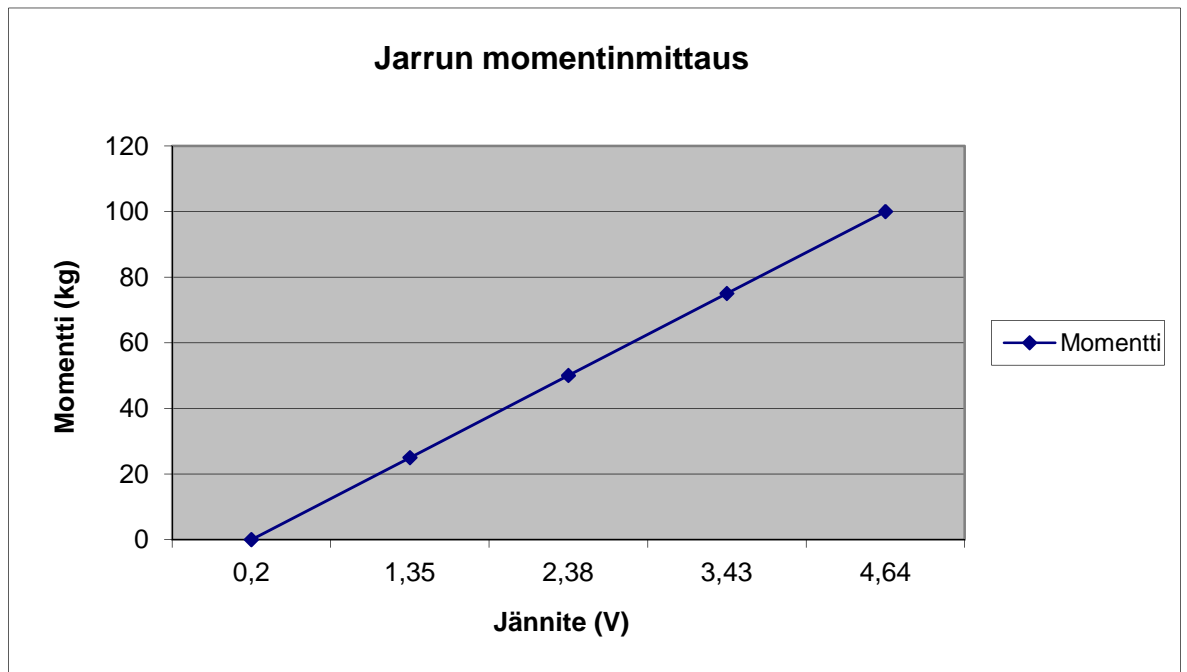
Dynertia2-ohjain osaa mitata väännön pyörrevirtajarrulta saadun jännitearvon perusteella liukuvastuksen kautta. Esimerkiksi 0 VDC voisi vastata 0 Newtonmetriä ja vastaavasti 5 VDC vastaisi 1000 Newtonmetriä. Jännite-vääntökuvaaja on tällä välillä lineaarinen, kuten kuvaajasta 5 voi havaita. Tällöin ohjelma käyttää ensisijaisesti jarrulta saatua tietoa ja lisää siihen rullien inertian (Todd 2009, 45). Mittaus suoritettiin Kuvion 4 mukaisesti ja siitä saatiin selvillä jarrun momentti.

$$M = Fr \quad (12)$$

Momentti  $M$  kuvaa voiman kiertovaikutusta ja  $F$  voimaa, joka vaikuttaa kohtisuoran etäisyyden  $r$  päässä (Lappalainen, [Viitattu 22.4.2012]).



Kuvio 5. Pyörrevirtajarrun momentinmittaus.



Kuvio 6. Pyörrevirtajarrun momentinmittauskuvaaja.



## 4 TEHONMITTAUS JA STANDARDIT

Dynamometrejä käytetään pääasiassa tehon ja väännön mittaamiseen ajoneuvon moottorista. Mittaus on mahdollista suorittaa joko suoraan moottorin käyttöakselilta tai esimerkiksi hihnan tai ketjun välityksellä. Toinen tapa on käyttää alustadynamometriä, jossa mittaus suoritetaan pyöriltä ajamalla auto tai moottoripyörä rullien päälle. Dynamometrit voidaan jakaa molemmissa tapauksissa vielä kahteen, dynaamiseen ja staattiseen mittaustapaan. (Inertia Dyno Design Guide, [viitattu 10.2.2012].)

Dynaamisessa tehonmittauksessa käytetään rullien hitausmassaa, inertiaa, jonka tunnetun massan kiihtyvyydestä saadaan laskettua siihen tarvittava teho. Kun kiihtyvyys voidaan vielä määrittää pienin mittausvälein laajalta alueelta, voidaan sen mukaan piirtää tehokuvaaja. (Inertia Dyno Design Guide, [viitattu 10.2.2012].)

Staattinen tehonmittaus on niin sanotusti vakaan tilan mittaus. Mittauksessa käytetään jarrua tai hidastinta pitämään moottorin kierrosluku samana kuormituksesta riippumatta. Jarru vastustaa rullien pyörimistä ja vääntö mitataan jarrun kiertymästä esimerkiksi vääntövarren päässä olevasta anturista. Anturimahdollisuuksia on monenlaisia, voima-antureista itse tehtyihin. (Inertia Dyno Design Guide, [viitattu 10.2.2012].)

### 4.1 Tehonmittausstandardit ja muuttujat

Sääolosuhteilla tiedetään olevan vaikutusta polttomoottorin suorituskykyyn. Eri valmistajien moottorien suorituskykyä voidaan vertailla ja tarkkailla eri olosuhteissa kuin missä moottorin valmistaja on ne mitannut. Sääolosuhteiden vaikutus suorituskykyyn ilmenee ajoneuvon kiihtyvyydessä ja polttoaineen kulutuksessa. Tehonmittausstandardien korjauskertoimet ovat määriteltä, jotta jälkikäteen tehtyjä mittauksia voitaisiin verrata laboratorio-olosuhteissa käytyihin mittauksiin. Kuitenkin eri korjauskertoimet voivat johtaa erilaisiin mittaustuloksiin samoissa olosuhteissa mitattuina. Sääolosuhteiden vaikutusta mitataan ja tutkitaan paljon ilmailualalla, jossa muuttujat ovat samoja, mutta vaihtelevuus saattaa olla todella

suurta korkeuserojen takia. Autoteollisuudessa suoritettavat mittaukset poikkeavat ilmailualalta siten, että olosuhteet pysyvät mittaustilanteissa hyvin samanlaisina. Tällöin voidaan keskittyä paremmin yksittäisten parametrien korjaamisiin ja niiden ymmärtämiseen, mutta dynamometreissä suoritettavat mittaukset eivät välttämättä anna samanlaista tietoa kuin todellisissa olosuhteissa, tien päällä suoritetuissa mittauksissa. (Sodré 2003, 1.)

Korkeampi ilmanpaine kasvattaa ilman tiheyttä ja sitä kautta lisää moottoriin saatavaa ilmanmäärää. Ilmanmäärä taas parantaa moottorin hyötysuhdetta ja kasvattaa tehoa. Tutkimusten mukaan bensiinimoottoreissa ilmanpaineella on suora vaikutus vääntöön ja polttoaineen kulutukseen. Ympäristön lämpötilalla on todettu olevan vaikutusta palamisprosessiin, esimerkiksi palamisen reaktionopeuteen, polttoaine-ilma seossuhteen tasaisuuteen sekä lämmön siirtymiseen. Imuilman lämpötilan nousu lisää moottorille haitallisen nakutuksen riskiä ja laskee tehollista hyötysuhdetta. (Sodré 2003, 2.)

Ilmankosteus vaikuttaa myös moottorin suorituskykyyn, mutta ei yhtä paljon kuin ilmanpaine ja lämpötila. Korkea ilman kosteuspitoisuus laskee moottorin termodynaamista hyötysuhdetta, koska kosteus hidastaa palamisprosessia. Kuitenkin korkealla kosteuspitoisuudella voidaan ehkäistä nakutusta korkeissa lämpötiloissa. Vesiruisikutuksen lisääminen imuilman sekaan voi taas pienentää pakokaasupäästöjä vaikuttamalla typen oksideihin ja hiilimonoksidin muodostumiseen. (Sodré 2003, 2.)

Korreloimaan moottorin suorituskykyä dynamometrimittausten ja eri ilmasto-olosuhteiden välillä on olemassa eri instituutioiden kehittämiä mittaustandardeja. Korjaustekijöitä voidaan käyttää suorituskykyparametrien arvioimiseen ja vertaamiseen laboratorio-olosuhteista eri ilmasto-olosuhteisiin. Yleisimmät suorituskykyparametrit ovat esimerkiksi teho, vääntö, tehollinen keskipaine ja kiihdytysaika. (Sodré 2003, 2.)

Dynertia2 -ohjelmistossa on valittavana alla olevat tehonmittausstandardit:

- DIN 70020
- SAE J1349

DIN 70020 (Deutsches Institut für Normung) tehonmittausstandardissa ei oteta huomioon ilmankosteutta. Bensiinimoottoreiden kohdalla korjauskerroin  $Ka$  mitatulle teholle saadaan alla olevan kaavan mukaisesti ilmanpaine ja lämpötila tietojen avulla. Dynossa vallitseva ilmankehäpaine  $p$  merkitään millibareissa (1 Mbar = 0,001 bar) ja ilmanlämpötila  $T$  Kelvinasteikolla ( $0^{\circ}\text{C} = 273 \text{ K}$ ). DIN 70020:ssa vertailuarvoina käytetään  $20^{\circ}\text{C}$  lämpötilaa ja 1013 Mbarin ilmankehäpainetta.

$$\text{DIN 70020} \rightarrow Ka = \frac{1013}{p[\text{Mbar}]} \times \left(\frac{T[\text{K}]}{293}\right)^{0,5} \quad (\text{Koskivuori 2012.}) \quad (13)$$

SAE J1349 (The Society of Automotive Engineers) bensiinimoottoreiden tehonmittausstandardin mukaisessa mittauksessa vertailuarvoina käytetään 990 Mbar:ia ja  $25^{\circ}\text{C}$ :sta. Eroa DIN 70020 -standardiin on myös potenssiarvoissa. SAE on amerikkalainen standardi, jossa ei myöskään oteta ilmankosteutta huomioon.

$$\text{SAE J1349} \rightarrow Ka = \left(\frac{990}{p[\text{Mbar}]}\right)^{1,2} \times \left(\frac{T[\text{K}]}{298}\right)^{0,6} \quad (\text{Koskivuori 2012.}) \quad (14)$$

Kun mittauksessa ilmankehäpaine on esimerkiksi 1000 Mbar ja lämpötila  $10^{\circ}\text{C}$ , korjauskertoimiksi saadaan  $\text{DIN} = 0,995563$  ja  $\text{SAE} = 0,957865$ . Tällöin ero prosentteissa on 3,79 %. Alla olevasta taulukosta on nähtävissä, että SAE J1349 -standardin mukainen mittaus antaa pienempiä teholumkia verrattuna DIN 70020 -standardiin.

Taulukko 3. DIN 70020 ja SAE J1349 vertailu.

Ilmanpaine	1000 Mbar		Ero %	Lämpötila	15 °C		Ero %
	DIN 70200	SAE J1349			DIN 70020	SAE J1349	
5	0,987	0,9477	3,96	980	1,025	0,992	3,228
10	0,996	0,9579	3,79	985	1,020	0,986	3,326
15	1,004	0,9680	3,62	990	1,014	0,980	3,424
20	1,013	0,9780	3,45	995	1,009	0,974	3,521
22	1,016	0,9820	3,39	1000	1,004	0,968	3,618
25	1,022	0,9880	3,29	1005	0,999	0,962	3,714

## 4.2 Vetopyöräteho vs. moottoriteho

Moottorien valmistajat ilmoittavat sovitusti moottorien tehoarvot moottoritehoina niin sanotusti nettotehona. Näin teholumemat muutetaan laskennallisesti normaalitilanteeksi ja huomioon otetaan sekä ilmaston muutokset että mahdollisesti muut häviöt (Bauer 2003, 455).

Vaihteisto ja vierintävastus vetopyörien dynamometrirullien välillä aiheuttaa tehohäviön. Manuaalivaihteisissa autoissa häviö on yleensä 15–25 %:n luokkaa. Häviö mitataan dynamometreissä hidastuvuuden perusteella painamalla kytkintä moottorin saavutettua halutun kierrosluvun. Tämän jälkeen vetopyörien annetaan pyöriä vapaasti pysähtymiseen saakka. (Tehomittaus 2002, 2.)

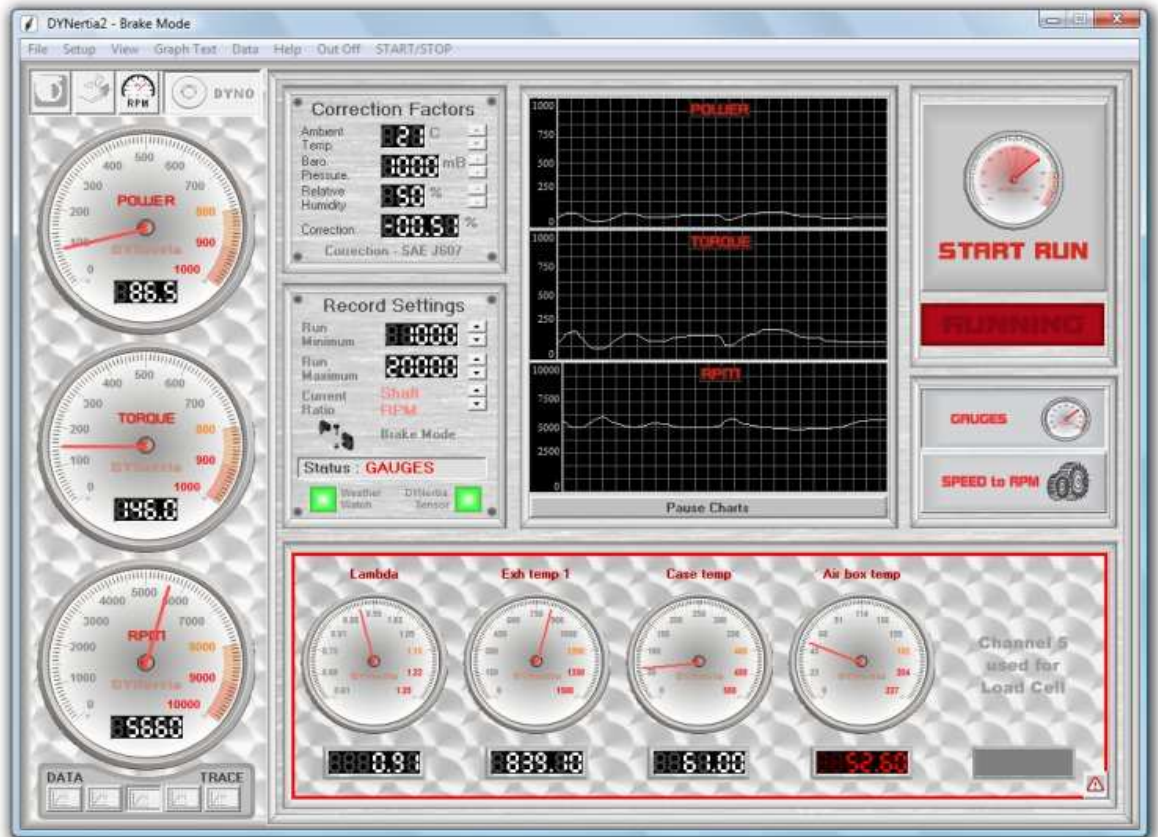
Moottoriteho on laskennallinen, ei mitattu. Vetopyöräteholukemat ovat mitattuja lukemia ja siihen liittyvät virhelähteet on lähinnä laitteen kalibrointiin liittyviä. Häviön tarkkuus riippuu dynamometrilaitteiston sisäisestä häviön laskentatavasta. (Tehomittaus 2002, 2.)

## 5 VANE 4000:N PÄIVITTÄMINEN DYNERTIA2-OHJELMALLE

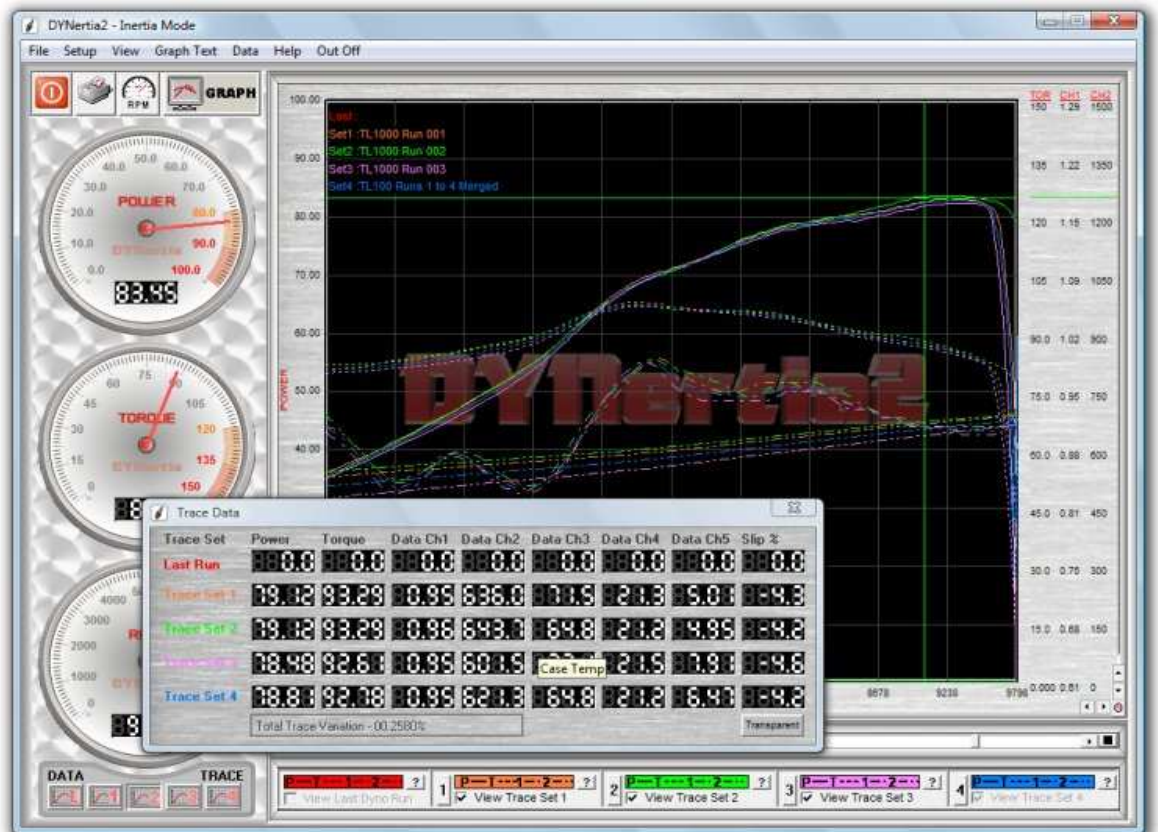
Dynamometriohjelmana tullaan käyttämään australialaista Dynertia2 -ohjelmaa. Ohjelman lisäksi dynamometriin tullaan kytkemään muuan muassa sääasema ilmanalan korjauksia varten sekä muutamia tarpeellisia antureita tiedonkeruuta varten. Ohjainlaite tarvitsee toimiakseen 12 VDC-jännitteen.

Ohjelmisto on parhaimmillaan tee-se-itse-dynamometreihin, jolloin ei tarvitse hankkia kalliita ohjainlaitteita. Ominaisuuksiltaan Dynertia2 on kuitenkin hyvinkin laaja. Dynertia2 -ohjelmistoa voidaan käyttää sekä alusta- että moottoridynamometrin yhteydessä. Tehomittaus voidaan tehdä pelkästään inertian avulla, mutta myös yhdistettynä jarruttavaan kuormaan. Ohjelma itsessään ei pysty ohjaamaan jarrukuormaa, vaan sitä pitää pystyä ohjaamaan erikseen ja kuormatieto asetetaan ohjelmaan 0–5 VDC -jännitetiedon perusteella. Anturi- ja kuormitustietoja voidaan tarkkailla reaaliaikaisessa mittaustilassa (Kuvio 7). Yksittäisten vetojen vertailu onnistuu jälkikäteen, kun näyttöön voidaan asettaa viisi haluttua vetoa (Kuvio 8.).

Rullien pyörimisnopeustieto saadaan laitteiston mukana tulleella optisella anturilla. Anturia varten pitää olla teline, jotta se saadaan pyörivän rullan lähelle ja rullaan laitetaan heijastuspinta. Tällä tiedolla ohjelma osaa laskea nopeuden ja kiihtyvyyden, lisäksi tarvitsee tietää vain inertia-arvo ja rullien kehän ympärysmitta. Pyörimistiedon lisäksi tarvitsee asettaa ajoneuvon voimansiirron välityssuhde. (Todd 2009, 45.)



Kuvio 7. Reaaliaikainen mittaustila (Todd 2009, 32).



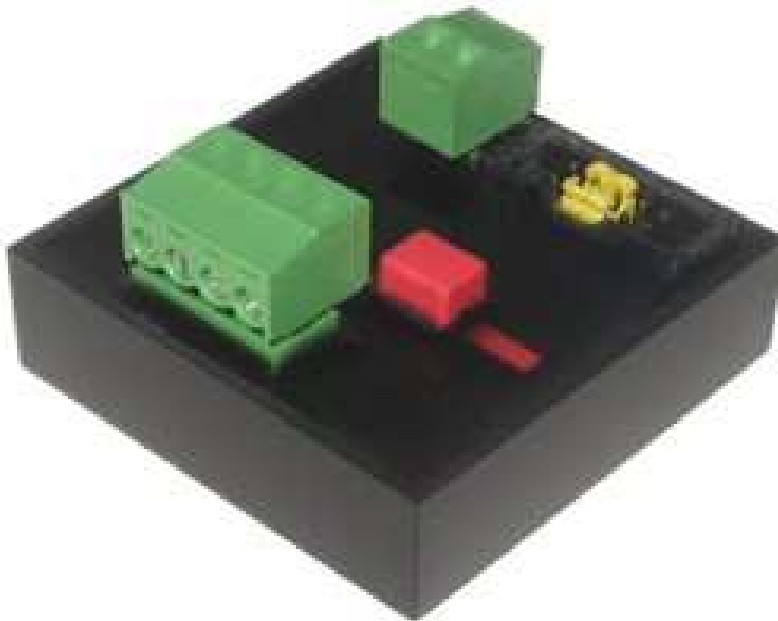
Kuvio 8. Vertailutaulukko eri vetojen välille (Todd 2009, 23).

Moottorinpyörintänopeustieto saadaan selville RPM-adapterilla (Kuvio 9) tai ohjelmallisesti välityssuhteiden perusteella. Ohjelmaan voidaan syöttää kahdeksan eri vaihteen välityssuhteet, joten mittaus onnistuu helposti eri vaihteillakin. Kun käytetään molempia vaihtoehtoja, selviää myös mahdollinen luisto esimerkiksi kytkimen tai pyörien luistaessa tai automaattivaiheisen auton turbiinin luisto. (Todd 2009, 59.)

Moottorin pyörimisnopeustieto RPM-adapterilla voidaan ottaa

- tulpanjohdoista
- suuttimista
- induktiivisista pyörimisnopeusantureista
- puolalta/puoilta

(Todd 2009, 79-81).



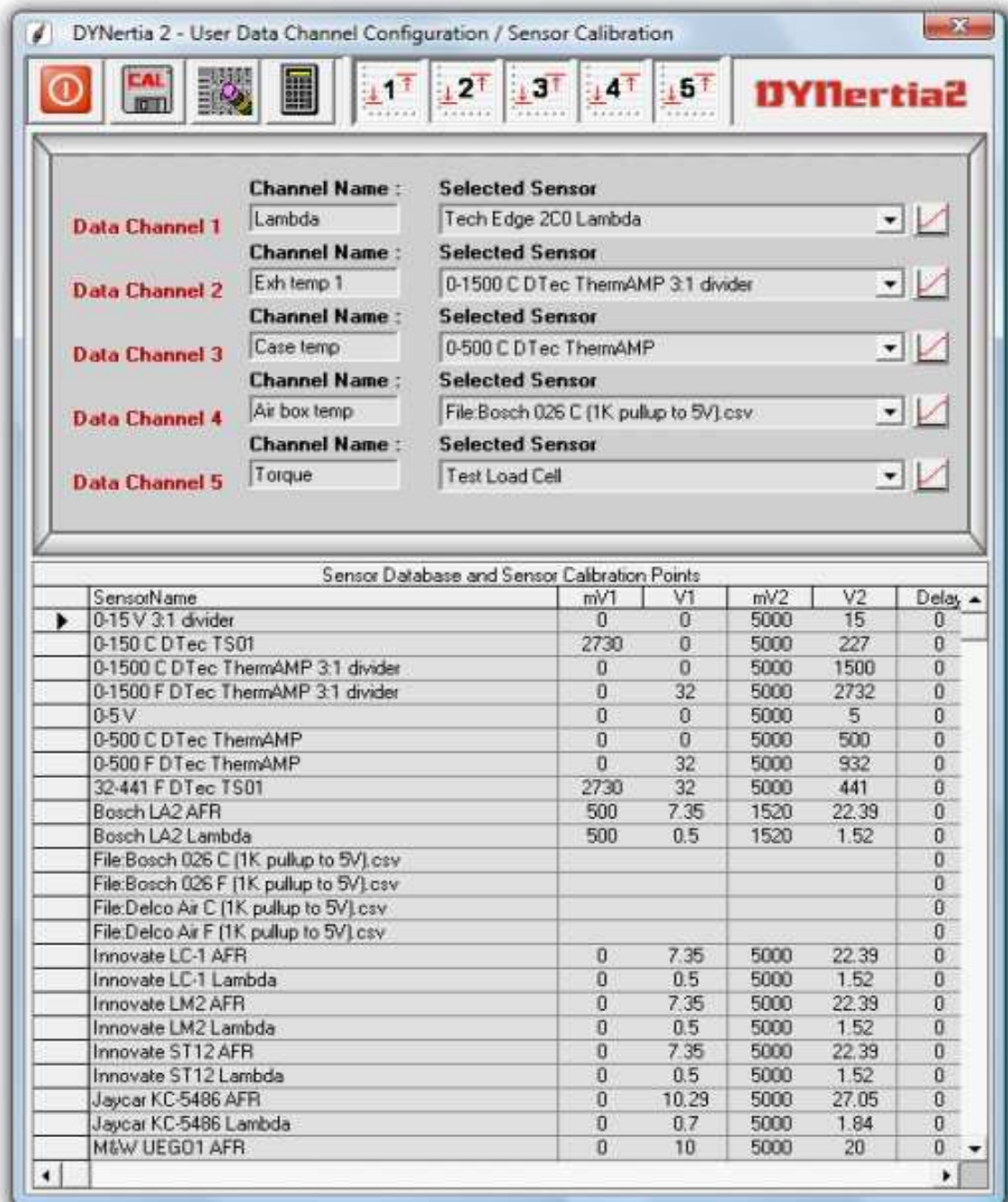
Kuvio 9. RPM-adapteri (Todd 2009, 79).

Dynertia2:n ohjainlaitteessa on viisi kanavaa, joihin voidaan kytkeä viisi analogista anturia (Kuvio 10). Yleisimpien antureiden tiedot löytyvät valmiina ohjelmasta. Anturitietojen syöttäminen onnistuu myös manuaalisesti, kun tiedetään kaksi mitta-arvoa anturin ominaiskäyrästä. Kanava 5 on tarkoitettu pelkästään jarrukuormatiedolle. (Todd 2009, 73.)



Hankittuna on muutamia antureita.

- laajakaista lambda-anturi polttoaineseoksen tarkkailuun
- 4 bar:n MAP-anturi imusarjan paineen mittaamiseen
- 2 kpl Nakutusantureita tunnistamaan moottorin värinöitä
- sääasema korjauskertoimien määrittämiseen (Kuvio 11).



Kuvio 10. Antureiden kalibroitivalikko (Todd 2009, 67).





Kuvio 11. Sääasema ja korjauskertoimet (Weather Station, [viitattu 9.4.2010]).

## 6 ASENTAMINEN, TESTAUS JA KALIBROINTI

Dynamometrin asentaminen aloitettiin rakentamalla sen ympärille oma talli. Tämän jälkeen dynamometri purettiin osiin, jotta saatiin punnittua ja puhdistettua kaikki osat. Lisäksi kaksi laakeria ja kaikki tiivisteet vaihdettiin. Keväällä 2012, kun talli valmistui ja dynamometrin huoltotoimenpiteet olivat suoritettu, aloitettiin Dynertia2-laitteiston ja muiden tarvittavien osien asentaminen.

Pakokaasujen poisto tapahtuu pakokaasuimurin avulla. Pakokaasut kulkeutuvat imurille iv-putkien ja yhden iv-kanavavaimentimen kautta. Pyörrevirtajarrulle asennetaan myöhemmin omat lisäpuhaltimet estämään ylikuumenemista.

Rullien pyörimisnopeus ja kiihtyvyystiето ohjainlaitteelle saadaan optisella anturilla. Anturi asennettiin 3,8 mm etäisyydelle tunnistettavasta pinnasta ja pintaan kiinnitettiin alumiiniteippi. Pyörimisnopeusanturi asennettiin suojaiseen paikkaan (Kuvio 12). Vaikka pyörimiskehä on pienempi kuin ajorullissa, ne ovat samalla akselilla ja pyörimisnopeus on kuitenkin sama.



Kuvio 12. Pyörintänopeusanturi.

Ohjainlaite ja muut tarvikkeet laitettiin seinäkaappiin, jossa ne pysyvät suojassa pölyltä ja muulta ennalta-arvaamattomalta lialta. Käyttäjännite ohjainlaitteelle ja antureille otettiin henkilöauton 12 V:n akulta.

Jarrun kuormitustieto kalibroitiin itse tehdyllä momenttivarrella. Liukuvastukselle syötettiin 5 VDC:n jännite ja aluksi otettiin jännitetieto ylös ilman kuormitusta. Painoa lisättiin 25 kilogrammaa kerrallaan ja jännitteet otettiin ylös. Painoja lisättiin 100 kg asti. Kuviosta 5 nähdään momenttivarsi, johon painoja lisättiin. Painot asetettiin yhden metrin etäisyydelle jarrun pyörimisakselilta. Koska painoja lisäämällä massakeskipiste aina nousi ja kiertyessään painojen etäisyys pyörimisakselilta kasvoi, mitattiin etäisyys joka kerta painonlisäyksen jälkeen. Kuviosta 6 voidaan havaita jännitteen muutoksen olevan suoraan verrannollinen massan muutokseen. Dynertia2 -ohjelman anturikalibrointikohtaan syötettiin kaksi mittauspistettä, joiden perusteella ohjelma piirtää lineaarikäyrän. Ohjelmaan on mahdollista tehdä myös oma käyrästä, jos anturitiedot eivät olisi lineaarisia.

Rullien hitausmomentti laskettiin jakamalla pyörivät osat pieniksi osakokonaisuuksiksi ja laskemalla jokaisen osan massa ja etäisyydet pyörimisakselilta. Näistä saatiin ohjelmalla tarvittava inertia-arvo. Vertailun vuoksi tehtiin kokeellinen mittaus hitausmomentin selvittämiseksi. Näistä saadut tiedot löytyvät kappaleesta 3.2.

Antureista työn aikana asennettiin Innovaten LC-1 -laajakaista lambda-anturi ja imusarjan paineanturi. Molemmista antureista sai mittatulokset tehokuvaajaan. Lisäksi RPM-adaptori kytkettiin toimintaan, jotta kierroslukutiedon mukaan piirtyvä luistokuvaaja auttaisi todentamaan mahdollisen voimansiirtovian tai luiston.

## 7 VANE 4000 VS. BOSCH MITTAUKSET

Vertailun vuoksi tehonmittaus suoritettiin Opel Tigran 1997 1.4 16V autolla Seinäjoen ammattikorkeakoulun BOSCH FLA 206 -mittauslaitteella. Opel ilmoittaa (LIITE 3) kyseisen moottorin huipputehoksi 66 kW/6000 rpm ja korkeimmaksi vääntömomentiksi 125 Nm/4000 rpm. Teholukema kuvastaa moottoritehoa. Vertailumittaukset suoritettiin lähinnä sen vuoksi, jotta nähdään, kuinka paljon laskemalla ja kokeilemalla saadut inertia-arvot eroavat.

Laskemalla VANE 4000:n inertia-arvoksi saatiin  $4 \text{ kgm}^2$  ja kokeellisesti  $5,71 \text{ kgm}^2$ . Tehomittaukset suoritettiin samana päivänä molemmissa paikoissa. Dynertia2 -ohjelmaan asetettiin inertia-arvoksi  $5,7 \text{ kgm}^2$  ja lämpötilakorjaukset olivat käytössä. Inertiavedoissa käytettiin nelosvaihdetta. Maksimitehoksi saatiin 52 kW noin 4500 rpm kohdalla nopeuden ollessa noin 125 km/h ja maksimiväännöksi 121 Nm (Liite 2).

Kun yhdistimme jarrukuorman inertian lisäksi, lukemat hieman kasvoivat. Maksimiteholukemat olivat 53,3 kW ja korkein vääntölukema 125,2 Nm.

Boschin penkissä käytettiin myös nelosvaihdetta ja maksimiteholukemaksi pyöriltä saatiin 50,3 kW / 6250 rpm nopeuden ollessa 174,5 km/h (Liite 1). Maksimiväännöksi saatiin 129,3 Nm / 3720 rpm (Liite 2). Lämpötila ja ilmanpaine- ja lämpötilakorjaukset eivät olleet käytössä.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Laskemalla saatu inertia-arvo  $4,47 \text{ kgm}^2$  eroaa paljon kokeellisesti saadusta arvosta, joka oli  $5,71 \text{ kgm}^2$ . Jarrun momentinmittaus suoritettiin levypainoilla 25 kilogramman välein 100 kilogrammaan asti metrin vipuvarren päästä mitattuna. Jarrun momentinmittauskuvaajasta näkee, että jännite 0–5 VDC:n välillä kasvaa lineaarisesti kuormituksen lisääntyessä.

Tehonmittausvertailussa tuli myös pieniä eroja. VANE 4000:n dynossa saatiin kuitenkin arvolla  $5,7 \text{ kgm}^2$  hieman isompia pyöräteholukemia kuin Boschin FLA 206 -dynossa. VANE 4000 -dynolla tehot lähtevät laskemaan noin 120 km/h nopeuden jälkeen, kun Boschin dynossa teho vielä hieman nousi. Tehokuvaajista katsottuna erot voivat näyttää isoilta, mutta tarkempi tutkiminen osoittaa eron olevan merkityksettömän pieni. VANE 4000:n mittaukset suoritettiin sekä erikseen inertiaa käyttäen että yhdistettynä jarrukuormitukseen. Inertiamittaus antoi 1,22 kW pienemmät tehot verrattuna jarrun kanssa mitattuun teholukemaan. Vääntölukemissa vastaava mittaus antoi 3,8 Nm:a pienemmät vääntölukemat. Jarrun momentin mittaus vaatii vielä hienosäätöä, jotta lukemat näyttävät samaa molemmilla mittaustavoilla. Dynamometrin päivitys onnistui kokonaisuudessaan hyvin ja saatiin varsin kelvollinen säätölaitteisto pienellä budjetilla.

## 9 POHDINTA

### 9.1 Teoreettinen viitekehys

Opinnäytetyön teorian osuudesta löytyy oleelliset asiat työn tekemiseen. Oleellista ei ollut ruveta purkamaan itse tehonmittaukseen käytettäviä laskentakaavoja, koska se ei olisi vaikuttanut työn tuloksiin. Teoriaosuus mahdollisti käytännön toteuttamisen.

Internet on täynnä keskustelua tehonmittauksesta ja siihen vaikuttavista seikoista, joista osa on mielipiteitä ja osa kokemukseräisiä mielipiteitä. Käytössäni oli riittävästi kirjallisuutta ja tutkimustietoa, joista oli apua tiedon suodattamisessa. Osa kirjallisuudesta ja tutkimuksista oli englanniksi, mutta se ei tuottanut ongelmia tiedon ymmärtämisen suhteen.

Pyörrevirtajarrun toimintaan tarkempi perehtyminen olisi vaatinut enemmän sähköteknillistä taustatietoa, joten työssä kerrotaan vain yleisesti sen toiminnasta dynamometrikäytössä. Hitausmomentin laskennalliselle puolelle teoriaa löytyi parhaiten kirjoista ja apua sain myös SeAMK:n fysiikan opettajalta.

Tarkempia mittauksia olisi varmasti voinut tehdä esimerkiksi videokuvaamalla punnuksien tippumista, mistä ajat olisi saanut tarkemmin laskettua. Väkipyöräsysteemi oli myös itse tehty ja siinä oltaisiin voitu kokeilla erilaisia väkipyöriä.

Työ pysyi lähes aikataulussa, vaikka työn viimeistelyssä kului paljon aikaa. Teoriaosuuden sain tehtyä lähes kokonaisuudessaan ennen käytännön testaamista, mikä mielestäni oli oikea järjestys.

## 9.2 Mittaustulokset

Inertiaeroa laskennallisen ja kokeellisen välillä ei voi selittää pelkästään kitkasta johtuvana, koska ero oli sen verran suuri. Mahdollinen syy eroon saattoi olla sekä kitkavoiman voittavassa massassa että käytetyssä väkipyöräsystemissä. Punnuksia lisättiin, kunnes rullat lähtivät pyörimään hitaasti, ilman näkyvää kiihtymistä. Tämä myöskään ei ollut tarkka tapa kitkavoimien selvittämiseksi. Jos kompensatiopaino olisi ollut 565 grammaa suurempi, hitausmomentiksi olisi tullut sama kuin laskemalla se osien perusteella.

Koska VANE:n rullien pieni inertia ei yksin selitä, miksi tehot lähtivät laskemaan yläkierroksilla ja jarrukuormituksen kanssa tehokuvaajan muoto pysyi samana, selvisi että koemittaustilanteessa optinen pyörimisnopeusanturi oli 90 astetta väärässä asennossa. Työn valmistumisen aikataulun johdosta emme ehtineet tekemään vertailuautolla uusia mittauksia. Vaikuttiko tämä pyörimisnopeustiedon epätarkkuuteen varsinkin korkeilla kierroksilla? Muutamien kilowattien tehoerot eivät ole ratkaisevia, pääasia on, että olosuhteista riippumatta koeautolla saatiin samanlaisia tuloksia vedosta toiseen. Tämä asia on mielestäni tärkein, kun säädetään moottorin toimintaa. Tällöin voidaan havaita tehtyjen muutosten vaikutus välittömästi. Kalibrointeja tulee tehdä varmasti jatkossakin jarrun momentin varmistamiseksi.

## 9.3 Kehitysmahdollisuudet

Kun peruslaitteisto on kunnossa ja on opeteltu dynamometrin käyttöä ja tutustuttu ohjelmiston käyttöön, voi ruveta suunnittelemaan jatkotoimenpiteitä. VANE 4000 -dynamometrissä on suhteellisen pienet ja kevyet rullat, joten niiden tilalle tulisi vaihtaa isommat ja raskaammat rullat. Silloin inertiaan perustuvassa tehonmittauksessa rullista tulisi hieman enemmän vastusta ja kiihdytys kestäisi ajallisesti kauemmin. Saadaanko sillä tarkkuutta lisää, jää nähtäväksi. Pyörrevirtajarrun ohjaukseen voisi lisätä potentiometrisäädön lisäksi vastuksia, joita ohjataan vipukatkaisijoilla. Tällöin jarrulle menevä syöttövirta olisi mahdollista rajata ja säätää aina halutuksi.

## LÄHTEET

Oy Tecalemit Ab. 1969. Käyttöohjekirja.

Martyr, A.J. & Plint, M.A. 2007. Engine Testing. Third Edition. Burlington: Butterworth-Heinemann.

Valtanan, E. 2010. Tekniikan taulukkokirja. 18. painos. Mikkeli: Genesis-kirjat Oy.

Koskivuori, S. 2012. <xxx.xxx@xxx.fi> 25.1.2012. Maha LPS3000 käyttöohje. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Mikko Latvala. [Viitattu 25.1.2012].

Sodré, J.R., 2003. Comparison of Engine Power Correction Factors for Varying Atmospheric Conditions. [Verkkójulkaisu]. Brasilia: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Programa de Engenharia Mecânica. [Viitattu 19.1.2012]. Saatavana: <http://www.scielo.br/pdf/jbsms/v25n3/a10v25n3.pdf>.

Lappalainen, O. Ei päiväystä. Tasapaino pyörimisen suhteen. [Verkkosivu]. Opetushallitus: Pihtiputaan lukio. [Viitattu 22.4.2012]. Saatavana: <http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/fysiikka/mekaniikka/tasapaino/pyorimisen/index.html>

Hitausmomentti. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Haukiputaan Lukio. [Viitattu 23.4.2012]. Saatavana: [www.haukipudas.fi/lukiofiles/tiedostot/FyTyot/7hitausmomentti.doc](http://www.haukipudas.fi/lukiofiles/tiedostot/FyTyot/7hitausmomentti.doc)

Inertia dyno design tools. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Australia: Dtec [Viitattu 9.4.2012]. Saatavana: <http://www.dtec.net.au/Downloads/Inertia%20Dyno%20Design%20Tool%20Ver2.xls>

Todd D. 2009. Dynertia users manual. [Verkkosivu]. Australia: Dtec. [Viitattu 10.4.2012]. Saatavana: <http://www.dtec.net.au/Downloads/DYNertia2%20Manual.pdf>



Weather Station. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Australia: Dtec. [Viitattu 9.4.2012]  
Saatavana: <http://www.dtec.net.au/Weather%20Station%20-%20Automatic%20Dyno%20Updating,%20Race%20Track%20Tuning.htm>

Inertia Dyno Design Guide. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Australia: Dtec.  
[Viitattu 10.2.2012]. Saatavana:  
<http://www.dtec.net.au/Inertia%20Dyno%20Design%20Guide.htm>

Gregg, R. <xxx.xxx@xxx.co.uk> 20.4.2012. Eddy current brake specification.  
[Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Mikko Latvala. [Viitattu 23.4.2012]

Bauer H. 2003. Autoteknillinen taskukirja. 6.painos. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Tehomittaus. 2002. [Verkkosivu]. Helsinki: Oy RVS Technology Ltd. [Viitattu 24.4.2012]. Saatavana: <http://www.rvs-tec.com/Finnish/Vaasa-rap3004.pdf>

## LIITTEET

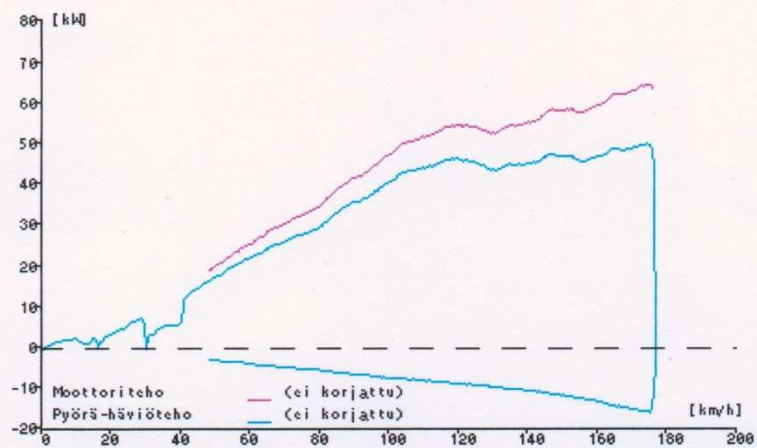
## LIITE 1 Pyörätehokuvaaja SEAMK

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

18.04.2012  
 SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio  
 Törnäväntie 26  
 60200 SEINÄJOKI  
 puh 020-1245300

Moottoriteho #:13

Pnim. = 66 kW	n tod. = 6000 1/min	v max = 180 km/h
Pmoot. = 62.8 kW	bei n = 6030 1/min	v = 168.5 km/h
Ptol. = -4.9 %	Ppyörä = 49.0 kW	Phäviö = 13.8 kW
Pmax = 65.0 kW	bei v = 174.5 km/h	n = 6250 1/min
Ptol. = -1.6 %	Ppyörä = 50.3 kW	Phäviö = 14.7 kW
Lämp. = 12 C	Paine = *** hPa	Ei korjausta
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
4-taht.toisio		



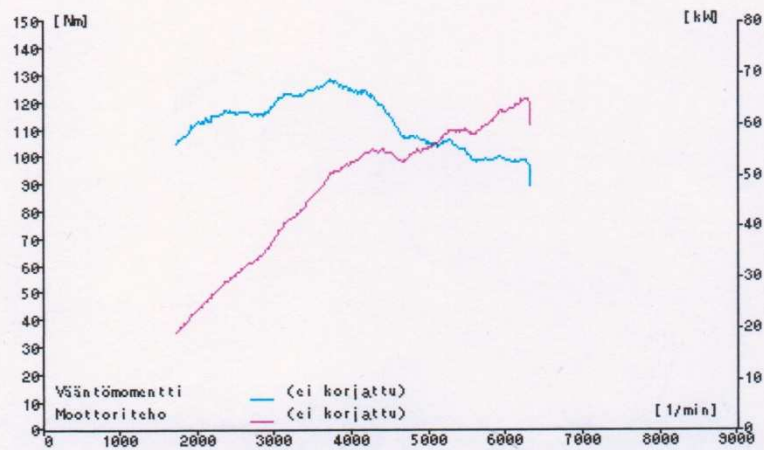
## LIITE 2 Laskennallinen teho SEAMK

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

18.04.2012  
 SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio  
 Törnäväntie 26  
 60200 SEINÄJOKI  
 puh 020-1245300

### Vääntömomentti

Mmax = 129.3 Nm	bei n = 3720 1/min	v = 104.0 km/h
Prim. = 66 kW	n tod. = 6000 1/min	v max = 180 km/h
Pmoot. = 62.8 kW	bei n = 6030 1/min	v = 168.5 km/h
Ptol. = -4.9 %	Ppyöra = 49.0 kW	Phäviö = 13.8 kW
Pmax = 65.0 kW	bei v = 174.5 km/h	n = 6250 1/min
Ptol. = -1.6 %	Ppyöra = 50.3 kW	Phäviö = 14.7 kW
Lämp. = 12 C	Paine = *** hPa	Ei korjausta
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
4-taht.toisio		



LIITE 3 tehonmittaus DYNERTIA2



Printed : 24/04/12 19:57:07

**Trace Set 1 : tиграа 001**  
**Max Power : 52.03969 kW**  
 Correction - DIN 70020  
 Run Date : 18/04/12  
 Operating Mode : Inertia Mode

**Max Torque : 121.3734 Nm**  
 Correction Factor : 0.9826525 %  
 Run Time : 18:23:00

Max RPM : 6487.049 RPM  
 Temp : 1 C  
 Run Duration : 8.639305 Secs

Max Speed : 178.2829 KPH  
 RH : 57 %  
 Gear : Ratio 1

**Trace Set Color**  
 Cut In Speed : 2000  
 Baro Press. : 997 mB  
 Ratio : 1.851333:1

**Trace Set 3 : x14xe-tигра**  
**Max Power : 53.26784 kW**  
 Correction - DIN 70020  
 Run Date : 18/04/12  
 Operating Mode : Brake and Inertia Mode

**Max Torque : 125.1813 Nm**  
 Correction Factor : 0.9889289 %  
 Run Time : 19:37:17

Max RPM : 5204.731 RPM  
 Temp : 4 C  
 Run Duration : 7.076349 Secs

Max Speed : 145.7457 KPH  
 RH : 48 %  
 Gear : Ratio 1

**Trace Set Color**  
 Cut In Speed : 1000  
 Baro Press. : 998 mB  
 Ratio : 1.816978:1

## LIITE 4 TIS2000

TIS 2000 - Huoltokortit (00019598)

Tiedosto Sovellukset Esitunnus Konfigurointi Näytä Muokkaa Ohje

**Tekniset tiedot**

**Moottorin arvot**

Moottori	X 14 XE	C 16 XE	X 16 XE
Sylinteriluku / sijoitus	4 / rivissä		
Venttiilien lukumäärä	16		
Iskutilavuus	1389	1589	1589
Porauksen halkaisija	77,6	79	79
Iskunpituus	73,4	81,5	81,5
Teho	66 / 6000	80 / 6000	78 / 6000
Vääntömomentti	125 / 4000	150 / 3800	148 / 4000
Puristusuhde	10,5 : 1		
Pakokaasunormi	94/12/EC tai EC96, D3, D4	94/12/EC tai EC96	94/12/EC tai EC96, D3, D4

**Päätiedot (jatkoa)**

Tiedosto 1/1

Sivu 1/2

Välins

Start Uusi palvelu AM Verosot Työnäkökoke... Työnäköys... Tulehysely... Varsosmynt... Copyright 201... http://jpmex... EPC - |Renode TIS 2000 Hu... Start

Tiedot 2x

Vihje

Muutingsano

Aidat luettelo

Palvelitiko

Mene

Takaisin

Seuraava

TIS JOPEL Opel, Tigra, 1997, X 14 XE, 5MT

Opel Tigra, 1997, X 14 XE, 5MT