

Iiro Byman

Mittalaite kiihdytysradan olosuhteiden analysointiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

18.4.2014

Tekijä Otsikko	Iiro Byman Mittalaite kiihdytysradan olosuhteiden analysointiin
Sivumäärä Aika	28 sivua + 3 liitettä 18.4.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja	Lehtori Heikki Parviainen
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa mittalaite, jonka avulla voidaan mitata kiihdytysradan kitkakerrointa. Mittaustulosten avulla radasta voidaan luoda profiili, joka kuvaa kitkakerrointa matkan funktiona. Kitkamittauksen lisäksi mittalaitteeseen rakennettiin sääasema ja sitä varten luotiin Excel-pohjainen laskentaohjelma.</p> <p>Ajoneuvon säätäminen on tärkeää kiihdytysajoissa. Muutuvat sääolosuhteet sekä ratojen väliset erot vaikuttavat paljon auton säätöjen valintaan. Työssä tarkastellaan kumikitkan ominaisuuksia sekä esitellään erilaisia menetelmiä tienpinnan kitkan mittaamiselle. Näitä menetelmiä vertailemalla päädyttiin valmistamaan mittalaite, jossa kitkan mittaus tapahtuu vetämällä mittakelkkaa rataa vasten ja mittaamalla siihen tarvittavaa voimaa. Työssä perehdytään mittalaitteen valmistukseen sekä sen komponenttien valintaan.</p> <p>Lisäksi työssä tarkastellaan sääolosuhteiden vaikutusta polttomoottorin tuottamaan tehoon sekä erilaisia tapoja kuvata sääolosuhteita.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena syntyi mittalaite, jonka avulla voidaan tulevana kilpailukautena mitata sekä kilparadan kitkaa että sääolosuhteita. Lisäksi insinööriyön tuloksena syntyi yksinkertainen Excel-laskentaohjelma, jonka avulla voidaan sääaseman tietojen perusteella laskea lisää säätämisen kannalta oleellisia tietoja.</p>	
Avainsanat	mittaustekniikka, mittalaite, kiihdytysajo, kumikitka

Author Title	Iiro Byman Measuring Instrument for Analyzing Drag Strip Conditions
Number of Pages Date	28 pages + 3 appendices 18 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor	Heikki Parviainen, Senior Lecturer, Helsinki Metropolia UAS
<p>The purpose of this thesis was to design and produce a measuring instrument to measure the friction of a drag strip. With the results of a measurement, a profile which illustrates the friction of the track as a function of distance can be made. In addition to the friction measurements, a weather station is also included in the measuring instrument. An Excel-based calculation program is also made to help processing information acquired from the weather station.</p> <p>Tuning the vehicle is important in a drag race. Altering weather conditions and the differences between venues are an important factor when deciding the initial tune up of the vehicle. This thesis examines the properties of rubber friction and presents different ways of measuring friction. After comparing these options, a decision was made to measure the friction using a weighted sled dragged across the surface of the drag strip. This thesis describes the manufacturing process and selection of components.</p> <p>This thesis also examines the effects that weather conditions have on an internal combustion engine and different ways to express those conditions.</p> <p>As a result of this thesis a measuring instrument was produced. It will be used to measure friction and weather conditions during the upcoming drag racing season. In addition to the instrument, also a simple Excel-based calculation program was made to process the data acquired from the weather station and to further use the processed data to help tune the race car.</p>	
Keywords	measuring instrument, rubber friction, drag racing

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kumikitka ja sen ominaisuudet	2
2.1	Kitkakomponentit	2
2.1.1	Adheesiokomponentti F_a	3
2.1.2	Hysteresiskomponentti F_h	3
2.1.3	Kulumisen aiheuttama voima F_w	3
2.2	Pintapaineen vaikutus kitkavoimaan	4
2.3	Liukunopeuden vaikutus kitkavoimaan	4
2.4	Liukuhistorian vaikutus kitkavoimaan	5
3	Kitkan mittaus	5
3.1	Fixed slip -menetelmä	6
3.2	Heilurimenetelmä	7
3.3	Kelkkamenetelmä	8
4	Mittalaitteen valmistus	9
4.1	Mittausmenetelmän valinta	9
4.2	Komponenttien valinta	11
4.2.1	Tiedonkeruulaitteen valinta	11
4.2.2	Voima-anturin valinta	13
4.2.3	Kumikappaleen koon valinta	14
4.2.4	Mittamuuntimen valinta	15
4.2.5	Sääsaman antureiden valinta	16
4.2.6	GPS-vastaanottimen valinta	16
4.3	Mittalaitteen rungon valmistus	16
4.4	Sähköjärjestelmän valmistus	18
4.5	Anturien testaus ja kalibrointi	19
5	Sääolosuhteiden vaikutus ajoneuvon suorituskykyyn	20
5.1	Tiheyskorkeuden käsite	22
5.2	Moottoritehon korjauskerroin	23
5.3	Radan lämpötila	24
6	Excel-laskentaohjelman luonti	24

7	Yhteenveto	25
7.1	Tavoitteiden täyttyminen	25
7.2	Tulevaisuuden kehitysehdotuksia	26
	Lähteet	27
	Liitteet	
	Liite 1. Kytkenäkaavio	
	Liite 2. Ote ilmanpaineanturin datalehdessä	
	Liite 3. Ote lämpötila- ja kosteusanturin datalehdessä	

Lyhenteet

VTI Statens väg- och transportforskningsinstitut

ICAO International Civil Aviation Organization

FAA Federal Aviation Administration

ISA International Standard Atmosphere

SAE Society of Automotive Engineers

1 Johdanto

Drag racing eli kiihdytysajo on yksi moottoriurheilun nopeimmista lajeista. Siinä kaksi ajoneuvoa kilpailee rinnakkaisilla radoilla siitä, kumpi ylittää maaliviivan ensimmäisenä. Kilpailumatkan pituus on neljännesmaili eli noin 402,3 metriä. [1] Kilpailun voittamiselle tärkeimmät tekijät ovat, että ajoneuvo on mahdollisimman tehokas sekä tasaisiin suorituksiin kykenevä.

Tehokkuuteen vaikuttaa moottorin rakenteen lisäksi radalla vallitsevat sääolosuhteet. Koska kaikki Suomessa kilpailevat autot sekä moottoripyörät tuottavat käyttövoimansa polttomoottorilla, on säällä merkittävä rooli niiden tehon tuottoon. Kilpamoottorit ovat yleensä säädetty parhaimman tehon saavuttamiseksi moottoridynamometrissä kyseisessä tilassa vallinneeseen ilmaan nähden. On kuitenkin tarpeellista tuntea radalla vallitseva ilma, jotta moottorin polttoaineensyöttöä voidaan säätää niin, että seossuhde vastaa sitä, jolla saavutettiin dynamometrissä paras teho.

Tasaisiin suorituksiin vaaditaan, että tuotettu moottoriteho saadaan mahdollisimman hyvin muutettua autoa eteenpäin kuljettavaksi voimaksi eli käytännössä renkaan ja radan väliseksi kitkavoimaksi. Tästä syystä tasaisten suoritusten aikaansaamiseksi on erittäin tärkeää tietää renkaan ja radan välinen kitkakerroin. Kun kitkakerroin on tiedossa, voidaan säätää renkaille menevää tehoa esimerkiksi kytkimen luistoastetta muuttamalla tai vaihtoehtoisesti moottorin tehoa rajoittamalla.

Erilaisia kaupallisia sääasemia on olemassa useita, myös sellaisia joissa on sisäänrakennettu laskentaohjelma polttoaineensyötön säätämiseen [2]. Kitkan mittaamiseen taas ei ole monia kaupallisia tuotteita. Nimenomaan kiihdytysajoja varten tehtyjä tuotteita on yksi, Competition Motorsportsin valmistama Track Meter [3]. Tämän laitteen käyttö on kuitenkin turhan työlästä. Jotta radasta saisi luotua kitkaprofiilin, täytyisi jokainen mittaustulos kirjata ja niiden pohjalta käsin luoda profiili. Koska Suomen kilpailuissa aikaa radan tutkimiseen on erittäin rajallisesti, täytyy mittaus saada nopeasti toteutettua.

Tämän insinööriyön tavoitteena on suunnitella ja valmistaa mittalaite, jolla saadaan mitattua ja luotua kiihdytysradasta profiili, joka kertoo radan kitkakertoimen matkan funktiona. Tämän tiedon avulla voidaan vertailla radan kahta kaistaa keskenään sekä

eri kilpailujen välillä radan pitoa ja niiden avulla suunnitella ajoneuvon alkusäätöjä kilpailua varten. Kitkan mittaamisen lisäksi mittalaitteeseen rakennetaan sääasema, jolla mitataan ilmanpaine, lämpötila sekä kosteus. Näitä varten luodaan Excel-ohjelma, jonka avulla voidaan laskea tarvittavia suureita polttoaineensyötön säätämistä varten.

Insinööriyöllä ei ole tilaajaa, vaan se tulee tämän työn tekijän henkilökohtaiseen käyttöön.

2 Kumikitka ja sen ominaisuudet

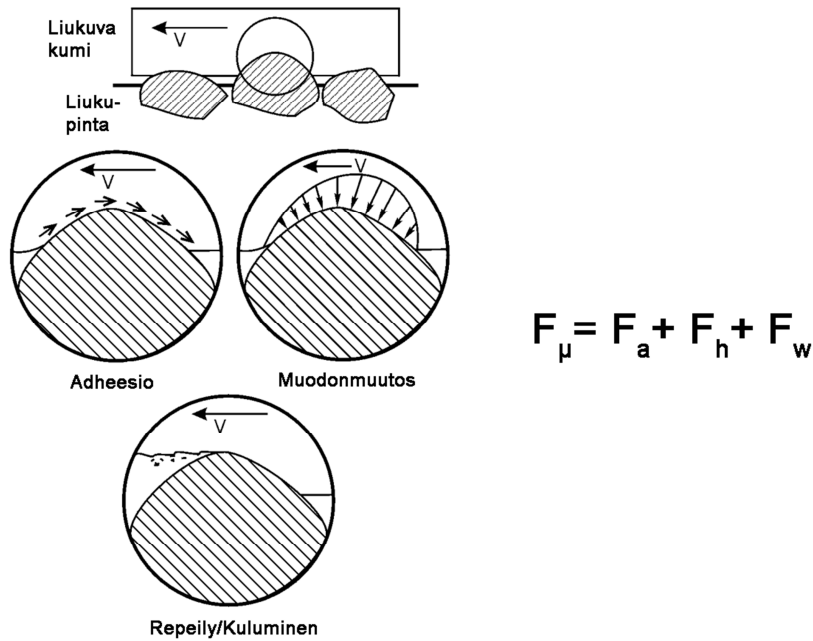
Perinteisten kitkalakien mukaan

- kitkan suuruus on riippumaton pintapaineesta
- lepokitkakerroin on suurempi kuin liukukitkakerroin
- liukukitka on riippumaton liukunopeudesta

Kumikitka kuitenkin poikkeaa perinteisistä kitkateorioista huomattavasti. Tämä johtuu kumin erittäin pienestä kimmokertoimesta sekä suuresta sisäisestä kitkasta.

2.1 Kitkakomponentit

Kuvassa 1 on esitetty kolme pääkomponenttia, joista kumikitka syntyy. Nämä komponentit ovat adheesiovoima, muodonmuutosvoima sekä kulumisen aiheuttama voima.



Kuva 1. Kumikitkan komponentit [4].

2.1.1 Adheesiokomponentti F_a

Liukupinnan epätasaisuuksien painautuessa kumin pintaan syntyy paikallisesti suuria pintapaineita. Nämä aiheuttavat suuria molekyylien välisiä voimia vastinpintojen välille. Kun pinnat liikkuvat, syntyy vastinpintojen välille työntövoimia. Näiden voimien vaakavektorien summa on adheesiovoima. Adheesiovoiman suuruus on riippuvainen liukunopeudesta. Sen suurimmat arvot saavutetaan pienillä liukunopeuksilla.

2.1.2 Hysteresiskomponentti F_h

Pinnan epätasaisuudet aiheuttavat kumin muodonmuutoksia. Kumin sisäinen kitka pyrkii vaimentamaan näitä muodonmuutoksia, ja siitä syntyvää voimaa kutsutaan myös hystereesivoimaksi. Se on myös riippuvainen liukunopeudesta ja saavuttaa maksimiarvonsa suurilla liukunopeuksilla.

2.1.3 Kuluminen aiheuttama voima F_w

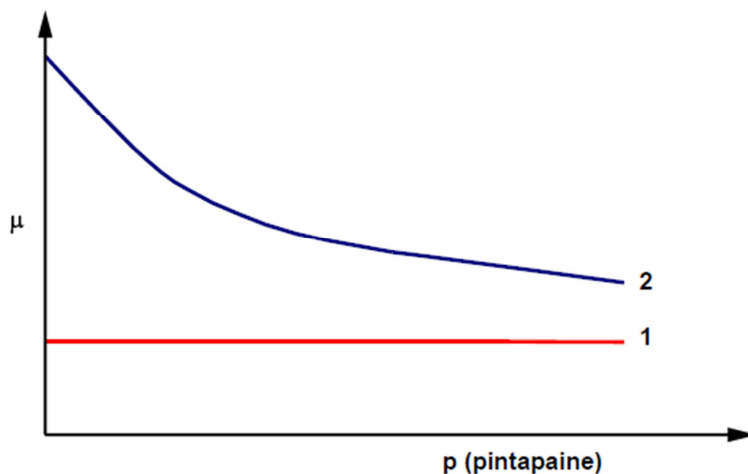
Adheesion ja muodonmuutoksien aiheuttamien voimien lisäksi kuluminen lisää kitkavoimaa. Kun muodonmuutosten voimat sekä liukunopeus kasvavat tarpeeksi,

jännityspiikit epätasaisuuksien kohdalla ylittävät kumin myötörajan. Kun kumiseoksen polymeerien sidokset hajoavat voimakkaan rasituksen vaikutuksesta, materiaali kokee pysyvän muodonmuutoksen ja repeilyä. Tämä repeily sitoo energiaa, mikä aiheuttaa lisää kitkavoimaa liukupinnalle.

Jos pintapaine ja rasitus jatkavat kasvamista, kumi alkaa kulua, toisin sanoen siitä alkaa irrota näkyviä palasia. [4]

2.2 Pintapaineen vaikutus kitkavoimaan

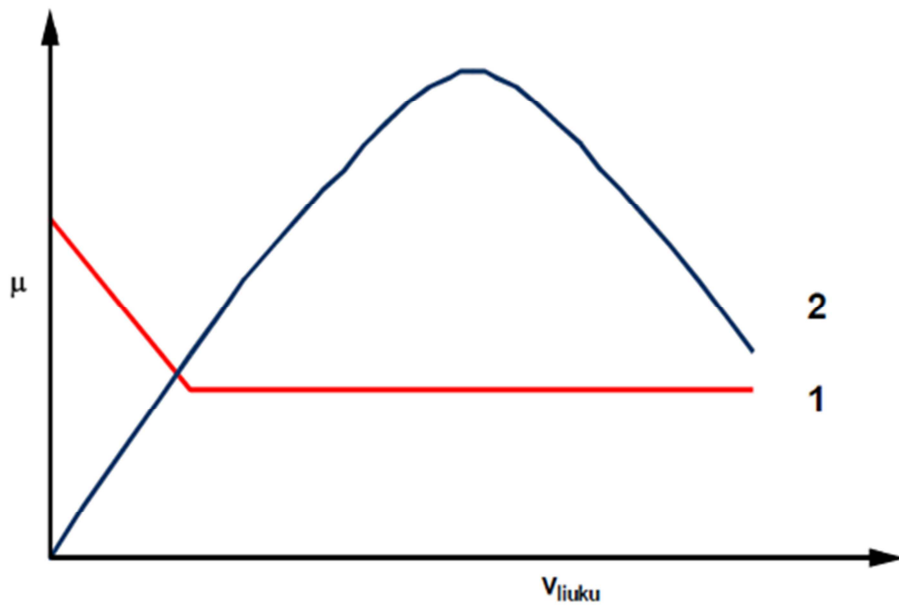
Perinteisten kitkalakien mukaan ei pintapaineella ole vaikutusta kitkavoiman suuruuteen. Kumikitkan tapauksessa kuitenkin asia on toisin. Kitkakerroin pienenee pintapaineen lähestyessä liukukerrointa (kuva 2) [6]. Liukukerroin kuvaa materiaalin kykyä vastustaa leikkausvoimia.



Kuva 2. Pintapaineen vaikutus kitkakertoimeen. 1) Perinteiset kitkalait 2) Kumikitka [5].

2.3 Liukunopeuden vaikutus kitkavoimaan

Perinteisten kitkalakien mukaan myöskään liukunopeuden ei pitäisi vaikuttaa liukukitkakertoimeen. Kumin tapauksessa se ei kuitenkaan pidä paikkaansa. Kuten aiemmin esitettiin, kumikitkan komponentit ovat riippuvaisia liukunopeudesta. Kuvasta 3 nähdään kuinka liukunopeuden kasvattaminen muuttaa kokonaiskitkakerrointa.



Kuva 3. Liukunopeuden vaikutus kitkakertoimeen. 1) Perinteiset kitkalait 2) Kumikitka [5].

2.4 Liukuhistorian vaikutus kitkavoimaan

Myös liukuhistorialla on vaikutusta kitkakertoimeen. Kun kumi liukuu kovan ja karheen alustan päällä, se lämpenee kitkan vaikutuksesta. Kumien lämpenemisellä on taipumuksena muuttaa kitkan suuruutta. Muutoksen suunta riippuu liukupinnan pinnankarheudesta. [7]

3 Kitkan mittaaminen

Kitkan mittaaminen on yleistä maanteillä, kun tutkitaan tienpintojen ja tiemerkitöiden kitkaa. Esimerkiksi Ruotsissa Valtion tie- ja liikennetutkimuskeskus VTI on tehnyt tutkimusta siitä, kuinka tien kitkakerroin korreloi tieturvallisuuteen [8]. Autoteiden lisäksi myös lentokenttien kiitotiet ovat yleisiä mittaushkohteita. Sekä kansainvälinen siviili-ilmailuorganisaatio ICAO, että Yhdysvaltojen ilmailuhallinto FAA vaativat kaikkia julkisia lentoasemia tuntemaan kiitotien kitkan sekä raportoimaan sen [9]. Lisäksi kitkaa tutkitaan erilaisilla lattiapinnoilla. Liukastumisonnettomuudet ovat yleisiä esimerkiksi märkätiloissa ja niiden välttämiseksi käytetään kitkan mittausta apuna oikeiden lattiamateriaalien valinnassa [12]. Seuraavaksi esitellään erilaisia mittaamenetelmiä.

3.1 Fixed slip -menetelmä

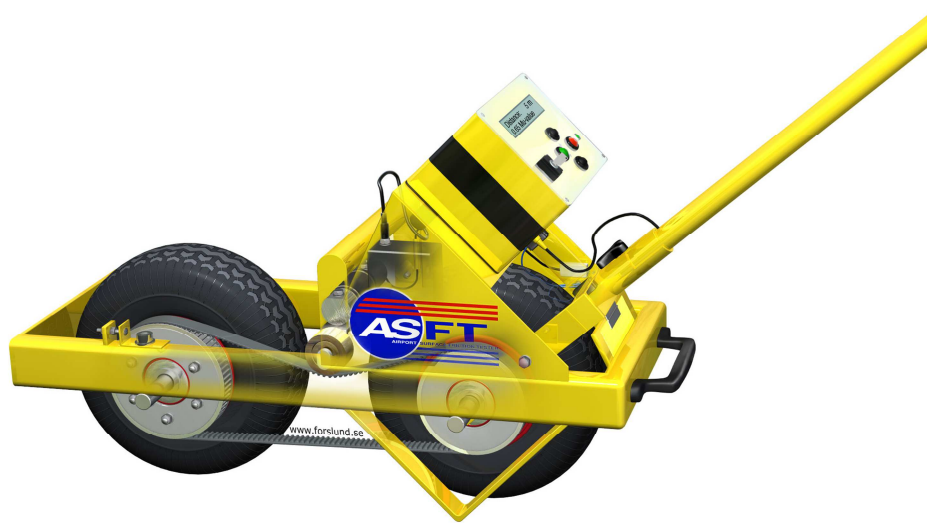
Testauslaitteet, joilla mitataan tienpintojen kitkaa, perustuvat useimmiten fixed slip -menetelmään. Laitteet voivat olla joko autoon sisäänrakennettuja tai vaihtoehtoisesti auton perässä vedettäviä kääryjä, kuten kuvan 4 GripTester.



Kuva 4. Findlay Irvinen valmistama GripTester [13].

Tässä menetelmässä testirengas on yhdistetty vetäviin renkaihin hihna- tai ketjuvälityksen avulla. Välitys on sellainen, että testirenkään ja ajoradan välille saadaan kiinteä luisto (valmistajasta riippuen yleensä 10–20 %). Tämä luisto aiheuttaa kitkan vaikutuksesta hihnaan tai ketjuun kiristysvoiman, jota mitataan voima-anturilla. Testirenkään ajorataa vasten painava normaalivoima tuotetaan joko hydraulisesti tai jousen avulla, ja tämä voima mitataan myös voima-anturilla. Näiden voimien suhteesta saadaan laskettua tien kitkakerroin. Laitteissa on lisäksi antureita mittaamaan matkaa sekä renkaiden pyörintänopeutta. [10]

Myös pienempiä jatkuvaan luistoon perustuvia mittalaitteita on valmistettu, kuten esimerkiksi kuvassa 5 näkyvä T2Go.



Kuva 5. ASFT:n valmistama T2Go [11].

3.2 Heilurimenetelmä

Heilurimenetelmää käytetään mittaamaan esimerkiksi lattioiden ja tiemerkintöjen liukkautta. Siinä vapautetaan painotettu ”jalka” heilahtamaan puolelta toiselle. Jalassa on jousikuormitettu kuminpala, joka osuu heilahduksen aikana testattavaan pintaan. Tämä hidastaa heilurin liikettä, ja kun heiluri pysähtyy toiselle puolelle liikettään, voidaan asteikosta lukea tulos. Tämä tulos on yleensä jokin indeksi, eikä absoluuttinen kitkakerroin. [14] Kuvassa 6 on esitetty eräs kitkaa mittaava heiluri.



Kuva 6. Kitkan mittaamiseen käytetty heiluri [14].

Heilurimenetelmä on suosittu menetelmä lattioiden liukkauden tutkimisessa, sillä se simuloi hyvin tilannetta, jossa ihmisen kantapäätä osuu lattiaan kävelyn aikana.

3.3 Kelkkamenetelmä

Lattioiden liukkauden tutkimiseen käytetään heilurimenetelmän lisäksi myös kelkkamenetelmää. Tämä menetelmä on yksinkertaisin tapa mitata kitkaa. Kitkakertoimen määrittelmä voidaan esittää kaavalla 1:

$$\mu = \frac{F_{\mu}}{N} \quad (1)$$

μ on kitkakerroin
 F_{μ} on kitkavoima
 N on normaalivoima

Kun tiedetään vedettävän kappaleen tuottama normaalivoima ja mitataan vetoon tarvittava voima, pystytään laskemaan kitkakerroin hyvin yksinkertaisesti. Kelkkamenetelmää käyttävät laitteet tomivat näin.

Esimerkiksi BOT-3000-niminen mittalaite (kuva 7) toimii kelkkamenetelmällä. Se on itsestään liikkuva laite, joka vetää testikappaletta lattiaa pitkin vakionopeudella. [15]



Kuva 7. BOT-3000-mittalaite

4 Mittalaitteen valmistus

4.1 Mittausmenetelmän valinta

Mittalaitteen suunnittelu aloitettiin valitsemalla ensiksi menetelmä, jolla mitataan kitkakerroin. Mittausmenetelmän valintaan vaikuttivat seuraavat kriteerit:

- Mittauksen tulee olla nopeasti toteutettava. Tämä johtuu siitä, että Suomessa ei kilpailujen aikana ole tilaisuuksia radan tutkimiseen kuin yleensä vain aamulla lyhyesti ennen kilpailun alkamista.
- Mittalaitteen tulee olla kompakti, yhden henkilön käytettävissä oleva. Radan tutkimista varten kilpailijoiden ja tiimin jäsenten on yleensä annettu käydä kävelemässä radalla. Millään ajoneuvolla ei radalle saa mennä.
- Mittalaitteen tulee antaa radasta profiili, jossa nähdään kitkakerroin matkan funktiona. Kitkakertoimen ei välttämättä tarvitse olla absoluuttinen, vaan se voi olla myös indeksi, jota pystytään vertailemaan edellisiin mittaustuloksiin.
- Mittalaitteen valmistuskustannukset tulee pitää mahdollisimman pienenä. Mittalaite toteutetaan omarahoitteisesti, joten budjetti on hyvin rajallinen.

Näiden kriteerien pohjalta mittausmenetelmäksi valittiin kelkkamenetelmä. Sen hyviä puolia ovat muun muassa

- yksinkertainen rakenne
- kompaktius
- edullisuus
- Yksinkertaiset kaavat kitkakertoimen laskemiselle.

Huonoina puolina voidaan mainita seuraavat asiat:

- Mittauksessa käytettävä kumikappale saattaa kulua nopeasti, jos mittaus suoritetaan karhealla pinnalla.
- Mittausvirheiden minimoimiseksi tulisi mittaus toteuttaa aina samalla vakionopeudella.

Mittalaite päätettiin rakentaa työnnettäväksi kärryksi, jonka sisällä on vedettävä kelkka yhdistettynä voima-anturin kautta kärryn runkoon. Vaikka edellä huomioitiin, että mittaus tulisi tehdä aina samalla vakionopeudella, päätettiin mittaus kuitenkin toteuttaa manuaalisella työntämisellä. Mittauksen tulee tekemään kuitenkin aina sama henkilö, joten mittausnopeus pysyy oletettavasti hyvin samanlaisena.

Mittauksessa käytettäväksi kuminpalaksi haluttiin saada mahdollisimman lähelle kiihdytysauton rengasta muistuttava kuminpala. Paikallisella kilpa-autotarvikkeita myyvällä yrityksellä oli jäänyt varastoon käyttämätön kilparengas, jossa oli valmistusvirhe renkaan jalkaosassa. Siitä saatiin renkaan kulutuspinnoista leikattua useita testipaloja mittalaitteessa käytettäväksi.

Kumiseoksen vastaavuuden lisäksi haluttiin saada siihen kohdistuva pintapaine mahdollisimman lähelle kiihdytysauton renkaan pintapainetta. Pintapaine laskettiin seuraavalla tavalla:

$$p = \frac{N_{\text{rengas}}}{A} \quad (2)$$

jossa N_{rengas} on yhden takarenkaan normaalivoima ja A on renkaan rataa vasten oleva pinta-ala. Renkaan normaalivoima saadaan laskettua painosuhteen avulla:

$$N_{\text{rengas}} = \frac{m_{\text{auto}} * \text{paino taka-akselilla} * g}{2} \quad (3)$$

Yhtälöllä 3 laskettuna, kun auton massa on 1150 kg ja painosta taka-akselilla on 50 %, saadaan renkaan normaalivoimaksi noin 2820 N. Tämä on auton takarenaan kuorman staattinen tilanne. Kiihdytyksen aikana dynaamisen painonsiirron vaikutuksesta kuitenkin kuormitus kasvaa. Auton tiedonkeruusta saatua dataa analysoimalla huomattiin, että taka-akselimassa kasvaa kiihdytyksen alussa noin 60 kg. Tämä huomioiden on renkaan normaalivoima noin 3115 N.

Kiihdytysauton takarengaissa käytetään hyvin pientä rengaspainetta, noin 0,3–0,4 bar. Tämän vuoksi renkaan kosketuspinta on myös pituussuunnassa melko pitkä. Kuvista sekä videoista arvioiden tämä pituus on noin 20 cm.

$$A = \text{renkaan leveys} * \text{kosketuspinnan pituus} \quad (4)$$

Kaavalla 4 laskettuna saadaan 16 tuumaa, eli 40,6 cm leveällä renkaalla kosketusalaksi noin 812 cm². Yhden renkaan pintapaineeksi dynaaminen painonsiirto huomioiden saadaan kaavalla 2

$$p = \frac{3115N}{812cm^2} = 3,8 \frac{N}{cm^2}$$

Todellisuudessa renkaan pintapaine tienpinnalla on hyvin lähelle sama kuin rengaspaine. Tämä seikka vahvistaa myös edelliset laskelmat.

4.2 Komponenttien valinta

4.2.1 Tiedonkeruulaitteen valinta

Mittalaitteen tärkein yksittäinen komponentti on varmasti sen tiedonkeruulaite. Sen valintaan vaikuttivat seuraavat kriteerit:

- vähintään viisi signaalin sisääntuloa
- päivitystaajuus vähintään 50Hz
- edullisuus
- sisäinen tallennustila

- kerätyn tiedon analysointiohjelma tietokoneelle
- käyttöjännite 12 VDC

Näiden kriteerien avulla alettiin kartoittamaan vaihtoehtoja. Hyvin nopeasti kuitenkin tuli huomattua, että tiedonkeruulaitteet ovat hyvin hintavia. Halvimmat yksiköt täyttivät kriteerit muuten, mutta ne vaativat käyttöjänniteensä tietokoneen USB-pistokkeesta. Samalla tieto siirtyy USB:n kautta analysointiohjelmaan, mutta tämä tekisi mittauksesta turhan monimutkaista. Muistikortilla varustetut tiedonkeruuyksiköt olivat kaikki hinnaltaan lähes 1000 euroa.

Etsintöjen jälkeen valinnassa päädyttiin suomalaiseen RaceDAC -merkkiseen tiedonkeruulaitteeseen (kuva 8). Alun perin moottoriturheilun tiedonkeruulaitteeksi suunniteltu RaceDAC täytti kaikki valintaan vaikuttaneet kriteerit.



Kuva 8. Suomalaisvalmisteinen RaceDAC-tiedonkeruuyksikkö.

Tässä tiedonkeruulaitteessa ei ole sisäistä tallennustilaa, vaan se yhdistyy matkapuhelimeen tai tietokoneeseen Bluetooth-yhteyden avulla ja käyttää puhelimen muistikorttia tai tietokoneen kovalevyä tallennustilana.

Tiedonkeruulaitteen tietojen tutkimiseksi voidaan käyttää useita ilmaisia analysointiohjelmiä, joista suosituin lienee RaceChrono. Sen avulla suoritetaan tiedon analysoinnin lisäksi tiedonkeruun aloitus ja lopetus. Ohjelmasta on myös

mobiilisovellus, joten sen avulla voidaan tiedonkeruulaitetta ohjata myös matkapuhelimella.

RaceDAC toimii jännitteellä 12 VDC. Se sisältää kahdeksan analogista sisääntuloa, joissa voidaan valita käytettäväksi joko 0–5 V:n tai 0–15 V:n skaalaa. Lisäksi siinä on kaksi digitaalista sisääntuloa esimerkiksi pyörintänopeusantureiden käyttöä varten. Laitteessa on sisäänrakennettu 5 V:n jännitelähtö erilaisten antureiden jännitesyöttöä varten.

RaceDACin lisäksi tarvitaan myös GPS-vastaanotin. Sen avulla saadaan mittausdata tallennettua matkan funktiona. Se yhdistetään tiedonkeruuhjelmaan myös Bluetooth-yhteydellä. GPS:n avulla saadaan lisäksi tieto esimerkiksi nopeudesta, kiihtyvyydestä sekä korkeus merenpinnasta. [16]

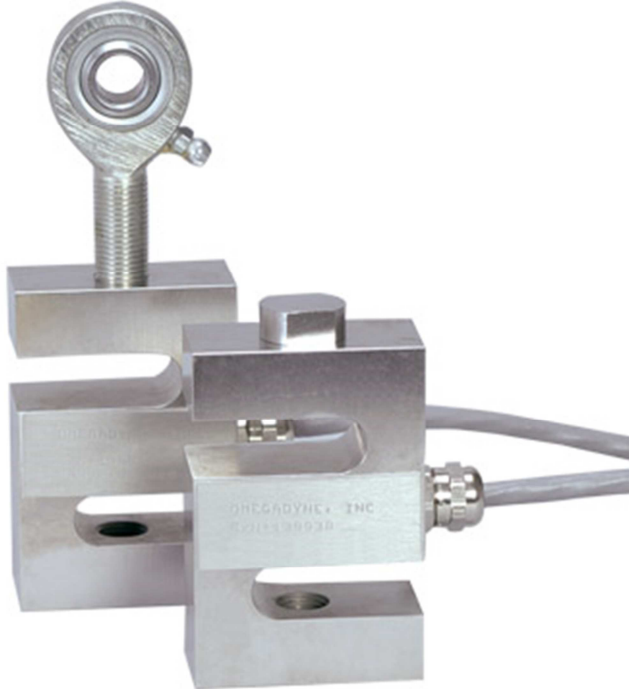
4.2.2 Voima-anturin valinta

Voima-anturin mitoitukseen vaikuttavat kelkan tuottama normaalivoima sekä kitkakerroin. Kitkakerroin renkaan ja kiihdytysradan välillä ei ole tiedossa, mutta kun auton tiedonkeruun avulla tiedetään, että lähdössä hetkellinen kiihtyvyys voi olla jopa 3 G, on oletettavissa kitkakertoimen olevan yli 3. Tämä erittäin suuri kitkakerroin saadaan aikaiseksi sillä, että radan pinta on päällystetty kumittamalla sekä erityisellä liimalla.

Kun oli tiedossa kelkan päälle lisättävä massa, voitiin kelkan tuottama normaalivoima laskemaan helposti. Kelkan päälle päätettiin lisätä massaa 10 kg, sillä se on helppo toteuttaa esimerkiksi teräksisillä levypainoilla. Tarkemman tuloksen saavuttamiseksi kelkan tuottama normaalivoima kannattaisi tuottaa esimerkiksi jousen tai hydraulisylinterin avulla ja tämä voima mitata voima-anturilla. Koska kiihdytysrata on hyvin tasainen, oletettiin, että kelkka tulee pysymään samalla korkeudella. Näin ollen normaalivoiman suuruus ei pääse vaihtelevaan.

Voima-anturin tyypiksi valittiin S-mallinen anturi (kuva 9). Se on nimensä mukaan s-kirjaimen muotoinen anturi, joka rakenteensa ansiosta kykenee mittaamaan myös vetävää voimaa. Useimmat muut voima-anturit mittaavat ainoastaan puristusvoimaa. Koska kyseisiä antureita käytetään vaakoihin ja punnitsemiseen, myyjä ilmoitti niiden kapasiteetit newtonien sijaan kiloina. [17] Niinpä 10 kg massaisen kelkan vetämiseen kitkakertoimella 3 saadaan vetäväksi voimaksi 30 kg vastaava voima. Sopivia

anturivaihtoehtoja oli 10, 25, 50 ja 100 kg. Jotta anturi olisi mahdollisimman tarkka, valittiin anturiksi 50 kg:n malli. Sen avulla saadaan myös turvamarginaalia anturin ylikuormittamiseen nähden, mikäli radan kitkakerroin onkin oletettua suurempi.



Kuva 9. S-mallin voima-antureita [17].

4.2.3 Kumikappaleen koon valinta

Tarvittava kuminpalan koko laskettiin kelkan päälle lisättävän massan sekä halutun pintapaineen mukaan. Kun massa oli tiedossa, pystyttiin laskemaan kelkan normaalivoima:

$$N_{kelkka} = 10kg * 9,81 \frac{m}{s^2} \approx 98N$$

Normaalivoiman sekä halutun pintapaineen avulla kuminpalan kooksi saadaan:

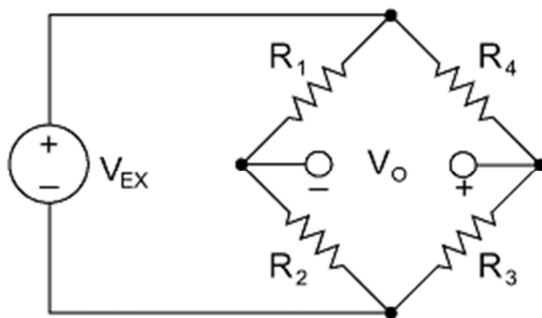
$$A_{kumi} = \frac{98N}{3,8 \frac{N}{cm^2}} \approx 25,8cm^2$$

Neliön muotoisen kumikappaleen koko olisi siis noin 5 cm * 5 cm. Vaihtoehtoisesti kumikappale voisi olla suorakaiteen muotoinen. Kuminpalkan muoto saattaa vaikuttaa kelkan stabiliteettiin mittauksen aikana, joten se päätetään myöhemmin käytännön kokeilujen perusteella.

4.2.4 Mittamuuntimen valinta

Venymäliuskoihin perustuva voima-anturi vaatii toimiakseen joko tiedonkeruulaitteen, joka osaa mitata venymäliuska-antureita, tai vaihtoehtoisesti mittamuuntimen. Se on yksinkertainen laite, joka muuttaa venymäliuska-anturilta tulevan jännitteen tiedonkeruulaitteen ymmärtämäksi jännitteeksi.

Voima-anturi sisältää vastussillan, jossa mallista riippuen joko kaikki, tai vain osa vastuksista, on muuttuvavastuksisia venymäliuskoja (kuva 10). Anturin kuormittuessa nämä liuskat muuttavat muotoaan ja niiden vastus muuttuu. Siltaan syötetään herätejännite, joka kulkee molempien sillan puoliskojen läpi. Koska vastusarvot eroavat toisistaan, kulkee sillanpuoliskojen läpi erisuuri virta ja niillä on eri jännitepotentiaalit. Näiden potentiaalierotus kertoo mittaustuloksen. Vastusten suuren resistanssin vuoksi nämä jännitteet ovat millivolteja.



Kuva 10. Voima-anturin vastussilta. Voima-anturissa mitataan V_o+ ja V_o- napojen välistä jännite-eroa.

Tästä johtuen on tiedonkeruulaitteen osattava laskea tämä erotus, jotta anturia voidaan käyttää. Tähän projektiin valittu tiedonkeruulaite ei tähän kykene, joten anturin ja tiedonkeruulaitteen väliin on kytkettävä muuntaja, joka muuttaa tämän erotuksen laitteen ymmärtämäksi jännitteeksi. Mittamuuntimeksi valittiin sellainen muunnin, joka muuntaa ja vahvistaa jännite-eron 0–5 V:n skaalaan.

4.2.5 Sääaseman antureiden valinta

Sääasemaa varten tarvitaan tiedot ilman lämpötilasta, kosteudesta sekä paineesta. Antureiksi valittiin 5 V:n jännitteellä toimivat anturit, joiden signaali on lineaarinen 0–5 V. Anturit ovat kanadalaisen Phidgets Inc:n valmistamia. Lämpötila-anturin mittausalue on -40–100 °C. Ilmankosteusanturi mittaa ilman suhteellista kosteutta alueella 10–95 %. Ilmanpaineanturi mittaa alueella 15–115 kPa.

Antureiden sopivien mittausalueiden lisäksi valinnassa oli tärkeää, että valmistajalta saatiin antureiden tekniset tiedot sisältävät datalehdet. Teknisten tietojen lisäksi ne sisältävät laskukaavat, joiden avulla saadaan anturin antama jännite muutettua mitattavaksi suureeksi.

4.2.6 GPS-vastaanottimen valinta

GPS-vastaanottimeksi valittiin RaceDACin valmistajan suosituksesta Qstarz BT-Q818XT. Tämän vastaanottimen etuja ovat nopeus sekä tarkkuus. Sen näytteenottotaajuus on jopa 10 Hz. Vertailun vuoksi esimerkiksi nykyaikaisissa matkapuhelimissa olevien vastaanottimien näytteenottotaajuus on noin 1 Hz.

4.3 Mittalaitteen rungon valmistus

Mittalaitteen runko rakennettiin teräksisestä 20 mm x 20 mm x 2 mm neliöputkesta TIG-hitsaamalla. Kaikki hitsaukset tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun hitsauslaboratoriossa jigipöydässä.

Hitsaaminen tuo kappaleeseen lämpöä, josta aiheutuu lämpölaajenemista. Kun kappaleet liitetään toisiinsa ensin korkeassa lämpötilassa ja sen jälkeen annetaan hitsin jäähtyä, aiheuttaa kutistuva hitsi muutoksia kappaleiden keskinäisessä asennossa. Tätä kutsutaan kappaleen vetelemiseksi. Kun kappaleet yhdistetään niin, että kutistuva hitsi ei pysty vapaasti muuttamaan kappaleen asentoa, syntyy jännityksiä. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi valittiin hitsausmenetelmäksi TIG-hitsaus sekä päätettiin käyttää avuksi jigipöytää.

TIG-hitsauksessa kappaleeseen tuotu lämpö on helposti hitsaajan päätettävissä, sillä hitsaaja säätää sitä jatkuvasti hitsauksen aikana polkimen avulla. Pienempi lämmöntuonti johtaa suoraan pienempään lämpötilanmuutokseen hitsin jäähtyessä, eli kappaleiden väliset muutokset ja jännitykset pienenevät.

Kappaleiden vetelyyn vaikuttaa lämpötilan lisäksi myös niiden istuvuus toisiinsa ennen hitsaamista. Mikäli kappaleiden väliin jää suuri ilmarako ja ne liitetään hitsillä yhteen, suurin osa lämmöstä on hitsissä ja silloin myös hitsi muuttaa muotoaan eniten lämpötilan laskiessa. Tällöin hitsi käyttäytyy kuin sarana kääntäen kappaleita toistensa suhteessa. Kappaleiden istuessa hyvin toisiinsa hitsauksen aikana lämpö siirtyy kappaleisiin enemmän ja näin saranaefekti jää pienemmäksi. Jigipöytää avuksi käytettäessä saatiin kappaleet pysymään kiinni toisissaan tukevasti, oikeassa asennossa ja ilman ilmarakoa. Näin hitsaaja pystyy keskittymään täysin hitsaamiseen. Jigipöydän avulla saatiin myös renkaiden akselit hitsattua oikeaan asentoon.

Lämmöntuonnin sekä istuvuuden lisäksi hitsausjärjestyksellä on suuri merkitys vetelyyn. Esimerkiksi kahden neliöputken hitsaaminen toisiinsa 90°:n kulmaan vaatii käytännössä neljä eri hitsisaumaa. Oikealla järjestyksellä saadaan jäähtyvien hitsien aiheuttamat asentomuutokset kumottua niin, että seuraava hitsi jäähtyessään oikaisee kappaleen alkuperäiseen, haluttuun asentoon.

Rungon ulkokuori valmistettiin yhden millimetrin paksuisesta alumiinilevystä. Yläpuolen levy rakennettiin irrottavaksi, jotta tarvittaessa päästään irrottamaan komponentteja, sekä kuljettamisen ajaksi voidaan helposti irroittaa kelkka ja sen päälle kiinnitettävät painot.

Kuvassa 11 näkyy mittalaitte kokonaisuudessaan – lähes valmiina.



Kuva 11. Mittalaitteen runko lähes valmiina.

4.4 Sähköjärjestelmän valmistus

Mittalaitteen jännitelähteeksi valittiin 12 voltin lyijyakku. Akun haluttiin olevan ulkoisilta mitoiltaan mahdollisimman pieni. Sähköjärjestelmän komponenttien yhteen laskettu virrankulutus on valmistajien ilmoittamien arvojen mukaan alle 0,5 A, joten akun kapasiteetin ei myöskään tarvitse olla suuri. Näin ollen valinnassa päädyttiin moottoripyöriin tarkoitettuun pienikokoiseen akkuun, jonka kapasiteetti on 4 Ah.

Sähköjärjestelmässä käyttöjänniteeksi 12 voltia tarvitsevat ainoastaan tiedonkeruuyksikkö sekä voima-anturin mittamuunnin. Kumpikin suojattiin oikosulkua vastaan kahden ampeerin sulakkeella. Voima-anturi tarvitsee herätejännitteeksi 12 voltia, jonka se saa mittamuuntimelta.

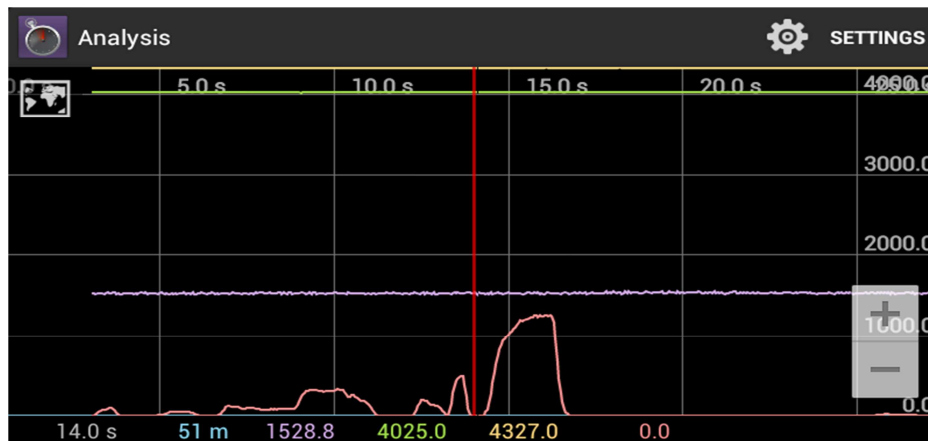
Sääaseman anturit tarvitsevat kaikki toimiakseen 5 V:n jännitteen. Tiedonkeruuyksikössä on yksi viiden voltin jännitelähtö ulkoisia antureita varten. Sääasemaa varten viiden voltin jännitettä tarvitsevia antureita on kuitenkin kolme. Ongelma ratkaistiin asentamalla runkoon eristetty jännitekisko. Siihen tuodaan tiedonkeruuyksiköltä 5 V:n jännite, ja kaikki sitä tarvitsevat anturit voidaan kytkeä kiskoon.

Tiedonkeruuyksikössä on kaksi maadoituspistettä, joista toinen asennettiin laitevalmistajan ohjeen mukaan suoraan akun miinusnapaan. Toinen maadoituspiste yhdistettiin mittalaitteen runkoon kiinnitettyyn maadoituskiskoon, johon yhdistetään myös antureiden maadoitus.

Mittalaitteen sähköjärjestelmä on kuvattu kokonaisuudessaan liitteessä 1.

4.5 Anturien testaus ja kalibrointi

Kun mittalaite oli saatu toimintakuntoon, päästiin sitä ensimmäisen kerran kokeilemaan käytännössä. Ensimmäinen testi osoitti, että sekä tiedonkeruuyksikkö, että siihen liitetyt anturit toimivat (kuva 12). Seuraavaksi oli muutettava tiedonkeruuyksikön asetuksia siten, että sen tallentamat arvot näkyvät haluttuina arvoina eivätkä signaalin jännitteenä. Tiedonkeruuyksikön jokaista signaalin sisääntulon arvoa varten voidaan ohjelmoida signaalikohtainen muuntokaava. Tiedonkeruuyksikkö saa anturilta signaalijännitteen, jonka tiedonkeruuyksikkö muuntaa ohjelmoidun kaavan mukaan ja tallentaa tiedonkeruudataan tämän arvon. Sääaseman antureidan muuntokaavojen luomista varten käytettiin hyväksi anturivalmistajan datalehdistä löytyviä kaavoja (liitteet 2 ja 3).



Kuva 12. Kuvakaappaus tiedonkeruuhjelmasta. Ensimmäinen testi osoitti, että kaikki anturit toimivat

Voima-anturin signaalin muuntokaava on yksinkertainen. Koska voima-anturilla mitataan vetoon tarvittavaa voimaa, ts. kitkavoimaa, ja tulokseksi halutaan kitkakerroin, on tarvittava muuntokaava seuraava:

$$\frac{\text{Kitkavoiman suuruutta vastaava signaali}}{\text{Normaalivoiman suuruutta vastaava signaali}} = \mu \quad (5)$$

Normaalivoiman suuruutta vastaava signaali selvitettiin laittamalla kelkka painoineen roikkumaan vapaasti anturin varaan. Samalla testattiin myös anturin lineaarisuus. Kun anturiin laitettiin roikkumaan painoja ja lisättiin niitä, todettiin, että yhden kilogramman lisäys näkyi anturiarvossa 100 mV:n muutoksena. Anturi toimii siis oikein, sillä anturin skaala on 0–50 kg ja signaali on 0–5 V, eli yhden kilon painon tulisikin näkyä 0,1 V signaalina.

Anturien kalibroinnin jälkeen anturien arvot näkyivät kerätyssä tiedossa oikein.

5 Sääolosuhteiden vaikutus ajoneuvon suorituskykyyn

5.1 Yleistä

Kilparadalla vallitsevalla säällä on merkittävä vaikutus ajoneuvon suoritukseen. Ilman tiheys muuttuu sääolosuhteiden muuttuessa. Ilman tiheys vaikuttaa muun muassa ilmanvastuksen suuruuteen ja myös mahdollisten etu- ja takasiivekkeiden tuottamaan

negatiiviseen nosteeseen. Lisäksi ilman tiheydellä on vaikutusta moottorin tuottamaan tehoon.

Polttomoottori tarvitsee toimiakseen polttoainetta sekä ilmassa olevaa happea palotapahtuman aikaansaamiseksi. Polttoaineesta saatava teho riippuu sen lämpöarvosta, jonka yksikkö on MJ/kg. Tästä huomataan, että mitä enemmän polttoainetta on, sitä enemmän siitä saadaan energiaa. Moottorin sylinterissä on kuitenkin rajallinen tilavuus, joten sinne on polttoaineen lisäksi saatava myös ilmassa olevaa happea. Tämä seossuhde on myös merkitsevä parhaimman tehon saavuttamiseksi. Kokemusten perusteella on huomattu, että esimerkiksi bensiinillä saavutetaan moottorista paras teho seossuhteella 12,5 kg ilmaa ja 1 kg bensiiniä. Tässä on huomioitava, että kyseessä on 12,5 kg kuivaa ilmaa. Todellisuudessa kuitenkin ilmassa on aina myös vesihöyryä.

Ilman tiheys voidaan laskea yhtälön 6 avulla. Siinä on ideaalikaasun tilanyhtälöä muotoilemalla saatu kuivan ilman tiheydelle sekä ilmassa olevalle vesihöyryn tiheydelle omat kaavat ja ne laskettuna yhteen.

$$D = \left(\frac{P_d}{\frac{R}{M_d} * T} \right) + \left(\frac{P_v}{\frac{R}{M_v} * T} \right) \quad (6)$$

D on ilman tiheys

P_d on kuivan ilman paine

P_v on vesihöyryn paine

M_d on ilman moolimassa

M_v on vesihöyryn moolimassa

R on kaasuvakio

T on lämpötila

Jotta ymmärretään, miten ilman tiheys ja kosteus vaikuttavat polttomoottorin tehon tuottoon, on palattava ideaalikaasun malliin. Sen mukaan tiettyssä tilavuudessa ilmaa on tietty määrä molekyylejä, ja niillä tietty paino. Vesihöyryn määrän lisääntyessä kyseisessä tilavuudessa ilmaa, vesimolekyylien ollessa happimolekyylejä kevyempiä, korvaavat vesimolekyylit ilmassa olevat happimolekyylit. Tästä syystä ilman tiheys pienenee ja samalla siinä on myös vähemmän happea. [18]

Lisäksi ilmanpaine ja lämpötila vaikuttavat tiheyteen. Moottorin tuottaman tehon kannalta tämä tarkoittaa sitä, että kun ilman tiheys kasvaa, on tilavuudeltaan samassa

tilassa enemmän happea. Sen vuoksi on seossuhteen säilyttämisen vuoksi lisättävä polttoaineen määrää sylinterissä. Ja kuten aiemmin todettiin, kun polttoainetta poltetaan enemmän, siitä saadaan enemmän energiaa ja näin moottori tuottaa enemmän tehoa. [19]

Kiihdytysajoissa moottorista saatava teho on erittäin tärkeää tietää. Eräissä kilpailuryhmissä asettavat kilpailijat itse autoilleen niin kutsutun dial in -ajan. Tämä on siis aika, jonka kilpailija uskoo ajavansa. Dial in -aikojen perusteella annetaan kilpailulähdössä hitaammalle autolle tasoitusta. Aika määritellään sekunnin sadasosan tarkkuudella. Tässä korostuu sään tuntemisen rooli. Mikäli kilpailija ei ota huomioon sään muutosta, saattaa se kostautua kilpailulähdössä. Parempi sää johtaa parempaan tehoon, minkä vuoksi auto kulkee matkan nopeammin. Dial in -ajan alittaminen johtaa sääntöjen mukaan lähdön hylkäämiseen. Toisaalta huonontunut sää johtaa alhaisempaan tehoon, minkä vuoksi auto kulkeekin hitaammin. Tällöin vastustajan ollessa hyvä arvioimaan sään vaikutusta oman autonsa suorituskykyyn on häviö todennäköinen.

Lisäksi suurempi muutos säässä voi olla potentiaalinen moottorivaurion aiheuttaja, mikäli seossuhdetta ei korjata polttoaineensyöttöä säätämällä.

5.2 Tiheyskorkeuden käsite

Tiheyskorkeus (engl. density altitude) on ilmailualalla pitkään käytetty käsite, jolla on vertailtu keskenään lentokoneiden suorituskykyä [18]. Tiheyskorkeus määritellään seuraavalla tavalla:

Tiheyskorkeus kuvaa sitä korkeutta, jossa kansainvälisen standardi-ilmakehän (ISA) tiheys vastaa havaintopisteessä vallitsevaa ilman tiheyttä [18].

Tiheyskorkeuden laskemiseksi käytetään seuraavaa yksinkertaistettua yhtälöä:

$$DA = 144745,11628 \left[1 - \left(\frac{P_o}{P_{SL}} \right)^{0,235} \right] \quad (7)$$

DA on tiheyskorkeus jalkoina

P_o on mitattu ilmanpaine pascaleina

P_{SL} on ISA:n mukainen paine merenpinnalla, eli 101 325 pascalia

T on mitattu lämpötila kelvineinä
 T_{SL} on ISA:n mukainen lämpötila merenpinnalla, eli 288,15K

Tämä yhtälö ei kuitenkaan ota huomioon ilmakehän kosteutta, vaan se on tarkoitettu kuivan ilman tiheyskorkeuden laskemiseksi.

Tiheyskorkeuden avulla on helppo vertailla eri päivien välisiä olosuhteita. Esimerkiksi kahtena päivänä voi olla eroja lämpötilassa, kosteudessa sekä ilmanpaineessa, mutta silti ilman tiheys voi olla sama, eli myös tiheyskorkeus on silloin sama. Todellisuudessa olisi järkevämpää käyttää suoraan ilman tiheyttä, mutta koska tiheyskorkeus on jäänyt vanhoilta ajoilta käytettäväksi edelleen vertailuna esimerkiksi lajin syntyessä Yhdysvalloissa, käytetään sitä edelleen myös muualla maailmassa. Näin pystytään yhdellä yleisellä suureella vertailemaan kilparadoilla olevia sääolosuhteita jopa eri maiden välillä. Tiheyskorkeuden suureena käytetään jalkaa merenpinnasta.

Kiihdytysajoissa puhutaan usein myös korjatusta korkeudesta. Korjattu korkeus kuvaa sitä korkeutta, jossa kyseinen kilpailu ajettaisiin standardiolosuhteisiin verrattuna. Se lasketaan lisäämällä radan korkeuteen merenpinnasta säätietojen perusteella laskettu tiheyskorkeus.

5.3 Moottoritehon korjauskerroin

Sääolosuhteiden ja tiheyskorkeuden lisäksi hyvin usein moottoriturheilua varten tehdyt sääasemat laskevat myös moottoritehon korjauskertoimen (engl. dyno correction factor). Se on yhdysvaltalaisessa SAE J1349-standardissa [22] määritelty kerroin, jonka avulla voidaan arvioida, kuinka paljon tehoa moottori tuottaisi standardin määrittelemissä sääolosuhteissa. On huomautettava, että kyseinen standardi on tarkoitettu vapaasti hengittävien moottorien arviointia varten.

$$cf = 1,176 * \left[\left(\frac{990}{P_d} \right) * \left(\frac{T_c + 273}{298} \right)^{0,5} \right] - 0.176 \quad (8)$$

cf on korjauskerroin
 P_d on kuivan ilman paine hehtopascalleina
 T_c on lämpötila celsiusasteina

Korjauskertoimen avulla voidaan siis myös arvioida, kuinka paljon tehoa saadaan moottorista kilparadalla. Moottorista dynamometrissä saatu teho täytyy ensiksi laskea

yhtälöstä 8 saatavalla kertoimella. Tämän jälkeen kilparadalla voidaan arvioida moottorin tuottamaa tehoa käyttäen avuksi sääolosuhteiden avulla laskettua korjauskerrointa. Tätä arvioitua moottoritehoa voidaan edelleen käyttää hyväksi, esimerkiksi kun arvioidaan auton dial in -aikaa. Edellä mainituissa moottoriurheilun tehdyissä sääasemissa on usein laskentaohjelmia juuri auton suorituksen arviointiin.

5.4 Radan lämpötila

Radan lämpötilalla on myös suuri merkitys auton suorituskykyyn. Etenkin korkeatehoisimmat autot ovat hyvin arkoja radan lämpötilan muutoksille. Kiihdytsradan optimilämpötila on noin 30–40 °C. Tästä lämmitessään rataa ajan saatossa imeytyneet öljyt, radan liimaamiseen käytetyn aineen komponentit sekä asfaltin bitumi alkavat nousta radan pinnalle tehden siitä jopa liukkaan. Puhutaan, että rata "kiehuu". [20, s. 139.]

Radan optimilämpötilasta kylmemmäksi mentäessä, saattaa radan pinnalle kondensoitua ilmasta vettä [20, s. 138]. Ilmiö ei ole niin vakava hieman optimilämpötilan alapuolella, mutta esimerkiksi illalla ja yöllä ajettavissa kilpailuissa ilmiö voi olla jopa vaarallinen. Kilparadan kuminen ja liimainen pinta on märkänä äärimmäisen liukas ja on verrattavissa jopa jäiseen pintaan.

6 Excel-laskentaohjelman luonti

Kilpa-auton säätämisen avuksi luotiin yksinkertainen Excel-laskentaohjelma, jonka avulla voidaan laskea sekä koota yhteen tarvittavia tietoja. Näitä tietoja ovat mm:

- säätiedot
- tiheyskorkeus
- korjattu korkeus
- mitattu radan kitkakerroin
- radan lämpötila
- moottoritehon korjauskerroin

Ohjelman laskentaosuuden luomisessa käytettiin avuksi Richard Shelquistin kokoamia yhtälöitä [18, 21].

Kuvassa 13 näkyy sääasemaa varten luodun ohjelman pääikkuna. Mitatut arvot -taulukkoon syötetään antureilta saadut tiedot ja ohjelma laskee niiden pohjalta arvot raporttiin. Lisäksi ohjelma havainnollistaa arvojen laatua muuttuvilla taustaväreillä.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Sääaseman laskentaohjelma v1.0											
2												
3												
4												
5			Mitatut arvot						Raportti			
6			Lämpötila	20	°C			Lämpötila	68	°F		
7			Suhteellinen kosteus	10	%			Ilmanpaine	31,01	inHg		
8			Ilmanpaine	1050	hPa			Suhteellinen kosteus	10	%		
9			Radan lämpötila	30	°C			Radan lämpötila	86	°F		Optimi
10			Korkeus merenpinnasta	52	m			Tiheyskorkeus	-601,5	ft		
11								Korjattu korkeus	-430,9	ft		
12								Dyno korjauskerroin	0,926			
13												
14												
15												
16												
17												
18												

Kuva 13. Ruutukaappaus laskentaohjelman pääikkunasta.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa mittalaite, jolla pystytään mittaamaan kiihdytysradan kitkakerroin. Mittaustulokset haluttiin saada matkan funktiona, jotta radasta saataisiin kitkaprofiili. Tämän lisäksi tiedonkeruuseen lisättiin myös sääasema, jonka avulla saadaan tärkeää tietoa kilpa-auton säätämisen avuksi. Luotiin myös Excel-pohjainen laskentaohjelma, jonka avulla sääaseman tiedoista saadaan laskettua lisää tarpeellisia tietoja.

7.1 Tavoitteiden täytyminen

Insinööriyön tavoitteet saavutettiin hyvin. Mittalaitteen runko valmistettiin TIG-hitsaamalla teräsputkesta, käyttäen apuna Metropolia Ammattikorkeakoulun hitsauslaboratorion jigipöytää. Jigipöytää sekä oikeita hitsausmenetelmiä käyttäen laitteen runko saatiin hitsattua niin, että se pysyi suunnitelluissa muodoissaan.

Mittalaitteen sähköjärjestelmän, antureiden sekä tiedonkeruulaitteen toimintaa päästiin testaamaan käytännössä, ja kaikki toimivat kuten oli toivottu. Täydellisenä mittalaitetta ei kuitenkaan päästy kokeilemaan, sillä insinööriyön valmistumisen aikaan ei kiihdytysajojen kilpailukausi ollut vielä Suomessa alkanut.

7.2 Tulevaisuuden kehitysehdotuksia

Mittalaitteen rakenteeseen tarvittavia kehitysvaihtoehtoja tullaan pohtimaan sen jälkeen, kun mittalaitetta on päästy ensimmäisen kerran kokeilemaan kiihdytysradalla. Vielä on vaikea arvioida, onko jokin ratkaisu osoittautunut huonoksi.

Tiedonkeruujärjestelmää voitaisiin laajentaa vielä esimerkiksi infrapunalämpötila-anturilla. Sen avulla olisi mahdollista lisätä myös kiihdytysradan lämpötilan mittaus samaan tiedonkeruudataan muiden mitattavien arvojen kanssa. Insinööriyön tekohetkellä kuitenkin infrapuna-antureiden hinnat olivat niin korkealla, että sellaista ei mittalaitteeseen hankittu.

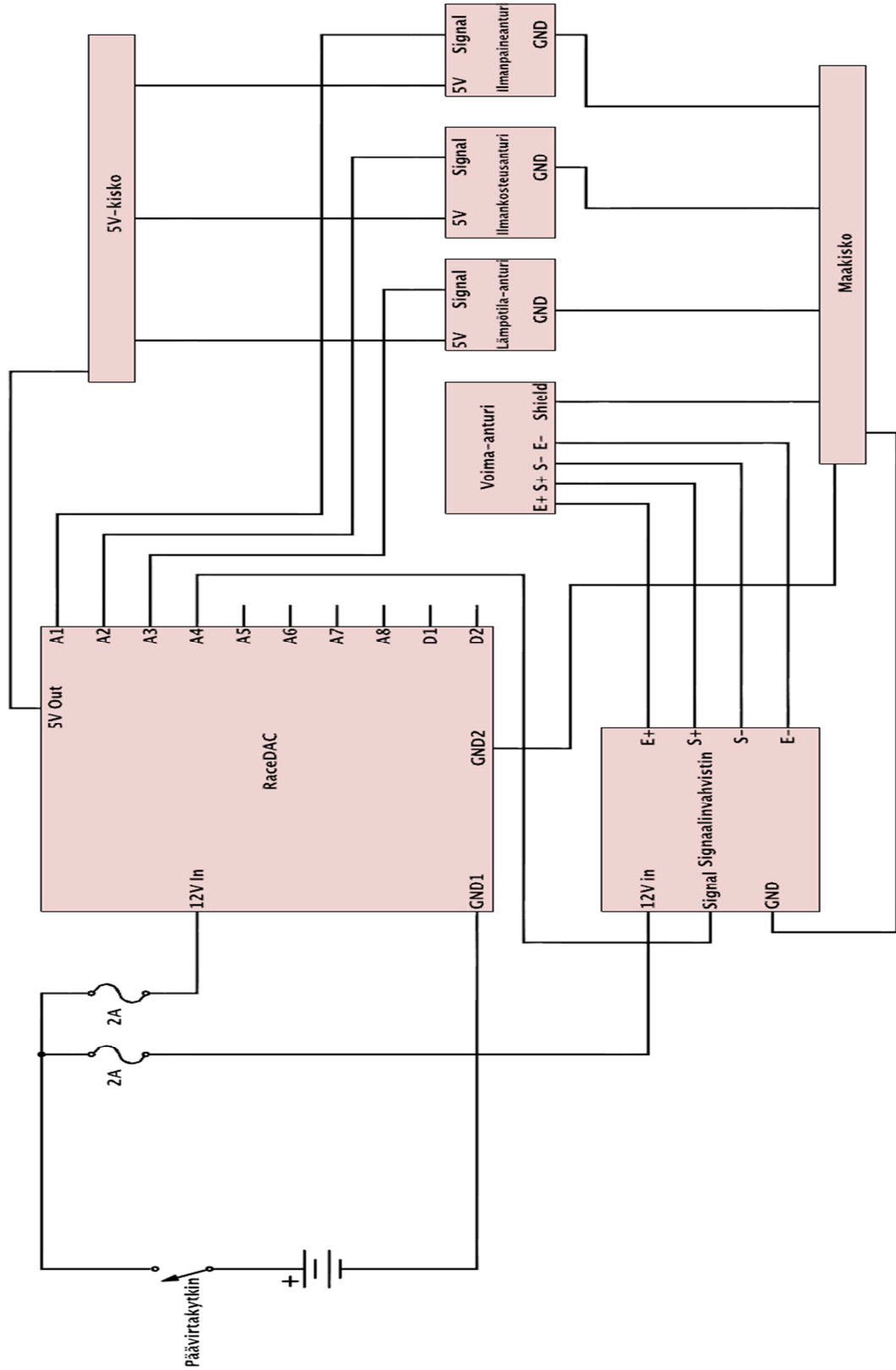
Mittalaitteen parantamisen lisäksi myös työssä luotua laskentaohjelmaa voitaisiin kehittää esimerkiksi tekemällä siitä itsenäinen tietokoneohjelma. Näin ohjelmasta saataisiin vieläkin yksinkertaisempi ja helppokäyttöisempi.

Lähteet

- 1 FHRA Kiihdytysajon sääntökirja. 2014. Verkkodokumentti. Finnish Hot Rod Association ry. <<http://www.fhra.fi/binary/file/-/id/5/fid/910>>. Päivitetty 3.3.2014. Luettu 18.4.2014.
- 2 RaceAir Pro Weather Station. 2011. Verkkodokumentti. Computech Systems Inc. <http://www.computechracing.com/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=29> Luettu 18.4.2014.
- 3 Track Meter. 2014. Verkkodokumentti. Competition Motorsports Inc. <<http://www.trackmeteronline.com/>>. Luettu 18.4.2014.
- 4 Tire Technology. 2004. Verkkodokumentti. Inside Racing Technology. <<http://insideracingtechnology.com/tirebkexerpt1.htm>>. Luettu 19.4.2014.
- 5 Oikarinen, Pasi. 2012. Pyörätuennat ja käsiteltävyys. Kurssimateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 6 Pinnington, R. J. 2009. Rubber friction on rough and smooth surfaces. Southampton: University of Southampton.
- 7 Persson, B. N. J. 2010. Rubber friction and tire dynamics. Jülich: Forschungszentrum Jülich.
- 8 Wallman, Carl-Gustaf & Åström, Henrik. 2001. Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet.
- 9 ASFT making airport runways safer. Verkkodokumentti. ASFT Industries AB. <<http://www.asft.se/aviation/index.shtml>>. Luettu 23.4.2014.
- 10 Technology. Verkkodokumentti. ASFT Industries AB. <<http://www.asft.se/road/Technology.shtml>>. Luettu 24.4.2014.
- 11 T2Go. Verkkodokumentti. ASFT Industries AB. <<http://www.asft.se/road/t2go.shtml>>. Luettu 24.4.2014.
- 12 Methods for testing the slip resistance of safety flooring. 2012. Verkkodokumentti. Altro <<http://www.altro.co.uk/getmedia/afc96dc4-5ca7-4dbc-98b4-70c44ded5aec/Methods-for-testing-the-slip-resistance-of-safety-flooring-%E2%80%93-Altro-White-Paper.pdf>>. Luettu 24.4.2014.

- 13 Griptester – Adhesion. 2014. Verkkodokumentti. Vectra France.
<<http://vectrafrance.com/materials-and-solutions/road-surface-testing/griptester-adhesion-cfl?L=6>>. Luettu 24.4.2014.
- 14 Pendulum Skid Resistance Tester. Verkkodokumentti. James Cox & Sons, Inc.
<<http://jamescoxandsons.com/aggregate-testing/pendulum-skid-resistance-tester.php>>. Luettu 25.4.2014.
- 15 The Slip Tester. 2012. Verkkodokumentti. Claims Canada.
<<http://www.regansci.com/media/eff4fb62c807457effff839ffffe417.pdf>>. Luettu 25.4.2014.
- 16 RaceDAC. Verkkodokumentti. RaceDAC. <<http://www.racedac.com/>>. Luettu 26.4.2014.
- 17 LC101 Load Cell. 2014. Verkkodokumentti. Omega Engineering Inc.
<<http://www.omega.com/pptst/LC101.html>>. Luettu 7.5.2014
- 18 An Introduction to Air Density and Density Altitude Calculations. 2012.
Verkkodokumentti. Shelquist Engineering.
<http://wahiduddin.net/calc/density_altitude.htm>. Updated 2 December 2012.
Luettu 28.4.2014.
- 19 Altitude Density Tuning - Horsepower In The Air. 2010. Verkkodokumentti. Car Craft.
<http://www.carcraft.com/techarticles/ccrp_0606_altitude_density_tuning/viewall.html>. Luettu 29.4.2014.
- 20 Colesworthy, Robert. 2012. Jerry Bickel's Complete Guide to Chassis Performance. Saint Charles: IQ Learning Systems Inc.
- 21 Dyno Correction Factor and Relative Horsepower. 2012. Verkkodokumentti. Shelquist Engineering. <<http://wahiduddin.net/calc/cf.htm>>. Luettu 3.5.2014.
- 22 SAE J1349. Engine Power Test Code. 1980. Spark Ignition and Compression Ignition. Net Power Rating. Warrendale: SAE International.

Kytentäkaavio



Ote ilmanpaineanturin datalehdestä

Technical Details

The Absolute Gas Pressure Sensor provides an accurate, high level analog input signal that is proportional to the environment's pressure. The minimum pressure measurement for this sensor is 15 kPa. Any value lower than 15 kPa cannot be accurately distinguished.

Ports

The sensor port has a diameter of 2.79mm to 3.30 mm (nominal 3mm).

For hosing, we recommend using polyurethane tubing. We have had good results with 2.4mm ID tubing from Emiplastics.com. In imperial measurement, 3/32" ID tubing is equivalent. This is available through laboratory supply stores such as Cole Parmer.

Formulas

The Formula to translate SensorValue into Pressure is:

$$\text{Pressure (kPa)} = \frac{\text{Sensor Value}}{9.2} + 10.652$$

$$\text{Pressure (psi)} = \frac{\text{Sensor Value}}{63.45} + 1.54$$

Note: 1.0 kPa = 0.145 psi

Barometric Temperature Correction

This sensor reports the absolute pressure of its surroundings. In other words, the pressure compared to a perfect vacuum. If you plan on using this sensor as a barometer, you need to convert to barometric pressure. You can use conversion calculators such as this Above Sea Level Barometer Reading Correction Calculator (<http://www.csgnetwork.com/barcorrectcalc.html>) to make the adjustment based on your location's elevation.

Other Interfacing Alternatives

If you want maximum accuracy, you can use the RawSensorValue property from the PhidgetInterfaceKit. To adjust a formula, substitute (SensorValue) with (RawSensorValue / 4.095). If the sensor is being interfaced to your own Analog to Digital Converter and not a Phidget device, our formulas can be modified by replacing (SensorValue) with (Vin * 200). It is important to consider the voltage reference and input voltage range of your ADC for full accuracy and range.

Each Analog Input uses a 3-pin, 0.100 inch pitch locking connector. Pictured here is a plug with the connections labelled. The connectors are commonly available - refer to the Analog Input Primer for manufacturer part numbers.

Ote lämpötila- ja kosteusanturin datalehdestä

Technical Details

Relative Humidity

The sensor measures the relative humidity of the environment around the sensor. Built in temperature compensation produces a linear output ranging from 10% to 95% relative humidity. Values outside of this range may be usable but will have increased error.

Formulas

The Formula to translate SensorValue into Relative Humidity is:

$$\text{RH (\%)} = (\text{SensorValue} \times 0.1906) - 40.2$$

Temperature

This device is a precision temperature to voltage converter that outputs a voltage that is directly proportional to temperature. The temperature sensor component is rated at -40°C to +100°C, but the other components on the board, the connector and the cable are rated at -30°C to +80°C. In a fast prototyping environment the temperature sensor board can be pushed to the ratings of the sensor component, but you should use the lower temperature ratings if you plan to use the 1124 in a commercial application.

Formulas

The Formula to translate SensorValue into Temperature is:

$$\text{Temperature (C)} = (\text{SensorValue} \times 0.22222) - 61.11$$

Other Interfacing Alternatives

If you want maximum accuracy, you can use the RawSensorValue property from the PhidgetInterfaceKit. To adjust a formula, substitute (SensorValue) with (RawSensorValue / 4.095) If the sensor is being interfaced to your own Analog to Digital Converter and not a Phidget device, our formulas can be modified by replacing (SensorValue) with (Vin * 200). It is important to consider the voltage reference and input voltage range of your ADC for full accuracy and range.

Each Analog Input uses a 3-pin, 0.100 inch pitch locking connector. Pictured here is a plug with the connections labelled. The connectors are commonly available - refer to the Analog Input Primer for manufacturer part numbers.