

Jaakko Pahkala

**DRAG-RACE-MOOTTORIKELKAN KIIHTYVYYDEN
MAKSIMOINTI**

DRAG-RACE-MOOTTORIKELKAN KIIHTYVYYDEN MAKSIMOINTI

Jaakko Pahkala
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Jaakko Pahkala
Opinnäytetyön nimi: Drag-race-moottorikelkan kiihtyvyyden maksimointi
Työn ohjaaja: Mauri Haataja
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 36 + 1 liite

Opinnäytetyö tehtiin moottorikelkkojen kiihdytyskilpailuja 17 vuotta harrastaneelle Hannu Keski-Korvelle. Kiihdytyskilpailussa kiihdytetään 201,17 m matka ja ensin maalissa oleva kilpailija voittaa. Työssä tutkittiin moottorikelkan kiihtyvyyden vaikuttavia asioita. Käytännön toteutus pyrittiin tekemään mahdollisimman hyvin, jotta kiihtyvyys saataisiin maksimoitua. Työn tavoitteena oli päästä kilpailemaan suomenmestaruudesta kaudella 2015 sekä alittaa 6 sekunnin aika ja saavuttaa kilpailusuorituksen aikana 200 km/h loppunopeus.

Moottorikelkkaan valmistettiin ja asennettiin johtosarja MoTeC M1 -sarjan moottorinohjainlaitteelle. Moottorinohjainlaitteen avulla kerättiin tietoa kilpailusuorituksen ajalta ja voitiin toteuttaa kaikki tarpeellinen mahdollisimman hyvän kiihtyvyyden aikaansaamiseksi. Moottorikelkkaa testattiin ja säädettiin paljon, minkä seurauksena tultiin suomenmestaruuskisoissa toiseksi.

Kiihdytyskilpailussa menestymisen eli kovan kiihtyvyyden ja suuren loppunopeuden kannalta oleellisia asioita ovat moottorikelkan ajovastukset, joihin merkittävimmin vaikuttavat moottorikelkan massa ja aerodynamiikka. Lisäksi menestymiseen vaikuttaa riittävän suuren moottoritehon välittäminen ajoalustaan hyvällä telamatolla. Eri telamattoja kiihdytyskäytössä ei kuitenkaan päästy testaamaan.

Asiasanat: Ski-Doo, kiihdytyskilpailu, MoTeC, Race Smart

ALKULAUSE

Kiitän Hannu Keski-Korpea mielenkiintoisesta, haastavasta ja opettavaisesta opinnäytetyön aiheesta moottorikelkkailukiihdytyksen parissa. Tämän työn onnistuminen ei kuitenkaan olisi ollut mahdollista ilman Oulun ammattikorkeakoulun autolaboratorion laboratorioinsinöörejä Ray Färmiä ja Arto Lehtosta.

3.5.2015

Jaakko Pahkala

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 MOOTTORIKELKAN LÄHTÖTIEDOT	8
3 AJOVASTUS- JA VETOVOIMAT	9
3.1 Ilmanvastus	12
3.2 Vierintävästus	14
3.3 Kiihdytysvastus	15
3.4 Käytettävissä oleva vetovoima	16
4 TIEDONKERUU	18
5 JOHTOSARJAN VALMISTUS	20
6 AHTAMINEN	23
6.1 Turbo- eli pakokaasuahdin	23
6.1.1 A/R-suhde	23
6.1.2 Kompressori	24
6.2 Mekaaninen ahdin	25
6.3 Hukkaportti	26
6.4 Ahtopaineen ohjaus	26
7 KIIHTYVYYDEN MAKSIMOINTI	28
7.1 Lähtö	30
7.2 Lähtörajoitin	30
7.3 Ilokaasu	31
7.4 Iskunvaimentimien lyhennys	31
8 POHDINTA	33
LÄHTEET	35
LIITTEET	
Liite 1 Kytkentäkaavio	

1 JOHDANTO

Keski-Korpi Drag Race Team on vasta siirtynyt ajamaan moottorikelkkakiihdytyksen Top Fuel -luokkaa. Siirtyminen vakioluokasta Top Fuel -luokkaan ei suju kuitenkaan helposti. Ongelmia on muun muassa moottorin keston ja säätöjen kanssa ajettaessa alkuperäisellä moottorinohjaimella.

Moottorikelkkojen kiihdytyskilpailuissa ajetaan mahdollisimman nopeasti 1/8 mailin matka, joka on 201,17 m. Ensin maaliin päässyt kilpailija voittaa. Ajanotto on järjestetty valokennoilla, joiden tarkkuus on 0,001 s. Lähtö tapahtuu paikoiltaan lumeen kiinnitetyiltä lähtömatoilta. Lähtömatot ovat katkaistuja moottorikelkan telamattoja. Ne on kiinnitetty metallikehikkoihin, jotka ovat yhteensä 15 m pitkiä, joista 12 m on lähtöviivan jälkeen. Kuvassa 1 on esitetty lähtömatot, joiden välissä ovat lähtövalot.



KUVA 1. Lähtömatot ja -valot

Hannu Keski-Korven tavoitteena on alittaa 6 sekunnin aika ja saavuttaa kilpailusuorituksen lopussa nopeus 200 km/h. Tavoitteiden saavuttamiseksi moottorikelkkaan suunnitellaan ja valmistetaan kokonaan uusi johtosarja uudelle MoTeC M1 -sarjan moottorinohjaimelle. Moottorikelkkaan lisätään myös riittävä anturointi tiedonkeruuta varten. Alustan säädöt ajokorkeudeltaan ja painonsiirroltaan tulevat olemaan myös suunniteltavina.

Opinnäytetyön käytännön osuus on hyvin laaja, sillä se sisältää ajovastuksien määrittämisen, johtosarjan suunnittelun piirtämisen ja valmistamisen, moottorinohjainlaitteen säätämisen, iskunvaimentimien säätämisen ja kokonaisuuden testaamisen tiedonkeruuta apuna käyttäen. Tarkemmin perehdytään ajovastuksiin ja moottorinohjauksen osa-alueissa ahtopaineen ohjaukseen sekä tiedonkeruuseen.

2 MOOTTORIKELKAN LÄHTÖTIEDOT

Opinnäytetyössä käytetty moottorikelkka on Ski-Doo MXZ Renegade 1200 4-tec, vuosimallia 2009. Moottorikelkalla on ajettu Top Fuel luokkaa jo kahtena talvena, joihin sisältyi moottorin rikkoutumisia ja vain kohtalaista menestystä. Moottorikelkkaan oli asennettu ruotsalaisen MC Xpressin valmistama turbosarja, jossa on painekotelo, pakosarja ja polttoaineen lisärikastusjärjestelmä. Lisärikastusjärjestelmä sisälsi lisärikastussuuttimet ja ohjainlaitteen, jolla ohjattiin lisärikastussuuttimia.

Moottorinohjain oli alkuperäinen, jolloin ei voitu säätää mitään muuta kuin lisärikastusjärjestelmän avulla polttoaineen ja ilman seosta. Tiedonkeruuta ei ollut, joten moottorikelkkaa oli vaikea kehittää ilman tarkkaa tietoa nopeahkon kilpailusuorituksen kulusta.

3 AJOVASTUS- JA VETOVOIMAT

Minkä tahansa ajoneuvon kuten moottorikelkankin liikettä vastustavat ajovastusvoimat. Ajovastusvoimia ovat ilmanvastus-, vierintävastus-, kiihdytysvastus- ja nousuvastusvoimat. Tässä tapauksessa nousuvastusvoima voidaan kuitenkin jättää huomioimatta, koska kiihdytyskilpailut ajetaan pääsääntöisesti radoilla, joissa ei ole nousua. Ajoneuvon liikeyhtälö muodostuu kaavan 1 mukaan kiihtyvyydestä, ajovastuksista ja työntövoimasta. (1.) Kuvassa 2 vapaakappalekuva, jossa on esitetty ajovastuskomponentit.

$$\Sigma F_x = 0 ; F_p - F_h - F_r - F_a + ma = 0$$

KAAVA 1

$$\Sigma F_x = a$$

F_p = työntövoima (N)

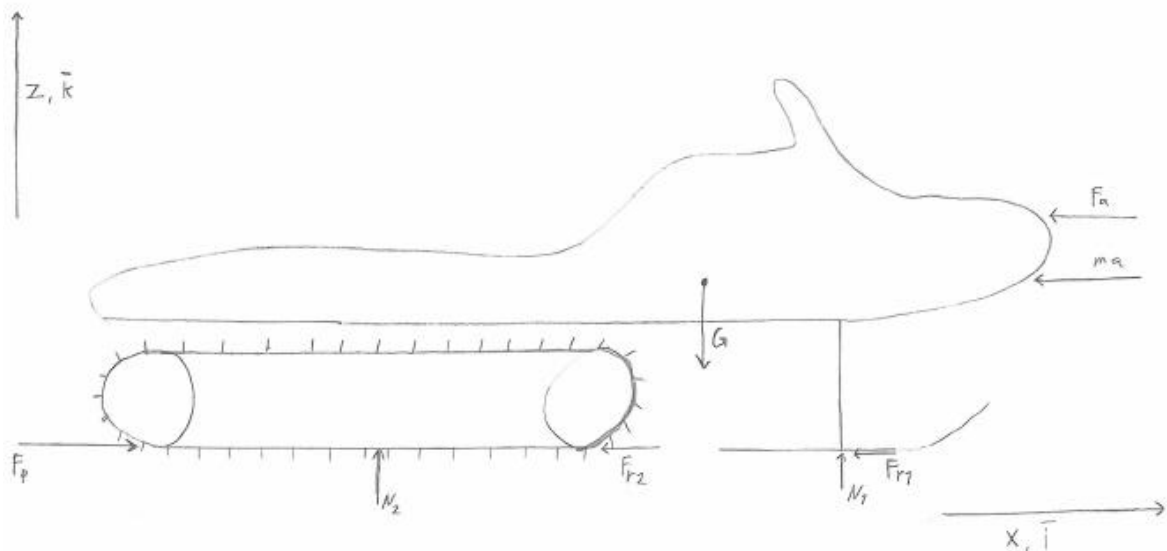
F_h = nousuvastusvoima (N)

F_r = vierintävastusvoima (N)

F_a = ilmanvastusvoima (N)

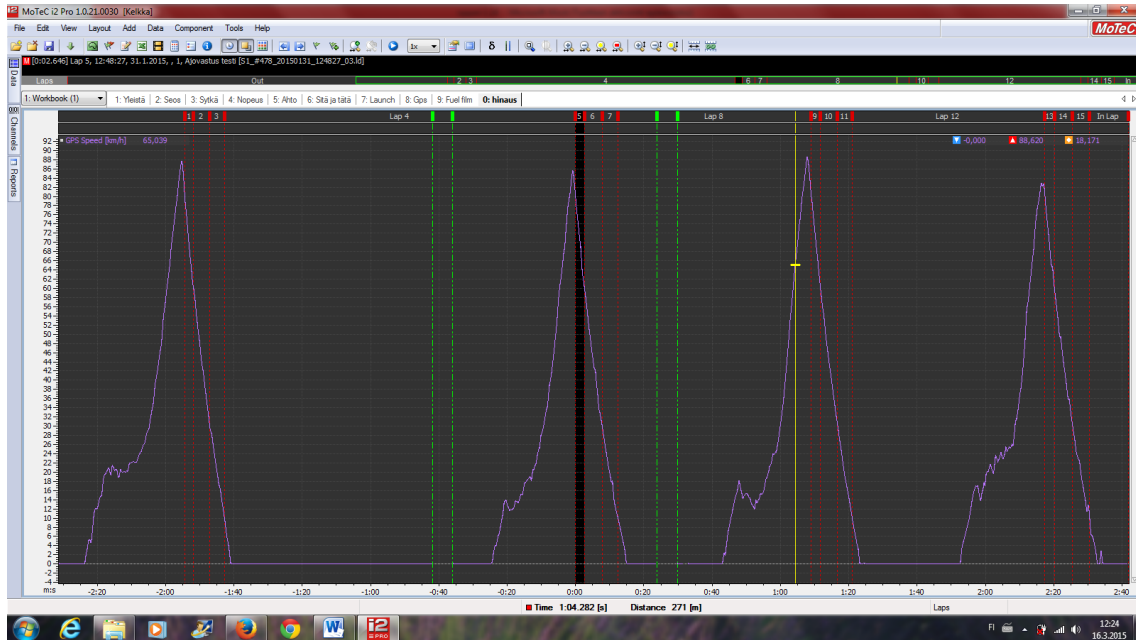
m = ajoneuvon massa (kg)

a = kiihtyvyys ($\frac{m}{s^2}$)



KUVA 2. Ajovastuskomponentit

Ilmanvastus- ja vierintävastusvoimat voidaan määrittää kokeellisesti käyttäen apuna moottorikelkkaan asennetun moottorinohjainlaitteen tiedonkeruuta. Tiedonkeruusta saadaan selville nopeuden muutos tietyssä ajassa. (kuva 3) Nopeuden mittaamiseen käytettiin eTestan 40 Hz CAN-väylä GPS -laitetta.



KUVA 3. Hidastuvuustestien nopeuden muutokset

Mittaukset suoritettiin hinaamalla moottorikelkka vauhtiin, minkä jälkeen sen annettiin rullata pysähdyksiin asti. Hinattava moottorikelkka kulki vetävän moottorikelkan sivulla (kuva 4), jotta ilmanvastukseen vaikuttava ilmanpyörteily ei vääristäisi mittaustulosta. Mittaus suoritettiin variaattorin remmi poistettuna, ettei moottorijarrutus tai remmin kitka vaikuttaisi tulokseen. Hinaukset suoritettiin kaksi kertaa molempiin suuntiin samalla radalla. Tällöin voitiin laskemalla keskiarvo poistaa mahdolliset ajoradan ja tuulen aiheuttamat virheet tuloksesta.



KUVA 4. Ajovastuksien määrittämistä

Ajovastusvoimien määrittämiseksi selvitettiin keskimääräinen rullausaika suuremmalla nopeudella, jolloin hidastuvuus rullaus aloitettiin 80 km/h nopeudesta. Ilmanvastuksen ollessa tällöin ajovastusvoimista määräävä, kun liikutaan riittävän suurella nopeudella. Pienellä nopeudella rullauksen alkaessa 30 km/h nopeudesta vierintävastus on määräävä ilmanvastuksen ollessa hyvin pieni. (2.)

Keskimääräinen moottorikelkan rullausaika suuremmalla nopeudella, jolloin ilmanvastuksen osuus on määräävä eli tässä tutkimuksessa 80 kilometristä tunnissa 60 kilometriin tunnissa on $\frac{2,60\text{ s}+2,64\text{ s}+2,69\text{ s}+2,75\text{ s}}{4} = 2,67\text{ s}$.

$$\text{Keskinopeus on } v_1 = \frac{v_1+v_2}{2} = \frac{80\frac{\text{km}}{\text{h}}+60\frac{\text{km}}{\text{h}}}{2} = 70\frac{\text{km}}{\text{h}} = 19,44\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

$$\text{Keskihidastuvuus on } a_1 = \frac{v_1-v_2}{t} = \frac{22,22\frac{\text{m}}{\text{s}}-16,66\frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,67\text{ s}} = 2,08\frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Keskimääräinen rullausaika pienemmällä nopeudella, jolloin vierintävastus on määräävä eli tässä tutkimuksessa 30 kilometristä tunnissa 10 kilometriin tunnissa on $\frac{4,33\text{ s}+4,61\text{ s}+4,26\text{ s}+4,99\text{ s}}{4} = 4,54\text{ s}$.

$$\text{Keskinopeus on } v_2 = \frac{v_1+v_2}{2} = \frac{30\frac{\text{km}}{\text{h}}+10\frac{\text{km}}{\text{h}}}{2} = 20\frac{\text{km}}{\text{h}} = 5,55\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

$$\text{Keskihidastuvuus on } a_2 = \frac{v_1-v_2}{t} = \frac{8,33\frac{\text{m}}{\text{s}}-2,77\frac{\text{m}}{\text{s}}}{4,54\text{ s}} = 1,22\frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

3.1 Ilmanvastus

Ilmanvastus on tasaisella alustalla ja nopeudella sekä korkealla nopeudella liikuttaessa suurin ajoneuvon liikettä vastustava ajovastusvoima. Ilmanvastuskerroin kuvastaa ajoneuvon aerodynaamisia ominaisuuksia, esimerkiksi sitä kuinka virtaviivainen se on. Putoavan vesipisaran muotoisella kappaleella on pienin mahdollinen ilmanvastuskerroin. Ilmanvastusvoimaan vaikuttavia tekijöitä ovat ajoneuvon poikkipinta-ala, ilmanvastuskerroin, nopeus, ilmantiheys ja tuuli sekä sen suunta. (1.)

Ilmanvastuskerroin lasketaan tehtyjen rullauskokeiden perusteella kaavalla 2 (1).

$$C_w = \frac{2m(a_1-a_2)}{\rho A(v_1^2-v_2^2)}$$

KAAVA 2

C_w = ilmanvastuskerroin

ρ = ilmantiheys $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$

A = ajoneuvon otsa pinta-ala (m^2)

m = ajoneuvon massa (kg)

Lasketaan, kun ilmantiheys $\rho = 1,28\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ A = arvioitu $0,6\text{ m}^2$ m = 340 kg.

$$C_w = \frac{2 * 340\text{kg} \left(2,08\frac{\text{m}}{\text{s}^2} - 1,22\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}{1,28\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,6\text{m}^2 \left(\left(19,44\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(5,55\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2\right)} = 2,19$$

Ilmanvastusvoima kasvaa nopeuden neliössä, joka lasketaan kaavalla 3 (1).

$$F_i = \frac{1}{2}\rho c_w A v^2$$

KAAVA 3

F_i = ilmanvastusvoima

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

Ilmanvastusvoima on laskettu 200 km/h nopeudessa.

$$F_i = \frac{1}{2} * 1,28 \frac{kg}{m^3} * 2,19 * 0,6m^2 * \left(55,55 \frac{m}{s}\right)^2 = 2\,599,4\,N$$

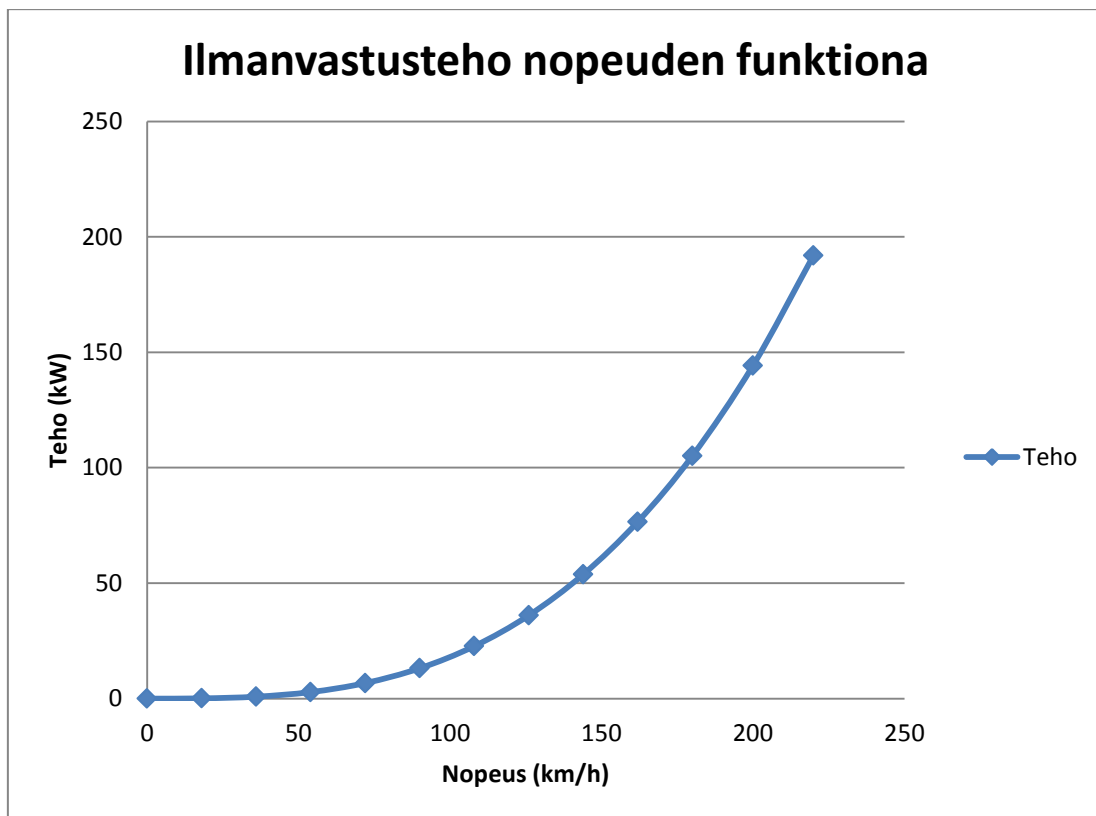
Ilmanvastusteho kasvaa nopeuden kuutiossa ja lasketaan kaavalla 4 (1). Ilmanvastusteho nopeuden funktiona näkyy kuvassa 5.

$$P_i = F_i * v$$

KAAVA 4

$P_i = \text{ilmanvastusteho}$

$$P_i = 2\,599,4\,N * 55,55 \frac{m}{s} = 144\,397,9\,W = 144,4\,kW$$



KUVA 5. Ilmanvastusteho nopeuden funktiona

Ilmanvastuskerroin on mitattu jo aiemmin esitellyllä kiihdytysmoottorikelkalla, jonka aerodynaamiset ominaisuudet olivat testihetkellä hyvin huonot. Ilmanvas-

tuskertoimen kannalta negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä olivat. Moottorikelkan keulamuovin puuttuminen kokonaan, pieni tuulilasi, jonka vuoksi ilmavirtaa kohdistuu kuljettajaan ja välijäähdytin moottorikelkan keulassa, jonka läpi ilma virtaa suoraan moottoritilaan. Yllä mainitut syyt selittävät osin suurta ilmanvastuskerrointa.

3.2 Vierintävastus

Vierintävastuskerroin kuvastaa, kuinka hyvin ajoneuvo rullaa. Vierintävastuskerroimeen vaikuttavat voimansiirron ja alustarakenteen häviöt ja kitkat, telamatto ja ajoalusta. Vierintävastuskerroin on sama kaikilla ajonopeuksilla. (1.)

Vierintävastuskerroin on määritetty kaavalla 5 (1).

$$f_r = \frac{a_2 v_1^2 - a_1 v_2^2}{g(v_1^2 - v_2^2)} \quad \text{KAAVA 5}$$

f_r = vierintävastuskerroin

g = maan vetovoiman kiihtyvyys

$$f_r = \frac{1,22 \frac{m}{s^2} \left(19,44 \frac{m}{s}\right)^2 - 2,08 \frac{m}{s^2} \left(5,55 \frac{m}{s}\right)^2}{9,81 \frac{m}{s^2} \left(\left(19,44 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(5,55 \frac{m}{s}\right)^2\right)} = 0,116$$

Vierintävastusvoima F_r lasketaan kaavalla 6 (1).

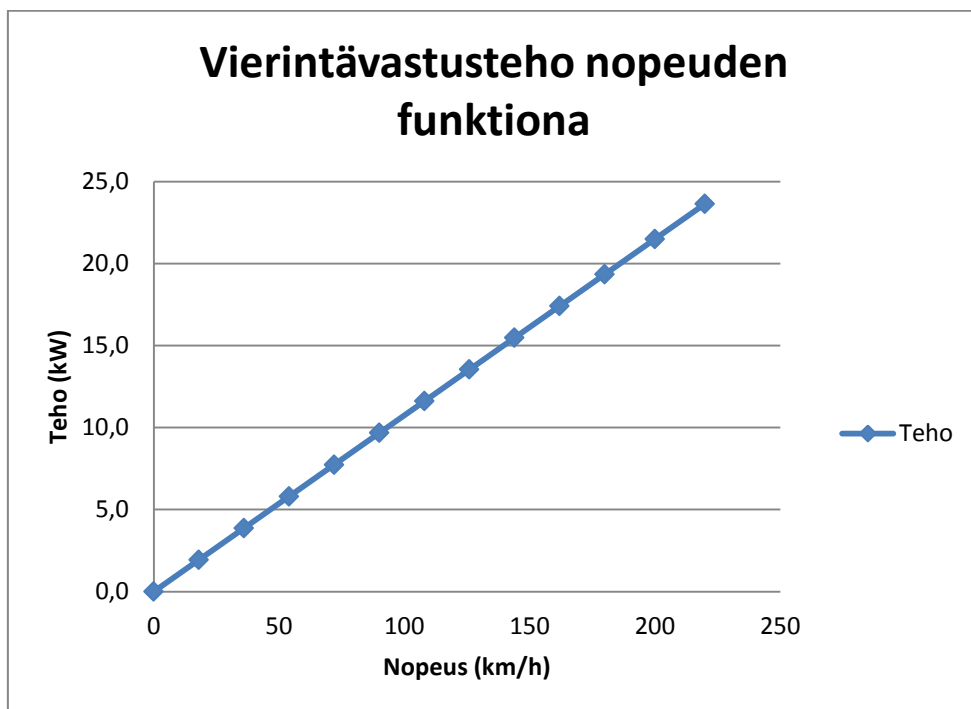
$$F_r = f_r G * \cos \alpha \quad \text{KAAVA 6}$$

$$F_r = 0,116 * 9,81 \frac{m}{s^2} * 340 \text{ kg} = 386,9 \text{ N}.$$

Vierintävastusteho P_r lasketaan kaavalla 7 (1). Vierintävastusteho näkyy nopeuden funktiona kuvassa 6.

$$P_r = F_r * v \quad \text{KAAVA 7}$$

$$P_r = 386,9 \text{ N} * 55,55 \frac{m}{s} = 21\,492,6 \text{ W} = 21,5 \text{ kW}$$



KUVA 6. Vierintävastusteho nopeuden funktiona

Vierintävastuskertoimessa on otettava huomioon, että sitä määritettäessä moottorikelkan sukset olivat maassa. Kilpailusuorituksen aikana sukset ovat ilmassa, jolloin vierintävastuskerroin on todennäköisesti laskettua hieman pienempi, sillä suksien luistaminen lumessa aiheuttaa kitkaa.

3.3 Kiihdytysvastus

Ajettaessa täydellä moottorin kuormituksella kaikkien muiden ajovastuksien voittamisen jälkeen jäljelle jäävä käytettävissä oleva ajoalustaan kohdistuva työntövoima kuluu kiihdytysvastukseen. Kiihdytysvastukseen vaikuttavia tekijöitä ovat ajoneuvon massa, ajoneuvon kiihtyvyys ja voimansiirron hitausmassojen kiihdyttäminen. (1.)

Kiihdytysvastusvoima lasketaan kaavalla 8 (1).

$$F_k = m * a$$

KAAVA 8

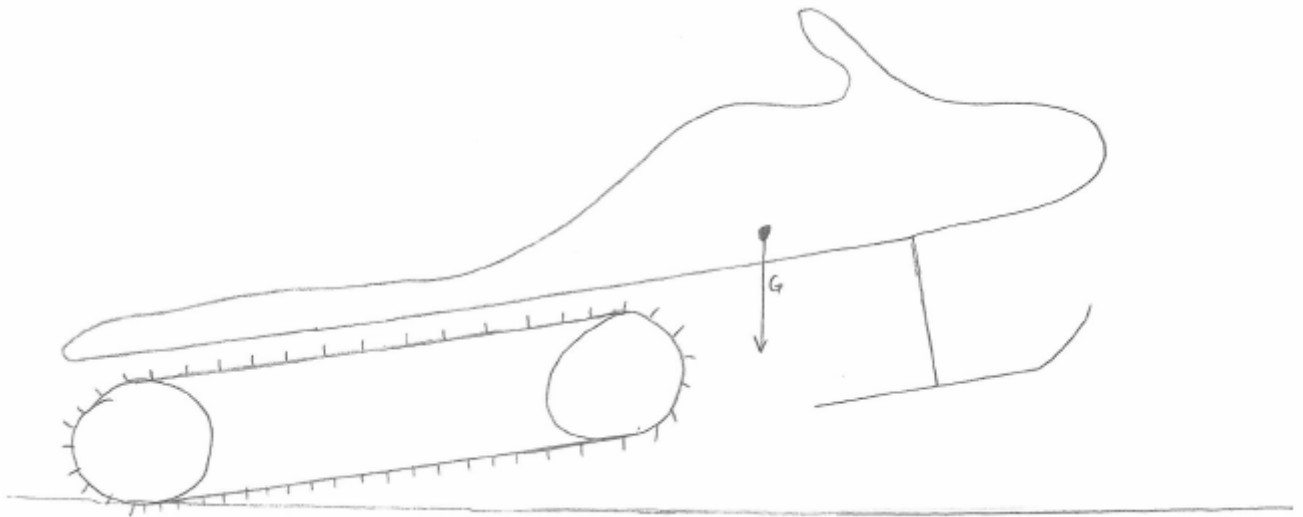
$$a = \text{kiihtyvyys} \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

Lasketaan 1 G:n kiihtyvyydellä.

$$F_k = 9,81 \frac{m}{s^2} * 340 \text{ kg} = 3\,335,4 \text{ N}$$

3.4 Käytettävissä oleva vetovoima

Käytettävissä oleva vetovoima voidaan laskea telavetoiselle ajoneuvolle. Tutkitava kiihdytysmoottorikelkka on kuitenkin ääripää telavetoisista ajoneuvoista, mikä tekee vetovoiman laskemisesta todella haastavaa. Kiihdytyksen aikana telan maahan koskettava pinta-ala ja sen tuottama pintapaine ovat hankalasti arvioitavia, koska telamaton etuosa ja moottorikelkan keula ovat ilmassa (kuva 7).



KUVA 7. Moottorikelkan asento kiihdytyksen aikana

Lisäksi tilannetta hankaloittaa se, että moottorikelkan asento muuttuu kilpailusuorituksen aikana, kun säädellään moottorin tuottamaa tehoa ahtopaineen ajastetun ohjauksen avulla. Vetovoima vetotelalle määritetään kaavalla 9 pintapaineen ja maa-aineksen leikkausjännityksen, -lujuuden perusteella (3, s. 5).

$$\sigma = \frac{W}{bl} \left(1 + \cos \frac{2n\pi x}{l} \right)$$

KAAVA 9

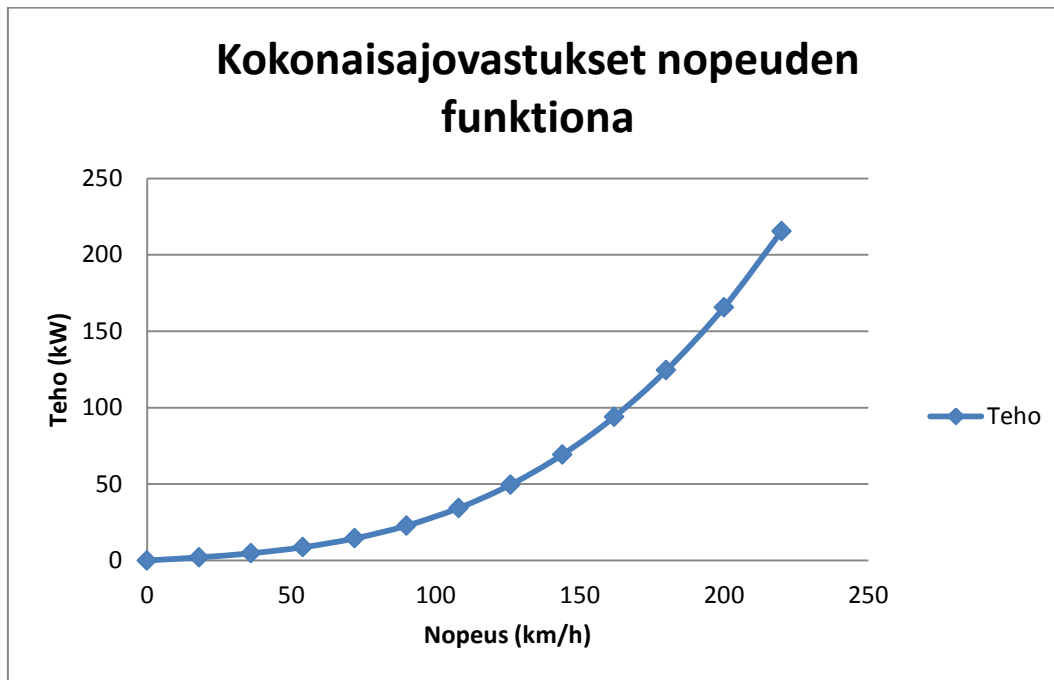
W = telalle kohdistuva kuorma

b = telan leveys

l = telan kontaktipituus

n = deformaatiota kuvaava eksponentti

Käytettävissä oleva vetovoima on sitä suurempi, mitä pienempiä ovat ajovastukset telan vetovoiman ollessa vakio (3, s. 13). Ajovastuksien summa saadaan laskemalla yhteen kaikki samanaikaisesti vaikuttavat ajovastukset (kuva 8) (3, s. 11).



KUVA 8. Kokonaisajovastukset nopeuden funktiona

4 TIEDONKERUU

Kilpa-ajoneuvosta kerätyn suuren tietomäärän seuraaminen kilpailusuorituksen aikana useista mittareista on suuntaa antavaa ja todella haastavaa. Tiedonkeruun avulla saadaan tarkka tieto kilpailusuorituksen kulusta, jolloin kuljettaja voi keskittyä ajamiseen. MoTeC M130-moottorinohjainlaite pro tiedonkeruu optiolla pystyy keräämään tietoa 2 000 kanavalta. Suurin näytteenotto taajuus on 1 000 Hz. (4). Mikäli kyseisen moottorinohjaimen tiedonkeruu taajuus tai 120 mb muisti ei riitä. Voidaan käyttää esimerkiksi MoTeC ACL keskus tiedonkeruu laitetta, joka kerää tiedon erillisiltä laajennusbokseilta, esimerkiksi E888 ja SWIM, jopa 5 000 Hz:n päivitystaajuudella 1Gb:n muistiin.

Tiedonsiirto MoTeC -laitteiden välillä tapahtuu pääsääntöisesti CAN-väylän avulla. Käytettäessä CAN-väylää suuren tietomäärän jakaminen eri laitteiden välillä on helppoa. Esimerkiksi M130-moottorinohjaimelta C125-näytölle moottorin pyörintänopeuden, jäähdytysnesteen lämpötilan, ahtopaineen ja öljynpaineen tiedonsiirtoon tarvitaan vain kaksi johdinta. Ilman riittävää tietoa kilpailusuorituksen aikana tapahtuneista asioista esimerkiksi moottorin, voimansiirron ja alustan säätöjä voitaisiin tehdä vain kokeilemalla. Se ei yleensä johda parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen.

Tiedon analysointi MoTeC -laitteistoa käytettäessä tapahtuu ilmaisilla MoTeC i2 Pro tai Standard -ohjelmilla. Käytettäessä i2 Pro -ohjelmistoa voidaan tiedonkeruuseen lisätä kilpailusta kuvattua videota ja tehdä iskunvaimennus analyysiä. Tiedonkeruun avulla voidaan myös laskea esimerkiksi kyseisestä kiihdytysmoottorikelkasta kiihtyvyys, telamaton luistoprosentti ja variaattorivoimansiirron muuttuva välityssuhde kilpailusuorituksen aikana. Laskennallisesta variaattorivoimansiirron välyssuhteesta voidaan seurata variaattorin remmin mahdollista luistamista ja voimansiirron toimintaa.

Kuvassa 9 ylhäältä alaspäin on lueteltuna moottorin pyörintänopeus (rpm), moottorikelka todellinen gps-nopeus ja telamaton pyörimisnopeus (km/h), laskettu kiihtyvyys (G) ja telamaton laskettu luistoprosentti.



KUVA 9. Tiedonkeruu i2 Pro -ohjelmalla

5 JOHTOSARJAN VALMISTUS

Vaihdettaessa erillainen moottorinohjain alkuperäisen tilalle tarvitaan muutoksia johtosarjaan. Voidaan tehdä pieni adapterijohtosarja, jolla saadaan kytkettyä jälkiasennettu moottorinohjain alkuperäiseen johtosarjaan. Mikäli kuitenkin halutaan paljon uusia erilaisia ominaisuuksia ja antureita, kannattaa tehdä kokonaan uusi johtosarja.

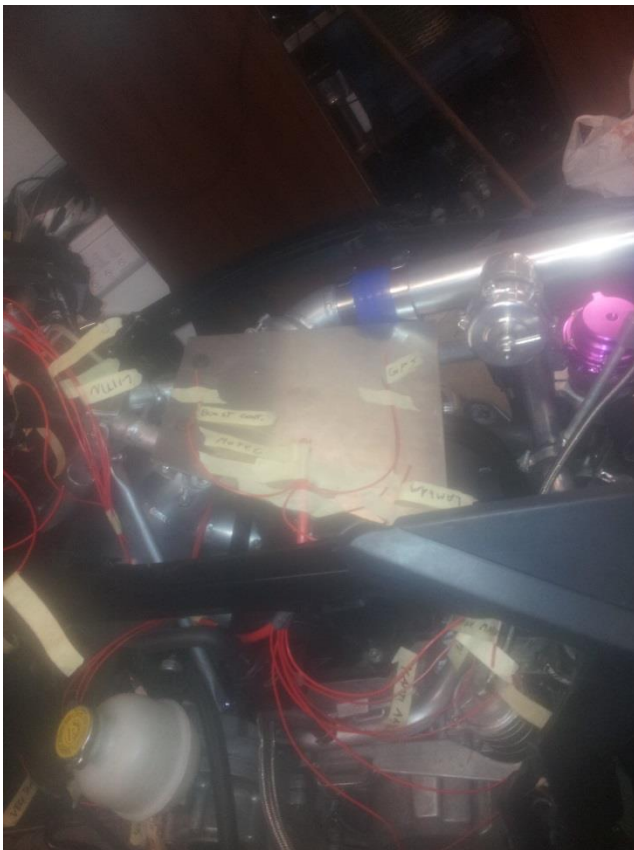
Itse tehdystä johtosarjasta jätettiin jo suunnitteluvaiheessa pois turhat ominaisuudet kuten kahvanlämmittimet ja valot. Uusi johtosarja on alkuperäistä keveämpi ja kestävä suurempia lämpötiloja, kun käytettiin laadukkaita Raychem Spec 55 -sarjan johtimia. Raychem Spec 55 johdinsarjan poikkileikkauspinta-ala on kokoa AWG 22, joka on metrisessä järjestelmässä $0,35 \text{ mm}^2$. Liittiminä käytettiin Deutsch DTM -sarjan vesitiiviitä liittimiä (kuva 10).



KUVA 10. Deutsch DTM -liitinsarja (5)

Johtosarjan suunnittelu aloitettiin, kun kaikki moottorinohjaimen halutut toiminnot ja anturit oli saatu päätettyä. Alkuperäisen johtosarjan ollessa vielä paikollaan moottorikelkasta mitattiin yleismittarilla kaikkien alkuperäisten antureiden kytkennät, jotta osattiin valmistaa uusi johtosarja oikein. Seuraavaksi piirrettiin

kytkentäkaavio Microsoft Visio -ohjelmalla (liite 1). Kytkentäkaavio helpottaa huomattavasti myöhemmin mahdollisesti tapahtuvaa johtosarjan muokkaamista tai vianhakua. Johtosarjan valmistamisen avuksi tehtiin aluksi mallijohtosarja, joka asemoitiin moottorikelkkaan niin kuin uudenkin johtosarjan haluttiin siellä olevan (kuva 11). Mallijohtosarjaa voitiin käyttää apuna haaroituskohtien valitsemiseen ja oikeiden johtimien pituuden mittaamiseen, koska konehuone on erittäin ahdas.



KUVA 11. Mallijohtosarja

Johtosarjan paksuin kohta näkyy kuvassa 12, jossa on tehty myös ensimmäiset johtosarjan haaroitukset. Antureiden 5 V:n jännitesyöttöjen ja maadoitusten haaroitukset näkyvät myös kuvassa 12. CAN-väylän hi- ja low -johdot yhdistävä 100 Ω :n vastus sekä anturien jännitesyöttöjen ja maadoitusten haaroitukset jätettiin kutistesukan ulkopuolelle. Silloin mahdollisissa vikatilanteissa ne olisi helpompi tarkistaa ja korjata. Lopuksi haaroituskohtien päälle sulatettiin liimakutistesukat, jottei kosteus pääsisi johtosarjan sisään.



KUVA 12. Haaroitukset

6 AHTAMINEN

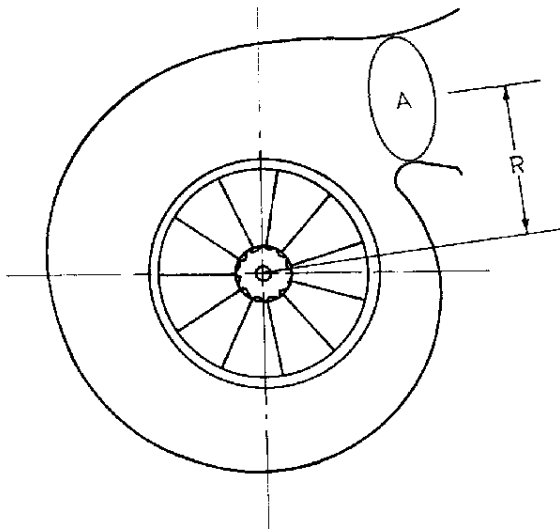
Polttomootorissa ahtimella aikaansaadaan parempi sylinteritäytös, joka parantaa moottorin hyötysuhdetta ja mahdollistaa huomattavasti suuremman tehon samalla iskuilavuudella verrattaessa vapaasti hengittävään moottoriin (6, s. 480). Yleisimpiä ahdintyypppejä ovat pakokaasuahdin ja mekaaninen ahdin, joista ensin mainittu on yleisin.

6.1 Turbo- eli pakokaasuahdin

Pakokaasuahdin koostuu kahdesta virtausosasta eli turbiinista ja kompressorista, jotka ovat samalla akselilla. Akseli on laakeroitu yleensä vierintälaakereilla. Kilpatasolla käytetään myös vierintälaakereita, jotka ovat kestävämpiä kuin vierintälaakerit ja pyörivät herkemmin, jolloin ahtimen pyörintänopeus kiihtyy nopeammin. Laakerien voitelu on yleensä toteutettu moottorin öljynpaineella. Pakokaasun virtaukseen sitoutunut energia pyörittää turbiinia. Ahdin imee ulkoilmaa ja paineistaa sen painekotelon kautta sylinteriin. Pakokaasuahdimella ei ole mekaanista yhteyttä moottoriin, vaan ne ovat yhteyksissä vain ilma- ja pakokaasumassavirtojen kautta. (6, s. 482.)

6.1.1 A/R-suhde

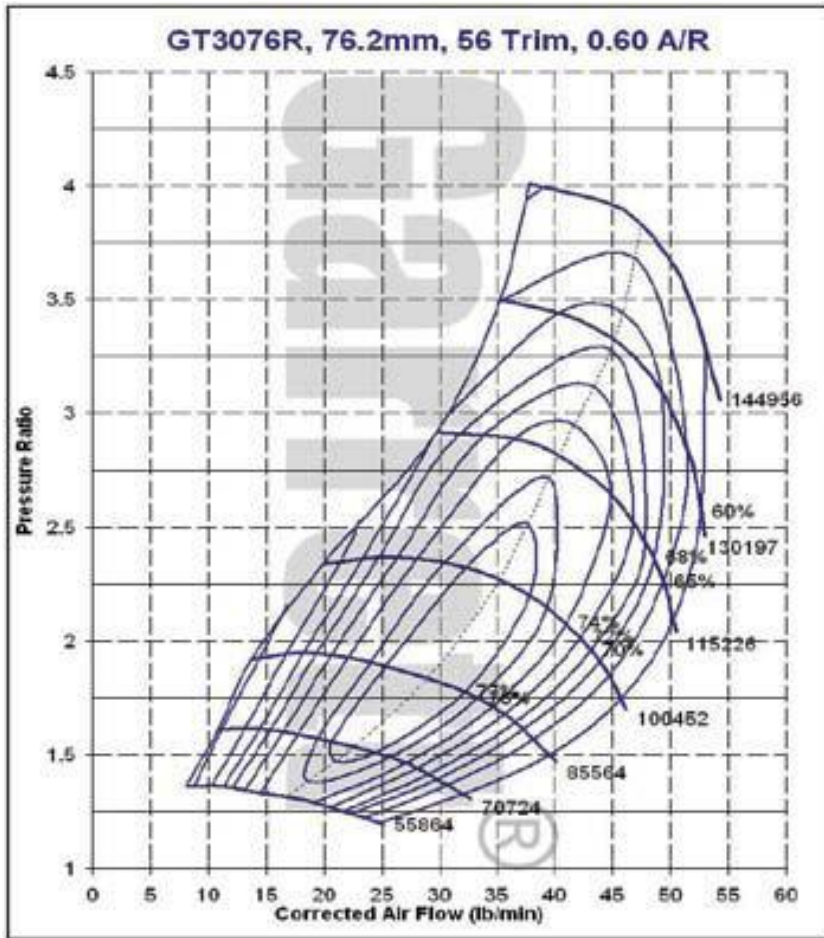
Pakokaasuahtimen valinnassa vartenotettava seikka on turbiinipuolen A/R-suhde kuten 0,47, 0,64, 0,84, 1,00. A-kirjain tarkoittaa turbiinikotelon suuaukon pinta-alaa ja R-kirjain turbiinipyörän keskipisteen ja suuaukon keskipisteen välistä etäisyyttä (kuva 13). Pinta-alan A ollessa pienempi pakokaasujen virtausnopeus on suhteessa suurempi, jolloin pakokaasut pyörivät turbiiniin siipiä nopeammin. Pienellä A/R-suhteella saadaan aikaan nopea ahtopaineen nousu, mutta ahdin saattaa alkaa myös nopeasti rajoittamaan maksimipainetta. Toisaalta iskuilavuudeltaan suuressa moottorissa pieni A/R-suhde kasvattaa pakopaineita. (7.)



KUVA 13. Ahtimen A/R -suhde (8)

6.1.2 Kompressorin

Kompressorin valitseminen on helpompaa kuin turbiinin, koska turbovalmistajilla on ahtimiinsa ominaiskäyrästä niin kutsuttu turbokartta, josta saadaan selville ahtimen tuottama ilmamäärä halutulla paineella. (9, s. 153.) Kuvassa 14 nähdään pakokaasuahntimen paineilmavirta kuvaaja. Kuvan Y-akselilla on ahtimen tuottama absoluuttinen paine, X-akselilla on ilmavirta (lb/min), simpukkakäyrästä kompressorin hyötysuhdeprosentti ja käyrästä olevilla viivoilla ahtimen pyörintänopeusalueet (r/min).



KUVA 14. Garrett GT3076R -ahtimen kartta (10)

Karkeasti ajateltuna kompressorin tuottaman ilmamäärän suhde moottorin tehoon on $10 \text{ lb/min} = \text{noin } 100 \text{ hv}$. Moottorista saatavaan tehoon vaikuttavia asioita on kuitenkin monia muitakin kuin ahtopaine eikä sen mielivaltainen nostaminen tarkoita tehon kasvua suoraan samassa suhteessa (9, s. 153).

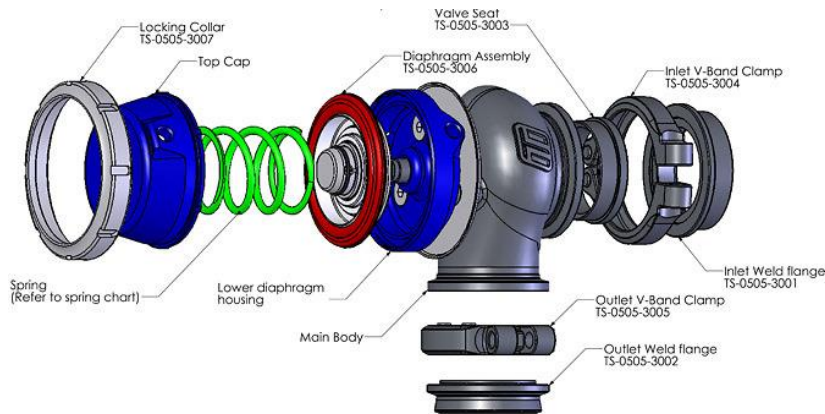
6.2 Mekaaninen ahdin

Mekaanisia puristusperiaatteella toimivia ahtimia ovat mäntäahtimet, ruuviahtimet, kiertomätäähtimet ja siipiahtimet. Mekaaninen ahdin ottaa pyörimiseensä käytettävän energian kampiakselilta hammasrattaiden tai remmin välityksellä. Tämä ahtamisen menetelmä on vähemmän käytetty kuin pakokaasuahdin, koska sen hyötysuhde on huonompi. Mekaaninen ahdin kuluttaa moottorissa palamisen seurauksena syntynyttä kampiakselitehoa. Mekaanisella ahtimella voidaan saavuttaa pienillä moottorin pyörintänopeuksilla parempi vääntömomentti, kuin

pakokaasuahтимella. Pienillä moottorin kierroksilla pakokaasujen massavirta ei ole riittävä pakokaasuahtimella ahtamiseen. (6, s. 480.)

6.3 Hukkaportti

Hukkaportti on ahtopaineen säädin, joka päästää pakokaasuja virtaamaan pakosarjasta suoraan pakoputkeen tai ulkoilmaan ahtimen turbiinisiiven ohitse. Hukkaportin toiminta perustuu jousivoiman voittamiseen, jota kalvon alla vallitseva ahtopaine pyrkii puristamaan. Ahtopaineen kalvoon aikaansaaman voiman kasvaessa riittävän suureksi alkaa jousi puristua kasaan. Kalvossa kiinni oleva lautasventtiili liikkuu kalvon mukana avaten hukkaportin kanavan, jota pitkin pakokaasu pääsee virtaamaan ahtimen turbiinisiiven ohitse (kuva 15).



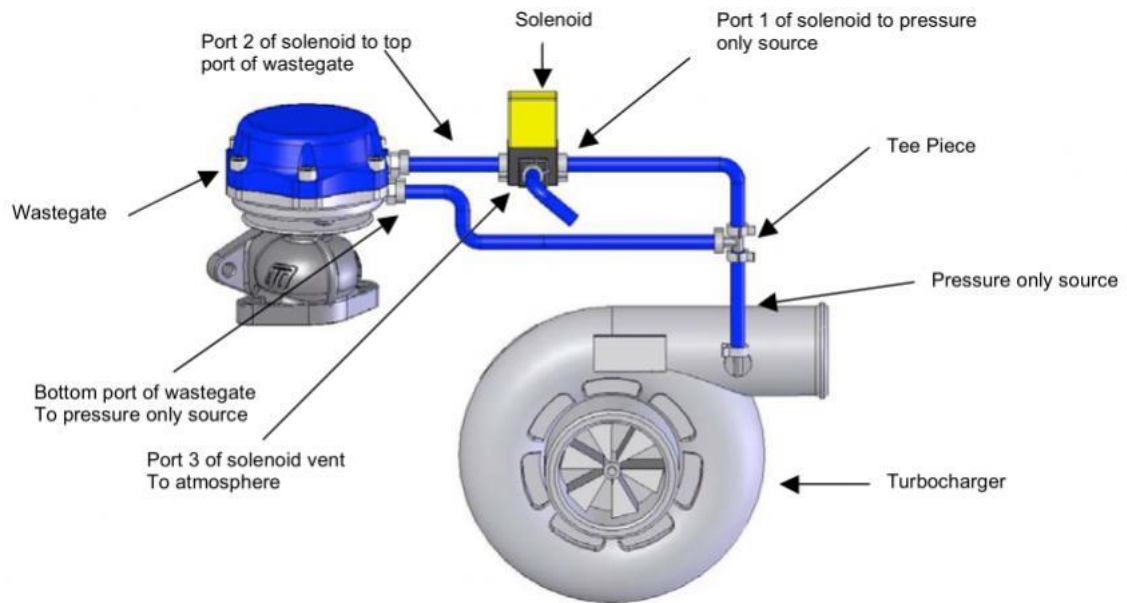
KUVA 15. Hukkaportti (11)

6.4 Ahtopaineen ohjaus

Hukkaportin säätäessä ahtopainetta jousen avulla maksimi ahtopaine pysyy kokoajan vakiona eikä sitä voida muuttaa muuten kuin vaihtamalla hukkaportinjousi (9, s. 160). Hukkaportin toimintaa voidaan kuitenkin muuttaa päästämällä kalvon yläpuolelle ahtimen tuottamaa ylipainetta, joka jousen lisäksi vastustaa lautasventtiilin aukeamista.

Ahtopaineen ohjaus voidaan toteuttaa mekaanisesti säädettävällä venttiilillä, joka päästää tietyn verran ahtopainetta ohitse. Parempi tapa on kuitenkin sähkötoiminen pulssisuhde (PWM) -ohjattu solenoidi, jolla voidaan tehdä täysin

portaaton ahtopaineen säätöä jopa kilpailusuorituksen aikana. Kuvassa 16 näkyy ahtopaineen ohjain solenoidin sijainti hukkaportin painelinjastossa.



KUVA 16. Ahtopaineen ohjaus (12)

7 KIIHTYVYYDEN MAKSIMOINTI

Mahdollisimman hyvän kiihtyvyyden ja loppunopeuden aikaansaamiseksi ajo-
vastukset täytyy minimoida. Täytyy myös välittää käytettävissä oleva teho mah-
dollisimman hyvin ajoalustaan, jotta saadaan suuriin mahdollinen työntövoima.
Suuren tehon välitys telamatolle aiheuttaa sutaamista. Sutaaminen vaikuttaa
työntövoimaan, joka saa aikaan kiihtyvyyden. Sutaamista voidaan seurata las-
kemalla tiedonkeruulla luistoprosentti gps-nopeuden ja telamaton nopeuden
perusteella kaavalla 10.

$$\frac{x}{y} * 100 - 100 = \text{luisto } \%$$

KAAVA 10

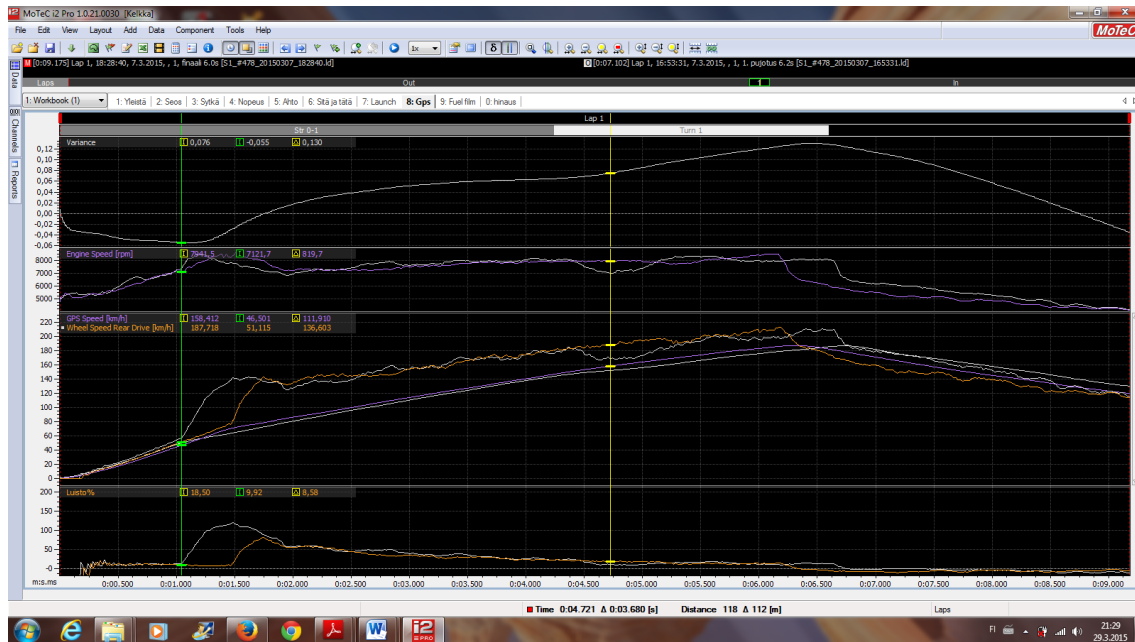
x = telamaton nopeus (km/h)

y = todellinen gps-nopeus (km/h)

$$\frac{146 \text{ km/h}}{91 \text{ km/h}} * 100 - 100 = 60 \%$$

Sutimiseen vaikuttavia asioita tehon lisäksi ovat lumen koostumus tai minkä
tahansa ajoalustan ominaisuudet, esimerkiksi jää, multa ja asfaltti, sekä telama-
ton kitkaan vaikuttavat asiat eli painonsiirto telamatolle, maton pituus, leveys,
harjakuvio ja harjakorkeus. Ajettaessa jäällä tai multa pellolla telamatossa voi-
daan käyttää myös piikkejä, joiden avulla saadaan lisää pitoa.

Työn tuloksena saatiin suomenmestaruuskilpailuista toinen sija. Lisäksi kerättiin
paljon tietoa telamaton luistoprosentin vaikutuksesta moottorikelkan kiihtyvyy-
teen. Testejä ja säätämistä suoritettiin lukuisina päiviä testiradalla tiedonkeruuta
apuna käyttäen, jolloin voitiin verrata kahta ajosuoritusta asettamalla ne näky-
mään päällekkäin. Kuvassa 17 on tehty kahden eri kilpailusuorituksen vertailu.
Valkoisella viivalla piirtynyt viiva on huonompi ajalla 6,2 s ja toisen värinen viiva
parempi ajalla 6,0 s.



KUVA 17. Vertailu

Kuvassa 17 näkyy ylhäältä alaspäin lueteltuna variance, joka kertoo reaaliaikaisen aikaeron kilpailusuoritusten välillä, moottorin pyörintänopeus (rpm), gps- ja mattonopeus (km/h) sekä telamaton luistoprosentti. Kuvasta 17 voidaan huomata, että huonommassa kilpailu suorituksessa on sattunut kaksi virhettä. Ensimmäinen virhe on tapahtunut ensimmäisen kursorin osoittamalla kohdalla heti 6 m lähtöviivan jälkeen lähtömatolla, kun moottorikelkan telamatto on alkanut suti liiallisesta tehon välityksestä telamatolle tai huonon alustan säädön vuoksi.

Alustan säädöt voivat olla joko liian kovat, jolloin paino ei siirry telamatolle tai liian pehmeä, jolloin painoa siirtyy kohtuuttomasti ja moottorikelkan keula nousee liian ylös jolloin telamaton pito heikkenee ja se alkaa sutaamaan. Mikäli ei halua tyytyä kohtalaiseen alustan säätöön, näiden kahden ääripään välissä oleva kiihtyvyyden kannalta optimaalinen alustan säätö on todella vaikeasti saavutettavissa.

Toinen kuvasta 17 havaittavissa oleva virhe on sattunut noin 4,5 s lähdöstä toisen kursorin osoittamalla kohdalla, jolloin kaasunasennon pienentämisestä johtuen moottorin ja telamaton pyörimisnopeudet ovat laskeneet. Kaasun asentoa pienennettiin, koska oli vaikeuksia pysyä kiihdytys radalla. Lähtövaloilla ja

ajanotolla varustetuista kilpailuista saatiin tiedonkeruun lisäksi myös aikalappu, josta selviävät kulunut aika ja loppunopeus 201,17 m kohdalla.

7.1 Lähtö

Lähtö tapahtuu 12 m pitkiltä lähtömatoilta, joilla on parempi pito kuin lumella. Heti paikoiltaan liikkeelle lähtiessä on saatava käyttöön riittävä määrä tehoa, jotta lähtömatoilla saadaan kerättyä mahdollisimman paljon vauhtia. Heti alussa hävitty aika ja nopeus kertautuu loppua kohden, sitä voidaan seurata asettamalla tiedonkeruussa kaksi erilaista kilpailusuoritusta näkymään päällekkäin. Variancea käyttämällä nähdään kilpailusuoritusten välinen reaaliaikainen aikaero kilpailun eri vaiheissa.

Ahdettu moottori, jonka puristussuhdetta on laskettu, ei tuota heti kaasua painettaessa riittävästi tehoa tarpeeksi räväkän alkukiihtyvyyden aikaansaamiseksi. Sen takia käytetään yleensä ilokaasua tai lähtörajoitinta, varsinkin kun ajetaan esimerkiksi asfaltilla tai nurmella, jossa voidaan käyttää enemmän tehoa ilman pelkoa telamaton pidon menetyksestä.

Lähtömatoilta lähtiessä sutaaminen aiheuttaa suuria ongelmia, jolloin koko kilpailusuoritus on pilalla. Talvella käytettäessä lähtömattoja ja pidon ollessa rajallinen voidaan kuitenkin aikaansaada riittävän nopea ahtimen herääminen ilman lähtörajoitinta tai ilokaasuja. Siinä tapauksessa moottorikelkan variaattorivoimansiirron eli kytkimien säätöjen täytyy olla hyvät.

7.2 Lähtörajoitin

Lähtörajoitin rajoittaa moottorin pyörintänopeuden haluttuun arvoon myöhäistämällä sytytysennakkoa ja jättämällä sytytyskipinöitä sekä tarvittaessa polttoaineen ruiskutusta välistä. Tällöin moottorin pyörintänopeus ei kasva, vaikka kaasu on pohjassa. Lähtörajoitinta käytettäessä lähtöviivalla voidaan painaa kaasu pohjaan, jolloin imusarjan paine nousee ulkoilmanpaineeseen saakka tai ahdetussa moottorissa ylikin. Tämä sen vuoksi, että myöhäinen sytytysennakko ja kipinöiden pois jättäminen aikaan saa palamista pakosarjassa, joka nostaa pakosarjassa olevan pakokaasun painetta ja kiihdyttää ahtimen pyörintänopeutta.

Imusarjanpaineen nousun ansiosta saadaan suurempi teho heti liikkeelle lähtiessä, kun lähtörajoitin kytkeytyy pois päältä.

7.3 Ilokaasu

Ilokaasua N_2O käyttämällä saadaan polttomoottorissa nostettua moottorin tuottamaa tehoa. Kaasu on paineistettuna varastoitu pulloon nestemäisessä olomuodossa, josta vapautuessaan paine laskee ja neste höyrystyy. Nesteen höyrystyminen paineen laskiessa on endoterminen reaktio, joka sitoo lämpöenergiaa moottorin imuilmasta. Imuilman lämpötilan lasku kasvattaa ilmantiheyttä, jolloin samalla paineella moottorin sylinteriin mahtuu enemmän polttoaineen ja ilman seosta. (13.)

Puristustahdin aikana kaasuseos lämpenee, jolloin ilokaasu hajoaa typeksi ja hapeksi. Lisähappi parantaa polttoaineen palamista, joten palotapahtumaan voidaan syöttää enemmän polttoainetta suuremman tehon aikaansaamiseksi. Ilokaasua käytettäessä saadaan pakokaasujen massavirtaa kasvatettua, jolloin isokin turboahdin herää nopeammin. (13.)

7.4 Iskunvaimentimien lyhennys

Ilmanvastuksen pienentämiseksi ja massakeskipisteen korkeuden laskemiseksi moottorikelkan ajokorkeutta madallettiin huomattavasti alkuperäiseen verrattuna. Madallus suoritettiin lyhentämällä alkuperäisten iskunvaimentimien iskunpituutta. Iskunvaimentimien iskunpituuden lyhentäminen toteutettiin asentamalla iskunvaimentimen varren ympärille männän ja korkin väliin nylonista sorvattu valkoinen holkki (kuva 18).



KUVA 18. Iskunvaimentimen holkitus

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli alittaa 6 sekunnin aika ja saavuttaa 200 km/h loppunopeus 1/8 mailin matkalla. Toinen tavoitteista saavutettiin jo alkutalvesta alittamalla 6 sekunnin aika ennen suomenmestaruuskilpailuja. Opinnäytetyö oli hyvin haastava ja käytäntöpainotteinen, sillä se sisälsi erittäin paljon käytännön toteutusta, säätämistä ja testaamista.

Kiihdytyskilpailussa hyvin oleellinen asia on lähtö eli ensimmäinen 60 jalan mittainen matka. Ahtopaineen ohjaus matkan aikana on myös tärkeää, jotta voidaan saavuttaa moottorin pidempi kestoikä ja paras mahdollinen työntövoima oikealla telamaton luistoprosentilla.

Työ onnistui hyvin, koska tulosta syntyi ja kyseinen kiihdytysmoottorikelkka on Suomen ensimmäinen sellainen, jossa saadaan selville kilpailusuorituksen aikainen luistoprosentti ja käytetään ahtopaineen ajastettua ohjausta. Talvi 2015 oli hyvin lyhyt ja vesisateinen, joten suomenmestaruuskilpailu pystyttiin ajamaan vain yhtenä päivänä, jonka tulokseksi jäi kakkossija.

Työ on tutkimus- ja kehitystyö, jossa pyrittiin pääsemään mahdollisimman hyvään lopputulokseen laadukkaan moottorinohjainlaitteen ja sen tiedonkeruun avulla. Telamatto voimansiirron voimansiirto kykyä ei laskettu, koska todettiin telamaton luistoprosentin käytännön testaamisen olevan avainasemassa hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi.

Ilmanvastusvoiman pienentämiseksi valmistettiin moottorikelkan keulaan hyvin yksinkertainen ilmavirran ohjain (kuva 19). Ilmavirran ohjain vaikutti positiivisesti loppunopeuteen nostamalla sitä noin 10 km/h. Aerodynamiikassa on kuitenkin vielä paljon parannettavaa.



KUVA 19. Ilmavirran ohjain asennettuna moottorikelkan keulalle

LÄHTEET

1. Ilomäki, Janne 2012. T331005 Autotekniikan perusteet. Opintojakson oppimateriaali 2010. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
2. Lehtonen, Arto 2014. T331303 Autolaboraatiot opintojakson oppimateriaali Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
3. Haataja, Mauri 1989. Telavetoisten työkoneiden ja maastoajoneuvojen sekä ilmatyynyajoneuvojen tehontarpeen määrittäminen ja ohjattavuutta säätelevät tekijät.
4. M1 Series ECUs. 2015. MoTeC Pty Ltd. Saatavissa: <http://www.motec.com/m1/m1licensing/>. Hakupäivä 29.3.2015.
5. Kit Deutsch DTM Series 6 Pin. 2011. Wachoviya Pty Ltd. Saatavissa: http://www.genr8.net.au/product-display-pages/ind-product-display/accessories/wiring-accessories/deutsch-connectors/dtm-series-kits/18-dtm6.htm?id=774&product_id=10817 Hakupäivä 30.3.2015.
6. Bosch, Robert 2003. Autoteknillinen taskukirja. 6. painos. Jyväskylä: Gummerus Oy.
7. Hestec.fi Special Tuning Harinen Oy. 2009. Vesapekka Lindgren. Saatavissa: <http://www.hestec.fi/chiptuning/turboahdin.php> Hakupäivä 4.2.2015.
8. Not2Fast. Turbo Glossary. 2003. Eric Fahlgren. Saatavissa: https://www.google.fi/search?q=a/r+suhde&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=QXSVPu8A9Hvav7LguAJ&ved=0CAgQAUoAQ&biw=1600&bih=787#tbm=isch&q=a%2Fr+turbo&imgdii=&imgrc=Xclgeeb2zGJWLM%253A%3BWBAG_ow6SV-aiM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.not2fast.com%252Fturbo%252Fglossary%252Far_ratio.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.not2fast.com%252Fturbo%252Fglossary%252Fturbo_glossary.shtml%3B653%3B600 Hakupäivä 4.2.2015.

9. Bell, A. Graham 1998. Uusi moottoritekniikka Virittäminen ja säätäminen. Helsinki: Alfamer.
10. Garrett GT3076R turbocharger. 2007-2013. Boombop Incorporated. Saatavissa: <http://www.theboombopshop.com/Garrett-Turbo-GT3076R-p/garrett-gt3076r.htm> Hakupäivä 4.2.2015.
11. Turbosmart Comp-Gate40 Hukkaportti. THE-Enterprise Oy. Saatavissa: <http://shop.mamasan.fi/product/show/3433/hukkaportit/1937/turbosmart-comp-gate40-hukkaportti> Hakupäivä 4.2.2015.
12. Electronic Boost Controller Comparison Chart. 2007. Internet Brands, Inc. Saatavissa: <http://www.rx7club.com/3rd-generation-specific-1993-2002-16/electronic-boost-controller-comparison-chart-952767/page2/>. Hakupäivä 4.2.2015.
13. N2O Ilokaasu.fi. Saatavissa: <http://www.ilokaasu.fi/> Hakupäivä 10.2.2015.

