

Opinnäytetyö (AMK)

Auto ja kuljetustekniikka

Käyttöpainotteinen

2011

Sami Heikkinen

TOYOTA YARIS -SÄHKÖAUTO- PROJEKTIN ALKUMITTAUKSET JA MALLILASKELMAT



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Auto ja kuljetustekniikka | Käyttöpainotteinen

Toukokuu 2011 | Sivumäärä 42

Ohjaaja: Markku Ikonen

Sami Heikkinen

TOYOTA YARIS -SÄHKÖAUTOPROJEKTIN ALKUMITTAUKSET JA MALLILASKELMAT

Opinnäytetyöni tavoite oli tehdä kahden opiskelijatoverin kanssa suunnitelma sähköautokonversiosta koulullemme. Suunnitelman kohteeksi valittiin koululla jo olemassa oleva auto, Toyota Yaris, joka olisi käytettävissä tutkimustyöhön. Näin ollen uutta autoa ei tarvitsisi konversiota varten hankkia. Lisäksi suunnitelmien tekemistä helpottaa, kun on olemassa konkreettinen auto ja siihen perustuvat lähtötiedot, johon suunnitelmat on mahdollista toteuttaa.

Omaan suunnitteluvastuuseeni kuului Toyota Yariksellä tehdyt lähtötason mittaukset ja niihin perustuvat mallilaskelmat. Suunnittelutyönä olen lisäksi laatinut suunnitelman mahdollisesta lämmitys- ja ilmastointijärjestelmästä sähköautolle.

Suunnittelun kannalta tärkeitä tietoja lähtötason mittauksissa olivat auton alkuperäiset arvot energian kulutuksesta ja suorituskyvystä. Suorituskykyä ja energian kulutusta mitattiin Turun Ammattikorkeakoulun autolaboratoriossa. Käytännön polttoainekulutusta mitattiin maantieajossa. Jotta tulokset olisivat helposti käsiteltävissä, on tuloksista laadittu kuvaajia ja taulukoita. Tavoitteena oli tehdä mittaukset siten, että projektin muista osa-alueista vastuussa olevien opiskelutoverien olisi mahdollista tehdä omiin suunnitteluosioihinsa mitoitusta tässä työssä julkaistaviin lähtötasotuloksiin perustuen.

Toisena kokonaisuutena päättötyössäni oli suunnitella sähköautoon soveltuva lämmitysjärjestelmä. Sähköauton yhtenä ongelmana Suomen leveysasteilla on riittävän lämmityksen toteuttaminen. Lisäksi kesällä laitteisto ja kuljettaja saattavat tarvita viilennystä, joten suunnitelmassani autoon tulisi käyttöön yhdistetty lämmitys- ja viilennysjärjestelmä. Yksi tavoite järjestelmän suunnittelussa on se, että se olisi rakennettavissa Turun Ammattikorkeakoululla mahdolliseen sähköautokonversioon. Näillä reunaehdoilla päädyin suunnittelemaan auton ilmastointilaitteen muuttamisen sähkökäyttöiseksi lämpöpumpuksi.

ASIASANAT:

Sähköautot
Hybridiautot
Lämmitys ja viilennys

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering | Practically Oriented

May | Total number of pages 42

Instructor: Markku Ikonen

Sami Heikkinen

PROJECT ELECTRIC TOYOTA YARIS – INITIAL MEASUREMENTS AND SAMPLE CALCULATIONS

The goal of my bachelor's thesis was to make a plan about a conversion of an electric vehicle. The plan is made for our school and I did it with my two schoolmates. The target vehicle of the plan is a Toyota Yaris which already exists and will be able to be used in research work so there is no necessity to purchase a new car. Besides it makes engineering easier, when there is a concrete car and information about the car to do engineering for.

My own engineering responsibility consists of the initial measurements and the sample calculations for the Toyota Yaris. I compiled also a plan for a possible heating and air conditioning system for an electric vehicle.

Important technical information, for initial engineering measurements, was the car's original values of energy consumption and performance. Performance and energy consumption measurements were performed in the autolaboratory of Turku University of Applied Sciences. Practical fuel consumption measurements we performed during road driving. From the results, different kinds of graphs and tables were prepared in order to make it easy to utilise the results. One target during the measurements was that the schoolmates, responsible for the other parts of the project, could use these results in their own engineering sectors.

Another section in my bachelor's thesis was to engineer a heating system for electric vehicles. One problem in our latitudes is to create heating that is powerful enough. Besides in summer the car and the driver may need air condition so the mission of my work was to engineer a combined heating and cooling system. One target during the engineering was that the system would be able to be constructed in Turku University of Applied Sciences for the possible electric vehicle conversion. With these requisites I ended up to engineer an electric driven heat pump for the vehicle.

KEYWORDS:

Electric vehicles
Hybrid cars
Heating and cooling

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 AUTON SUORITUSKYKY	7
2.1 Dynaamisen tehon mittaus	7
2.2 Kiihtyvyys	10
3 AJOTILAPIIRROS	12
4 VETOVOIMA MÄENNOUSUKYVYN MUKAAN	16
5 ENERGIAN TARVE	18
5.1 Polttoaineen kulutus maantieajossa	18
5.2 Tank to wheel -hyötysuhde	21
5.3 Laskennallinen energian tarve	27
5.3.1 Maantieajon energian tarve	27
5.3.2 EU -syklin mukaisen ajon energian tarve	29
5.3.3 Jarrutusenergian talteen keräys	31
6 AUTON LÄMMITYS JA JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ	34
6.1 Lämmityskäyttö	37
6.2 Jäähdytyskäyttö	40
7 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	42

KUVAT

Kuva 1. Toyota Yaris alustadynamometrissa	7
Kuva 2. Bosch FLA 203 Alustadynamometri	9
Kuva 3. Flowtronic mittalaite	19
Kuva 4. Toyota Yaris alustadynamometrissa	23
Kuva 5. Kaaviokuva lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmästä	36
Kuva 6. Denso tasavirtakompressori	39

KUVIOT

Kuvio 1. Dynaaminen teho ja vääntökuvaaja	10
Kuvio 2. Kiihtyvyys	11
Kuvio 3. Ajotilapiirros	15
Kuvio 4. Staattinen pyöräteho	22
Kuvio 5. Polttoaineen tilavuusvirta	25
Kuvio 6. Auton ominaiskulutus	26
Kuvio 7. Auton kokonaishyötysuhde (Tank to Wheel)	26

Kuvio 8. Eurooppalainen norminmukainen pakokaasutestisykli	32
Kuvio 9. R134a kylmäaineen paine-entalpia tilapiirros	38

TAULUKOT

Taulukko 1. Toyota Yariksen kokonaisvälityssuhteet	12
Taulukko 2. Toyota Yariksen massat	13
Taulukko 3. Toyota Yaris ilmanvastus lähtöarvot	13
Taulukko 4. Polttoaineen kulutus maantieajossa	19
Taulukko 5. Energian tarve maantieajossa	29

KÄYTETYT LYHENTEET, SANASTO

Tank to wheel	Käytetään kuvaamaan energiaketjua auton energiavarastosta auton pyörille.
---------------	---

1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä on tarkoituksena suunnitella olemassa olevan auton muuttamista sähkökäyttöiseksi autoksi. Suunnittelutyötä on jaettu kolmelle opiskelijalle, jotka jokainen tekevät omasta osastaan päättötyön. Minun osaani kuuluivat lähtötason mittaukset ja mallilaskelmat. Lisäksi olen tehnyt yhden suunnitelman mahdollisesta lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmästä. Työ on tehty Turun Ammattikorkeakoululle ja suunnittelun kohteena on koululla jo olemassa oleva auto, Toyota Yaris.

Omassa osuudessani on tarkoitus selvittää auton lähtötaso. Lähtötason selvittäminen on tärkeää, jotta tiedämme mikä on auton tehontarve. Näillä lähtötason tiedoilla on tulevan sähköjärjestelmän mitoittaminen helpompaa. Lisäksi toimintamatkaa suunniteltaessa on helpompi suunnitella energia-varaston kokoa, kun tiedetään auton energian tarve. Lähtötason selvittäminen on myös sen vuoksi tärkeää, että jos auton muutos sähköautoksi joskus tapahtuu, voidaan todeta onko auton hyötysuhteessa tapahtunut odotettua muutosta.

Toisena osuutena päättötyössäni olen tehnyt suunnitelman mahdollisesta lämmitys- ja viilennysjärjestelmästä. Samoin kuin auton valinnassa, olen pyrkinyt siihen että lämmitys- ja viilennysjärjestelmä olisi mahdollista toteuttaa Turun Ammattikorkeakoulun tiloissa ja välineillä. Tämän vuoksi suunnittelemani lämmitysjärjestelmä on nykyisellä autoissa käytettävällä kylmäaineella toimiva lämpöpumppu. Järjestelmä olisi yksinkertainen ja kevyt henkilöautossa käytettäväksi eikä se tarvitsisi mukaansa perinteistä polttoainetta vaan pystyisi toimimaan sähköllä. Samalla järjestelmällä pystyisi myös huolehtimaan sähkötekniikan lämmityksestä ja jäähdytyksestä.

2 AUTON SUORITUSKYKY

Aloitin lähtötason mittaukset tekemällä autolle suorituskykymittaukset. Suorituskykyyn liittyy dynaamisen tehon mittaus ja kiihtyvyyden mittaus 0-100 km/h.

2.1 Dynaamisen tehon mittaus

Dynaaminen tehonmittaus tehtiin Turun Ammattikorkeakoulun autolaboratorion alustadynamometrillä. Alustadynamometri on Bosch FLA 203 jolla voidaan tehdä dynaamisen tehon mittaus inertiamittauksena. Tämä tarkoittaa että autolla kiihdytetään vakiota hitausmomenttia vastaan moottorin koko kierrosalueella täydellä teholla. Dynamometri on varustettu myös pyörrevirtajarrulla, mutta tätä ominaisuutta käsitellään myöhempanä.



Kuva 1. Toyota Yaris alustadynamometrissa

Kiihdytyksen aikana dynamometri jakaa kiihdytyksen mittauspisteisiin tasaisin aikavälein ja jokaiseen mittauspisteeseen se laskee tehon kautta

vääntömomentin jolla ajorullia on kiihdytetty edellisestä mittauspisteestä. Alustadynamometri mittaa jokaista mittauspistettä vastaavan kierrosluvun moottorilta ja ajorullilta. Dynamometrin ajorullien ja ajoneuvon moottorin kierrosnopeuden suhteesta dynamometri voi laskea voimansiirron kokonaisvälityssuhteen. Kun pyörältä saatava vääntömomentti jaetaan kokonaisvälityssuhteella, on osamääränä moottorin kampiakselilta saatava vääntömomentti.

Kiihdytyksen lopuksi, autosta kytketään vaihde vapaalle ja pyörien sekä rullien annetaan rullata vapaasti pysähtymiseen asti. Tästä hidastuvuudesta dynamometri laskee häviötehon samalla tavalla kuin pyörältä saatavan tehon. Kun dynamometri lisää häviötehon mitattuun pyörätehoon saadaan selville kampiakseliteho ja sitä vastaava vääntömomentti.

Kun tiedetään teho ja moottorin kierrosnopeus lasketaan vääntömomentti kaavalla (1)

$$M = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

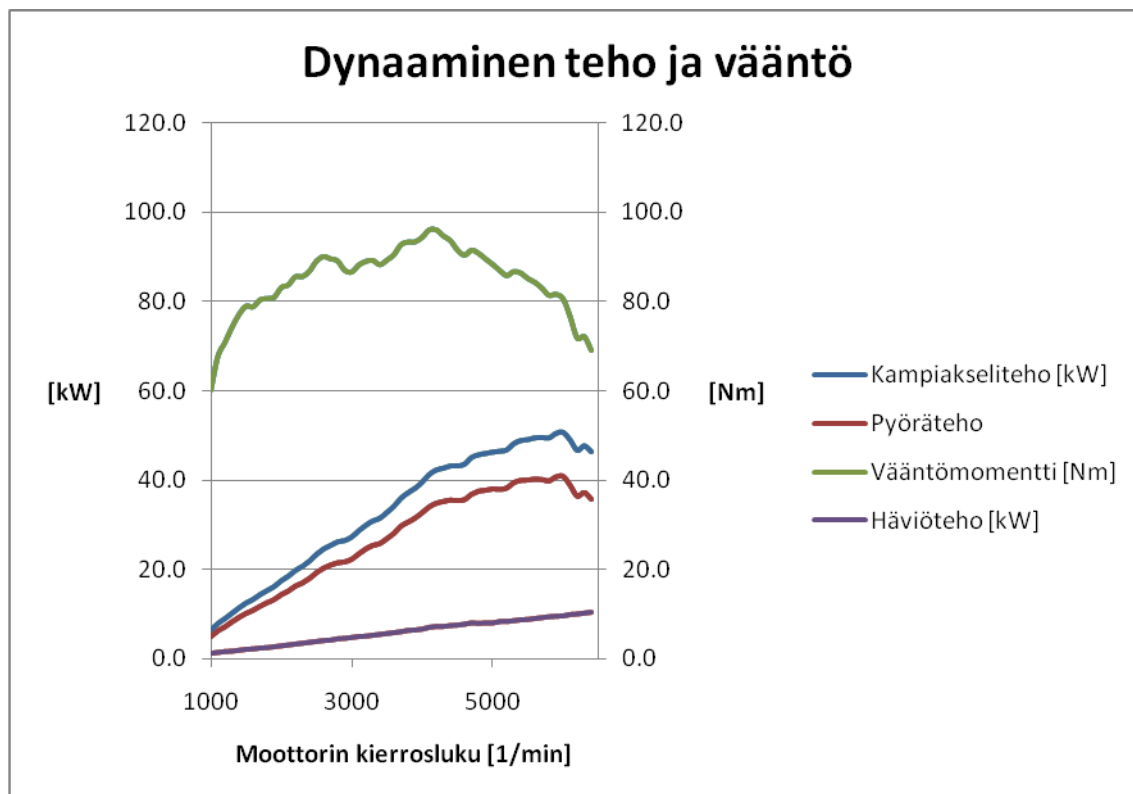
M = vääntömomentti (1)
P = teho
n = moottorin kierrosnopeus

(Bosch 2003, 458)



Kuva 2. Bosch FLA 203 -alustadynamometri

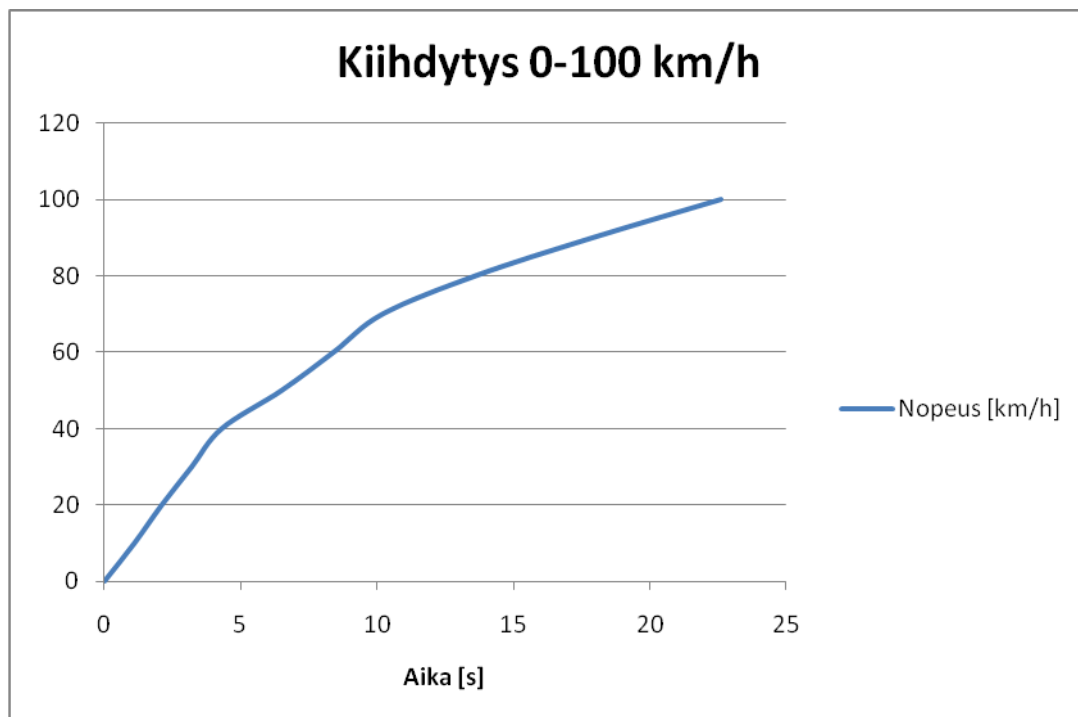
Seuraavassa kuvaajassa on esitettyä Toyota Yariksen dynaaminen teho ja vääntömomentti moottorin kierrosnopeuden funktiona. Kuvaajassa on esitettyä pyörältä mitattu teho, pyörältä mitattu häviöteho ja niiden summa eli kampiakseliteho. Kampiakselitehosta on laskettu moottorin tuottama vääntömomentti.



Kuvio 1. Dynaaminen teho ja vääntökuvaaja

2.2 Kiihtyvyys

Suorituskykymittaukseen sisällytettiin myös kiihdytysmittaus nolosta sataan kilometriä tunnissa. Aika mitattiin sekuntikellolla ja nopeus autoon kiinnitetyllä ja kalibroidulla Flowtronic-laitteistolla. Seuraavassa kuvaajassa on Toyota Yariksen kiihtyvyys kuormattuna ajan funktiona. Kiihdytysmittaus tehtiin kuormatulla autolla koska ajatuksena olisi että itse voimanlähteiden eroa olisi helpompi vertailla kun tulevan sähköauton massa on varmasti suurempi kuin nykyisen Toyota Yariksen. Mittausten aikana Yariksessa oli kyydissä 377 kg kuormaa.



Kuvio 2. Kiihtyvyys

3 AJOTILAPIIRROS

Ajotilapiirroksen tarkoituksena on esittää ajoneuvon ajovastuksia ja pyörältä saatavaa vetovoimaa eri vaihteilla. Tulevassa sähköautokonversiossa tavoitteena on pitää pyörältä saatava vetovoima suunnilleen samana.

Ajotilapiirros helpottaa suunnittelutyötä, koska silloin voidaan ottaa huomioon mahdollinen voimansiirron välityssuhde ja sen vaikutukset vetovoimaan. Sähkömoottoria voidaan käyttää esimerkiksi huomattavasti suuremmalla pyörintänopeudella jolloin sen tuottama vääntömomentti ei ole suoraan verrattavissa polttomoottorin tuottamaan vääntömomenttiin. Ajotilapiirroksen kautta voidaan näiden kahden eri tekniikan tuottamaa vetovoimaa vertailla.

Myöhempanä kuvaajassa on esitettyä Toyota Yariksen ajotilapiirros. Piirroksessa on käytetty vetovoimien laskemiseen dynaamisen tehonmittauksen tuloksia. Lähtöarvoina käytin dynamometrissa mitattuja vääntömomentin arvoja ja eri vaihteiden mitattuja välityssuhteita. Välityssuhteet määritettiin mittaamalla ajonopeus ja moottorin pyörintänopeus. Tämän jälkeen renkaan dynaamisen vierintämatkan perusteella laskettiin välityssuhde. Renkaina mittauksissa oli Nokian Hakka i3 175/65 R 14. Laskuissa käytettiin 1781 mm vierintämatkaa (STRO rengasnormit 2011). Ajonopeuden ja moottorin kierrosluvun perusteella määritetyt kokonaisvälityssuhteet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Toyota Yariksen kokonaisvälityssuhteet

Välityssuhteet			
	Ajonopeus [km/h]	Moottorin kierrosluku [1/min]	Kokonaisvälityssuhde
Vaihte 1	15,6	2260	15,5
Vaihte 2	21,4	1670	8,3
Vaihte 3	34,0	1810	5,7
Vaihte 4	42,0	1740	4,4
Vaihte 5	52,0	1780	3,7

Auton ajovastukset on määritetty teoreettisesti laskemalla. Tunnettuja lähtöarvoja olivat auton mitattu massa, auton otsapinta-ala ja ilmanvastuskerroin. Tässä tapauksessa laskettiin ajovastukset kuormatulle autolle. Vierintävastuskertoimenä on laskuissa käytetty 0,01, joka vastaa suuruusluokaltaan asfalttia ajoalustana.

Taulukko 2. Toyota Yariksen massat

Ajoneuvon punnitus			
	Etuakseli [kg]	Taka-akseli [kg]	Yht. [kg]
Auton paino tyhjänä	558	364	922
Lastattu 5 henkilöä	666	633	1299

Taulukko 3. Toyota Yaris ilmanvastus lähtöarvot (Toyota GB 2011)

Ilmanvastus lähtöarvot	
Otsapinta-ala	2,12m ²
Ilmanvastuskerroin	0,3

Ajovastus (2) on ilmanvastuksen ja vierintävastuksen summa. Ilmanvastus on laskettu kaavasta (3) ja vierintävastus kaavasta (4).

$$F_{tot} = F_i + F_r$$

$$F_{tot} = \text{ajovastus}$$

$$F_i = \text{ilmanvastus}$$

$$F_r = \text{vierintävastus}$$

(2)

$$F_i = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_d$$

ρ = ilman tiheys

v = ajonopeus

A = auton poikkipinta - ala

C = auton ilmanvastuskerroin

(3)

$$F_r = f_r \cdot G$$

f_r = vierintävastuskerroin

G = ajoneuvon paino

(4)

(Ikonen 2010)

Teoreettinen vetovoima tarkoittaa sitä vetovoimaa joka syntyisi silloin kun, moottori tuottaisi kaikilla ajonopeuksilla suurinta mahdollista tehoa. Tämä vaatisi kuitenkin portaattomasti muuttuvan välityssuhteen. Ajotilapiirrokseen on piirretty se vetovoima joka silloin olisi teoreettisesti käytettävissä. Teoreettisten ja todellisten vetovoimien laskennassa on voimansiirron hyötysuhteeksi arvioitu 90 %. Teoreettinen maksimi vetovoima on laskettu kaavalla (5). Todelliset vetovoimat kullakin vaihteella on laskettu kaavalla (6).

$$F_v = \frac{\eta \cdot P_e}{v}$$

F_v = maksimi vetovoima

η = voimansiirron hyötysuhde

P_e = moottorin kampiakseliteho

v = ajonopeus

(5)

$$F_k = \frac{\eta \cdot M \cdot i_k}{r_{dyn}}$$

F_k = vetovoima vaihteella k

η = voimansiirron hyötysuhde

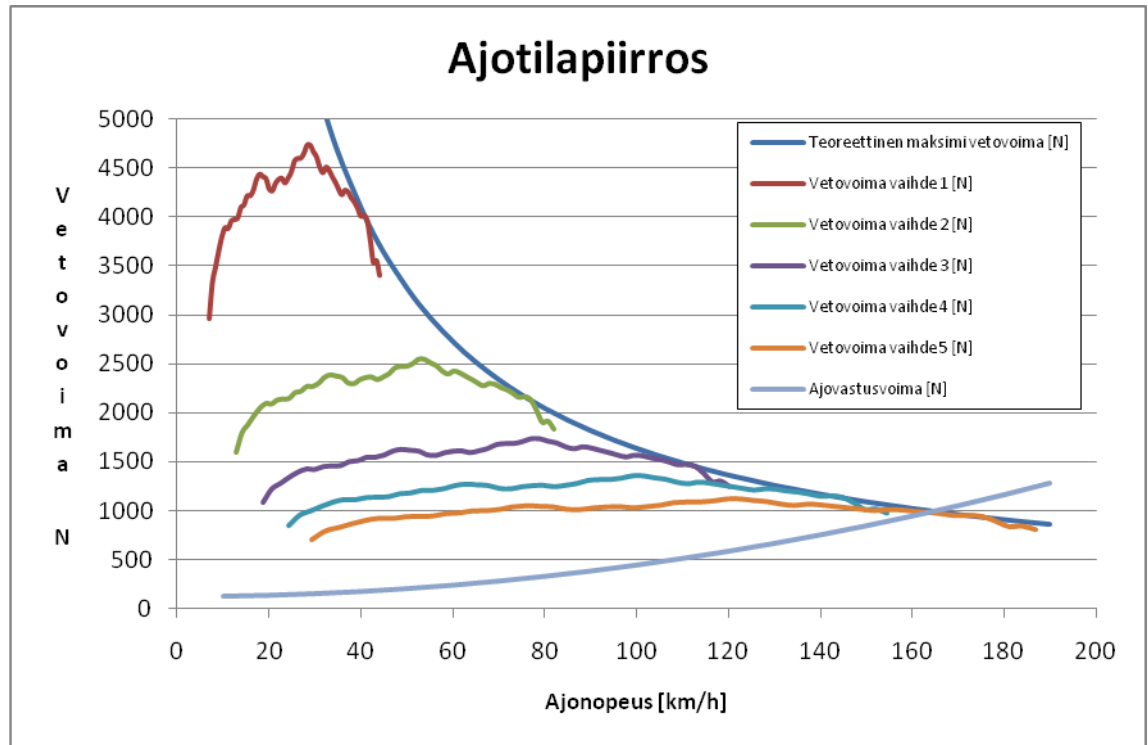
M = moottorin vääntömomentti

i_k = kokonaisvälityssuhde

r_{dyn} = renkaan dynaaminen vierintäsäde

(6)

(Ikonen 2010)



Kuvio 3. Ajotilapiirros

Ajotilapiirroksista voidaan päätellä esimerkiksi, että ajovastusten noustessa suuremmaksi kuin vetovoima, ei autoa voi kiihdyttää sen pisteen yli. Näin ollen auton teoreettinen huippunopeus asettuu noin 160 km/h paikkeille, joka on lähellä samaa nopeutta kuin valmistajan ilmoittama huippunopeus.

4 VETOVOIMA MÄENNOUSUKYVYN MUKAAN

Polttomoottorikäytössä voimansiirron suurin välityssuhde voidaan mitoittaa esimerkiksi mäennousukyvyyn mukaan. Kun käytetään riittävän suurta välityssuhdetta, rajoittaa ajoneuvon mäennousukykyä ainoastaan pyörien pitävyys. Tällä ajattelutavalla voidaan määrittää kuinka suuri vetovoima renkailta pitäisi saada jotta ei tule käytön aikana vastaan tilannetta että auto ei jaksaisi lähteä liikkeelle.

Ajoneuvon maksimi mäennousukyky voidaan laskea kaavalla (7). Lähtötiedoista tunnetaan ajoneuvon massa (B), alustan kitkakerroin (μ) (käytetään pitävää alustaa jonka kitkakerroin on 1), akseliväli (A_v) (2,46 m), vierintävastuskerroin (f_r) (0,01) ja etuakselimassa (E_{ap}). Tulevan sähköauton painopisteen korkeus täytyy arvioida ja tässä laskelmassa käytetään 0,7 m joka on tavanomaista aavistuksen korkeampi painopisteen sijainti. Lasketaan mäennousukyky kuormatulle autolle joka on painoltaan lähempänä tulevaa sähköautoa.

$$\tan \alpha_{\max} = \frac{\frac{E_{ap}}{B} \cdot \mu - f_r}{1 + \frac{h \cdot \mu}{A_v}} \quad (7)$$

(Viitasalo 2010)

Tästä kaavasta laskemalla saadaan maksimi mäennousukulmaksi 21 astetta. Tätä vastaava vetovoima eli nousuvastus saadaan laskemalla se kaavasta (8).

$$F_m = B \cdot \sin \alpha$$

F_m = nousuvastus
 B = ajoneuvon paino
 α = mäen nousukulma

(8)

(Viitasalo 2010)

Kaavasta laskemalla saamme nousuvastusta vastaavan vetovoiman 4567 N, joka on se vetovoima jonka moottorin täytyy saada aikaiseksi pyörälle jotta auto jaksaa lähteä liikkeelle. Tätä suurempaa vetovoimaa normaalissa ajossa tuskin tarvitaan, sillä suuremmalla vetovoimalla pyöriltä loppuu pito ja pyörät alkavat pyöriä tyhjää pitävälläkin ajoalustalla.

Kun tarkastelemme edellisessä osassa olevaa ajotilapiirrosta havaitsemme, että auton nykyinen maksimi vetovoima ensimmäisellä vaihteella on n. 4600 N. Tästä voimme päätellä että maksimivetovoiman laskenta mäennousukyvyin mukaan on hyvä lähtökohta mitoittaa tarvittavaa välityssuhdetta ja moottorin vääntömomenttia. Jos suunnittelussa olisimme niin pitkällä, että tietäisimme, mikä moottori on tulossa ajoneuvoon, niin voisimme puhua muuntosuhteesta. Muuntosuhteen avulla voidaan määrittää voimansiirron arvoja kun tiedetään moottorin ominaisuudet, auton mitat sekä massat.

Yaroksen pyörien dynaaminen vierintäsäde on n. 283 mm (STRO rengasnormit 2011). Jos tulevaa sähkömoottoria aiotaan käyttää suoravetoisena ja halutaan pitää mäennousukyky ennallaan, saadaan tarvittava moottorin vääntömomentti kertomalla vetovoima pyörän vierintäsäteellä. Tällöin tarvittava vääntömomentti on n.1300 Nm. Käytännössä suoravetoisia moottoreita käytettäessä tulee kysymykseen molemmille etupyörille omat moottorit joten saatu vääntömomentti täytyy jakaa kahdella. Tällöin tarvittava vääntömomentti olisi n. 650 Nm per moottori. Tämän suuruinen vääntömomentti täytyy siis saada aikaiseksi moottorin kierrosnopeudella nolla.

5 ENERGIAN TARVE

Energian tarpeella tarkoitan tässä osiossa nykyisen ja tulevan ajomoottorin ottamaa energiaa jolla autoa liikutetaan eteenpäin ja käytetään tarvittavia apulaitteita. Työn tarkoituksena oli selvittää kuinka paljon auto lähtötilanteessa tarvitsee polttoainetta ja kuinka suuri on auton tank to wheel -hyötysuhde. Lisäksi teimme käytännön maantieajoa samalla mitaten polttoaineen kulutusta. Saaduista lähtöarvoista on laskettu tulevan sähkömoottorin energian tarvetta ottaen huomioon arvioidut voimansiirron hyötysuhteet. Tätä tietoa tarvitaan akuston mitoitukseen ja ohjainlaitteiden suunnitteluun.

5.1 Polttoaineen kulutus maantieajossa

Polttoaineen kulutusta mitattiin Flowtronic -mittalaitteella. Mittalaite asennetaan auton polttoaineletkuihin ja tässä tapauksessa vain tuloletkuun koska Yariksessä ei ole konehuoneessa kuin tuloletku, koska Yariksen polttoainejärjestelmään ei kuulu polttoaineen paluuvirtausta, joka pitäisi moottorille virtaavasta polttoaineesta vähentää, jos sellainen olisi. Lisäksi takapyörään asennettiin pyörimistunnistin joka kalibroitiin ajamalla 1000m matka ja ohjainlaite laski siihen tarvittavan kierrosmäärän. Tunnistin täytyy asentaa vapaasti pyörivään pyörään ja se tuetaan auton koriin.

Ohjainlaite oli auton sisätiloissa ja näytöltä pystyi lukemaan polttoaineen kulutusta joko ajan tai matkan suhteen. Tässä tapauksessa järkevintä oli ottaa tuloksia matkan suhteen.



Kuva 3. Flowtronic mittalaite

Maantieajoa ajettiin mahdollisimman normaalisti ilman turhia jarrutuksia ja kiihdytyksiä. Auto oli kuormattu 377 kg mittausten aikana jotta hyötysuhdelaskelmissa voitaisiin arvioida mikä tulevan sähkötekniikan energian tarve olisi. Mittauksia tehtiin ajonopeuksilla 60-, 80-, 100- ja 120 km/h. Mittaukset tehtiin vain yhden kerran ja yhteen ajosuuntaan. Mittaustulokset on listattu seuraavaan taulukkoon.

Taulukko 4. Polttoaineen kulutus maantieajossa

Flowtronic mittaukset				
Ajonopeus	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
1. mittaus [l/100km]	6,47	5,48	7,38	8,31
2. mittaus [l/100km]	4,78	5,26	6,75	7,45
3. mittaus [l/100km]	4,29	4,90	6,47	6,63
4. mittaus [l/100km]	4,41	5,48	6,75	6,99
5. mittaus [l/100km]	4,64	5,16	7,11	7,45

(jatkuu)

Taulukko 4 (jatkuu).

6. mittaus [l/100km]	3,74	5,68	7,38	8,58
7. mittaus [l/100km]	4,27	4,78	7,31	9,87
8. mittaus [l/100km]	5,48	4,75	7,24	9,40
9. mittaus [l/100km]	3,89	5,30	7,18	9,08
10. mittaus [l/100km]	4,54	6,12	7,11	8,49
11. mittaus [l/100km]	4,22	6,52	5,52	8,40
12. mittaus [l/100km]	4,70	5,68	5,56	8,49
13. mittaus [l/100km]	4,09	5,56	5,98	8,58
14. mittaus [l/100km]	3,96	5,52	6,52	7,30
15. mittaus [l/100km]	4,24	4,61	7,05	7,24
16. mittaus [l/100km]	5,44	5,09	7,11	7,11
17. mittaus [l/100km]	5,80	6,32	6,69	7,38
18. mittaus [l/100km]	5,48	6,81	6,86	7,74
19. mittaus [l/100km]	4,90	7,18	7,52	6,92
20. mittaus [l/100km]	6,69	7,11	7,45	7,24
21. mittaus [l/100km]	7,59	6,99	7,38	8,06
22. mittaus [l/100km]	5,76	6,03	7,31	9,18
23. mittaus [l/100km]		5,76	7,45	7,90
24. mittaus [l/100km]		5,56	7,74	7,14
25. mittaus [l/100km]		4,20	7,97	7,59
26. mittaus [l/100km]		4,41		7,74
27. mittaus [l/100km]		4,96		7,31
28. mittaus [l/100km]				7,82
29. mittaus [l/100km]				8,06
30. mittaus [l/100km]				8,22
31. mittaus [l/100km]				8,31
32. mittaus [l/100km]				8,40
Keskiarvo	4,97	5,60	6,99	7,95

Polttoaineen kulutuslukemien suuruusluokka on oikea. Poikkeus on että, 120 km/h kulutus on suhteessa liian pieni verrattuna 100 km/h kulutukseen sillä ilmanvastuksesta johtuen polttoaineen kulutus kasvaa jyrkästi nopeuden kasvaessa, mutta tässä se on lopussa jopa aavistuksen laskevalla kulmakertoimella. Virhe on pieni ja polttoaineen kulutuksen suuruusluokka tulee hyvin selville. Virheeseen on saattanut vaikuttaa mittaustilanne, joka oli yleinen

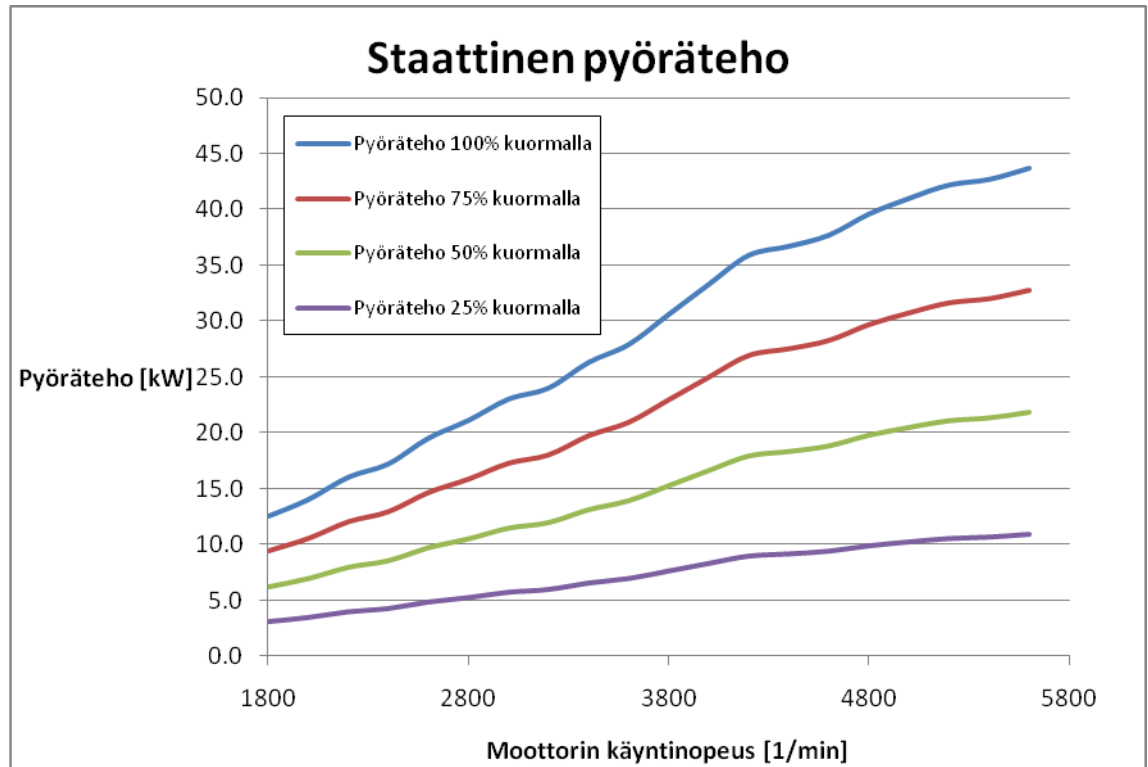
tie, jolloin 120 km/h mittauksissa on voinut olla esimerkiksi enemmän alamäkeä kuin muissa mittauksissa.

5.2 Tank to wheel -hyötysuhde

Tank to wheel -hyötysuhteella tarkoitetaan sitä osuutta polttoainevaraston energiasta joka muuttuu autoa liikuttavaksi energiaksi. Täytyy muistaa että tuohon osuuteen sisältyy myös kaikki se energia mikä menee auton apulaitteiden käyttöön.

Auton nykyisen hyötysuhteen määrittäminen auttaa selvittämään lähtökohdan ja sen kautta päästään suunnittelemaan tulevaa sähkötekniikkaa. Näitä arvoja voidaan myös käyttää vertailtaessa myöhemmin tulevan sähkötekniikan ja nykyisen polttomoottoritekniikan hyötysuhteita.

Tässä mittauksessa käytettiin Bosch FLA 203 alustadynamometriä kuten dynaamisen tehon mittauksessa, mutta hyötysuhdemittauksissa mitattiin staattisia tehoja. Staattisella tehon mittauksella tarkoitetaan että moottorin kierrosluku pysyy mittauksen aikana vakiona. Staattinen teho eroaa siis dynaamisesta tehosta siten, että pyörievien osien hitausvoimat eivät vaikuta pyörältä saatavaan tehoon. Tämä näkyy esimerkiksi siinä että, dynaamisen mittauksen pyörätehot ovat staattisen mittauksen pyörätehoja pienempiä. Dynamometrissa on mittausta varten pyörrevirtajarru. Jarrun runkoon on kiinnitetty anturi jolloin dynamometri pystyy anturiin kohdistuvasta voimasta laskemaan jarrun aiheuttaman vääntömomentin.



Kuvio 4. Staattinen pyöräteho

Mittauksen aikana, jokaista pyörätehoa kohden, mitattiin myös polttoaineen tilavuusvirta. Tilavuusvirta täytyy laskelmissa muuttua massavirraksi. Aikaisemmissa mittauksissa polttoaineen tilavuusvirtaa mitattiin matkan suhteen mutta tässä mittauksessa se mitattiin ajan suhteen. Kun tiedämme pyörätehon ja polttoaineen tilavuusvirran, voidaan laskea kuinka suuri osa polttoaineen energiasisällöstä muuttuu autoa liikuttavaksi tehoksi.



Kuva 4. Toyota Yaris alustadynamometrissa

Mittaukset tehtiin neljällä eri kuormituksella, täydellä kuormalla, ja täydestä kuormasta laskettuna 75-, 50- ja 25 % kuormituksella. Tämä tehtiin sen vuoksi koska polttomoottorille on ominaista hyötysuhteen huonontuminen kuormituksen laskiessa. Tämä johtuu siitä että moottorin erilaisten häviöiden, kuten kitkan ja edestakaisin liikkuvien massojen, suhteellinen osuus kasvaa suuremmaksi verrattuna tuotettuun tehoon. Käytännössä polttomoottorin paras hyötysuhde saadaan joko täydellä kuormituksella tai lähellä sitä. Sähkömoottorilla ei ole samanlaista ominaisuutta.

Laskemiseen käytetyt lähtöarvot olivat pyöräteho, polttoaineen tilavuusvirta ja polttoaineen energiasisältö eli tehollinen lämpöarvo joista saadaan laskettua ominaiskulutus kaavalla (9).

$$b = 3,6 \cdot 10^6 \frac{q_{m,pa}}{P_a}$$

b = ominaiskulutus (9)

$q_{m,pa}$ = polttoaineen massavirta

P_a = pyörieteho

(Nieminen 2009)

Ominaiskulutuksesta on laskettu hyötysuhde seuraavalla kaavalla (10).

$$\eta = \frac{1}{b \cdot LHV}$$

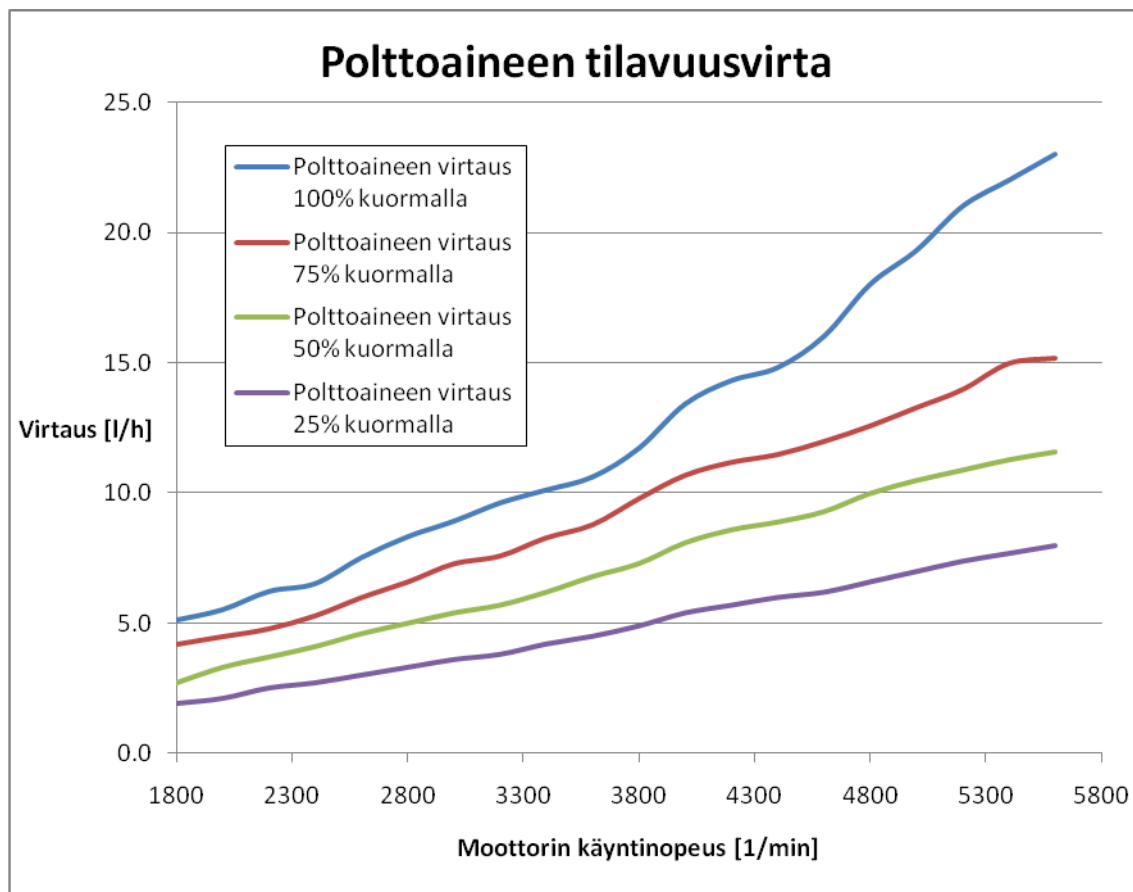
η = hyötysuhde (10)

b = ominaiskulutus

LHV = polttoaineen alempi lämpöarvo

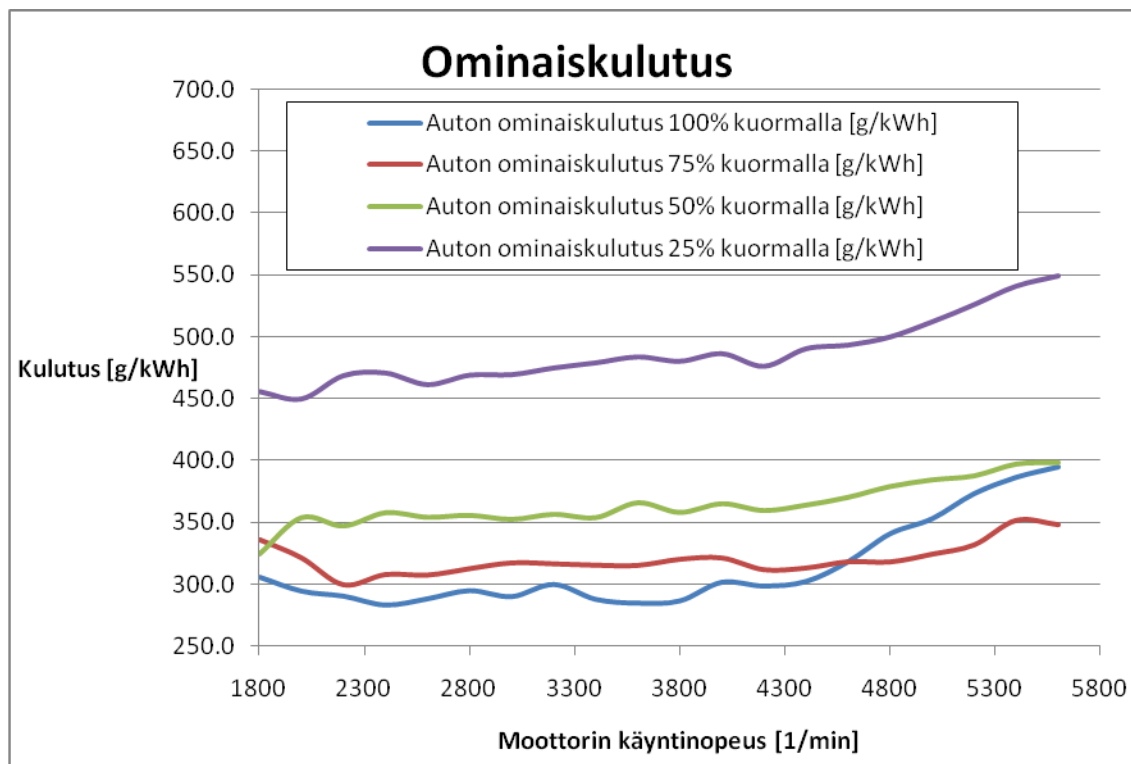
(Nieminen 2009)

Seuraavassa on kuvaajia mitatuista tilavuusvirroista, ominaiskulutuksista ja hyötysuhteista.

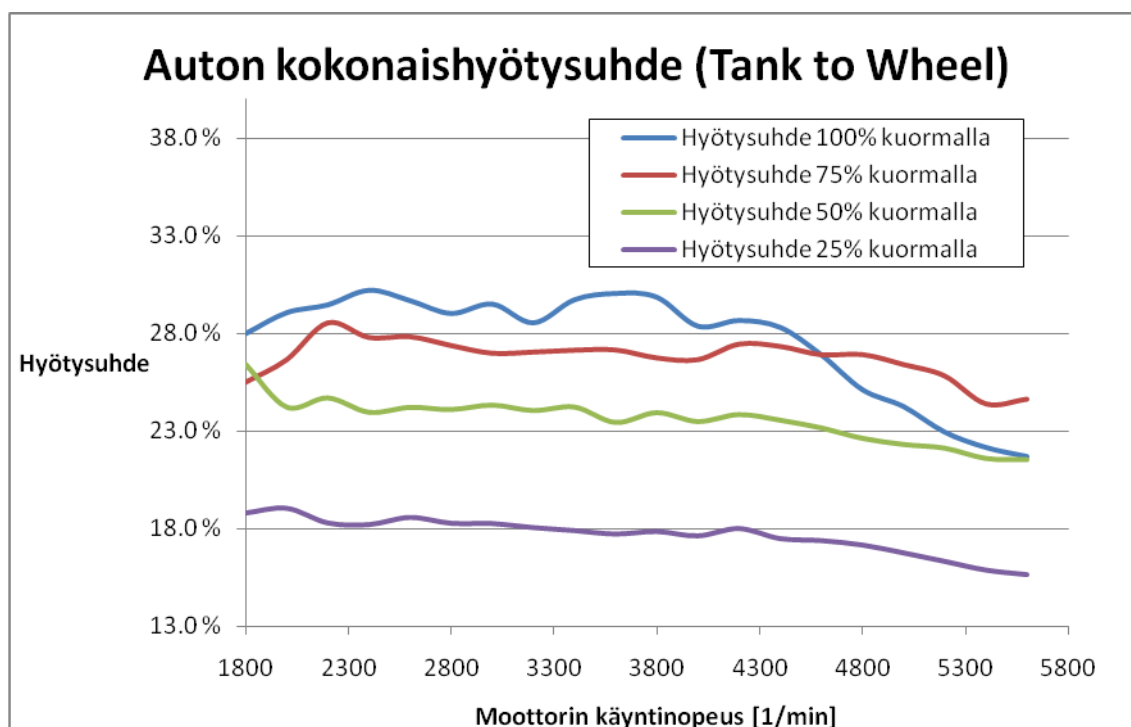


Kuvio 5. Polttoaineen tilavuusvirta

Polttoaineen tilavuusvirta on odotetusti kasvava suuremmille kierroksille mentäessä ja suurin täydellä kuormalla.



Kuvio 6. Auton ominaiskulutus eri kuormatasoilla



Kuvio 7. Auton kokonaishyötysuhde (Tank to Wheel)

Kuvaajista voimme huomata, että moottorin käyntinopeusalueen yläpäässä, täydellä kuormituksella, polttoaineen virtaus kasvaa ja hyötysuhde huononee verrattuna osakuormalla tehtyihin mittauksiin. Mitattavassa autossa oli Toyotan VVT-i moottori jossa on mahdollista säätää imunokka-akselin ajoitusta. Muutos täyskuorman kuvaajassa liittyy todennäköisesti tuohon imunokka-akselin ohjaukseen jolla on haettu täydellä kaasulla suurta huipputehoa eikä ole annettu painoarvoa senhetkiselälle hyötysuhteelle.

5.3 Laskennallinen energian tarve

Jotta voisimme suunnitella ja mitoittaa sähköauton akustoa tai sarjahybridin energian tuottolaitetta, täytyy meillä olla jokin lähtöarvo siitä kuinka paljon energiaa tarvitaan. Energian tarpeeseen pääsemme aikaisempien mittausten ja laskelmien kautta kun tiedämme nykyisen tekniikan polttoaineen kulutuksen ja hyötysuhteen. Tulevan sähkötekniikan hyötysuhde täytyy arvioida.

Laskelmat on tehty siten että tuloksena olisi energian määrän yksikkönä Wh/km. Tällöin ajosuoritetta vastaava energian määrä on helpompi ymmärtää ja laskea. Lisäksi täytyy muistaa, että lähtöarvona käytetään sitä energiamäärää joka moottorille viedään polttoaineletkuissa joten sitä verrataan tulevassa sähköautossa siihen energiamäärään joka akustolta lähtee.

5.3.1 Maantieajon energian tarve

Tasaisen ajon energian tarpeen lähtökohtana käytetään maantieajossa mitattuja keskimääräisiä polttoaineen kulutuksia. Tästä kulutuksesta ei voida suoraan laskea energian tarvetta, koska auton liikuttamiseen menee tästä määrästä vain pieni osa. Moottorin hyötysuhde, sen hetkiselälle ajotilanteelle, saadaan taulukoista ja kuvaajista arvioimalla.

Mitoitetaan esimerkiksi energian tarve tasaiselle ajolle 60 km/h. Taulukosta 3 voidaan havaita että keskipulutus ajonopeudella 60 km/h on 4,79 l/100km. Tämän jälkeen pitää tarkastella millä kierrosnopeudella ja hyötysuhteella moottori on toiminut. Moottorin kierrosnopeus selviää laskennallisesti seuraavalla kaavalla (11).

$$n = \frac{v \cdot i_{\text{kok}}}{d_{\text{dyn}}}$$

n = moottorin kierrosnopeus

v = ajonopeus

i_{kok} = kokonaisvälitysuhde

d_{dyn} = renkaan dynaaminen vierintäkehä

(11)

Moottorin kierrosnopeus vitosvaihteella ja ajonopeudella 60 km/h on ollut n.2080 kierrosta minuutissa.

Moottorin sen hetkistä kuormitusta voidaan arvioida katsomalla kuviota 5. Kierrosnopeutta 2080 kierrosta minuutissa ja kulutusta 4,79 litraa sadalla kilometrillä vastaava kuormituskäyrä on 50 % kuormituskäyrä. Eli moottori on keskimäärin toiminut 50 % kuormituksella ajonopeudella 60 km/h.

Kun katsomme kuviota 7., voimme todeta että kierrosnopeudella 2080 1/min ja 50 % kuormituksella auton kokonaishyötysuhde on ollut n. 24 %. Nyt meillä on tarvittavat lähtöarvot jotta voimme laskea energian tarvetta. Energian tarve voidaan laskea kaavalla (12).

$$E = \frac{q_v \cdot \rho \cdot LHV \cdot \eta \cdot Wh}{0,0036MJ}$$

E = energian tarve (Wh/km)

q_v = polttoaineen tilavuusvirta (l/100km)

ρ = polttoaineen tiheys

LHV = polttoaineen alempi lämpöarvo

η = kokonaishyötysuhde

(12)

Seuraavaan taulukkoon on listattu laskennallisia energian tarpeita eri ajonopeuksilla. Taulukon tuloksissa ei ole otettu huomioon sähkömoottorin ja ohjainelektronikan hyötysuhdetta joten tuloksina on vetopyöriltä vaadittava työ.

Taulukko 5. Energian tarve maantieajossa

Ajonopeus (km/h)	Energian tarve (Wh/km)
60	117
80	132
100	164
120	195

5.3.2 EU -syklin mukaisen ajon energian tarve

Sähköauton yksi suurimpia etuja polttomoottorikäyttöön verrattuna on liike-energian takaisinkeräys jarrutuksissa. Polttomoottoritekniikalla se ei ole mahdollista mutta sähkömoottoria voidaan käyttää jarrutuksissa generaattorina. Tästä syystä sähköauto onkin parhaimmillaan kaupunkiajossa helpon käytettävyytensä ja taloudellisuutensa vuoksi.

Seuraavassa lasketaan energian tarvetta sekalaiselle ajolle ottaen huomioon liike-energian takaisinkeräys jarrutuksissa. Laskelmassa joudutaan käyttämään paljon arvioituja hyötysuhteiden arvoja, koska työtä tehdessä itselläni ei ole ollut mahdollisuutta päästä mittaamaan ko. arvoja. Lähteenä sähkötekniikan hyötysuhteille olen käyttänyt Sami Ruotsalaisen tekemää esitelmää, jonka hän esitti AEL:n autotekniikan ja elektroniikan päivillä 9.-10.2.2010. Silloin esitelmässä oli esitettyä seuraavia hyötysuhteita:

- Akku 90%
- Invertteri 94%
- Moottori 94%
- Vetoakseli 99%
- Pyörä ja rengas 95%

Näistä laskettuna sähköajoneuvon Tank to Wheel -hyötysuhde on n.75 %.

Polttomoottorikäyttöisen Yariksen sekalaisen ajon Tank to Wheel hyötysuhteeksi arvioidaan että se on noin 24 %. Tällä hyötysuhteella moottori toimii n.50 % kuormituksella, jolloin keskimääräinen polttoaineen kulutus on lähellä valmistajan ilmoittamaa sekalaisen ajon polttoaineen kulutusta.

Näillä lähtöarvoilla voidaan arvioida sähköauton energian tarvetta kaavalla (13) ottaen huomioon sähkömoottorin ja polttomoottoritekniikan hyötysuhteet. Tämä kaava ei kuitenkaan ota huomioon jarrutusenergian keräämistä talteen.

$$E = \frac{q_v \cdot \rho \cdot LHV \cdot Wh}{0,0036MJ} \cdot \frac{\eta_s}{\eta_p} \quad (13)$$

η_s = sähkömoottorin hyötysuhde
 η_p = polttomoottorin hyötysuhde

Tällä kaavalla laskettuna sähköauton energian tarve sekalaiselle EU syklin mukaiselle ajolle on 148 Wh/km. Suuruusluokka saadulle tehontarpeelle on oikean suuruinen Yariksen kokoiselle sähköautolle. Sadalla kilometrillä energian tarve olisi n. 15 kWh/100km. Koska bensiini sisältää energiaa noin 9 kWh/l, olisi tarvittava energiamäärä bensiinin muodossa noin 1,7 l/100km.

Laskelmien paikkansa pitävyyttä voidaan arvioida laskemalla aikaisemmin todettujen bensiini- ja sähköversioiden hyötysuhteiden avulla auton nykyistä polttoaineen kulutusta. Kun kerromme sähköversion bensiiniekvivalentiksi lasketun polttoaineen kulutuksen 1,7 l/100km sähkö- ja bensiiniversioiden hyötysuhteiden (75% ja 24%) osamäärällä, tulokseksi saamme 5,3 l/100km joka on lähellä valmistajan ilmoittamaa yhdistettyä bensiininkulutusta 5,7 litraa sadalle kilometrille.

5.3.3 Jarrutusenergian talteen keräys

Jarrutuksissa vapautuu suuri määrä energiaa jarrulevyistä lämmön muodossa. Jarrutusteho onkin hyvin suuri eikä nykyisillä tekniikoilla kyetäkään ottamaan kovassa jarrutuksessa kaikkea energiaa talteen. Jarrutus pitäisi sovittaa sopivan suuruiseksi jotta jarrutusteho ei olisi liian suuri. Jarrutusteho voidaan laskea kaavalla (14).

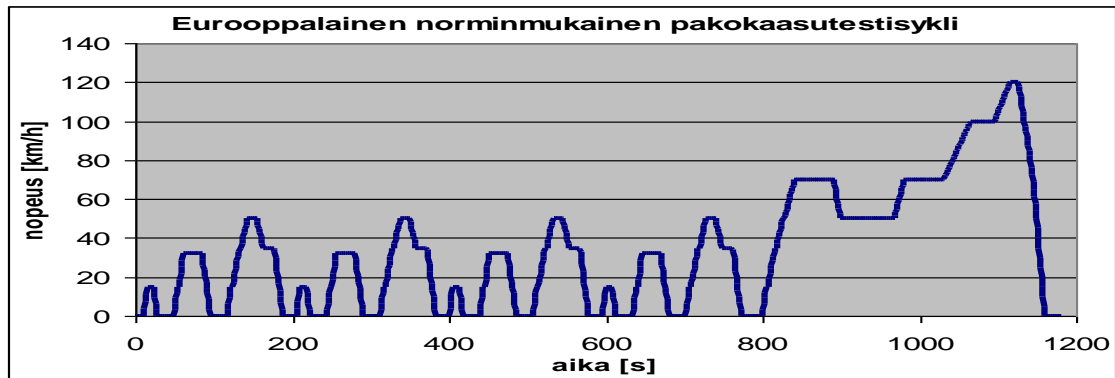
$$P = m \cdot a \cdot v_{\text{kesk}}$$

P = jarrutusteho
 m = ajoneuvon massa
 a = hidastuvuus
 v_{kesk} = keskimääräinen nopeus

(14)

Jos esimerkkinä sijoitetaan edelliseen kaavaan, että jarrutamme 100 km/h nopeudesta Yariksella, joka on lastattuna painoltaan 1299 kg, suurella 9 m/s² hidastuvuudella pysähdyksiin asti, on jarrutusteho tällöin keskimäärin 162 kW. Täytyy muistaa että tämä on keskimääräinen jarrutusteho joten jarrutuksen alussa jarrutusteho on tuplasti tämän suuruinen.

Seuraavassa kuviossa on esitettyinä käyrä EU syklin mukaisesta ajosuorituksesta. Tämän kuvion avulla mitataan pakokaasuarvoja ja sekalaisen ajon polttoaineen kulutusta.



Kuvio 8. Eurooppalainen norminmukainen pakokaasutestisykli

EU ajosyklin alkuosassa simuloidaan kaupunkiajoa. Ajossa ajoneuvo kiihdytetään 15 km/h, 35 km/h ja 50 km/h nopeuksiin ja pysähdyksiin. Tämä toistuu neljä kertaa. Lopuksi on yksi maantieajo osuus, jossa auto lopuksi hidastetaan 120 km/h nopeudesta pysähdyksiin.

Laskelmassani otan huomioon nämä jarrutukset joissa autoa jarrutetaan pysähdyksiin asti. Tästä saatavaa jarrutusenergiaa ei kuitenkaan saada kokonaan talteen vaan laskelmassa on käytettävä hyvin maltillista hyötysuhdetta. Arto Lehtisen esityksessä, jonka hän esitti AEL:n autotekniikan ja elektroniikan päivillä 9.-10.2.2010, kerrotaan hybriditekniikan jarrutusenergian talteen oton hyötysuhteeksi 20 %. Laskelmassani käytän tätä arvoa. Ajoneuvon massana laskelmassa käytän Yariksen omapainoa joka on n.1000 kg koska tällä arvolla on mitattu sekalaisen ajon polttoaineen kulutus.

Sekalaisen ajon energian tarve saadaan laskettua kaavalla (15). Kaavassa on vähennetty EU-syklin mukaisen ajon energian tarpeesta jarrutuksissa talteen saatava energian määrä.

$$E = \frac{m_f \cdot \rho \cdot LHV \cdot Wh}{0,0036MJ} \cdot \frac{\eta_p}{\eta_s} - \frac{\left[\frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_1^2 + v_2^2 + v_3^2) \cdot 4 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_4^2 \right] \cdot \eta_t \cdot Wh}{3600J} \cdot \frac{1km}{11km}$$

$$v_1 = 15 \text{ km/h}$$

$$v_2 = 35 \text{ km/h}$$

$$v_3 = 50 \text{ km/h}$$

$$v_4 = 120 \text{ km/h}$$

η_t = jarrutusenergian talteenoton hyötysuhde

Tällä kaavalla laskettuna energian tarve on sekalaiselle ajolle jarrutusenergian talteenoton kanssa n. 142 Wh/km. Näin ollen jarrutuksissa saatava energian määrä on n. 6 Wh/km.

6 AUTON LÄMMITYS JA JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ

Sähköauton tai hybridauton lämmitys ja jäähdytysjärjestelmä on paljon haasteellisempi toteuttaa kuin polttomoottoriauton. Hukkalämpöä tulee sähkömoottorista ja elektroniikasta paljon vähemmän kuin polttomoottorista niiden paremman hyötysuhteen ansiosta. Kun hukkalämpöä ei tule riittävästi, ei sillä voida lämmittää matkustamoaa riittävän suurella teholla. Sähkölaitteiden jäähdytysenergialla voidaan täyttää vain osa sisätilojen lämmittämisen tarpeesta, mutta kylmällä säällä tämä ei riitä, eikä kuumalla säällä se ehkä riitä välttämään sähkölaitteiden ylikuumentumista.

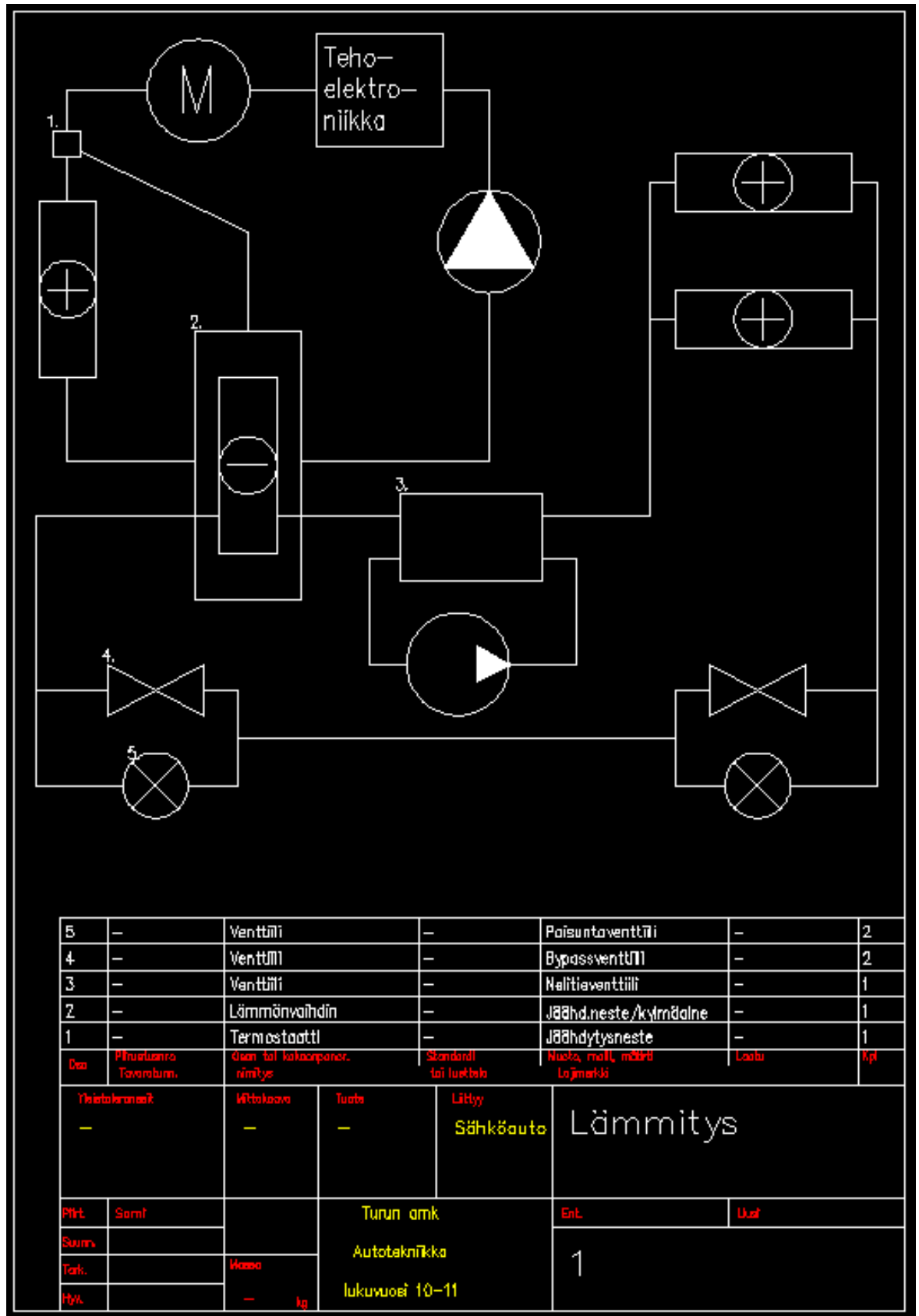
Toiseksi elektroniikan osat ja sähkömoottorit tarvitsevat kuitenkin jäähdytystä. Jos käytetään esimerkiksi kestopagneetti sähkömoottoreita, ne kestävät lämpöä hyvin maltillisen määrän. Esimerkiksi joillekin neodyymimagneeteille valmistajat antavat maksimi käyttölämpötilaksi 60 astetta joka voidaan saavuttaa lämpimässä ilmastossa pienelläkin hukkalämmöllä. Kolmanneksi akut toimivat huonosti pakkasessa. Niiden energian varastointi- ja luovutuskyky romahtaa kylmässä.

Näitä haasteita vastaamaan seuraavaksi käsitellään lämmitys ja jäähdytysjärjestelmä jolla auton lämmityksen ja jäähdytyksen voisi toteuttaa. Se olisi yhdistetty järjestelmä eli lämpöpumppu. Lämpöpumppuja ajoneuvo-käytössä on vähän. Ainoat sovellukset, mitä itse tiedän, on tarkoitettu asuntoautoihin. Lämpöpumpun samat ongelmat pätevät myös ajoneuvo-käytössä, eli jos höyrystintä ympäröivän ilman lämpötila on liian matala, ei lämpöpumppu kykene toimimaan tehokkaasti. Toimintalämpötilaan voidaankin vaikuttaa valitsemalla kylmäaine tämän mukaan.

Suunnittelemani järjestelmä on suunniteltu toimimaan R134a kylmäaineella. Kyseiselle kylmäaineelle on saatavana hyvin komponentteja ajoneuvokäyttöön koska se on tällä hetkellä eniten käytetty kylmäaine autoissa. R134a syrjäytti R12 kylmäaineen ajoneuvokäytössä 90-luvun alussa koska R12 kylmäaine sisälsi CFC-yhdisteitä eli kansankielellä freoneja. Suomen valtioneuvoston päätöksellä kiellettiin Suomessa valmistamasta laitteita 31.12.1994 jälkeen

joissa käytetään freonia sisältävää kylmäainetta. Järjestelmän mahdollinen toteuttaminen koululla on helpompaa R134a kylmäaineella koska sille on olemassa täyttö- ja huoltolaite.

Kylmäainetta sisältävän järjestelmän toteuttamisessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon että mikäli Yaris jouduttaisiin tyyppihyväksymään uudelleen sähköautokonversion jälkeen, 1.1.2011 jälkeen tyyppihyväksytyissä autoissa ei saa käyttää R134a kylmäainetta.



Kuva 5. Kaaviokuva lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmästä

Edellä on kaaviokuva (Kuva 5.) järjestelmästä. Järjestelmässä toimii lämmönsiirtäjänä kahta ainetta. Tämän kaltaista järjestelmää ajoneuvokäytössä ei tietääkseni ole. Tämän järjestelmän olen suunnitellut itse.

Vasemmalla yläkulmassa on piiri jossa kulkee jäähdytysneste eli vesi/glykoliseos. Kesällä jäähdytysneste siirtää moottorin ja tehoelektroniikan hukkalämmön termostaatin kautta lauhduttimelle. Talvella jäähdytysneste siirtää saman hukkalämmön lämmönvaihtimelle. Sähkökäyttöinen siirtopumppu pitää huolen jäähdytysnesteen kierrosta.

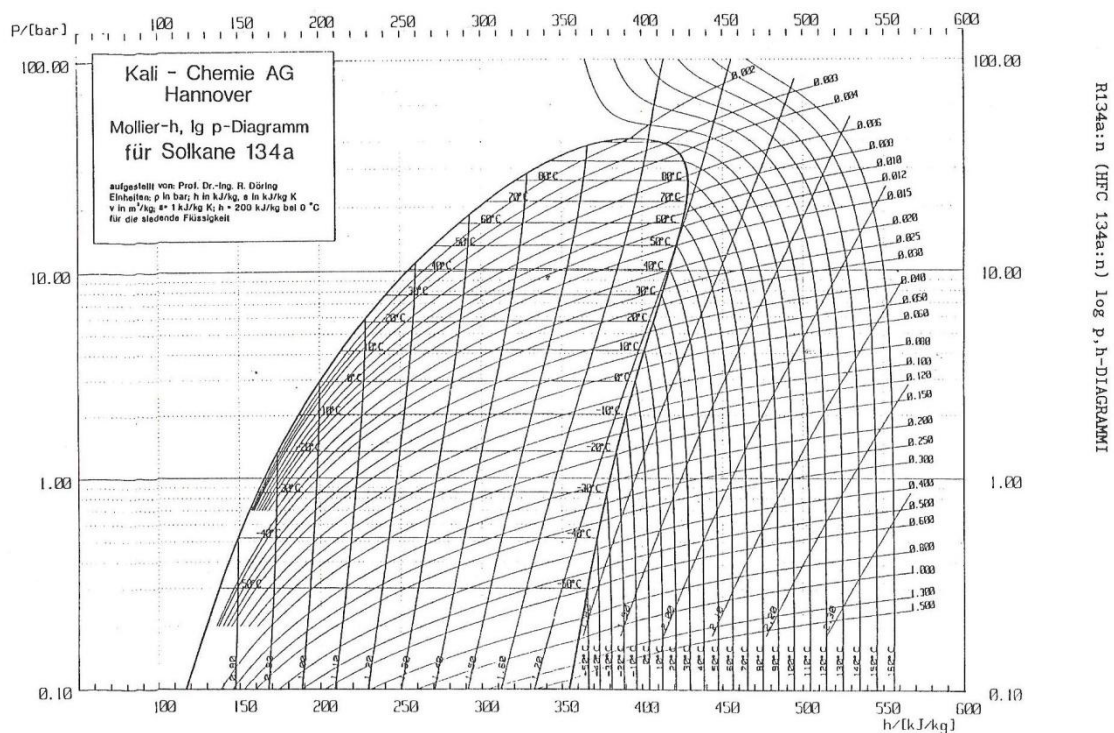
Toinen piiri on kuviossa oikealla alhaalla jossa kulkee kylmäaine. Piiri sisältää sähkökäyttöisen kompressorin. Kompressorin jälkeen tulee nelitieventtiili. Nelitieventtiilin avulla voidaan määrätä kylmäaineen kiertosuunta sen mukaan täytyykö autoa lämmittää vaiko jäähdyttää. Piiri sisältää kaksi kennoa auton sisällä ja yhden kennon lämmönvaihtimessa. Kennoja voidaan siis käyttää tilanteen mukaan joko höyrystimenä tai lauhduttimena nelitieventtiilin ohjaamana. Lisäksi piirissä on bypass-venttiilit sekä paisuntaventtiilit.

6.1 Lämmityskäyttö

Lämmityskäytössä lämmönvaihtimessa oleva kenno toimii höyrystimenä. R134a kylmäaineen huono puoli lämmityskäytössä on sen korkea kiehumispiste. R134a höyrystymislämpötila normaalissa ilmanpaineessa on n. $-26,4$ °C. Tämän vuoksi lämmönvaihtimessa olevan jäähdytysnesteen tulisi pysyä lähellä nollaa celsius astetta jotta kylmäaineen höyrystyminen olisi mahdollista. Lämpöä jäähdytysnesteeseen tulisi moottorin ja tehoelektroniikan hukkalämmöstä mutta ennen ajoon lähtöä jäähdytysnesteen voisi lämmittää esimerkiksi perinteisellä lohkolämmittimellä. Tällöin autoa voisi lämmittää myös sisätiloista etukäteen käyttämällä samalla kompressoria ja lämmityslaitteen puhallinta.

Järjestelmän kannalta tärkeää on että höyrystimestä eteenpäin ei lähde kuin höyryä koska nestemäinen kylmäaine kompressorissa aiheuttaa vaurioita. Lämmityslaitteen toimintaa voisi yksinkertaisimmillaan ohjata matalapaine- ja

lämpötilakytkimellä. Jos asetamme ohjauksen siten että kompressorin ei kytkeydy päälle ennen kuin lämmönvaihtimessa olevan jäähdytysnesteen lämpötila ylittää $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ voidaan määrätä kompressorin ohjaavalle matalapainekytkimelle kytkentäpaine. Kytkentäpaine voidaan määrittää kylmäaineen paine-entalpia tilapiirroksista. Seuraavassa R134a kylmäaineen paine-entalpia tilapiirros.



Kuvio 9. R134a kylmäaineen paine-entalpia tilapiirros (Nydal 2002)

Kuviosta näemme että lämpötilan ollessa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, absoluuttisen paineen on oltava vähemmän kuin 3 bar jotta höyrystymistä tapahtuisi. Tällöin järjestelmän toimintaa voisi ohjata matalapainekytkimellä matalapainepuolelta esimerkiksi kytkentäpaineella 2 bar. Normaalisti kompressoreilla ei tuoteta alle 1 bar absoluuttista painetta joten kytkentärajat voisivat olla niin että kompressorin käynnistyminen tapahtuu paineen noustessa 2 bar tai yli ja sammuu paineen laskiessa 1 bar tai alii.

Höyrystimeltä kylmäaine kulkee linjaa pitkin kompressorille. Kompressorina voisi käyttää esimerkiksi Denso-tasavirtakompressoria josta kuva seuraavana.



Kuva 6. Denso tasavirtakompressori

Kompressori puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen. Korkeassa paineessa kylmäaine kulkeutuu nelitieventtiilin kautta lauhduttimeen. Paineen täytyy olla niin korkea että kylmäaine muuttuu höyrystä nesteeksi lauhduttimessa. Lämmityskäytössä ei kuitenkaan ole ongelmaa tarvittavan paineen saavuttamisesta koska lauhdutinta ympäröivä ilma on hyvin viileää joten lauhtuminen saavutetaan pienelläkin paineella. Paine-entalpia tilapiirrokselta katsomalla voidaan todeta esimerkiksi että 20 °C lämpötilassa nesteytyminen tapahtuu yli 6 bar absoluuttisessa paineessa.

Lauhduttimen jälkeen kylmäaine kulkeutuu paisuntaventtiilille. Paisuntaventtiili aiheuttaa vastuksen linjassa jonka jälkeen paine on matalampi. Matalassa paineessa kylmäaine kulkeutuu höyrystimeen jossa se höyrystyy. Kierro alkaa alusta.

Sisätilan lämpötilan säätö voidaan kompressorin toimintaa ohjaamalla saada halutun laiseksi sähköisesti. Automaattinen lämpötilan hallinta on toteutettavissa.

6.2 Jäähdytyskäyttö

Jäähdytyskäytössä muuttuu kylmäaineen virtaussuunta verrattuna lämmityskäyttöön. Virtaussuunnan muutokseen tarvittava komponentti on nelitieventtiili. Käytännössä höyrystimestä tulee silloin lauhdutin ja toisin päin. Tällöin on järjestelmässä oltava myös kahdet paisuntaventtiilit, koska paisuntaventtiilin sijainti on oltava ennen höyrystintä. Koska kylmäaineen täytyy päästä virtaamaan vapaasti paisuntaventtiilille asti, on lauhduttimen jälkeinen paisuntaventtiili ohitettava bypass-venttiilillä.

Järjestelmän ohjaus toimii jäähdytyskäytössäkin painerajakatkaisulla. Jäähdytyskäytössä voidaan matalapaineen kytkentäarvoja nostaa. Sisälämpötilan jäähdytystä ei todennäköisesti tarvita kuin ulkolämpötilan ollessa korkeampi kuin 20 °C. Tällöin höyrystin toimii vielä niinkin suurella absoluuttisella paineella kuin 5 bar. Kytkentäraja voidaankin siis pitää esimerkiksi välillä 4-2 bar absoluuttista painetta.

Kun käytössä on ilmalämmitteinen höyrystin, on pidettävä huolta, ettei höyrystimen lämpötila laske alle 0 °C. Jos höyrystimen lämpötila laskee alle veden jäätympisteen, on vaarana että höyrystimen pinnalle syntyvä kondenssivesi jäädyttää höyrystimen tukkoon. Höyrystimellä voidaankin käyttää omaa lämpötilatunnistinta, joka kytkee kompressorin pois päältä jos höyrystimen lämpötila laskee nolnaan °C.

Sisätilan lämpötilan säätö voitaisiin lämmityskäytön tavoin säätää sähköisesti ohjaamalla kompressoria päälle ja pois päältä.

7 YHTEENVETO

Työn alussa tavoitteena oli selvittää Toyota Yariksen lähtötaso. Mittaukset sisälsivät tutkimusta ajoneuvon tämän hetken energiatehokkuudesta ja suorituskyvystä. Tavoitteena oli muodostaa suunnittelun avuksi lukemia energian tarpeen osalta.

Lopputuloksena saatiin selville autosta sen dynaaminen teho ja vääntömomentti, staattinen pyöräteho, kiihtyvyys, ajotilapiirros, nykyiset välityssuhteet, mäennousukyky, tank to wheel –hyötysuhde, auton ominaiskulutus, keskimääräiset polttoaineen maantiekulutukset sekä laskennalliset energian tarpeet tulevalle sähköautolle maantielle kuin yhdistetylle ajolle jarrutusenergian talteenoton kanssa ja ilman.

Tulokset ovat suuruusluokiltaan oikeita ja joitain tuloksia on verrattu kahdella eri laskutavalla joten voidaan olettaa että ne ovat luotettavia. Tuloksissa ei esiintynyt suuria yllätyksiä vaan olivat odotetun kaltaisia. Tulokset on esitetty siten, että niitä on helppo käyttää sähköauton suunnittelutyössä ja mahdollisesti tulevaisuudessa vertailussa kahden eri moottoritekniikan välillä.

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmästä on nyt olemassa suunnitelma jonka mukaan järjestelmää voi aloittaa mitoittamaan. Järjestelmään on saatavana komponentteja valmiina markkinoilta ja se olisi toteutettavissa koulun tiloissa ja välineillä. Järjestelmällä pystyttäisiin toteuttamaan kaikki ajoneuvon tarvitsemat jäähdyttämis ja lämmittämis tarpeet niin teknisiin tarkoituksiin kuin matkustajien mukavuuteen.

Pystyin työn aikana käyttämään insinöörikoulutuksen aikana oppimiani tietoja ja taitoja joita olen sisällyttänyt tähän opinnäytetyöhön.

LÄHTEET

Bosch 2003. Autotekniikan käsikirja 6. painos. Autoalan koulutuskeskus

Ikonen, M. 2010. Auton ajotilan perusteet -opintojakson opetusmateriaali. Turku: Turun Ammattikorkeakoulu

Lehtinen, A. 2010. Onko hybridi todellinen vaihtoehto perinteisille voimalaitteille? AEL autotekniikan ja elektroniikan päivät.

Nieminen, K. 2009. Moottorimittaukset -opintojakson opetusmateriaali. Turku: Turun Ammattikorkeakoulu

Nydal R. 2002. Käytännön kylmätekniikka. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys ry.

Ruotsalainen, S. 2010. Sähköauton tekniikka, energiankulutus ja toimintamatka. AEL autotekniikan ja elektroniikan päivät.

STRO Rengasnormit 2011. Scandinavian Tire and Rim Organization. Automediat Oy

Toyota GB 2011. Toyota Yaris Technical Specification. Viitattu 12.2.2011

http://www.toyotagb-press.co.uk/protected/vehicles/current/press_packs/yaris/tech_spec.pdf

Viitasalo, J. 2010. Voimansiirto ja tehontarve -opintojakson opetusmateriaali. Turku: Turun Ammattikorkeakoulu