



TIEDONKERUU MOOTTORIURHEILUSSA

Jussi Ranta

Opinnäytetyö
Tammikuu 2015
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja työkonetekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja työkonetekniikka

JUSSI RANTA:
Tiedonkeruu moottoriurheilussa

Opinnäytetyö 81 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Tammikuu 2015

Tässä opinnäytetyössä perehdytään moottoriurheilussa käytettävistä tiedonkeruujärjestelmistä saadun tiedon analysointimenetelmiin. Esitetyt analysointimenetelmät ovat ensisijaisesti tarkoitettu rata-autoilussa käytettäväksi. Työssä käsitellään myös pintapuolisesti tiedonkeruujärjestelmään kuuluvia eri komponentteja, mutta niiden toimintaperiaatetta ei käsitelty syvemmin. Työtä ei tehty kenelläkään ulkopuoliselle taholle, vaan se tehtiin omana työnä, vaikkakin monissa esimerkeissä käytetyt tiedostot on saatu Aku Motorsportilta.

Analysointi menetelmät jaettiin kahteen pääluokkaan: kuljettajan ja ajoneuvon analysointiin. Kummastakin tapauksesta analysointia tarkasteltiin eri ajotilanteiden kannalta eli kiihdytys, jarrutus ja kaarreajo. Työssä esitetään analysointimenetelmiä, joita käytännössä jokainen harrastaja pystyy hyödyntämään ja menetelmiä joiden hyödyntäminen vaatii enemmän tietoa ja osaamista.

Työtä tehtäessä tuli hyvin ilmi kuinka paljon pelkästään kerättyä tietoa kilpa-autosta saadaan ja kuinka paljon lisätietoa voidaan saada erinäisten matemaattisten yhtälöiden kautta. Tämä yhdistettynä kisaviikonloppuina olevaan tiukkaan aikatauluun, voidaan ymmärtää miksi esimerkiksi formula 1:ssä on kymmeniä ihmisiä pelkästään analysoimassa kerättyä tietoa. Työ olisi ollut vieläkin mielekkäämpi tehdä, jos kaikissa esimerkeissä olisi pystynyt käyttämään itse hankittuja tiedostoja, eikä olisi tarvinnut turvautua tiedonkeruujärjestelmien valmistajien tarjoamaan valmiisiin tietoihin.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Automobile and Transport Engineering
Automobile and Industrial Vehicle Engineering

JUSSI RANTA:
Data acquisition in motorsport

Bachelor's thesis 81 pages, appendices 9 pages
January 2015

In this thesis analysis techniques for racecar data acquisition were studied. Presented analysis techniques are meant mainly for touring car and formula racing. Components of data acquisition systems are briefly discussed but their operational principles are not explained in detail. The thesis was not done to any company although the data used in many examples was from Aku Motorsport.

Analysis techniques were divided to two main groups: driver and car analysis. Both groups were examined through different driving situations or acceleration, braking and cornering. Analysis techniques that can be used by almost every amateur and techniques that require more knowledge were presented

When working with this thesis it was realized how much data can be collected from single racecar and how much more we can get with mathematical equations. Combine this with a little time engineer have during racing weekends it is understandable why for example in formula 1 there can be dozens of engineers just analyzing data. Thesis could have been even easier and more pleasant to do if all used data could have been required from the same source.

Key words: data acquisition, motorsport

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TIEDONKERUUN TAUSTA.....	7
2.1	Historia.....	7
2.2	Sytä tiedonkeruun käytölle	8
3	TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT	10
3.1	Pääyksikkö	10
3.2	Anturit.....	11
3.2.1	Kuljettajan suorituskyky	11
3.2.2	Ajoneuvon suorituskyky	11
3.3	Ajoneuvon luotettavuutta tarkkailevat anturit	13
3.4	Kamerat.....	14
3.5	GPS	15
4	TIEDON ANALYSOINTIOHJELMA	17
5	YLEISTÄ TIEDON ANALYSOINNISTA	20
6	AJONEUVON SUORITUSKYVYN ANALYSOINTI.....	22
6.1	Ajoneuvon luotettavuus	22
6.2	Kiihdytys.....	24
6.2.1	Renkaiden luistoaste ja luistonesto	24
6.2.2	Vaihteiden vaihtoajankohta ja vaihtoalot.....	27
6.2.3	Vaihteiden välitykset.....	30
6.3	Jarrutus.....	31
6.3.1	Jarru tasapaino.....	31
6.3.2	Pitkittäinen painonsiirtymä	33
6.4	Kaarrajo.....	34
6.4.1	Renkaiden lämpötilat ja paineet.....	34
6.4.2	Ajoneuvon kiertöjäykkyys	39
6.4.3	Poikittainen painonsiirtymä	42
6.4.4	Yli- ja aliohjautuminen	45
6.5	Heilahduksenvaimentimet	48
6.6	Aerodynamiikka.....	53
7	KULJETTAJAN SUORITUSKYVYN ANALYSOINTI.....	55
7.1	Kiihdytys.....	55
7.1.1	Kaarteen ulostulo	55
7.1.2	Vaihteiden vaihtaminen	56
7.1.3	Kaasun käyttö.....	60

7.2	Jarrutus.....	62
7.2.1	Jarrutuskohta	62
7.2.2	Jarrutuksen tehokkuus ja nopeus.....	63
7.3	Kaarraajo.....	66
7.3.1	Ajolinja.....	66
7.3.2	Ohjausliikkeet ja kaasun käyttö	68
8	TELEMETRIA	70
9	POHDINTA.....	71
	LÄHTEET	72
	LIITTEET	73
	Liite 1. Tiedon analysointiohjelmistojen käyttöliittymiä	73
	Liite 2. Excel laskentapohja vaihtoajankohdalle.	75
	Liite 3. Kiertöjäykkyyksien laskenta	77
	Liite 4. Heilahduksenvaimentimien liikkeet ja asento	79
	Liite 5. Kolme erilaista ajolinjaa	80

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on perehtyä moottoriurheilussa, etenkin rata-autoilussa, käytettyihin tiedonkeruujärjestelmiin, niiden eri komponentteihin sekä järjestelmän avulla hankitun tiedon analysointiin. Pääpainotus työssä on tiedon analysoinnin osuudessa ja järjestelmän komponenttien toimintaperiaatteeseen ei paneuduta kovin syvällisesti. Esi-
tetyjä analysointimenetelmiä pystytään hyödyntämään tietyin varauksin myös muun tyyppisessä moottoriurheilussa kuten rallissa ja ratamoottoripyöräilyssä. Analysoinnissa esitetyt esimerkit on tehty suuriltaosin AiM:n tiedonkeruujärjestelmän Race Studio 2 analysointi- ohjelmaa hyväksikäyttäen sekä Aku Motorsportilta saatuja tiedostoja hyödyntäen.

Kiinnostus aihetta kohtaan heräsi kolmannen harjoittelun yhteydessä, jolloin toimin moottoriurheilun parissa kilpa-autoinsinöörin tehtävissä ja perehtyessäni kyseiseen työhön huomasin, kuinka vähän suomenkielistä materiaalia tiedonkeruusta oli saatavilla, joten tarkoituksena on luoda suomenkielistä materiaalia henkilöille, jotka haluavat perehtyä tiedonkeruunjärjestelmiin ja niistä saatavan tiedon analysointiin.

2 TIEDONKERUUN TAUSTA

2.1 Historia

Ensimmäiset sähköiset tiedonkeruujärjestelmät tulivat käyttöön Formula 1:ssä 1977 Tyrellin kuusipyöräisessä P34-mallissa (KUVA 1). Itse nauhuri on kuvassa olevassa alumiinilaatikossa. Tuolloin tiedonkeruujärjestelmä oli periaatteessa nauhuri, jolla tallennettiin tietoa kasetin nauhalle, samaan tapaan kuin c-kasetit ja VHS-kasetit, joka siirrettiin ajon jälkeen tietokoneelle analysoitavaksi. Kyseisessä järjestelmässä tallennettiin korin nyökkimistä ja kallistelua, kaasun asentoa, ohjauksen asento sekä jousituksen liikettä (Jonathan Graves, 1.). Periaate on nykyään aivan sama, mutta tiedonkeruu- ja analysointimenetelmät ovat kehittyneet ja mitattavia suureita on paljon enemmän.



KUVA 1. Ensimmäinen tiedonkeruu F1:ssä (Jonathan Graves, 2.)

Ensimmäiset täysin sähköiset tietokoneistetut järjestelmät tulivat 80-luvulla, kun Formula 1:ssä tuli turbomoottorien aikakausi ja elektroninen moottorinohjaus tuli käyttöön. Aluksi tietokoneistettua tiedonkeruuta ei käytetty kuin lähinnä moottorin tietojen, kuten lämpötilat, paineet ja niin edelleen, valvomiseen. Koriin liittyvät toiminnot järjestettiin vielä kasettien avulla, koska tietokoneiden muisti ja prosessointi kapasiteetti ei riittänyt kovin suuren tietomäärän käsittelyyn.

Tietotekniikan kehittyttyä myös tiedonkeruujärjestelmät kehittivät ja Stack toi markkinoille ensimmäisen kaupallisen tiedonkeruujärjestelmän vuonna 1987 (Stack 2013). Tämän jälkeen kehitys onkin ollut todella nopeaa läpi 1990- ja 2000-luvun ja nykyään itse pääyksiköllä on todella hyvät muistikapasiteetit ja mahdollisuudet kerätä tietoa yli sadalta eri kanavalta toimien samalla ajoneuvon mittaristona.

2.2 Syitä tiedonkeruun käytölle

Suurin syy tiedonkeruun käyttöönottamiseen ja sen kehittämiseen on kuljettajien ja insinöörien jatkuva tiedontarve. Auton ja kuljettajan kehittäminen olisi todella hankalaa, jollei varmaa tietoa autossa tapahtuvista asioista ja kuljettajan toimista saataisi mistään ja jouduttaisiin luottamaan lähes pelkästään kuljettajan arvioon ja kertomuksiin, kuten ennen tiedonkeruun kehittymistä on jouduttu tekemään.

Tiedonkeruun käytöllä on käytännössä kolme pääsyitä: Ajoneuvon kehittäminen, kuljettajan kehittäminen ja ajoneuvon säätöjen ja tasapainon hakeminen. Yleisempinä näistä on kaksi jälkimmäistä, koska monissa sarjoissa ajoneuvot ovat muiden kuin niitä käyttävien kilpatallien rakentamia eikä niitä saa rakenteellisesti muuttaa, joten ajoneuvon kehitystyötäkään ei voi tehdä.

Ajoneuvoa kehitettäessä tiedonkeruun avulla testataan uusia osia ja tutkitaan niiden vaikutusta kerätyn tiedon ja kuljettajan palautteen perusteella. Esimerkiksi uusien aerodynamiikkaosien kohdalla tiedonkeruusta voidaan saada tietoa ilmanvirtausnopeuksista sekä erinäisten matemaattisten kanavien avulla voidaan laskea vaikka muutoksia ilman alaspainovoimassa. Yhtäläillä pystytään tarkkailemaan uusien alustaosien vaikutusta pyörävoimiin sekä rengaslämpöihin. Mitään näistä ei pystyittäisi tarkkailemaan jos ei

käytettäisi tiedonkeruuta. Samoilla keinoilla pystytään tarkkailemaan alustan, aerodynamiikan ynnä muiden asetusten muutosten vaikutusta ajo-ominaisuuksiin.

Kuljettajan kehittäminen ilman tiedonkeruuta olisi todella vaikeaa. Käytännössä ajoneuvoon tulisi ottaa kokeneempi, parempi kuljettaja apukuljettajaksi, joka pystyisi kertomaan millä osa-alueilla kuljettajalla on vielä parannettavaa. Tiedonkeruun avulla pystytään seuraamaan käytännössä kaikkia kuljettajan toimia ajon aikana: jarrutus, kaasun käyttö, ohjausliikkeet ja niin edelleen. Kerätystä tiedosta pystytään lukemaan missä kuljettaja voitti aikaa ja missä hävisi, minkä perusteella voidaan päätellä esimerkiksi parhaat ajolinjat kullekin radan kaarteelle.

3 TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT

3.1 Pääyksikkö

Tiedonkeruujärjestelmän tärkein komponentti on pääyksikkö. Kaikki kerätty tieto tallennetaan pääyksikköön tai pääyksikössä olevaan muistikorttiin, josta se siirretään tietokoneelle analysointia varten. Yksinkertaisimmillaan ja halvimmillaan tiedonkeruu voi olla pelkkä pääyksikkö 12 voltin ”tupakansytytin” liittimellä. Tällöin yleensä saadaan nopeus ja paikkatieto sekä kierrosajat. Hyvänä puolena tämänlaisessa järjestelmässä on halpa hinta sen siirreltävyys ajoneuvosta toiseen. Ratkaisuna tämä on hyvä harrastelijalle, joka haluaa parantaa omaa ajotaitoaan. Kilpa-ajoa vakavissaan harrastavalle tai työkyseen tekeväälle henkilölle kyseinen ratkaisu ei riitä vaan tarvitaan autoon kiinteästi asennettava järjestelmä.

Nykyään monet valmistajat ovat tehneet pääyksiköistään samalla mittaristoja, esimerkiksi AiM:n tuote (KUVA 2). Etuna tässä on mittaristossa esitettävien arvojen helppo muokkaaminen kuljettajan mieleiseksi. Näytölle voidaan yleensä ohjelmoida juuri ne tiedot ja varoitukset, jotka kuljettaja haluaa nähdä. Lisäksi näyttöihin saa useasti ohjelmoitua monia eri välilehtiä esimerkiksi kuljettajalle, insinöörielle ja mekaniikoille omansa. Yksi iso syy yhdistetyn mittariston ja pääyksikön käyttöön on tilan- ja painonsäästö. Tämän ratkaisun haittapuolena on tietysti hinta, valmistajasta riippuen hinnat voivat nousta useaan tuhanteen euroon. Nykyään valtaosa kilpa-autojen valmistajista käyttävät kyseistä ratkaisua.



KUVA 2. AiM:n tiedonkeruuyksikkö (AiM 2014)

Pääyksikkö tulisi aina valita omien tarpeiden mukaan. Jos ajaa vain omaksi iloksi harrastuksena, pääyksikköön ei kannatta välttämättä laittaa monia tuhansia euroja rahaa. Jos ajaminen taas on jo ammattimaista ja tietoa kerätään monilta kymmeniltä tai jopa yli sadalta anturilta, kannattaa pääyksikköönkin panostaa kunnolla. Mikään ei harmita enempää kuin esimerkiksi muistin loppuminen kesken testipäivän tai jos yksikön tiedonkeruutaajuus ei olekaan riittävän suuri jollekin anturille.

3.2 Anturit

3.2.1 Kuljettajan suorituskyky

Kuljettajan taitoja kehitettäessä analysoidaan tiettyjen kuljettajan toimia tallentavien antureiden signaaleita. Näitä antureita ovat muun muassa kaasupolkimen asento, jarrupolkimen asento, jarrupaineet edessä ja takana, ratin asento ja valittu vaihde. Kaikkia näitä kanavia tarkkailemalla ja analysoimalla, voidaan kehittää kuljettajan ajotyyliä sekä nopeuttaa uuden radan oppimista.

Kaasupolkimen ja jarrupolkimen asentoanturit ovat yleensä potentiometrityyppisiä, joilla saadaan yleensä jännitettä muuttamalla polkimen asento prosenteissa. Ratin asennon anturi voi olla potentiometrityyppinen tai optinen pulssianturi. Kilpa-autoissa on yleensä sekventiaalinen vaihteisto, jolloin vaihteen asentoa seurataan yleensä tarkkailemalla vaihteiden siirtohaarukoita liikuttelevan akselin asentoa. Valittua vaihdetta voidaan tarkkailla myös laskennallisesti kun tiedetään vaihteiston välitykset.

3.2.2 Ajoneuvon suorituskyky

Ajoneuvon suorituskyvyn tarkkailuun käytetään yleensä eniten antureita ja laskentatehoa. Tärkeimpinä ovat pitkittäinen ja poikittainen kiihtyvyys, ajoneuvon nopeus, renkaiden nopeudet, heilahduksenvaimentimien liike. Näiden lisäksi antureilla voidaan mitat muun muassa renkaiden lämpötiloja, renkaiden painetta, poikittaiskiihtyvyyksiä etu- ja taka-akselille erikseen, pitkittäiskiihtyvyyttä, ajokorkeutta, jarrujenlämpötiloja, ajoneuvon kallistelua ja nyökkimistä, aerodynaamista suorituskykyä ja niin edelleen.

Renkaiden ja jarrujen lämpötiloja tarkkaillaan yleensä infrapuna-anturilla. Haasteena renkaiden ja jarrujen lämpötiloja mitattaessa on, että antureiden täytyy seurata renkaiden liikettä myös rengasta käännettäessä (KUVA 3). Renkaiden painetta voidaan seurata ajonaikana renkaan sisälle vanteeseen asennettavalla paineanturilla, joka siirtää tiedon radiolähettimellä pääyksikölle. Kiihtyvyyksiä mitataan yleensä kapasitiivisilla tai pietosähköisillä antureilla. Gyro- eli pyörähdysnopeusanturilla voidaan mitat kuinka nopeasti auto muuttaa suuntaansa.



KUVA 3. Renkaiden lämpötilojen mittaaminen (Miataturbo 2014)

Ajoneuvon kallistelua ja nyökkimistä voidaan mitata ajoneuvon maavaranmuutoksien avulla. Maavaraa ja sen muutoksia pystytään puolestaan mittaamaan laserin tai heilahduksenvaimentimiin asennettavien potentiometriä avulla (KUVA 4). Anturi on kuvassa sininen kaasujouselta näyttävä kappale. Anturia asennettaessa tulee varmistua, että se liikkuu heilahduksenvaimentimen kanssa samassa suhteessa.



KUVA 4. Heilahduksenvaimentimen liikeanturi. (dataMC 2014)

Jo tästä huomataan, että yhden mitattavan suureen avulla voimme saada monta eri muuttujaa, joidenka perusteella voidaan tehdä päätöksiä ajoneuvon tehtävistä muutoksista. Pelkästään muutamalla perusmittauksella voidaan muodostaa monia matemaattisia yhtälöitä joista saadaan taas lisää tietoa ajoneuvon toiminnasta ilman lisäantureiden asentamista.

3.3 Ajoneuvon luotettavuutta tarkkailevat anturit

Ajoneuvon luotettavuutta tarkkailevat anturit ovat kaikkein tärkeimmässä roolissa, koska kierrosajoilla ei ole mitään merkitystä jos kilpailua ei pääse loppuun asti. Luotettavuutta tarkkailevia antureita ovat käytännössä moottorin toimintaa tarkkailevat anturit

eli erinäisiä lämpötiloja ja paineita (öljyt, jäähdytysneste, polttoaine, pakokaasu, imuilma), lambda-arvoa, kierroslukua, jännitettä tarkkailevat anturit. Osa antureista voidaan luokitella niin luotettavuutta kuin ajoneuvon suorituskykyäkin tarkkaileviin kuten kierrosluku ja jarrujen lämpötila. Kummallakin on vaikutusta auton luotettavuuteen, mutta kummankin avulla voidaan myös tarkkailla ajoneuvon suorituskykyä.

Luotettavuutta tarkkailevat anturit ovat yleensä samanlaisia kuin normaalien katuautojenkin moottoreissa. Uudemmissa ajoneuvoissa nämä tiedot saadaan useasti välitettyä CAN-väylän kautta suoraan tiedonkeruun pääyksikölle ilman että tarvitsee tehdä kokonaan uusia johtosarjoja tai laittaa muita antureita, paitsi jos halutaan mitata jotain suuretta, jota vakioanturit eivät mittaa.

3.4 Kamerat

Nykyään useimpiin tiedonkeruujärjestelmiin pystytään liittämään kameroita, joilla voidaan kuvata joku kuljettajan toimintaa tai erilaisia asioita autosta. Kameran kuva pystytään synkronoimaan kerätyn tiedon kanssa. Tällöin pelkkien käyrien lisäksi saadaan visuaalinen lisä josta voi olla paljonkin hyötyä etenkin kuljettajan taitoja kehitettäessä ja ongelmatilanteita ratkottaessa.

Pelkästään yhdellä hyvin sijoitetulla kameralla saadaan todella paljon tietoa. Jos käytetään vain yhtä kameraa, se sijoitetaan useasti ajoneuvon keskilinjalle tai hieman apukuskin puolelle kuljettajan selkälínjan takapuolelle, jolloin nähdään hyvin kuljettajan toiminta sekä ajoneuvon sijainti radalla tuulilasista. Jos on mahdollista käyttää useampaa kameraa, ne sijoitetaan yleensä niin että yksi kuvaa kuljettajan toimintaa edestä päin eli yleensä apukuskin puolelle noin kojelaudan korkeudelle. Näin nähdään miten kuljettaja seuraa tapahtumia ikkunoista, peileistä ja mittaristosta. Toinen kamera voidaan sijoittaa kuljettajan jalkatilaan, jolloin nähdään jalkatyöskentely eri ajotilanteissa. Kolmas kamera sijoitetaan samaan tapaan kuin vain yhtä kameraa käytettäessä. Lisäksi videokuvaan saadaan useasti liitettyä kerättyä tietoa esimerkiksi jarrun ja kaasun käyttö sekä nopeus. (KUVA 5)



KUVA 5. Incar- kuvaa kilpa-autosta (PMD race products)

Ajoneuvon toimintaa tarkkailtaessa kameroita voidaan sijoittaa esimerkiksi etulokasuojaan seuraamaan pyöränkulmien muutoksia eri ajotilanteissa tai seuraamaan uusin aerodynamiikka osien toimintaa aeromaalien avulla. Ajoneuvon toimintaa seuraavia kameroita käytetään yleensä vain testiajojen aikana, koska ne joudutaan useasti asentamaan ajoneuvon ulkopuolelle, mikä voi aiheuttaa vaaratilanteita.

Kameroiden määrä kasvatettaessa, myös pääyksikön vaatimukset kasvavat. Jos kameroiden videokuva tallennetaan pääyksikön muistiin, tarvitsee kapasiteetti olla moninkertainen verrattuna pelkkään tiedon tallentamiseen. Tämän vuoksi kameroissa on yleensä omat muistikorttinsa ja videot sekä tieto synkronoidaan vasta tietokoneella aikaleimojen perusteella.

3.5 GPS

GPS- tieto on yksi tiedonkeruun tärkeimmistä komponenteista. Nykyisen GPS- tekniikan avulla saadaan todella tarkka sijainti-, nopeus- ja matkatieto. Ajoneuvon nopeuden

voi saada myös pyörien pyörintänopeuksista, mutta se ei ole yhtä varma tapa kuin GPS:n kautta mahdollisten lukkojarrutusten ja sutimisen aiheuttamien virheiden vuoksi. GPS:n avulla saadaan myös tietoa radan korkeuden muutoksista, mikä olisi muuten lähes mahdotonta jos radan profiilia ei tiedetä etukäteen. GPS vastaanotin voi olla integroituna pääyksikköön tai sitten se voi olla erillinen liittimellä pääyksikköön kiinnitettävä osa (KUVA 6).

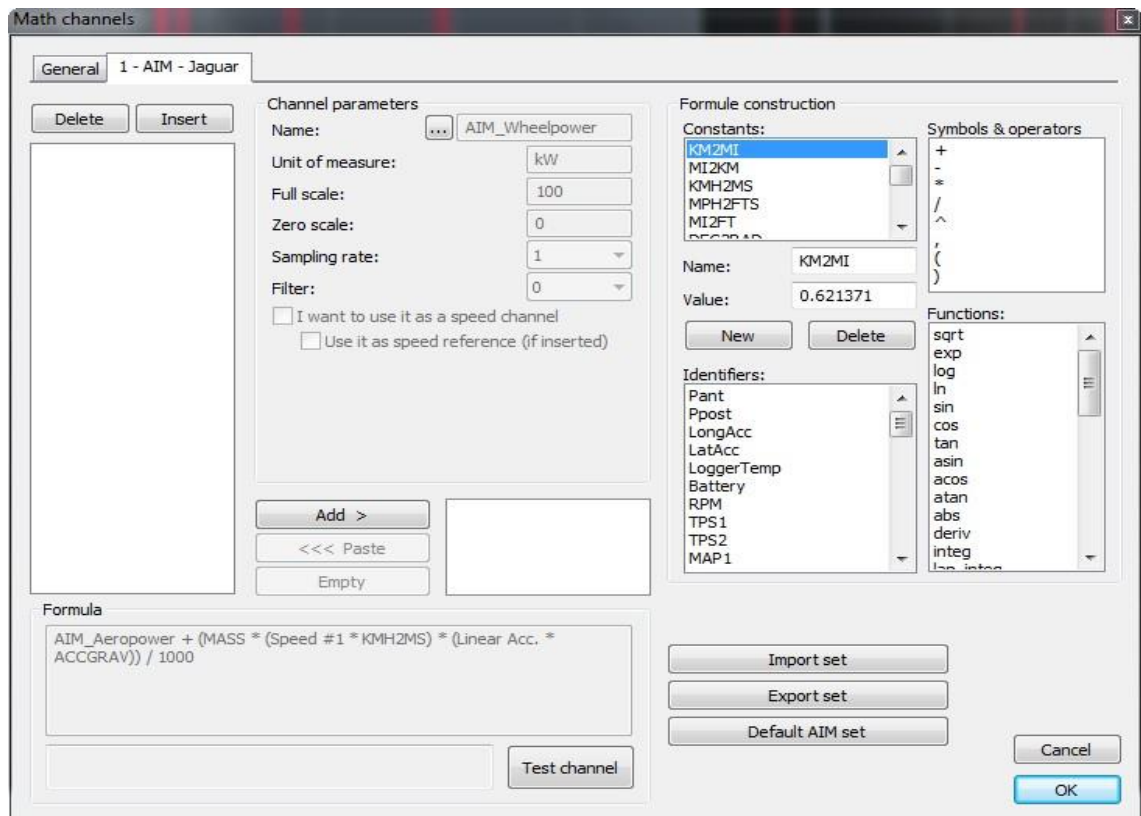


KUVA 6. AiM:n erillinen GPS- moduuli (AiM 2014)

4 TIEDON ANALYSOINTIOHJELMA

Yleensä kun valitsee joltain valmistajalta tiedonkeruujärjestelmän, tulee valinneeksi myös ohjelmiston jolla kerätty tieto analysoidaan, koska lähestulkoon kaikilla valmistajilla on omat ohjelmansa. Tämä täytyy ottaa huomioon tiedonkeruujärjestelmää rakennettaessa. Ohjelmiston ollessa sen käyttäjän mielestä huono tai epäkäytännöllinen, ei ole mitään merkitystä vaikka järjestelmän fyysinen puoli olisi kuinka hyvä. Ohjelmiston käyttöliittymä voi vaihdella paljonkin eri valmistajien välillä ja ”parasta” on käytännössä mahdoton määrittää, koska jokaisella käyttäjällä on omat mieltymyksensä ja tottumuksensa. Liitteessä 1 on muutamia esimerkkejä erilaisista käyttöliittymistä.

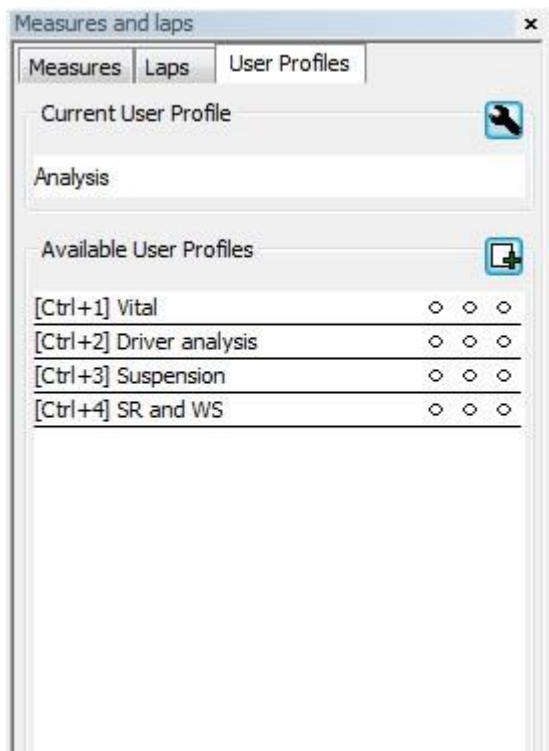
Analysointiohjelmiston lähes pakollisiin ominaisuuksiin kuuluu mahdollisuus luoda matemaattisia kanavia eli mahdollisuus muodostaa yhtälöitä, joissa käytetään muuttujina kerättyä tietoa. Ilman matemaattisia kanavia tiedon analysointi vaikeutuu huomattavasti. Esimerkkinä AiM:n Race Studio Analysis- ohjelmiston ratkaisu matemaattisten kanavien luomiseen (KUVA 7).



KUVA 7. Matemaattisten kanavien luominen Race Studiolla

Monien eri kierrosten ja kuljettajien tietojen päällekkäin vertailu on myös käytännössä pakollinen ominaisuus, koska kuljettajan ja auton parantaminen on hyvin vaikeaa jos kerättyä tietoa ei pysty vertailemaan mihinkään. Nykyään käytännössä kaikissa ohjelmistoissa on mahdollisuus vertailla eri kuljettajia ja eri kierroksia keskenään.

Monien käyttäjäprofiilien luominen on todella hyvä ominaisuus vaikkakaan ei välttämätön. Tämä ominaisuus kuitenkin nopeuttaa tiedon analysointia todella paljon. Käyttäjäprofiililla tarkoitetaan esimerkiksi välilehtiä, joille voi laittaa itse haluamiaan tietoja sekä asetuksia. Näiden välillä voidaan selata nopeasti jos halutaan tietoa jostain tietyistä asiasta. Käyttäjäprofiileita voivat olla esimerkiksi auton luotettavuustiedot, renkaiden pyörimisnopeuksiin liittyvät tiedot, aerodynamiikka, heilahduksenvaimentimet ja niin edelleen (KUVA 8).



KUVA 8. Erilaisia käyttäjäprofiileita

Muistiinpanojen kirjoittaminen kerätyn tiedon yhteyteen on hyvä ominaisuus. Testipäivien aikana ajetaan yleensä hyvin paljon monilla eri ajoneuvon säädöillä tai osilla. On hyvä jos kerätyn tiedon yhteyteen pystyy kirjoittamaan muistiin mitä muutoksia autoon tehtiin eri testiajojen välillä, minkälainen sää ja missä kunnossa rata oli sekä tapahtuiko testipäivän aikana säässä tai radassa suuria muutoksia.

Tiedon analysointiohjelmiston lisäksi on hyvä olla käytössä joku matemaattinen laskentaohjelma esimerkiksi Mathcad ja jokin taulukkolaskentaohjelma kuten Microsoft Excel. Joskus voi tulla tilanteita ettei pelkällä tiedon analysointiohjelmalla pysty tekemään kaikkea tarpeellista, jolloin on hyvä jos analysointiohjelmasta saadaan ulos tiedostoja joita myös muut ohjelmistot ymmärtävät.

5 YLEISTÄ TIEDON ANALYSOINNISTA

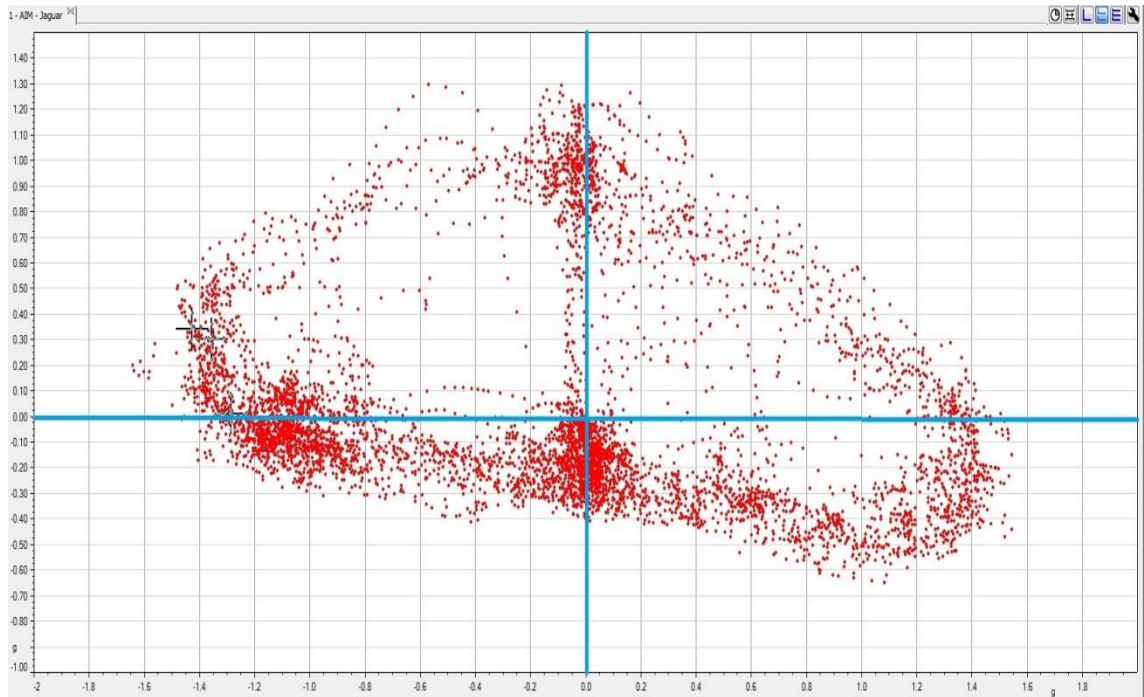
Tiedon analysointi voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: ajoneuvon ja kuljettajan suorituskyvyn analysointiin. Kumpaakin näistä voidaan puolestaan tarkkailla eri ajotilanteiden, eli kiihdytys ja jarrutus sekä kaarreajo, näkökulmasta. Joitain asioita, kuten aerodynamiikka ja heilahduksenvaimentimia, ei voida luokitella yksinään mihinkään näistä kolmesta ryhmästä, koska niiden muuttaminen vaikuttaa useampaan ajotilanteeseen.

Ennen analysoinnin aloittamista tulee tietää mitkä kohdat ovat ongelmallisia joko kuljettajalle tai ajoneuville, sekä mihin osa-alueisiin kannattaa panostaa. Ongelmakohtia etsittäessä kuljettajan kommentit ovat todella arvokkaita, mutta myös tiedonkeruun avulla pystytään analysoimaan missä kohdissa on mahdollista parantaa. Analysoinnin voi tehdä vertailemalla kierroksien sektoriaikoja, joista huomataan nopeasti jos jonkin sektorin ajat vaihtelevat suuresti tai jollain sektorilla tulee huomattavasti odotettuja hitaampia aikoja. Useimmilla järjestelmillä radan pystyy jakamaan juuri niihin sektoreihin kun käyttäjä haluaa, mutta useasti rata jaetaan 2-5 osaan radan pituudesta riippuen. Sektorijako voidaan tehdä myös ajotilanteiden perusteella eli jaetaan suorat ja kaarteet omiin osiin.

Ajotilanteet, joihin kannattaa panostaa, löydetään nopeasti niin kutsutun kitkaympyrän avulla (KUVA 9). Kitkaympyrä tehdään x-y kuvaajan avulla pitkittäis- ja poikittaiskiihtyvyyksistä. Pitkittäiskiihtyvyys laitetaan y-akselille ja poikittaiskiihtyvyys x-akselille, jolloin saadaan pisteparvi, jonka tiheydestä pystytään päättelemään millä alueella ajoneuvolla vietetään eniten aikaa eli tummimmin värjäytyneellä alueella on oltu eniten (Segers, J.2014). Kuvassa positiivinen alue y-akselilla on jarrutusta ja päinvastoin. X-akselilla positiivinen alue on puolestaan kuvastaa oikealle kääntymistä ja päinvastoin.

Esimerkkikuvan tiedot on saatu AiM:n mallitiedostoista. Kuvasta huomataan, että eniten aikaa on vietetty vasemmalla käännätyssä sekä suoraan kiihdyttäessä ja jarruttaessa, joten autoa säädettäessä kannattaa paneutua näille alueille. Kuvan muodosta voidaan päätellä myös radan profiilia. Vasemmalle käännätyssä ei ole saatu kiihdytettyä kovaa, mutta jarrutuksen kiihtyvyyssarvot ovat suurehkoja, mikä kertoo kaarteiden olleen pidempien suorien jälkeen ja ne ovat olleet hyvin jyrkkiä. Oikealle käännätyssä tilanne

on täysin päinvastainen. Kovia jarrutuksia ei ole tapahtunut oikeastaan ollenkaan oikealle kääntyviin kaarteisiin tullessa, mutta kaarteista on kiihdytetty nopeasti pois, joten ne ovat luultavasti olleet loivia ja ovat todennäköisesti edeltäneet radan nopeampia osuuk-
sia.



KUVA 9. Kitkaympyrä

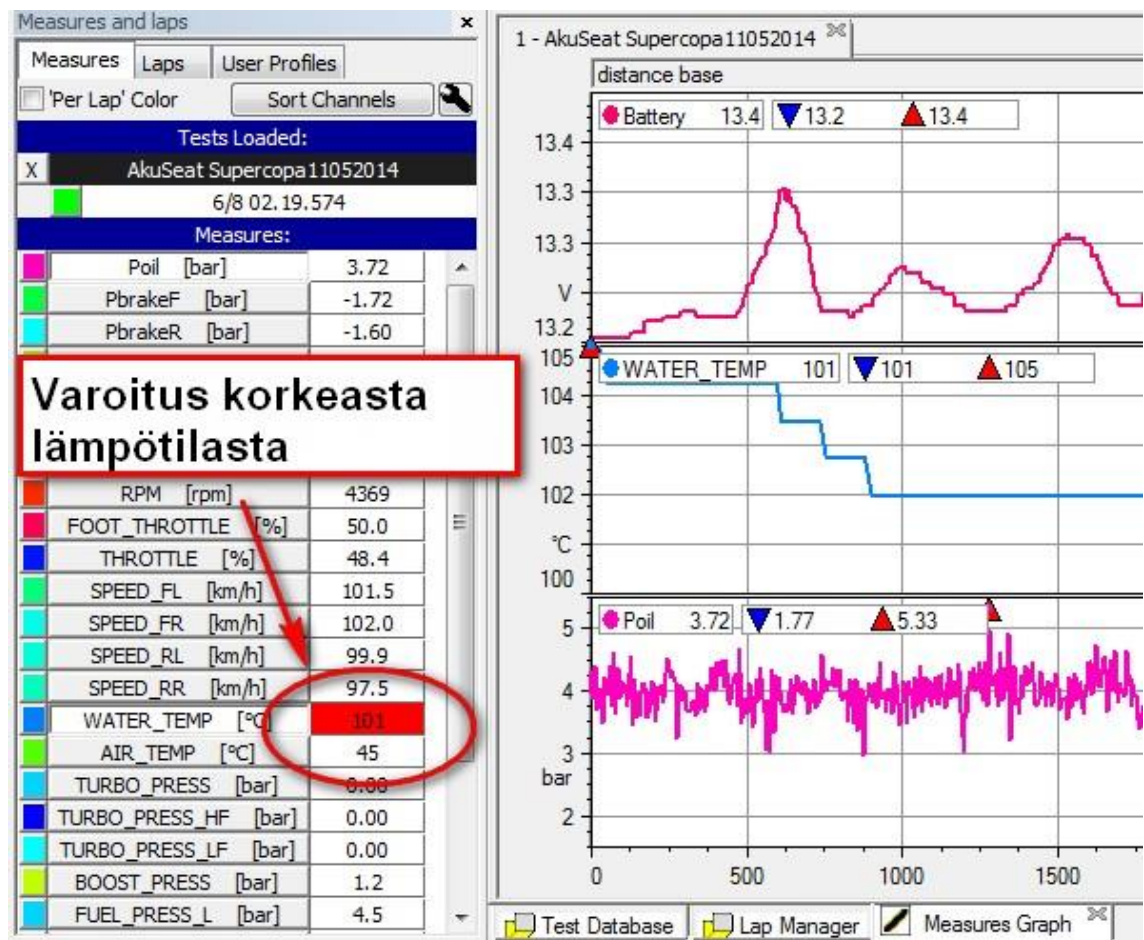
6 AJONEUVON SUORITUSKYVYN ANALYSOINTI

6.1 Ajoneuvon luotettavuus

Ajoneuvon luotettavuutta tarkkaillaan pääasiassa moottorin toimintaa tarkkailevien anturien kautta, mutta lisäksi voidaan käyttää muun muassa jarrujenlämpötilojen ja renkaiden paineiden mittausta. Ajoneuvon luotettavuutta tarkastellaan lähinnä mitattavien suureiden raja-arvojen ja ehtojen avulla eli esimerkiksi lämpötiloille voidaan laittaa tietyt maksimi- ja minimiarvot, jonka jälkeen kerättyyn tietoon tulee jokin ilmoitus kun raja-arvo ylittyy. Ehtoja voidaan käyttää muun muassa öljynpaineen tapauksessa. Esimerkiksi jos moottorinpyörintänopeus on yli 3500 1/min ja öljynpaine tippuu alle 2 bar, kerättyyn tietoon tulee tästä merkintä. Nämä varoitukset ovat yleensä matalammilla arvoilla kuin kuljettajalle tulevat varoitukset. Kuljettajalle varoitukset tulevat yleensä näkyviin vasta kuin se alkaa vaikuttaa auton suorituskykyyn tai sillä on kriittinen vaikutus auton kestävyYTEEN.

Esimerkkinä voidaan käyttää Aku Motorsportilta saatua tiedosta Slovakian Slovakiaring radalta (KUVA 10). Kuvassa huomataan varoitus punaisena laatikkona vasemmassa laidassa moottorin lämpötilan kohdalla. Tämän lisäksi ohjelmisto näyttää automaattisesti jokaisella kierroksella olleen maksimi- ja miniarvon jokaiselle valitulle signaalille, näin ollen jo nopealla vilkaisulla nähdään onko moottorissa kaikki kunnossa. Kyseisen kierroksen aikana lämpötila oli vaihdellut 101 - 105 °C.

Moottorin jäähdytysnesteen varoitusrajaksi on asetettu 95 °C, moottorin normaalin toimintalämpötilan ollessa noin 90 °C. Kuvassa ylimpänä on akkujännite, keskimmäisenä jäähdytysnesteen lämpötila ja alimpana öljynpaine. Kyseisessä ajoneuvossa lämpötilan noustessa yli 100 °C, kuljettaja saa varoituksen. Tässä tapauksessa ongelmat tulivat kilpailun aikana ja pahimmallaan jäähdytysnesteen lämpötila nousi selvästi yli 100 °C, jolloin kuljettajakin sai siitä varoituksen sekä moottorin varotoiminto laski tehoja. Loppujen lopuksi ongelman syyksi paljastui jäähdytysjärjestelmässä ollut ilma.

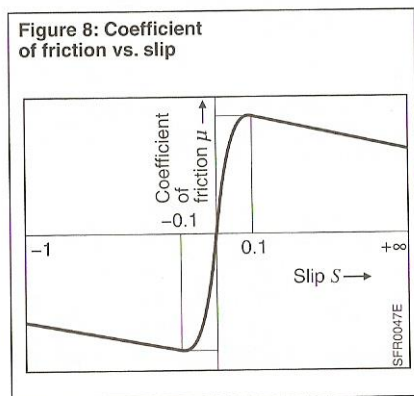


KUVA 10. Korkeasta lämpötilasta tullut varoitus

6.2 Kiihdytys

6.2.1 Renkaiden luistoaste ja luistonesto

Luistoaste kertoo renkaan luistoprosentit ja se on matemaattinen kanava, joka luodaan renkaiden pyörintänopeuksien avulla. Renkaista saadaan suurin kitkakerroin tietyllä luistoprosentilla, joka on jokaiselle renkaalle ominainen. Optimaalinen luistoaste vaihtelee vielä renkaan lämpötilan ja kuluneisuuden mukaan eli se ei ole koskaan vakio. Yleensä paras arvo on 5-10 % lähettyvillä (KUVA 11). Luistoastetta hyödynnetään niin kiihdytys kuin jarrutustilanteissakin ja sitä voidaan hyödyntää ABS:n ja luistoneston kehittämisessä ja säätämisessä.



KUVA 11. Renkaan kitkakerroin luiston suhteen (Konrad, R. & Dietsche, K.-H. 2014.) Luistoasteen laskemiseen tarvitaan vähintään kaksi renkaiden nopeustietoa, yksi kummaltakin akselilta, mutta käytännössä kaikissa nykyaikaisissa kilpa-autoissa on jokaisella pyörällä pyörintänopeusanturi, jolloin tuloksesta saadaan huomattavasti tarkempi. Jörge Segersin (2014) mukaan luistoaste saadaan laskettu kaavalla (1):

$$SR = 100\% \cdot \left(\frac{0,5 \cdot (WS_{TV} + WS_{TO})}{WS_{EV}} - 1 \right) \quad (1)$$

Kaavassa SR tarkoittaa luistoastetta. WS tarkoittaa pyörän nopeutta ja alaindekseissä käytettävät TV, TO ja EV tarkoittavat ajoneuvon nurkkaa (takavasen, takaoikea, etuvasen). Taulukossa (TAULUKKO 1) on selitetty positiivisen ja negatiivisen luistoasteen merkitys jarrutus ja kiihdytystilanteessa, jos käytetään kaavan 1 mukaista yhtälöä.

TAULUKKO 1. Luistoasteen selitykset (Segers, J. 2014)

	Positiivinen luistoaste	Negatiivinen luistoaste
Jarrutus	Eturenkaat lukkiutumassa	Takarenkaat lukkiutumassa
Kiihdytys	Takarenkaat sutimassa	Eturenkaat sutimassa

Kaavan jaettavana oleva osuus voidaan periaatteessa korvata pelkällä yhdellä pyörintänopeustiedolla, mutta keskiarvon avulla saadaan tarkempi tulos. Vielä tarkempi tulos saadaan jos käytetään jaettavana nopeutena esimerkiksi GPS:n avulla saatavaa nopeutta. Tällöin täytyy kuitenkin varmistaa, että luiston ollessa nolla kumpikin GPS- nopeus ja renkaiden pyörännopeus ovat samat, jottei tulokseen tulisi virheitä.

Tämä kaava voidaan tehdä jokaiselle pyörälle erikseen. Tällöin saadaan jokaisen pyörän luistoaste ja huomataan helposti jos joku pyörä lukkiutuu jarrutuksessa tai alkaa sutia kiihdytyksessä. Jos jokaiselle pyörälle tehdään erikseen luistoaste kanavat, voidaan tarkkailla esimerkiksi tasauspyörästönlukon toimintaa (Segers, J. 2014). Nelivetoisessa ajoneuvossa jakolaatikon lukon toimintaa voidaan tarkkailla näiden kanavien avulla.

Luistoastetta analysoitaessa kannattaa laskettu kanava suodattaa itselle sopivalla tasolla esimerkiksi keruutaajuutta pienentämällä, koska kaavalla 1 saatava kanava saattaa josain tilanteissa näyttää sekavalta. Esimerkkinä voidaan käyttää Aku Motorsportilta saatua Spa-Francorchamps- radalta kerättyä tietoa (KUVA 12). Kuvassa ylimpänä ovat takarenkaiden nopeudet, vihreä on vasen ja punainen on oikea. Seuraavana ovat eturenkaiden nopeudet, värit ovat samoin kuin takarenkaissa. Sininen käyrä kuvaa kaasupolkimen asentoa ja alimpana on luistoaste. Punainen käyrä on suodatettu ja harmaa on suoraan kaavan 1 avulla tehty. Vaakatasossa on kuljettu etäisyys.



KUVA 12. Mallikuva luistoastekanavasta

Jos kuvasta ympyröityä kohtaa tulkittaisiin nopeasti vain kaasupolkimen ja luistoasteen avulla, saatettaisiin päätellä että takarenkaat ovat sutineet kyseisessä kohdassa koska luistoaste on noin -14 %. Kyseessä on kiihdytystilanne ja käytetty ajoneuvo oli etuvetoinen, joten on hyvin epätodennäköistä että takapyörä sutisi. Vaikka ei tiedettäisi auton olevan etuvetoinen, voidaan päätellä muun informaation avulla, ettei kyseessä ole ollut sutimistilanne. Oikean takapyörän nopeus on ollut epätavallisen tasainen ja alhainen verrattuna vasempaan juuri luistoasteen tippuessa. Kyseisessä tilanteessa ajettiin kovan jarrituksen jälkeen tiukkaan oikealle kääntyvään kaarteeseen jolloin oikea takapyörä irtosi maasta noin 1,5 sekunnin ajaksi, mikä selittää oudon nopeuskuvaajan sekä luistoasteen tippumisen. Sama ilmiö olisi ollut mahdollista havaita heilahduksenvaimentimen liikematkasignaalin avulla jos sellainen olisi ollut käytettävissä. Kyseistä virhettä ei olisi tullut kuvaajaan ollenkaan, jos kanavassa olisi käytetty esimerkiksi GPS:n avulla saatua vertailunopeutta pyörien nopeuksien sijaan.

Luistoneston ja ABS:n kehittämisessä ja säätämisessä voidaan hyödyntää tiedonkeruusta saatua luistoastetta ja pyörien nopeuksia. Luistonestolla ja ABS:llä rengas pyritään pitämään optimaalisella luistoastealueella ja saamaan suurin mahdollinen hidastuvuus tai kiihtyvyyys. Moottorinohjauksyksikölle voidaan tehdä kartat, jotka kertovat mikä on luistoaste missäkin tilanteessa ja tiedonkeruusta voidaan taas tarkastella todellista toteutunutta luistoastetta ja minkälaisiin kiihtyvyyksiin ja hidastuvuuksiin kyseisillä asetuksilla päästiin. Asetuksia muuttamalla haetaan pidon suhteen mahdollisimman optimaalista tulosta.

6.2.2 Vaihteiden vaihtoajankohta ja vaihtoalot

Vaihteiden vaihtoajankohtaa vaihtoalojen avulla optimoimalla voidaan saavuttaa käytännössä ilmaiseksi etua kiihdytystilanteissa, koska vaihtoalojen ohjelmoinnin pystyy useasti tekemään itse ilman auton valmistajan apua. Hyvin harvoin on hyödyllistä kiihdyttää ajoneuvolla aivan kierrostenrajoittimen tuntumaan vaan vaihtamalla vaihdetta aikaisemmin voidaan saavuttaa paremmat kiihtyvyyssarvot etenkin suuremmilla vaihteilla. Vaihteen optimaalinen vaihtamisajankohta riippuu moottorin luonteesta, eli vääntömomentti- ja tehokuvaajan muodosta, sekä vaihteiston välityksistä.

Jokaisessa vaihtenvaihdossa moottorinpyörintänopeus tippuu tietyn verran, vaihteiden välityksistä riippuen. Yleensä vaihteiden välitykset eivät ole tasaiset eli moottorinpyörintänopeus ei tipu jokaisessa vaihtenvaihdossa yhtä paljoa. Koska suuremmilla nopeuksilla vastusvoimat kasvavat, vaihteiden välien on oltava tiuhemmat parhaan kiihtyvyyden saavuttamiseksi. Esimerkkinä voidaan käyttää erään ajoneuvon välityssuhteita (TAULUKKO 2). Taulukossa on esitetty ajoneuvon välityssuhteet sekä niiden väliset suhteet. Vaihteiden väliset suhteet on laskettu jakamalla suuremman vaihteen välityssuhde pienemmän vaihteen välityssuhteella. Vaihteiden jälkeiset pyörimisnopeudet 7000 1/min vaihtoahetkellä ovat laskettu kaavan (2) avulla. Samaisen ajoneuvon teho eri kierrosluvuilla on esitetty toisen liitteen ensimmäisellä sivulla. Näiden kahden taulukon ja yksinkertaisten kerto- ja yhteenlaskujen avulla voidaan määrittellä parhaan hetken vaihtaa vaihdetta.

$$n_n = \frac{i_n}{i_{n-1}} \cdot n_v \quad (2)$$

Kaavassa n_n tarkoittaa vaihteen vaihdon jälkeistä moottorin pyörimisnopeutta. i_n tarkoittaa vaihteen vaihdon jälkeisen vaihteen välityssuhdetta. i_{n-1} tarkoittaa vaihteen vaihtoa edeltävän vaihteen välityssuhdetta. n_v tarkoittaa vaihtamisajankohtaa

TAULUKKO 2. Ajoneuvon välityssuhde tietoja

Vaihte	Välityssuhde	Vaihteiden välinen suhde $i_n \rightarrow i_{n+1}$	Vaihdon jälkeinen pyörimisnopeus
1.	4,21	0,59	4130
2.	2,49	0,67	4690
3.	1,66	0,75	5250
4.	1,24	0,81	5670
5.	1	0,88	6160
6.	0,88		

Jörge Segersin (2014) mukaan kun on tiedossa vaihdon jälkeinen pyörintänopeus, voidaan yksinkertaisesti yhteenlaskulla laskea käytössä olevan kokonaistehon kyseisellä pyörintänopeus- välillä. Esimerkkinä voidaan käyttää vaihteenvaihtoa viidenneltä kuudennelle vaihteelle. Taulukossa on ote toisen liitteen teho-pyörintänopeustaulukosta (TAULUKKO 3). Vaihtoajankohdan ollessa 7000 1/min pyörintänopeus tippuu 6160 1/min, jolloin tehoa on käytettävissä noin 1210 kW. Jos vaihtoajankohta pudotetaan 6800 1/min, vaihteenvaihdon jälkeinen pyörintänopeus tippuu 5984 1/min ja tällöin tehoa on käytettävissä noin 1230 kW. Kyseisessä ajoneuvossa 7000 1/min vaihtoajankohdalla kaikkien vaihteiden yhteenlaskettu teho on 12585 kW ja optimoituna 12633 kW

TAULUKKO 3. Ote liitteessä 2 olevasta teho-pyörimisnopeus taulukosta

Pyörintänopeus 1/min	Vääntömomentti Nm	Teho kW
5500	240	138,2
5600	237	139,0
5700	234	139,7
5800	231	140,3
5900	228	140,9
6000	225	141,4
6100	220	140,5
6200	215	139,6
6300	210	138,5
6400	205	137,4
6500	200	136,1
6600	195	134,8
6700	190	133,3
6800	185	131,7
6900	180	130,1
7000	175	128,3

Samanlainen optimointi voidaan tehdä jokaiselle vaihteelle, koska useissa tiedonkeruu-järjestelmissä on mahdollista säätää jokaiselle vaihteelle omat vaihtovalot. Jos ei ole mahdollista ohjelmoida kuin yksi vaihtoajankohta, kannattaa tiedonkeruusta tarkastella minkä vaihteiden välillä tehdään eniten vaihtoja kullakin radalla ja optimoida vaihto ajankohta tämän perusteella. Joillain radoilla ei välttämättä tarvitse koskaan käyttää kahta pienintä vaihdetta ja toisilla taas kahta suurinta.

Yhteenlaskuperiaate vastaa samaa, kun integroisimme tehokuvaajan kyseisellä pyörimisnopeusvälillä. Graafista integrointia kannattaa käyttää aina jos se vain on mahdollista, mutta se ei onnistu kaikilla ohjelmistoilla ja esitetyllä laskentaperiaatteella saatava tulos on suurimmalle osalle ihmisistä tarpeeksi tarkka, joten integrointi ei ole välttämätön. Joka tapauksessa itselle kannattaa tehdä esimerkiksi Excel –pohja, mihin pelkästään välitykset, vaihtoajankohdat, tehokuvaajan ynnä muut mahdolliset muutokset syöttämällä saadaan nopeasti ratkaistua parhaat vaihtoajankohdat. Yksi esimerkki kyseisestä Excel -pohjasta on toisen liitteen toisella sivulla.

6.2.3 Vaihteiden välitykset

Vaihteiden välityksiä päätettäessä tiedonkeruun avulla voidaan käyttää hyödyksi moottorin tehon laskentaa. Moottorista saatava teho voidaan laskea yksinkertaisesti vastusvoimien, vierintävastus ja ilmanvastus, ja kiihtyvyyden avulla, kun ajoneuvosta tiedetään tietyt perustiedot kuten ilmanvastuskerroin, poikkipinta-ala ja renkaiden vierintävastus. Tässä, niin kuin oikeastaan kaikissa muissakin laskuissa, antureilta saatavat tiedot tulee olla tai muuttaa SI-järjestelmän mukaisiin yksiköihin, jotta saadaan oikeita tuloksia. Moottorin teho saadaan laskettua kaavan (3) avulla.

$$P = (F_{ilma} + F_{vierintä} + F_{kiihtyvyys}) \cdot v \quad (3)$$

Kaavassa P tarkoittaa moottorin teho. F_{ilma} tarkoittaa ilmanvastusvoimaa. $F_{vierintä}$ tarkoittaa vierintävastusvoimaa. $F_{kiihtyvyys}$ tarkoittaa kiihtyvyyteen jäävää voimaa. v tarkoittaa ajoneuvon nopeutta. Kun kaavan (3) kolme tekijää F_{ilma} , $F_{vierintä}$ ja $F_{kiihtyvyys}$ puretaan auki, saadaan kaavat (4-6).

$$F_{ilma} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2 \quad (4)$$

$$F_{vierintä} = f_r \cdot m \cdot g \quad (5)$$

$$F_{kiihtyvyys} = m \cdot M_f \cdot G_{pitkittäinen} \quad (6)$$

Kaavoissa ρ tarkoittaa ilman tiheyttä. C_d tarkoittaa ilmanvastuskerrointa. A tarkoittaa ajoneuvon poikkipinta-alaa. f_r tarkoittaa vierintävastuskerrointa. m tarkoittaa ajoneuvon massaa. g tarkoittaa putoamiskiihtyvyyttä ja $G_{pitkittäinen}$ tarkoittaa pitkittäistä kiihtyvyyttä. M_f on tekijä, joka ottaa huomioon voimansiirron hitausmomentin ja muut tekijät. M_f lasketaan kaavan (7) avulla.

$$M_f = \frac{m \cdot g + 1 + 0.04 + 0.0025 \cdot i_{total}^2}{m \cdot g} \quad (7)$$

Kaavassa i_{total} tarkoittaa kokonaisvälityssuhdetta. Kaavalla (3) voidaan luoda matemaattisen kanavan, joka laskee moottorin voimaa. Kaavat (3-7) on saatu Jörge Segersin (2014) kirjasta. Kyseisellä kanavalla saatava teho ei välttämättä ole täysin tarkka verrattuna tehodynamometriltä saataviin tuloksiin, koska kaavoissa on niin paljon muuttujia

eikä se ota huomioon voimansiirron hyötysuhdetta. Jos käytössä on dynamometrilla mitattu tehokuvaaja, voidaan ero kompensoida kaavalla lasketun arvon ja mitatun arvon välillä sopivalla kertoimella.

Kerätystä tiedosta saatava teho voidaan esittää kuvaajan pyörintänopeuden funktiona (KUVA 13) ja samaan kuvaajaan voidaan liittää moottorin mitattu teho, jolloin nähdään millä alueella moottoria on käytetty eniten. Jos suurin painottuma on tehokuvaajan loppupäässä kuten kuvassa, välitykset ovat todennäköisesti liian lyhyet ja päinvastoin. Ihannetilanne on, että suurin keskittymä on suurimman tehon kohdalla.

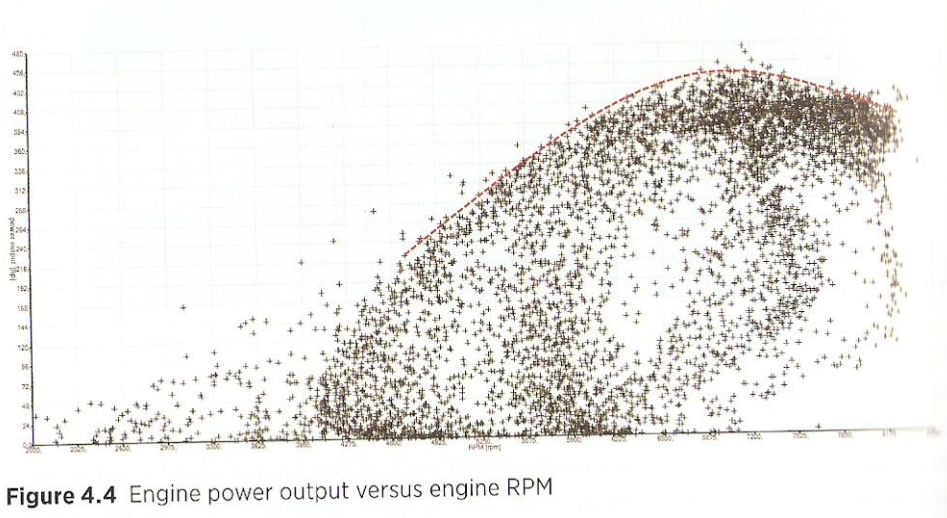


Figure 4.4 Engine power output versus engine RPM

KUVA 13. Laskettu teho pyörintänopeuden funktiona (Segers, J. 2014)

6.3 Jarrutus

6.3.1 Jarru tasapaino

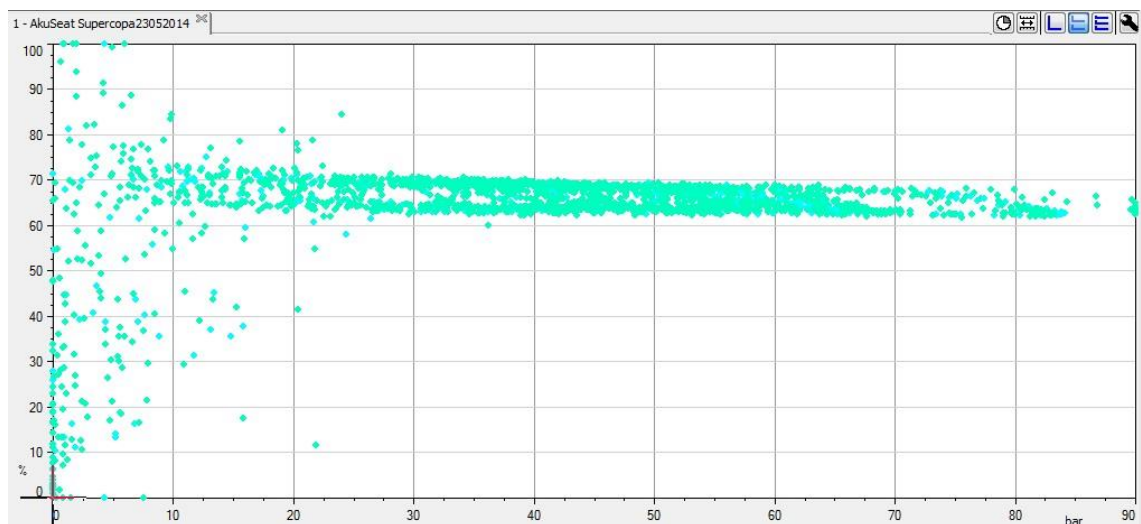
Kilpa-ajoneuvoissa jarrutasapaino on lähes poikkeuksetta säädettävissä oleva muuttuja ja hyvä jarrutasapaino on elintärkeä asia, kun halutaan saavuttaa paras mahdollinen hidastuvuus. Paras jarrutasapaino voi vaihdella radalta toiseen tai jopa jarrutuksesta toiseen siirryttäessä. Jarrutasapaino kerrotaan yleensä jarrupaineiden suhteen avulla eli kuinka monta prosenttia kokonaispaineesta menee etuakselille. Kaavan (8) avulla voidaan luoda kanava, joka kertoo jarrutasapainon.

$$JT = \frac{JP_{etu}}{JP_{etu} + JP_{taka}} \cdot 100\% \quad (8)$$

Kaavassa JT tarkoittaa jarrutasapainoa. JP_{etu} tarkoittaa etupiirin jarrupainetta ja JP_{taka} tarkoittaa takapiirin jarrupainetta.

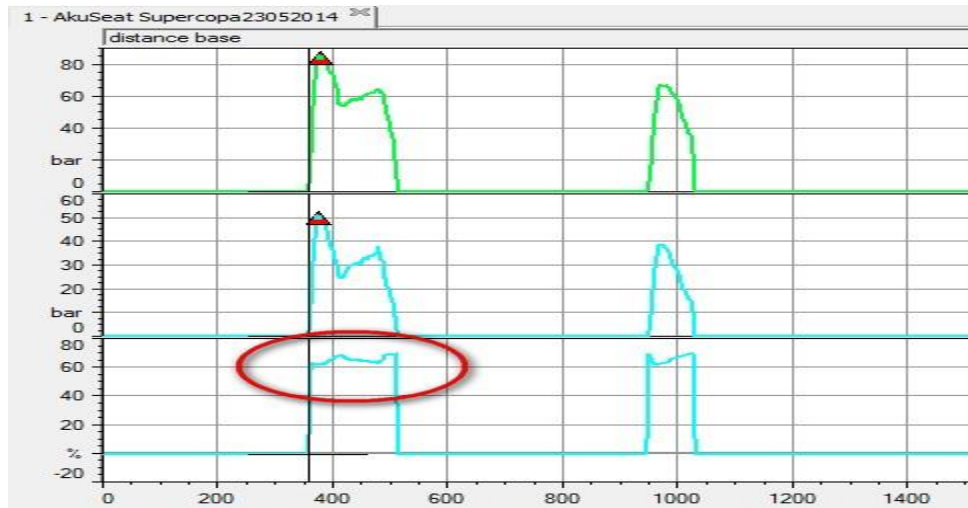
Ennen kuin ruvetaan hakemaan optimaalista jarrutasapainoa, tulee tarkastaa jarrujärjestelmän toimintavarmuus eli kuinka tasaisena jarrutasapaino pysyy jarrutusten aikana, koska jos jarrutasapaino muuttuu paljon jarrutuksen aikana, ei jarrutuksessa voida saada parasta suorituskykyä. Pienillä jarrupaineilla jarrutasapaino voi ja saakin vaihdella hie- man järjestelmässä olevista pienistä välyksistä, letkujen laajenemisesta ynnä muista vastaavista tekijöistä johtuen, mutta suuremmilla, yli 15 bar, paineilla tasapaino ei saisi vaihdella yli 5 %, jotta voidaan tehdä hyviä jarrutuksia. Jarrutasapainon muutoksia voi- daan tarkkailla x-y kuvaajalla, jossa tasapaino on y-akselilla ja etuakselin jarrupaine on x-akselilla (KUVA 14). (Segers, J. 2014).

Kuvasta huomataan, että 20 bar kohdalla tasapaino on vaihdellut 62 - 72 % välillä eli noin 10 % kuin haluttava tilanne olisi ollut maksimissaan 5 %. Suurillakaan paineilla ei päästä kuin noin 7 % muutokseen. Sama ongelma voidaan havaita jo pelkästään jarru- tasapaino kuvaajaa tarkasteltaessa, ylimpänä etupiirin paine, keskimmäisenä takapiirin paine ja alimpana jarrutasapaino (KUVA 15).



KUVA 14. Jarrutasapainon muutos paineen suhteen

Kyseessä oleva ajoneuvo on ollut kilpakäytössä yli 5 vuotta, joten jarrusatulat ja -männät voivat olla kuluneet sekä pedalboksin nivelet saattavat olla väljistyneet liiaksi. Kyseinen ongelma tulisi pyrkiä korjaamaan ennen kuin aletaan hakea optimaalista jarrutasapainoa.



KUVA 15. Jarrutasapainon vaihtelu

Jarrutasapainoa analysoitaessa, tutkitaan yleensä renkaiden pyörintänopeuksia, luistoprosentteja sekä jarrujen lämpötiloja. Pyörintänopeuksista ja luistoprosenteista voidaan tarkkailla pyörien lukkiutumista. Luonnollisesti lukkiutuvassa päässä on liikaa jarrupainetta. Jarrujenlämpötiloja tarkkailtaessa voidaan nähdä kuinka hyvin jarrut ovat niiden toimintaikkunassaan. Jokaisilla jarruilla on ominainen toimintalämpötila jossa ne tulisi pitää parhaan hidastuvuuden tuottamiseksi. Vaikka renkaat eivät vielä lukkiutuisi-kaan, jarrut voivat ylikuumentua, joka on selvä merkki huonosta jarrutasapainosta tai liian vähäisestä jäähdytyksestä jos kummankin pään jarrut ylikuumentuvat.

6.3.2 Pitkittäinen painonsiirtymä

Pitkittäisen painonsiirtymän avulla voidaan laskennallisesti määrittää tarvitseeko etu- vai taka-akseli enemmän jarruvoimaa. Pitkittäisen painonsiirtymän avulla voidaan myös laskea kuinka paljon massa lisääntyy tai vähenee vetävällä akselilla kiihdytystilanteessa, mutta suurempi vaikutus painonsiirtymällä on jarrutustilanteissa suurempien kiihtyvyyksien takia. Etukäteen tiedettäessä ajoneuvon suurimmat hidastuvuudet, jarruvoimi-

en jakoa voidaan arvioida painonsiirtymän kautta, joka lasketaan Jörge Segersin mukaan kaavalla (9).

$$\Delta m_{pit} = \frac{m \cdot G_{pitkittäinen} \cdot h}{AV} \quad (9)$$

Kaavassa Δm_{pit} tarkoittaa pitkittäistä painonsiirtymää. m tarkoittaa ajoneuvon massaa. $G_{pitkittäinen}$ tarkoittaa pitkittäistä kiihtyvyyttä. h tarkoittaa ajoneuvon painopisteen etäisyyttä maasta ja AV tarkoittaa akseliväliä.

Esimerkkinä voidaan käyttää 1200 kg painavaa ajoneuvoa, jonka painojakauma on 50 % kummallekin akselille eli 600 kg akselia kohti. Ajoneuvon painopisteen korkeus on 0.37 m ja sen akseliväli 2.7 m. Ajoneuvolla voidaan saavuttaa parhaimmillaan 1.2 G hidastuvuuksia, jolloin painon siirtymäksi saadaan kaavan (9) avulla:

$$\Delta m_{pit} = \frac{1200 \text{ kg} \cdot 1.2 \cdot 0.37 \text{ m}}{2.7 \text{ m}} \approx 197 \text{ kg}$$

Eli jarrutuksessa etuakselille kohdistuu 797 kg ja taka-akselille 403 kg massa. Tällöin jarruvoimien jako tuli olla 797/1200 eli noin 66 % etuakselille olettaen että kummallakin akselilla on samanlaiset renkaat ja yhtä suuret kitkakertoimet. Tämä ei ole suoraan jarrutasapainon arvo, jota laskettiin kappaleessa 6.3.1 kaavan (8) avulla, vaan tämä kertoo jarruvoimien jakosuhteen. Jarrutasapainon arvoon vaikuttavat muun muassa jarrusatuloiden mäntien määrä ja halkaisija sekä jarrulevyn halkaisija. Kun tiedetään ajoneuvon jarrukokoonpano, voidaan kaavan (9) avulla määrittää vaikka jokaiselle jarrutukselle oma jarrutasapainon arvo katsomalla aikaisempien kierrosten painonsiirtymät ja laskemalla niiden perusteella tarvittava jarrupaine.

6.4 Kaarreajo

6.4.1 Renkaiden lämpötilat ja paineet

Renkaiden lämpötiloilla ja paineilla on suuri vaikutus niiden tuottamaan kitkakertoimeen ja alustamuutoksilla haetaankin optimaalista lämpötilaa ja sen jakaumaa renkaille. Renkaan paineella haetaan tasaista lämpötilan jakaumaa renkaan alueella, liian pienellä

paineella renkaan keskiosa jää kylmäksi ja päinvastoin. Pääasiallinen lämpötilan jakauman hallitsemiskeino on pyörien camber- kulmien muuttaminen.

Lämpötila renkaaseen muodostuu pitkittäisten- ja poikittaisten kiihtyvyyksien eli tien ja renkaan pinnan välisen kitkan ansiosta. Jokaisella renkaalla on optimaalinen toimintalämpötila-alue, joka voi vaihdella jopa 60 - 110 °C välillä renkaasta riippuen. Paras toimintalämpötila-alue voidaan määrittää renkaan lämpötila-poikittaiskiihtyvyys kuvaajan avulla (KUVA 16).

Kuvaajaan tulee pisteparvi renkaan lämpötilasta ja sillä saavutetusta poikittaista kiihtyvyydestä. Tästä voidaan muodostaa käyrä, joka kertoo parhaan kiihtyvyyden kullakin lämpötilalla (Segers, J. 2014). Kuvassa vasemmalla puolella on eturenkaan kuvaaja ja oikeilla takarenkaan kuvaaja eräälle ajoneuvolle. Pysty akselilla on kiihtyvyys ja vaak akselilla lämpötila. Kuvan tapauksessa eturenkaiden suurin kiihtyvyys, yli 1,8 G, saavutetaan renkaan ollessa 53 - 73 °C lämpötilassa. Tätä matalammat ja suuremmat lämpötilat laskevat kiihtyvyyttä. Takarenkailla vastaavat lämpötilat ovat 61 - 93 °C.

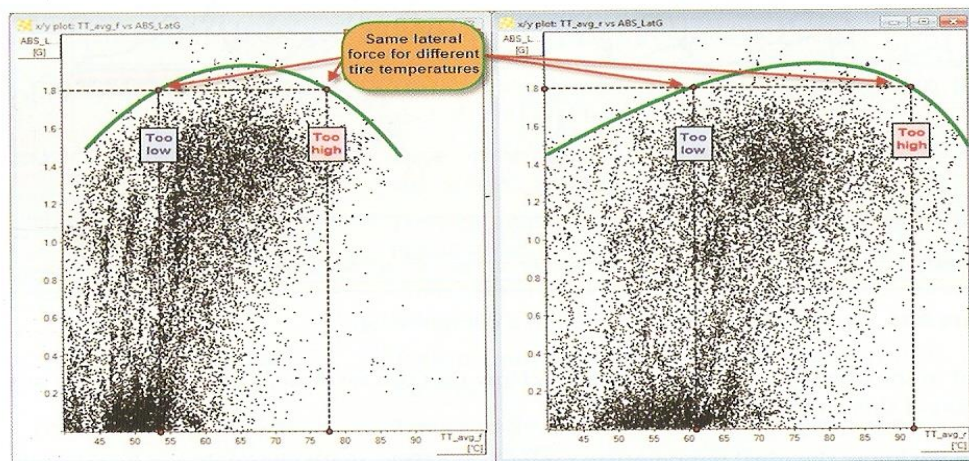


Figure 8.15 X-Y plot of absolute value of lateral acceleration versus front and rear tire temperature

KUVA 16. Poikittainen kiihtyvyys rengaslämpöjen funktiona (Segers, J. 2014)

Jos kiihtyvyys halutaan pitää koko ajan vielä suuremmalla tasolla esimerkiksi yli 1.9 G, eturenkaiden lämpötila tulee olla noin 63 - 72 °C ja takarenkaiden noin 71 - 82 °C. Mitä suurempi kiihtyvyys halutaan pitää sitä pienemmäksi renkaiden toiminta-alue tulee ja renkaiden pitäminen kyseisellä alueella vaikeutuu.

Toiminta-alueen arvioinnin lisäksi näemme rengaslämmöistä renkaiden käyttöastetta. Mitä suurempi renkaan lämpötila on sitä suuremmalla rasituksella se on. Renkaiden analyysia varten tulee tutkia jokaisen renkaan lämpötiloja erikseen, jotta nähdään tarkempi rasitusjakauma. Yksittäisten renkaiden lämpötiloista saadaan tieto akseliston sisäisestä balanssista. Yleensä kaarreaajossa ulommainen pyörä kuumenee enemmän kuin sisempi eikä tarkoituksena olekaan saada tätä eroa häviämään, vaan saada kummatkin pyörät pysymään toiminta-alueen sisällä. Pyörän tekemää työmäärä voidaan arvioida kaavan (10) avulla (Segers, J. 2014). Kyseisellä kaavalla nähdään hetkellinen arvo. Monet tiedonanalysointiohjelmit antavat mahdollisuuden tehdä kaavasta (10) kumulatiivisen, jolloin nähdään rasitus tietyllä ajan tai matkan jaksolla.

$$KA_i = \frac{T_i}{T_{EV}+T_{EO}+T_{TV}+T_{TO}} \cdot 100\% \quad (10)$$

Kaavassa KA tarkoittaa käyttöastetta. Käyttöasteen alaindeksissä oleva i tarkoittaa tutkittavaa rengasta eli EO on etuoikea, EV on etuvasen, TO on takaoikea ja TV on takavasen. T tarkoittaa lämpötilaa.

Kyseisellä kaavalla saadaan yhden renkaan lämpötilan prosentuaalinen osuus kaikkien renkaiden kokonaislämpötilasta. Tällä arvolla pystytään arvioimaan kuinka suuren osuuden koko ajoneuvon työstä yksi rengas tekee. Esimerkkinä voidaan käyttää kuvaa (KUVA 17). Kuvassa renkaiden työjakauma näkyy alimmassa kohdassa: violetti on takavasen, oranssi takaoikea, punainen etuvasen ja vihreä etuoikea. Kuvassa vasen takapyörä tekee keskimäärin eniten työtä eli noin 28 % koko työmäärästä. Hetkellisesti tasapaino vaihtelee ajotilanteesta riippuen eri pyörien väillä. Vaaka-akselilla on kuljettu matka.

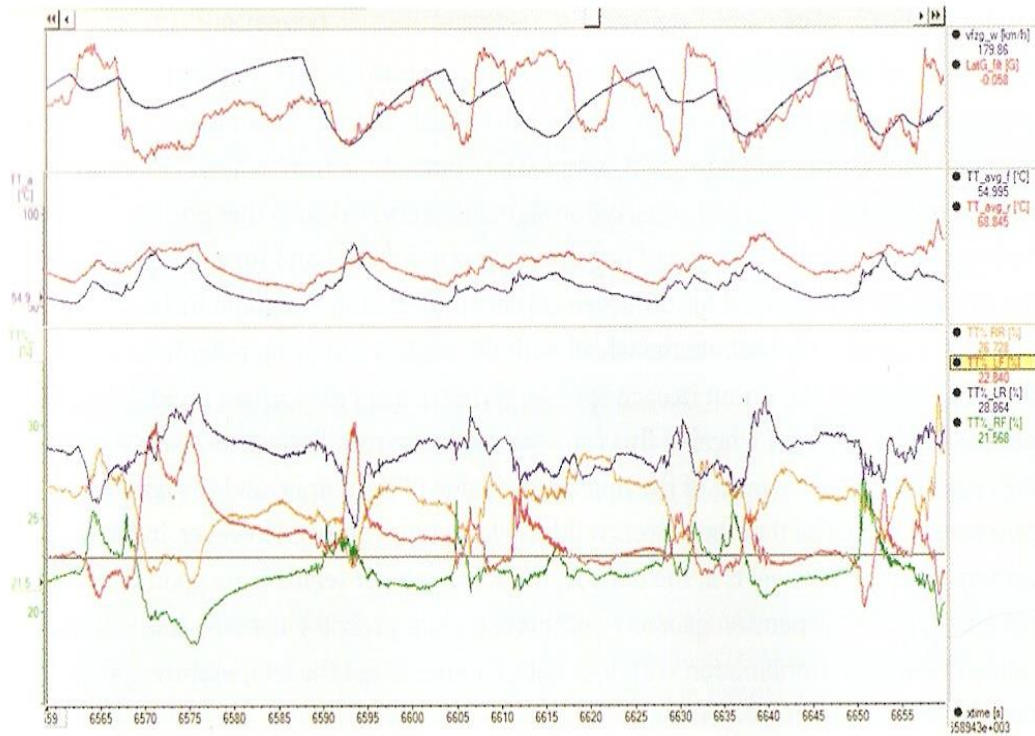


Figure 8.26 Tire workload calculation from tire temperatures

KUVA 17. Renkaiden rasitus lämpötilojen perusteella (Segers, J. 2014)

Vaikka ajoneuvon tasapainosta saadaan paljon tietoa yhdestä lämpötilasta rengasta kohden, olisi hyvä tehdä lämpötilan mittauksia kolmesta eri kohdasta rengasta: sisäreunasta, keskeltä ja ulkoreunasta. Pelkällä yhdellä lämpötilamittauksella ei saa selville onko renkauspaineet optimaaliset tai kuinka suuri osa renkaan alasta toimii optimaalisella alueella. Optimitilanteessa renkaan lämpötila olisi käytännössä tasainen läpi renkaan pinnan kaarreajon aikana.

Renkaiden lämpötilajakaumaa tutkittaessa arvioidaan lähinnä pyörien camber- kulmien sopivuutta kyseiselle radalle. Ennen lämpötilojen analysointia tulisi varmistaa, että renkaiden lämpötilat ja paineet ovat tasaantuneet käyttöarvoihinsa. Analysointia tehtäessä tulee myös muistaa, että käytännössä renkaita ei ole mahdollista saada toimimaan täysin optimaalisesti jokaisessa kaarteessa, jos käytössä ei ole aktiivista camber- säätöä, joten yleensä joutuu tekemään jonkun asteisia kompromisseja.

Camber- kulmia päätettäessä tulisi keskittyä kaarteisiin, joilla on suurin merkitys eli kaarteisiin ennen pidempiä suorja ja yleensäkin pidemmät kaarteet. Pidemmässä kaarteessa voi hävitä enemmän aikaa kuin lyhyemmässä. Camber- kulmat tulisi lähtökohtai-

sesti optimoida aina kaartein ulommille pyörille, koska ne joutuvat yleensä kantamaan suuremman kuorman sisempien renkaiden ollessa pienemmällä rasituksella.

Kuvassa on hyvä esimerkki eturenkaiden lämpöjakauman arvioinnista (KUVA 18). Kuvassa ylimpänä on nopeus, seuraavana poikittainen kiihtyvyyys ja kaksi alimpaa ovat renkaiden lämpötilat. Vihreä on renkaan sisälaidalta, punainen keskeltä ja violetti ulkolaidalta. Alempana on oikea etu- ja ylempänä vasen eturengas. Kuvasta huomataan vasemman eturenkaan olevan suhteellisen hyvällä camber- asetuksella, koska ensimmäistä kahta kaarretta lukuun ottamatta renkaan lämpöjakauma on hyvin tasainen. Oikean puoleinen rengas on suurimman osan ajasta sisempänä renkaana, jolloin sen camber- kulma on yleensä liian suuri, mutta kahdessa suuremmassa vasemmalla kääntyvässä kaarteissa 2 ja 5 camber- kulmat ovat huomattavasti paremmat. Voidaankin päätellä pyöräkulmien olevan kohtuullisen hyvät, mutta pyörän kulmienmuutokset tulisi olla suuremmat, jotta sisemmän pyörän lämpötilajakauma saataisiin paremmaksi. (Segers, J. 2014)

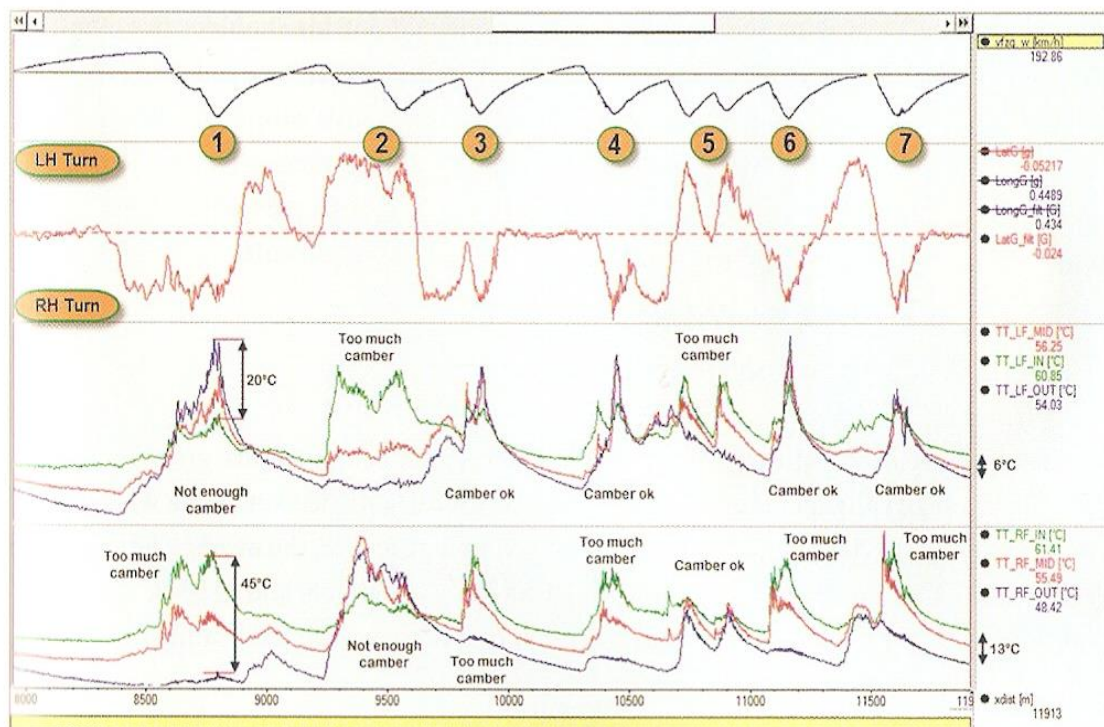


Figure 8.28 Corner-by-corner camber evaluation with tire temperature sensors

KUVA 18. Camber- kulmien arviointi lämpötilojen perusteella (Segers, J. 2014)

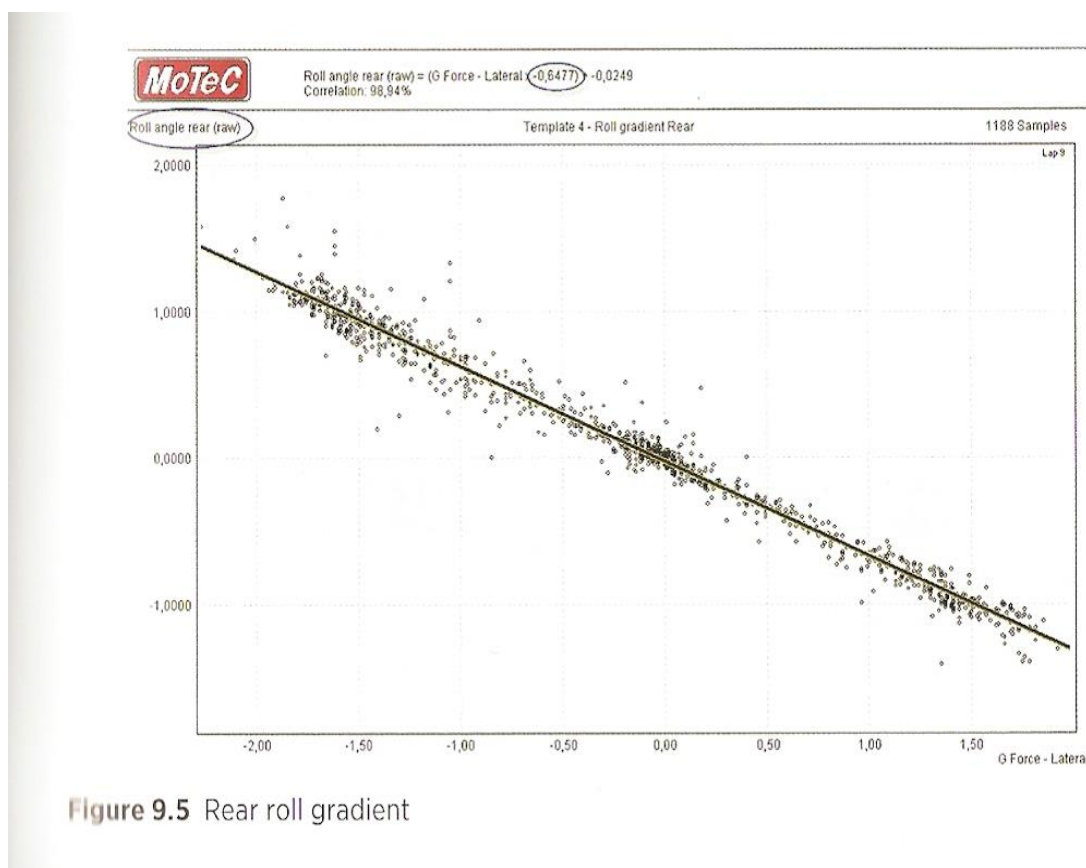
6.4.2 Ajoneuvon kiertojäykkyys

Ajoneuvon kiertojäykkyyttä laskettaessa ja hyödynnettäessä tiedonkeruuta ajoneuvon tasapainon tutkimisessa ja alustan asetusten määrittämisessä, tulee ajoneuvosta tietää hyvin paljon muuttujia, joten kyseinen menetelmä ei välttämättä sovi jokaiselle harrastelijalle. Tässä menetelmässä tiedonkeruun kautta saadaan ajoneuvon kokonaiskiertojäykkyys. Kokonaiskiertojäykkyyden ja ajoneuvon tiettyjen arvojen perusteella voidaan määrittää muun muassa sopivia jousi- ja vakaajajäykkyyksiä. Ensimmäiseksi tulee kuitenkin luoda matemaattinen kanava, joka laskee ajoneuvon kallistuskulmaa. Jörg Segersin (2014) mukaan kaavan (11) avulla pystytään laskemaan kallistuskulman.

$$\alpha_i = \tan^{-1}\left(\frac{(x_{Vi}-x_{Oi}) \cdot LS_i}{RL_i}\right) \cdot 57,3 \quad (11)$$

Kaavassa alaindekseissä esiintyvä i tarkoittaa etu- tai taka-akselia riippuen kumpaa tutkimme. α tarkoittaa kallistuskulmaa. x_V ja x_O tarkoittavat vasemman ja oikean heilahduksenvaimentimen liikematkaa millimetreissä. RL tarkoittaa raidelevyettä millimetreissä. LS tarkoittaa liikesuhdetta. Liikesuhteella tarkoitetaan suhdelukua, joka kertoo kuinka suuren matkan rengas liikkuu suhteessa heilahduksenvaimentimen liikkeeseen.

Tässä menetelmässä kallistuskulmien avulla voidaan piirtää pisteparvi, jonka avulla saadaan etu- ja taka-akselin kiertoasteet (KUVA 19). Vaaka-akselilla on poikittainen kiihtyvyyden ja pystyakselilla tarkastellun akselin kallistuskulma. Piirtämällä trendiviiva pisteparven läpi saadaan kyseisen akselin kiertoaste. Teoriassa kaikki pisteet tulisi olla lineaarisella suoralla, paitsi jos käytetään progressiivisiä jousituksen osia. Vaihtelua pisteparveen kuitenkin aiheuttaa muun muassa heilahduksenvaimentimien potentiometrit ja jousituksen komponenttien kitkat. Ajoneuvon kokonaiskiertoaste saadaan laskettu etu- ja takakiertoasteiden keskiarvona. (Segers, J. 2014)



KUVA 19. Kallistuskulma-poikittaiskiihtyvyyden pisteparvi (Segers, J. 2014)

Kun tällä menetelmällä tehdään pisteparvi, oletuksena on että kiihtyvyydet ovat samat etu- ja taka-akselilla. Todellisuudessa tilanne ei ole aina tämä, mutta silti pystytään laskemaan eri komponenttien vaihtamisen vaikutusta kokonaiskiertojäykkyyteen ja kiertojäykkyyden tasapainoon etu- ja taka-akselin välillä.

Kun saadaan kiihtyvyyden ja kallistuskulman avulla kummallekin akselille kiertoasteen, voidaan laskea kokonaiskiertojäykkyydet. Kiertojäykkyyksien laskeminen on hieman pidempi prosessi ja siitä on hyvä tehdä jokin laskentapohja. Liitteessä 3 on esitetty mathcad- ohjelman avulla kiertojäykkyyden laskeminen. Jotta pystytään laskemaan kiertojäykkyyden, tarvitaan paljon informaatiota käytössä olevasta ajoneuvosta, kuten painojakauma, jousittamattomat ja jousitetut massat etu- ja taka-akseleille. Liitteessä 3 esitetyt kaavat ovat saatu Jörge Segersin (2014) kirjasta.

Kaavoissa oletetaan renkaiden aiheuttaman kiertojäykkyyden pysyvän vakiona, jolloin liitteen 3 laskentamenetelmän avulla saadut akselien kiertojäykkyydet koostuvat vaakajien ja jousien kiertojäykkyyksistä (Kaava 12) (Segers, J. 2014). Jotkin kilpa-auto

valmistajat antavat vakaajien pyörille redusoidut kiertojäykkyydet valmiiksi, mutta jousien pyörille redusoitu kiertojäykkyys joudutaan yleensä laskemaan liikesuhteen avulla.

$$KJ_i = KJ_{vi} + KJ_{ji} \quad (12)$$

Kaavassa KJ tarkoittaa kiertojäykkyyttä. Alaindekseissä oleva i tarkoittaa akselistoa: etummainen tai takimmainen. v tarkoittaa vakaajaa ja j tarkoittaa jousia. Liitteen 3 toisella sivulla on esitetty kuinka redusoidut kiertojäykkyydet voidaan laskea jousille ja vakaajille. Vaikka ei tiedettäisi vakaajien liikesuhdetta tai jäykkyyttä eikä valmistaja ole antanut arvoja, voidaan laskea vakaajan aiheuttaman kiertojäykkyyden kaavan (12) avulla kun tiedetään kokonaiskiertojäykkyys ja jousien jäykkyydet sekä liikesuhteet.

Nyt pystytään käyttämään liitteen 3 kaavoja ajoneuvon asetuksia päätettäessä. Esimerkiksi ajetaan radalla testiajaja ja saadaan tiedonkeruusta kiertoasteet etu- ja taka-akselille sekä koko ajoneuvolle. Kuljettaja valittaa ajoneuvon olevan liian yliohjaava. Lasketaan nykyisen kiertojäykkyyden tasapainon, josta saadaan tulokseksi esimerkiksi 40 % taakse ja loput 60 % eteen. Tämä tarkoittaa etupään olevan noin 1,5 kertaa takapäätä kiertojäykempi. Halutaan vähentää yliohjausta pienentämällä takapäätä kiertojäykkyyttä. Halutaan muuttaa kiertojäykkyyden suhteeksi 65/35, mutta halutaan myös pitää kokonaiskiertojäykkyys samana. Vakaajia ei pysty muuttamaan, joten jousien vaihtaminen on ainoa keino muuttaa tasapainoa. Koska halutaan pitää kokonaiskiertojäykkyys samana, tulee myös kokonaiskiertoaste pysyä samana, joten uudet akselikohtaiset kiertoasteet pystytään laskemaan Jörge Segersin mukaan kaavan (13) avulla. Akselikohtaiset kiertojäykkyydet pystytään laskemaan liitteen 3 mukaisella menetelmällä uusien kiertoasteiden avulla.

$$KA_{i\text{ vaadittu}} = KS_i \cdot 2 \cdot KA \quad (13)$$

Kaavassa i tarkoittaa tarkasteltavaa akselia. KA_{vaadittu} tarkoittaa vaadittua kiertoastetta halutun balanssin saavuttamiseksi. KS tarkoittaa kiertojäykkyyden prosentuaalista osuutta akselilla. KA Tarkoittaa kokonaiskiertoastetta.

Nyt tiedossa on akseleille vaadittavat kokonaiskiertojäykkyydet. Vakaajan aiheuttama kiertojäykkyys pysyy samana, koska sitä ei voi muuttaa ja se on laskettu aiemmin kokonais- ja jousien kiertojäykkyyden avulla. Kaavan (12) avulla voidaan laskea jousilta

vaadittu kiertojäykkyys vähentämällä kokonais- ja vakaajan kiertojäykkyyden arvot toisistaan. Kun tiedetään jousilta vaadittu kiertojäykkyyden suuruus, voidaan muuttaa se todelliseksi jousijäykkyyksiksi käyttämällä liitteessä 3 esitettyä jousien redusointi laskua päinvastaisessa järjestyksessä. Laskelmien paikkansa pitävyyden nähdään seuraavan testiajon jälkeen kerätystä tiedosta tarkastelemalla toteutuneita kiertoastelukuja.

6.4.3 Poikittainen painonsiirtymä

Koko ajoneuvossa tapahtuva poikittainen painonsiirtymä on suhteellisen helppo laskea kaavan (14) avulla, mutta analysoinnissa saadaan enemmän hyötyä kun tiedetään painonsiirtymän erikseen etu- ja taka-akselille. Painonsiirtymä voidaan jakaa kolmeen eri komponenttiin: geometrinen, jousittamattoman massan ja jousitetun massan painonsiirtymä. Nämä kolme muuttuja pystymme ratkaisemaan tiettyjen akselikohtaisten arvojen avulla. (Segers, J. 2014)

$$\Delta m_{poik} = \frac{m \cdot G_{poikittainen} \cdot h_{pp}}{RL} \quad (14)$$

Kaavassa Δm_{poik} tarkoittaa poikittaista painonsiirtymää. m tarkoittaa ajoneuvon massaa. h_{pp} tarkoittaa painopisteen etäisyyttä maasta ja RL tarkoittaa raideleveyttä.

Geometrinen painonsiirtymä aiheutuu nimensä mukaisesti ajoneuvon alustageometrian ja rengasvoimien vaikutuksesta. Geometrinen painonsiirtymä on kaikkein pienin kolmesta komponentista eikä sitä voi mitata antureiden avulla, mutta se voidaan laskea kaavojen (15 - 16) avulla jos tiedetään muun muassa etu- ja taka-akselien kiertokeskiöiden sijainti ja jousitetut massat. (Segers, J. 2014)

$$\Delta m_{GE} = \frac{m_{jE} \cdot G_{poikittainen} \cdot \left(\frac{a}{AV}\right) \cdot h_{kkE}}{RL_E} \quad (15)$$

$$\Delta m_{GT} = \frac{m_{jT} \cdot G_{poikittainen} \cdot \left(\frac{AV-a}{AV}\right) \cdot h_{kkT}}{RL_T} \quad (16)$$

Kaavassa alaindekseissä oleva E ja T tarkoittavat joko etu- tai taka-akselia. m_j tarkoittaa jousitetun massan suuruutta. $G_{poikittainen}$ tarkoittaa poikittaista kiihtyvyyttä. a tarkoittaa etäisyyttä taka-akselin keskilinjan ja jousitetun massan painopisteen välillä. AV tarkoittaa

taa akseliväliä. h_{kk} tarkoittaa akseliston kiertokeskiön etäisyyttä maasta ja RL tarkoittaa raideleveyttä.

Jousittamattoman massan painonsiirtymä on toiseksi suurin tekijä kokonaispainonsiirtymässä eikä sitä tarkasteltaessa pystytä hyödyntämään antureita vaan se on laskennallinen arvo kuten geometrinen painonsiirtymä. Laskenta voidaan tehdä kaavan (17) avulla. Jousittamattomaan massaan kuuluu renkaat, vanteet, jarrut, pyörän navat ja noin puolet tukivarsien ja vetoakseleiden massoista. (Segers, J. 2014)

$$\Delta m_{jmi} = \frac{m_{jmi} \cdot G_{poikittainen} \cdot h_{jmi}}{RL_i} \quad (17)$$

Kaavassa i alaindekseissä tarkoittaa laskettavaa akselistoa. Δm_{jm} tarkoittaa jousittamattoman massan aiheuttamaa painonsiirtymää. m_{jm} tarkoittaa jousittamatonta massaa. $G_{poikittainen}$ tarkoittaa poikittaista kiihtyvyyttä. h_{jm} tarkoittaa jousittamattoman massan painopisteen korkeutta, joka arvioidaan useasti olevan renkaan dynaaminen vierintäsäde. RL tarkoittaa raideleveyttä.

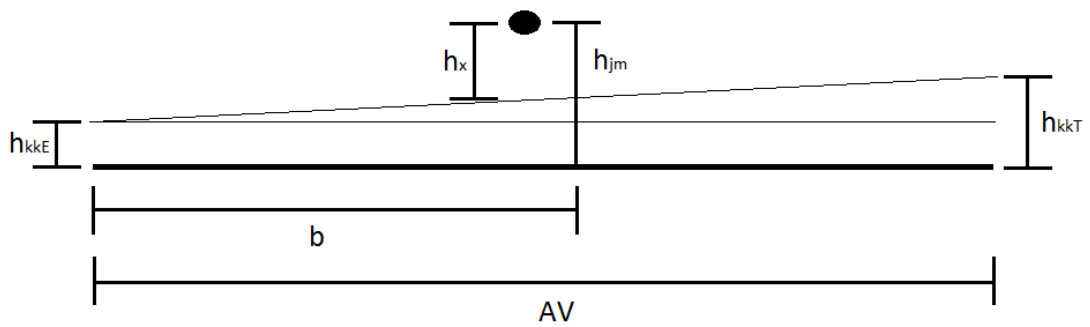
Selvästi suurin osan kokonaispainonsiirtymästä aiheutuu jousitetun massan liikkeistä. Jousitettu painonsiirtymä voidaan saada suoraan jousituksen yhteyteen asennettavista voima-antureista tai se voidaan ratkaista laskennallisesti kappaleessa 6.4.2 lasketun korin kiertojäykkyyden jakauman perusteella kaavojen (18 - 19) avulla (Segers, J. 2014).

$$\Delta m_{jE} = \frac{m_{jE} \cdot G_{poikittainen} \cdot h_x}{RL_E} \cdot q \quad (18)$$

$$\Delta m_{jT} = \frac{m_{jT} \cdot G_{poikittainen} \cdot h_x}{RL_t} \cdot (1 - q) \quad (19)$$

Kaavoissa alaindekseissä olevat E ja T tarkoittavat etu- ja taka-akselia. Δm_j tarkoittaa jousitettua painonsiirtymää. m_j tarkoittaa jousitettua massaa. $G_{poikittainen}$ tarkoittaa poikittaista kiihtyvyyttä. RL tarkoittaa raideleveyttä ja q tarkoittaa kiertojäykkyyden prosentuaalista osuutta etuakselistolla.

h_x tarkoittaa etu- ja takakiertokeskiöiden välisen linjan ja jousitetun massan painopisteen korkeuden etäisyyttä (KUVA 20). Jörge Segeressin laskenta menetelmä tälle mitalle on esitetty kuvassa (KUVA 20). Kuvassa AV tarkoittaa akseliväli, b on jousitetun massan painopisteen ja etuakseliston välinen etäisyys. h_{kkE} ja h_{kkT} ovat akselistojen kallistuskeskiöiden korkeudet.



$$h_x = h_{jm} - h_{kkE} - (b/AV) * (h_{kkE} - h_{kkT})$$

KUVA 20. h_x mitan määrittäminen

Kaavat (15 - 19) voidaan syöttää tiedonkeruujärjestelmään, jolloin saadaan matemaattiset kanavat etu- ja taka-akselin poikittaisten painonsiirtymien komponenteista joiden yhteen laskulla saamme kokonaispainonsiirtymät akseleille (KUVA 21). Kuvassa ylempanä on etu- ja alempana taka-akseli. Pystyakselilla on painonsiirtymät ja vaakaakselilla kuljettu aika. Kiertojäykkyyden muuttamisen vaikutuksen nähdään suoraan painonsiirtymien suuruudesta. Vertailemalla painonsiirtymiä, kiertojäykkyyksiä ja poikittaiskiihtyvyyksiä keskenään voidaan saada selville parhaat asetukset ajoneuvoon.

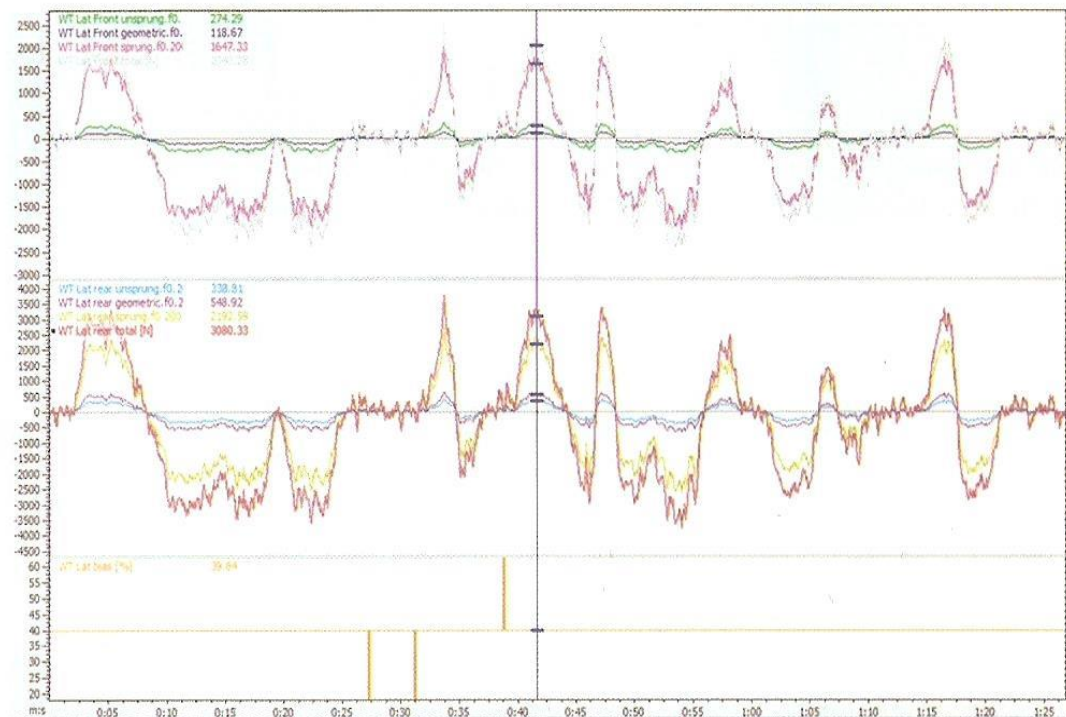


Figure 10.5 Lateral weight transfer math channels.

KUVA 21. Etu- ja taka-akselin poikittaiset painonsiirtymät (Segers, J. 2014)

6.4.4 Yli- ja aliohjautuminen

Yli- tai aliohjautumista pystytään tarkastelemaan suoraan mitattavista signaaleista kuten ratin ja kaasupolkimen asennoista, poikittaiskiihtyvyydestä ja jopa renkaiden lämpötiloista. Tarjolla on kuitenkin menetelmiä, jotka on tarkoitettu erityisesti yli- ja aliohjautumisen tarkasteluun. Yksinkertaisimmillaan voidaan mitata erikseen etu- ja taka-akselien sivuttaiskiihtyvyyksiä ja vertailla näitä. Enemmän kiihtyvyyttä tuottavalla ak-

selillä on enemmän pitoa eli esimerkiksi jos etuakselilla on suurempi sivuttaiskiivyy-
vyys, ajoneuvo on todennäköisesti yliohjaava.

Toisessa menetelmässä saadaan tietää yli- tai aliohjautumiskulma vertaamalla teoreettis-
ta ackermann- ohjauskulmaa toteutuneeseen renkaiden asentoon. Ackermann- ohjaus-
kulmalla tarkoitetaan ajoneuvon renkaiden laskennallista kulmaa, jolla voidaan ajaa
tietyn säteisen kaarteen läpi. Ackermann- ohjauskulma voidaan laskea Jörge Segersin
mukaan kaavan (20) avulla. Muuttujat yhtälöön kannattaa syöttää SI- järjestelmän yksi-
köissä, jotta vastaukseksi saadaan suoraan asteita.

$$\delta_{Acker} = \frac{AV \cdot G_{poikittainen}}{v^2} \quad (20)$$

Kaavassa δ_{Acker} tarkoittaa ackermann- ohjauskulmaa. AV tarkoittaa akseliväliä. $G_{poikittai-}$
 nen tarkoittaa poikittaista kiihtyvyyttä ja v tarkoittaa ajoneuvon nopeutta.

Renkaiden asento saadaan tietää mittaamalla ratin asennon ja renkaiden asennon suhde
esimerkiksi kääntölevyjen avulla. Eli täytyy selvittää kerroin tai yhtälö, jolla saadaan
selville kuinka paljon renkaat kääntyvät kun rattia käännetään yhden asteen verran. Kun
tiedetään ackermann- ohjauskulma ja pyörien toteutunut kulma, voidaan kaavan (21)
avulla laskea yli- tai aliohjautumiskulman suuruus. Yhtälön tuloksen ollessa positiivinen
ajoneuvo yliohjaa ja päinvastoin. Itseisarvoja käytetään, jotta saadaan eliminoitua kaar-
teen suunnan vaikutus (Segers, J. 2014).

$$\delta = |\delta_{renkas}| - |\delta_{Acker}| \quad (21)$$

Kaavassa δ tarkoittaa yli- tai aliohjautumiskulmaa. δ_{renkas} tarkoittaa renkaan asentoa.

Esimerkkinä voidaan käyttää Jörge Segersin kirjasta otettua kuvaa (KUVA 22). Kuvas-
sa ylimpänä on ackermann- ohjauskulma, keskimmäisenä renkaan asento ja alimmaise-
na laskettu aliohjautumiskulma. Kuvasta huomataan miten ali- ja yliohjaus näkyvät lasketus-
sa aliohjautumiskulmassa. Ensimmäisessä ympyröidyssä kohdassa on tapahtunut aliohjaus-
tumista ja toisessa yliohjautumista. Vaaka-akselilla on kuljettu matka.

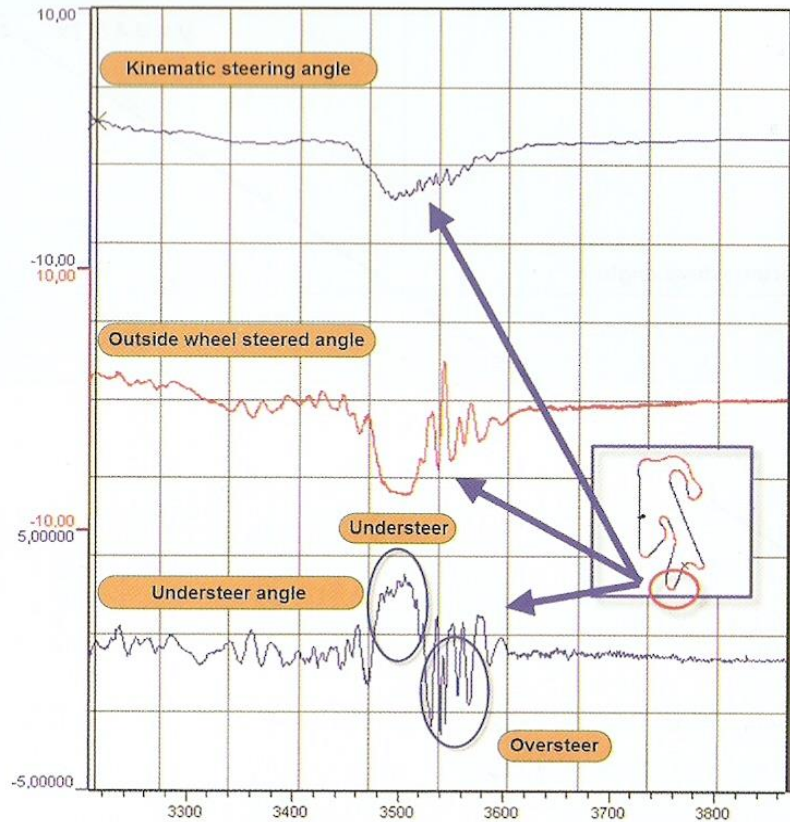


Figure 7.25 Ackermann (kinematic) steering angle, outside wheel angle, and understeer angle zoomed in at the indicated corner

KUVA 22. Aliohjautumiskulma (Segers, J. 2014)

Ajoneuvon käyttäytymistä voidaan tarkkailla myös gyroanturin avulla. Gyroanturi kertoo kuinka nopeasti ajoneuvon suunta muuttuu eli sen yksikkö on deg/s. Jo pelkästä gyroanturin antamasta signaalista voidaan päätellä yli- vai aliohjaako ajoneuvo. Arvon kasvaessa ajoneuvo ”pyörähtää” nopeammin eli tapahtuu yliohtausta ja päinvastoin arvon pienentyessä tapahtuu aliohtausta.

Vertaamalla teoreettista pyörähdysnopeutta mitattuun, saadaan yhtälön joka kertoo suoraan yli- ja aliohjaustaipumuksen (Kaava 22). Teoreettinen pyörähdysnopeus saadaan laskettua yksinkertaisesti jakamalla poikittainen kiihtyvyys ajonopeudella. Jos kaavaan sijoitetaan SI- järjestelmän mukaisia yksiköitä, saadaan vastauksen yksiköksi deg/s. (Segers, J. 2014)

$$\omega_o = r - \omega$$

(22)

Kaavassa ω_o tarkoittaa pyörähdysnopeuden muutosta. r tarkoittaa mitattua pyörähdysnopeutta ja ω tarkoittaa teoreettista pyörähdysnopeutta. Kuvassa (KUVA 23) on esitetty miltä kaavan (22) avulla tehty matemaattinen kanava näyttää. Kaavan (22) avulla tehty kanava on sinisellä, nopeus mustalla, mitattu pyörähdysnopeus punaisella ja teoreettinen pyörähdysnopeus oranssilla. Kuvaan on merkitty kaksi eri kohtaa, jotka ovat ”Oversteer 1” ja ”Oversteer 2”, kartalla ja kuvaajassa, jossa ajoneuvossa on tapahtunut yliohtautumista.

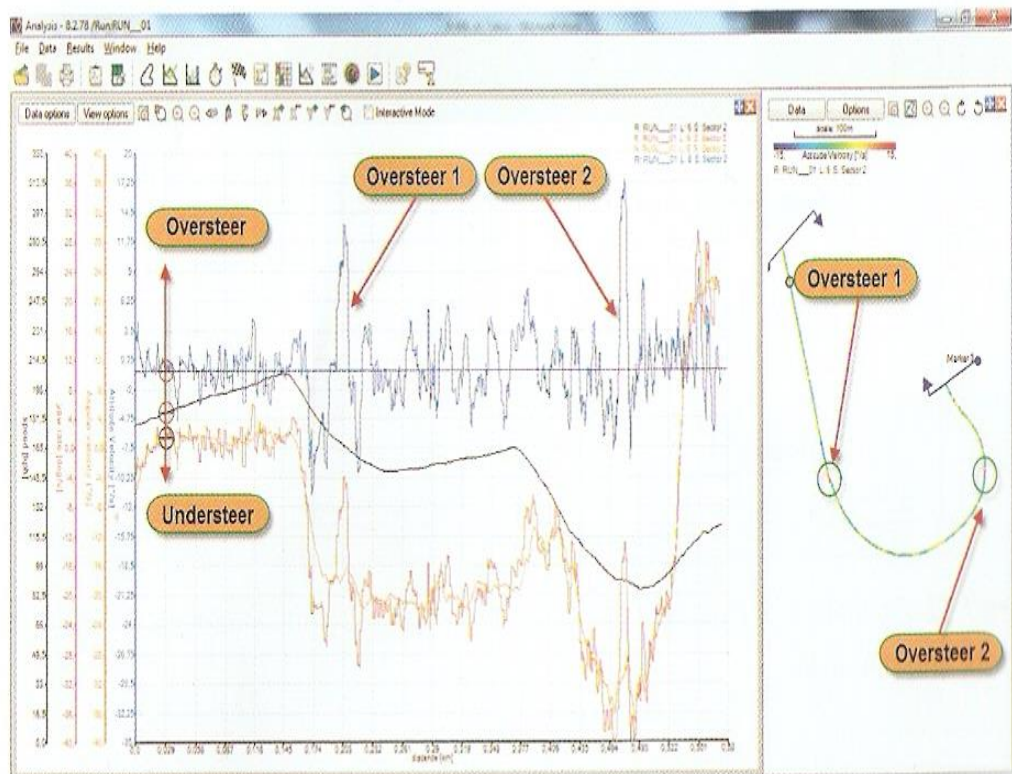


Figure 7.31 Example of the use of the attitude velocity math channel

KUVA 23. Gyroanturin avulla saatavat signaalit (Segers, J. 2014)

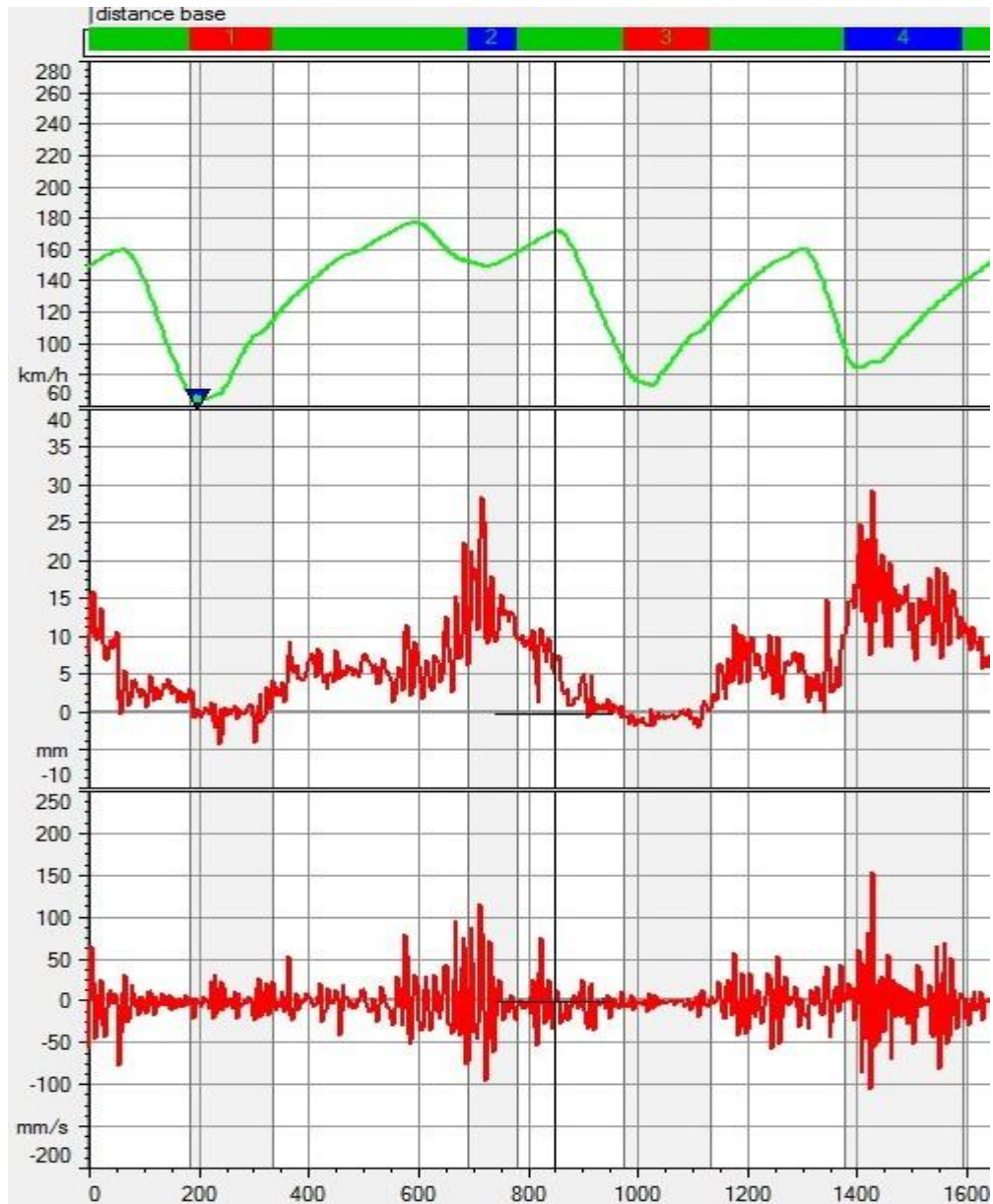
6.5 Heilahduksenvaimentimet

Kilpa-autoilussa heilahduksenvaimentimilla pyritään pitämään renkaan ja radan välinen kosketus mahdollisimman tasaisena ja mahdollisimman suurena koko kierroksen ajan kaikissa ajotilanteissa. Kilpa-autoissa heilahduksenvaimentimet ovat yleensä säädettä-

viä, koska vaimennusvaatimukset vaihtelevat radalta toiselle siirryttäessä. Heilahduksen vaimentimet voivat olla yksisäätöisiä, jolloin säädetään vain vaimentimen vaimennustehoa. Kaksisäätöisissä vaimentimissa säädetään erikseen sisään- ja ulosjouston vaimennustehoa. Nelisäätöisissä vaimentimissa säädetään erikseen hidasta ja nopeaa aluetta niin sisään- kuin ulosjoustossakin. Tiedonkeruun avulla pyritään hakemaan parhaat mahdolliset asetukset heilahduksen vaimentimille.

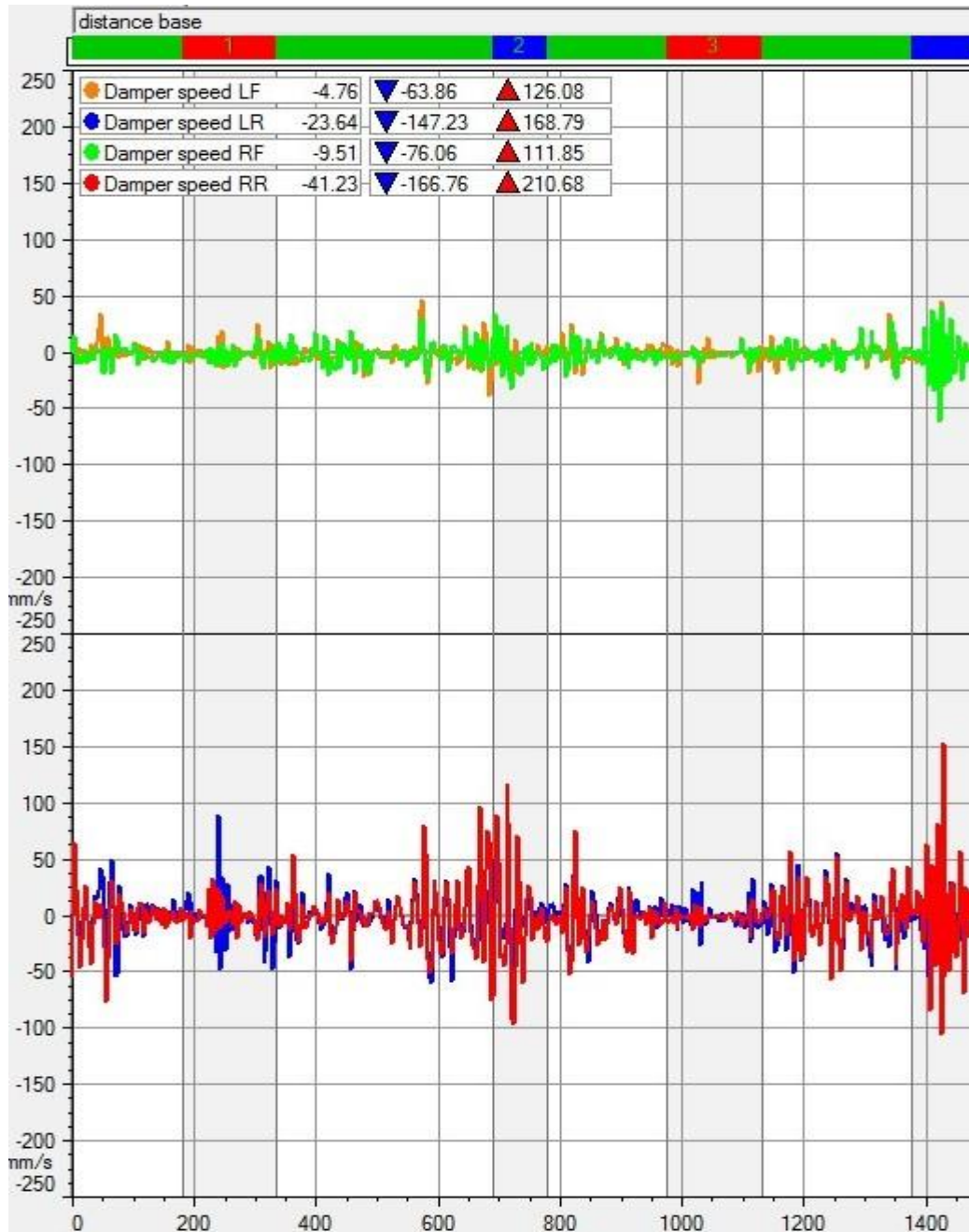
Hitaalla liikkeellä heilahduksen vaimentimissa tarkoitetaan yleensä liikettä jonka nopeus on korkeintaan 25 mm/s. Nämä nopeudet aiheutuvat korinliikkeistä eli kallistelusta ja nyökkimisestä. Nopealla liikkeellä puolestaan tarkoitetaan yleensä yli 25 mm/s nopeuksia. Nämä liikkeet aiheutuvat tien epätasaisuuksista eli töyssyistä ja kuopista (Segers, J. 2014). Kuljettaja pystyy havaitsemaan muutokset hitaan alueen vaimennuksessa ja autamaan sen säätämisessä, mutta nopean alueen vaimennuksen muutoksiin on lähes mahdotonta ottaa kantaa pelkästään ajamalla ajoneuvoa.

Heilahduksen vaimentimien anturit mittaavat vaimentimen liikematkaa. Liikematkasta saadaan selville muun muassa maavaranmuutokset sekä tiedon onko vaimennin sisään- vai ulosjousto vaiheessa. Enemmän säätämisessä hyödynnettävää tietoa saadaan vaimentimen liikenopeuden avulla. Liikenopeus saadaan selville yksinkertaisesti ottamalla derivaatta liikematka signaalista (Segers, J. 2014). Yksiköksi tulee yleensä mm/s. Kuvassa on esimerkkinä AiM:n mallitiedostosta otettu osa, jossa ylimpänä on ajoneuvon nopeus, keskellä vaimentimen liikematka ja alimpana vaimentimen liikenopeus (KUVA 24).



KUVA 24. Heilahduksenvaimentimen liikematka ja -nopeus

Tällaisenaan kuvaajasta ei pysty tekemään kovinkaan suuria päätelmiä vaimentimen asetusten toimivuudesta. Asettamalla eri vaimentimien kuvaajat päällekkäin pystytään jo hieman arvioimaan onko jollain vaimentimella liian suuri tai pieni vaimennusteho (KUVA 25). Kuvassa ylempänä ovat etuvaimentimien kuvaajat, vasen on oranssilla ja oikea vihreällä. Alempana ovat takavaimentimien kuvaajat, vasen on sinisellä ja oikea punaisella.

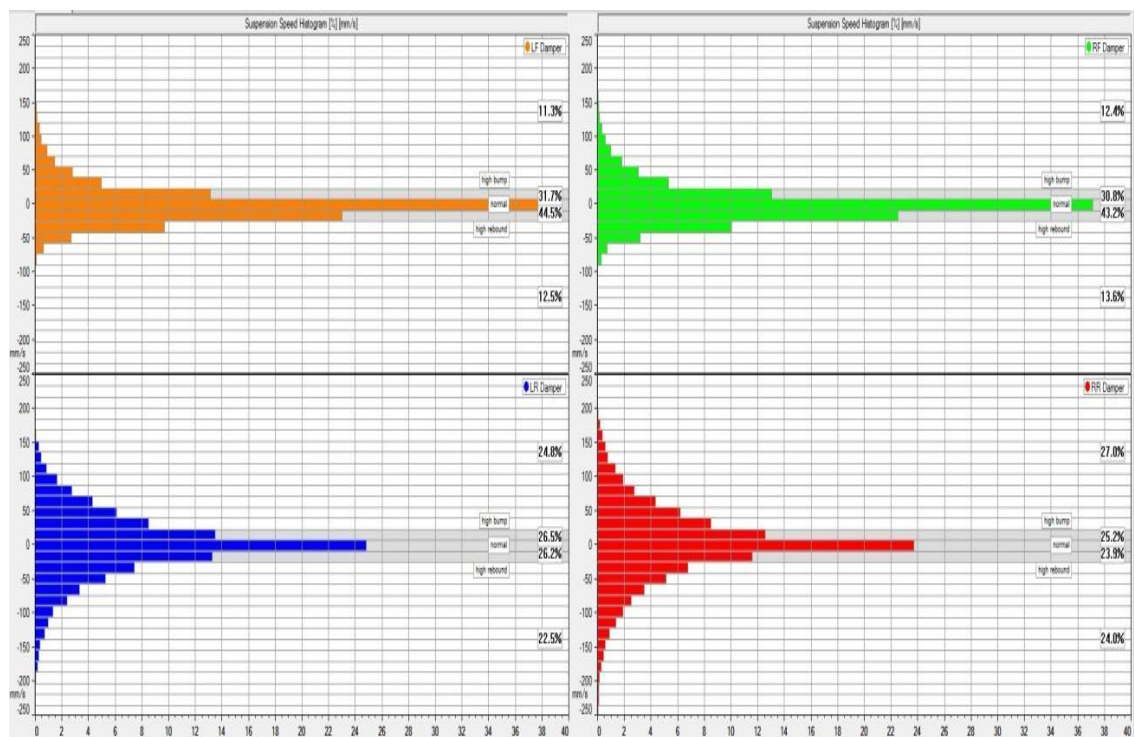


KUVA 25. Ero etu- ja taka-akselien nopeuskuvaajissa

Etuvaimentimissa kuvaajat ovat toisiinsa nähden hyvin samankorkuiset, mikä kertoo että niiden säädöt ovat hyvin lähellä toisiaan. Takavaimentimien kuvaajissa huomataan paljon suurempi ero. Oikeanpuoleisella vaimentimella esiintyy huomattavasti suurempia nopeuksia kuin vasemmanpuoleisella. Tästä ei voida vielä vetää kovin suuria johtopäätöksiä, jos ei tiedetä radan profiilia. Kyseisessä esimerkissä rata oli vastapäivään ajettava ja siinä oli useampi todella pitkä vasemmankätinen kaarre, jolloin oikeanpuoleiset vaimentimet joutuvat tekemään enemmän töitä.

Jos verrataan etu- ja taka-akselien kuvaajia keskenään, huomataan taka-akselin vaimentimien viettävän paljon enemmän aikaa nopealla alueella, mikä kertoo taka-akselin nopean alueen vaimennuksen olevan liian pieni tai etuakselin liian suuri. Tätä pystytään tarkastelemaan paremmin nopeushistogrammin avulla (KUVA 26). Kyseinen kuva on otettu samasta tilanteesta kuin kuva 25.

Kuvassa 26 oleva histogrammi kertoo kuinka suuren prosentuaalisen osuuden vaimentimien on ollut hitaalla ja nopealla alueella ulos- ja sisäänjouston aikana. Histogrammin teoreettinen ihannemuoto on samanlainen kuin Gaussin käyrällä. Kuvassa alemmat histogrammit ovat taka- ja ylemmät etuakselilta. Kuvasta huomataan takavaimentimien olevan huomattavasti lähempänä ihannetilannetta kuin etuvaimentimet.



KUVA 26. Heilahduksenvaimentimien nopeushistogrammi

Taulukossa on esitetty kuvan 26 vaimentimien prosentuaaliset osuudet eri toiminta-alueilla (TAULUKKO 4). Taulukosta huomataan takavaimentimien olevan hyvin tasaiset hitaalla alueella, mikä huomataan histogrammeistakin. Etuvaimentimissa puolestaan on kohtalaisen suuri ero hitaalla puolella ulos- ja sisäänjouston välillä, yli 12 %. Tässä tilanteessa voisi yrittää lisätä hidasta ulosjoustoa tai vähentää sisäänjoustoa. Nopealla alueella kaikki vaimentimet ovat sisään- ja ulosjouston suhteen hyvässä tasapainossa, mutta etu- ja taka-akselin välillä on suuri noin 12 % ero. Tämä ero kannattaisi yrittää

tasoittaa joko lisäämällä etuakselin vaimennusta tai vähentämällä sitä taka-akselilta. Vaimentimia säädettyä voidaan ohjenuorana pitää liitteessä 4 olevaa Jörge Segersin (2014) kirjasta otettua taulukkoa. Kyseiset ajotilanteet ovat ajettaessa vasemmalle kääntyvä kaarteeseen läpi.

TAULUKKO 4. Vaimentimien toiminta-alueiden prosentuaaliset osuudet

		Etuvasen	Etuoikea	Takavasen	Takaoikea
Hidas	Sisäänjousto	31,70 %	30,80 %	26,50 %	25,20 %
	Ulosjousto	44,50 %	43,20 %	26,20 %	23,90 %
Nopea	Sisäänjousto	11,30 %	12,40 %	24,80 %	27 %
	Ulosjousto	12,50 %	13,60 %	22,50 %	24 %

Histogrammia käytettäessä tulee muistaa, että saatuihin tuloksiin vaikuttavat muutkin asiat kuin pelkät heilahduksenvaimentimien asetukset. Saatuihin tuloksiin vaikuttavat muun muassa rengaspaineet ja -lämpötilat, jouset ja kallistuksenvakaajat. Asetuksia muutettaessa tulisikin pyrkiä pitämään muut muuttujat mahdollisimman vakaina todellisten tulosten varmistamiseksi.

6.6 Aerodynamiikka

Aerodynamiikan merkitys kilpa-autoilussa on kasvanut koko ajan, koska sen suunnittelu on tullut edullisemmaksi ja helpommaksi erilaisten simulointiohjelmien ansiosta. Nykyään jo ihan tavallisissakin kilpa-autoissa on säädettäviä spoileriteita ja muita aerodynamiikkaosia. Ilmanvastusvoiman laskeminen on hyvin yksinkertaista kaavan (4) avulla, jos tiedetään ilmanvastuskerroin. Jörge Segersin mukaan alaspainovoima eli ”downforce” pystytään laskemaan samalla kaavalla, mutta ilmanvastuskerroin tulee korvata alaspainokertoimella. Ilmanvastusvoiman ja alaspainovoiman laskeminen on Jörge Segersin mukaan mahdollista, vaikkakin monimutkaisempaa, vaikka ei tiedettäisi ilmanvastus- ja alaspainokertoimia. Kyseiset voimat pystytään laskemaan nopeuden, moottorin pyörintänopeuden, pitkittäisen kiihtyvyyden ja heilahduksenvaimentimien liikkeiden mittauksella.

Jos ilmanvastuskerroin on tuntematon, pystytään sen ja ajoneuvon poikkipinta-alan kerroin määrittämään kaavan (23) avulla (Segers, J. 2014). Tällä kaavalla poikkipinta-alan

ja ilmanvastuskertoimen tulo pitää määrittää staattisessa tilanteessa, esimerkiksi suoralla jossa ajoneuvoa kiihdytetään täydellä voimalla. Kaavasta saatu tulos voidaan syöttää ilmanvastusvoimaa laskevaan kanavaan, jolloin saadaan ilmanvastusvoima.

$$C_d \cdot A = \frac{T(n) \cdot \frac{i_{tot}}{r} - m \cdot G_{pitkittäinen} \cdot 9.81}{0.5 \cdot \rho \cdot v^2} \quad (23)$$

Kaavassa C_d tarkoittaa ilmanvastuskerrointa. A tarkoittaa ajoneuvon poikkipinta-alaa. $T(n)$ tarkoittaa moottorin momenttia tietyllä pyörintänopeudella. i_{tot} tarkoittaa kokonaisvälityssuhdetta. r tarkoittaa renkaiden vierintäsädettä. m tarkoittaa ajoneuvon massaa. $G_{pitkittäinen}$ tarkoittaa pitkittäistä kiihtyvyyttä. ρ tarkoittaa ilman tiheyttä ja v tarkoittaa ajoneuvon nopeutta.

Alaspainovoiman laskeminen etu- ja taka-akselille pystytään suorittamaan kaavan (24) avulla (Segers, J. 2014). Samalla kaavalla voidaan laskea alaspainovoima niin etu- kuin taka-akselillekin vain vaihtamalla muuttujien arvot halutulta akselilta saataviin lukuihin. Aerodynaaminen tasapaino saadaan laskettu yksinkertaisesti jakamalla etuakselin alaspainovoima etu- ja taka-akselin yhteenlasketulla alaspainovoimalla.

$$L_i = LS_i \cdot JV_i \cdot (x_{iV} + x_{iO}) + \frac{m \cdot G_{pitkittäinen} \cdot 9.81 \cdot h_{pp}}{AV} \quad (24)$$

Kaavassa alaindeksi i tarkoittaa tarkasteltavaa akselia. L tarkoittaa alaspainovoimaa. LS tarkoittaa jousituksen liikesuhdetta. JV tarkoittaa jousivakiota. x tarkoittaa heilahduksen vaimentimen liikematkaa. h_{pp} tarkoittaa painopisteen etäisyyttä maasta ja AV tarkoittaa akseliväliä.

Näillä kaavoilla saadaan suurimmalle osalle käyttäjistä riittävän tarkkoja tuloksia. Kaavoilla havaitaan muun muassa spoilerien, diffuusorien ynnä muiden isompien aerodynaamikka osien vaikutus ilmanvastukseen sekä aerotasapainoon. Jos vaaditaan vieläkin tarkempia tuloksia, joudutaan käyttämään tarkempia ja kalliimpia antureita kuten pitot putkia ilmanvirtauksien ja laser-antureita maavaran mittaamiseen.

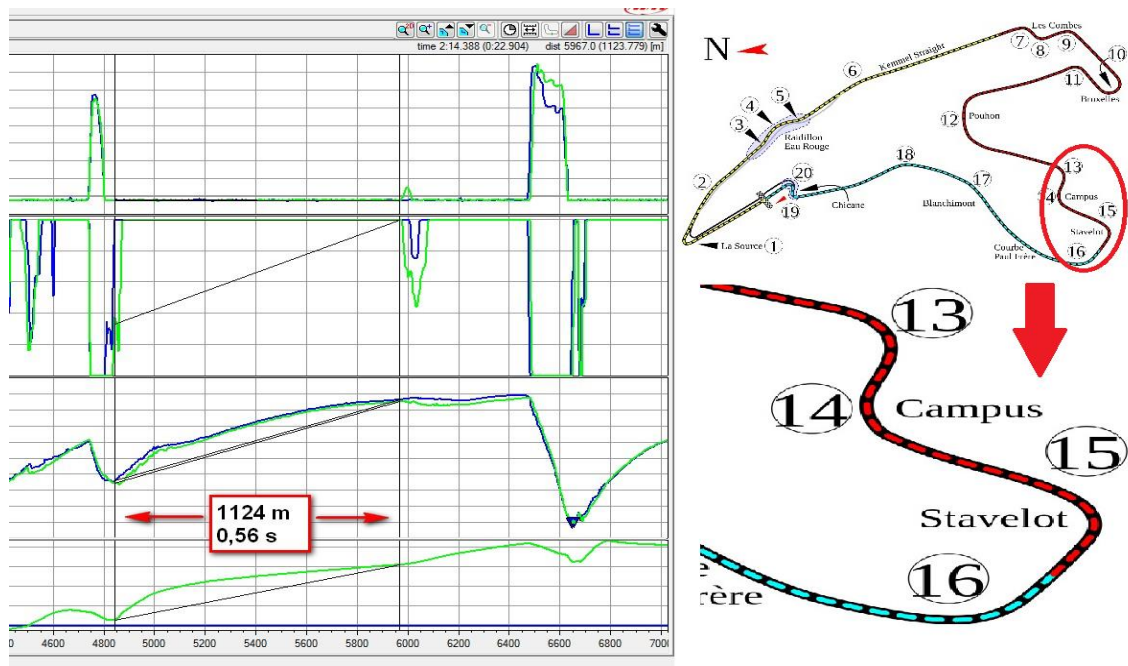
7 KULJETTAJAN SUORITUSKYVYN ANALYSOINTI

7.1 Kiihdytys

7.1.1 Kaarteen ulostulo

Suoralle kiihdytettäessä kaarteen ulostulonopeutta pidetään hyvin tärkeänä asiana ja sillä onkin suuri vaikutus noin puoleenväliin asti suurinopeuksisilla suorilla. Nopeuden kasvaessa tehontarve kasvaa nopeuden kuutiossa ilmanvastuksen takia, joten suuremilla nopeuksilla ajoneuvojen nopeuserot tasoittuvat eikä aikaero enää kasva niin paljoa. Kaarteen ulostulonopeuteen vaikuttavat monet asiat kuten ajolinja kaasunkäyttö.

Esimerkkinä voidaan käyttää Aku Motorsportilta saatua tiedostoa Belgian Spa-Francorchamps radalta (KUVA 27). Kuvassa ylhäältä alaspäin ovat jarrupaine, kaasunasento, ajonopeus ja kierrosaikojen erotus. Nopeampi sinisellä merkityn käyrän kierroksen aika oli 2.40.45. Hitaampi kierrosaika oli 2.41.27, joten kierrosajoissa oli eroa 0,82 s. Kuva on otettu kaarteeseen 15 ulostulosta eteenpäin.



KUVA 27. Stavelot- kaarteen ulostulo. (Wikipedia. 2014, muokattu)

Kaarteesta lähdetessä kiihdyttämään nopeammalla kierroksella kuljettaja pääsee kaasulle noin 30 metriä eli noin sekunnin nopeammin kuin hitaammalla kierroksella. Kun kuljettaja painaa nopeammalla kierroksella kaasun pohjaan hänen nopeutensa on 111 km/h ja hitaammalla kierroksella 108 km/h eli vain noin 3 km/h ero, mutta ero kasvaa suurimmillaan noin 120 metrin kiihdytyksen jälkeen 9 km/h, minkä jälkeen ero rupeaa pienenemään ja suoran loppuvaiheilla eroa on enää noin 2 km/h.

3 km/h nopeuserolla kaarteeseen ulostulovaiheessa yhdessä noin 1100 metrin kiihdytyksessä saavutettiin 0,56 sekunnin ero. Tuosta erosta 0,25 sekuntia syntyi ensimmäisen 150 metrin aikana. Kyseisellä radalla kierroksen pituus on yli 7 kilometriä ja noin yhden kilometri aikana saavutettiin yli puolen sekunnin ero hyvin pienellä kaarteeseen ulostulonopeuden kasvattamisella.

7.1.2 Vaihteiden vaihtaminen

Tarkkailemalla kuljettajan vaihteen vaihtamisnopeutta, vaihtamisajankohtaa ja välikaasun käyttöä, voidaan parantaa niin ajoneuvon kestävyyttä kuin suorituskykyäkin. Kilpa-autoilussa vaihteen vaihto tulisi aina tehdä mahdollisimman nopeasti, ajoneuvon luotettavuutta vaarantamatta, koska aina vaihdettaessa vaihdetta auton kiihtyvyys pysähtyy. Vaihteiston tyypistä ja kuljettajasta riippuen vaihtaminen kestää tyypillisesti 0,1-0,4 sekuntia (Segers, J. 2014).

Suuremmalle vaihdettaessa tarkkaillaan lähinnä vaihtamisajankohtaa ja -kestoja. Pitkittäisen kiihtyvyyden avulla voidaan tarkkailla vaihtamisen kestoja. Pitkittäiseen kiihtyvyyteen tulee pieni ”piikki” jokaisen vaihdon kohdalle. Tämän piikin kestoja mittaamalla pystymme määrittelemään vaihtamisen keston. AiM:n esimerkkiedostosta otetusta kuvasta nähdään jokaisen vaihdon kohdalle kyseinen piikki kiihtyvyys signaalissa. Vaihtoaikaa voitaisiin myös arvioida kyseisessä esimerkissä kaasunkäytöllä, jos kiihtyvyyttä ei olisi ollut käytössä.

Kuvassa ylhäältä alas: GPS- nopeus, pitkittäinen kiihtyvyys, kierrosluku ja kaasun asento, vaaka-akselilla on kuljettu matka (KUVA 28). Huomataan vaihtojen kestävän noin 0,4 sekuntia, josta voidaan päätellä kyseisessä ajoneuvossa olevan todennäköisesti perinteinen H-kaaviolla oleva vaihdelaatikko. Huomataan myös että kyseisen kuljettajan

kaikki vaihdot ovat olleet kestoiltaan hyvin lähellä toisiaan, mistä voidaan päätellä kuljettajan olevan hyvin sinut ajoneuvon kanssa ja että vaihtoja nopeuttamalla todennäköisesti lyhennetään vaihteiston elinikää jonkin verran. Vaihtaessa yleensä kuullaan jo äänestä jos yritetään vaihtaa liian nopeasti.



KUVA 28. Vaihteiden vaihtaminen

Samasta kuvasta nähdään vaihtoajankohdat, jotka ovat kaikilla vaihteilla noin 6200 1/min. Voidaan päätellä ajoneuvossa olevan samat vaihtoalot jokaiselle vaihteelle tai että ajoneuvossa on todella tasaiset välitykset, jolloin vaihdetta tuleekin vaihtaa aina samalla kierrosluvulla. Joka tapauksessa kuljettajaa vaihtaa tasaisesti jokaisella vaihteella samalla kierrosluvulla ja tarkempaan analyysiin ajankohdan oikeellisuudesta tarvittaisiin momentti- tai tehokuvaajan.

Pienemmälle vaihdettaessa tärkeimmät tiedot ovat vaihtoajankohta ja välikaasun käyttö. Vaihtoajankohta pienemmälle vaihdettaessa ei ole yhtä tärkeä kuin suuremmalle vaihdettaessa, kunhan ei vaihdeta liian aikaiseen ja ryntäytetä moottoria rikki tai liian myö-

hään ja tukahduteta moottoria. Yleensä riittää kun kierrokset pysyvät koko ajan normaalilla käyttöalueella.

Tärkeämpää pienemmälle vaihdettaessa on välikaasun käyttö. Suuremmalle vaihdettaessa voimansiirron ja moottorin pyörintänopeusero tasautuu luonnollisesti, koska moottorin pyörintänopeus pienenee kaasu päästettäessä. Pienemmälle vaihdettaessa moottorin pyörintänopeutta tulee kasvattaa jotta voimansiirron ja moottorin pyörintänopeusero saadaan tasattua. Pyörintänopeuden tasaaminen tehdään käyttämällä välikaasua vaihteiden vaihdon välillä. Uudemmissa ja kehittyneemmissä ratkaisuissa kuljettajan ei tarvitse käyttää itse välikaasua vaan se on toteutettu joko mekaanisesti vaihdekepin yhteyteen tai ohjelmallisesti moottorinohjaukseen.

Kuljettajan käyttäessä välikaasua itse on erittäin tärkeää niin auton kestävyuden kuin ajo-ominaisuuksienkin kannalta että välikaasua käytetään juuri sopivasti. Liian suuri välikaasu voi ajaa moottorin ylikierroksille ja pahimmassa tapauksessa hajottaa koko moottorin. Liian pieni välikaasu puolestaan rasittaa voimansiirtoa ja voi aiheuttaa esimerkiksi pyörien lukkiutumista. Välikaasun käyttöä voidaan tarkkailla kaasupolkimen asennon ja kierrosluvun avulla, mutta luultavasti tehokkain keino on tehdä matemaattinen kanava, jolla tarkkaillaan välityssuhdetta. Tämä kanava saadaan tehtyä Jörge Segerssin (2014) kirjasta otetun kaavan (25) avulla. Tällä kaavalla saadaan laskennallinen ajonopeus.

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{i_{tot}} \quad (25)$$

Kaavassa v tarkoittaa laskennallista ajonopeutta. r tarkoittaa renkaan dynaamista vierintäsädettä. n tarkoittaa moottorin pyörintänopeutta ja i_{tot} tarkoittaa voimansiirron kokonaisvälityssuhdetta. Muokkaamalla kaava toiseen muotoon ja muuttamalla yksiköt SI-järjestelmän mukaisiin, nopeus m/s, renkaan säde metreinä, pyörintänopeus 1/s, saadaan valitulle välityssuhteelle kaava (26) (Segers, J. 2014).

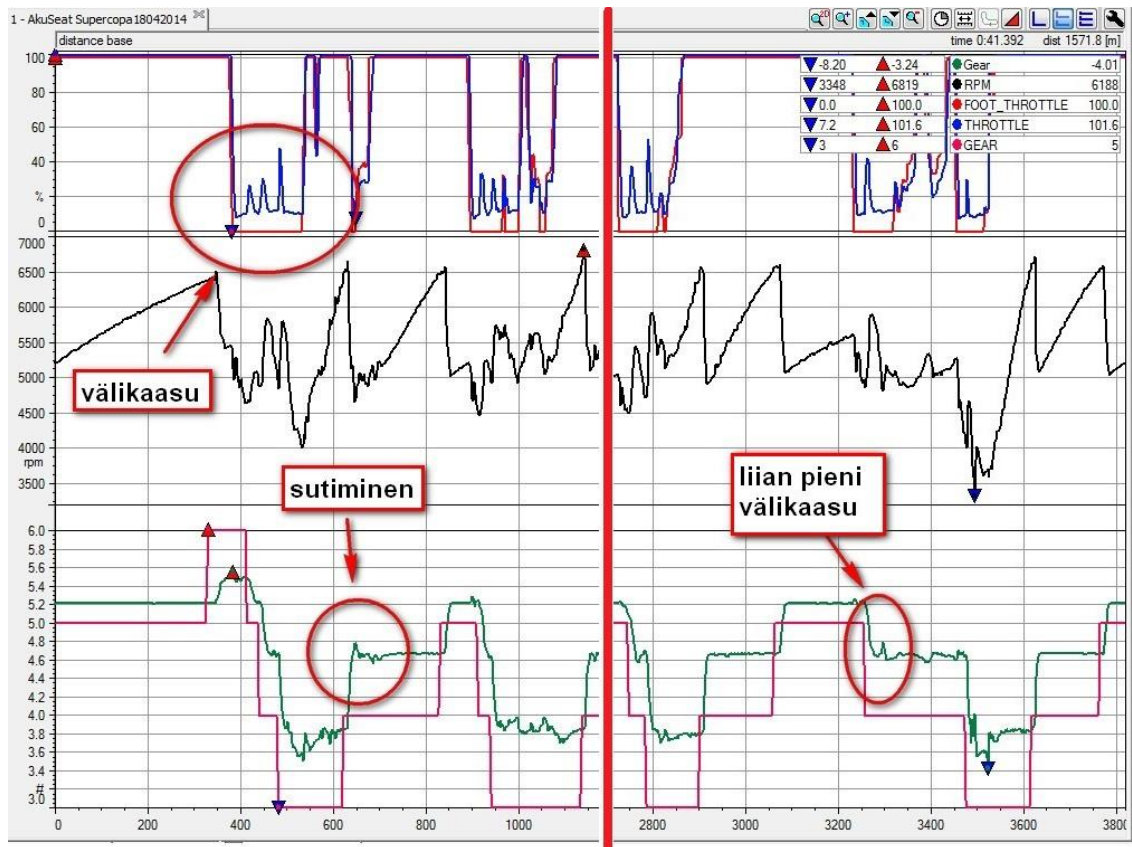
$$i_{tot} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{v} \quad (26)$$

Yksikköjä ei tarvitse muuntaa, jos ne tulevat jo valmiiksi oikeassa muodossa tiedonkeruuhjelmistoon. Yleensä esimerkiksi nopeus tulee yksikössä km/h ja pyörintänopeus

1/min, jolloin täytyy käyttää tilanteeseen sopivia muuntokertoimia. Kaavassa (27) on muunnettu juurikin km/h - m/s ja 1/min - 1/s. Samalla kertoimessa on huomioitu tekijä 2π , jolloin kaava on huomattavasti helpompi syöttää analysointiohjelmaan (Segers, J. 2014).

$$i_{tot} = 0,377 \cdot \frac{r \cdot n}{v} \quad (27)$$

Esimerkkinä kaavan (27) käytölle voidaan hyödyntää Aku Motorsportilta saatua tietoa Ranskan Paul Ricardin radalta (KUVA 29). Kuvassa ylimpänä päällekkäin on asetettu kaasupolkimenasento punaiselle ja kaasuläpänasento sinisellä, seuraavana on kierros-luku ja alimpana päällekkäin ovat punaisella todellinen tietokoneelta saatu vaihdetieto ja vihreällä laskettu välityssuhde. Vaaka-akselilla on kuljettu matka. Kuvassa oleva kierros on katkaistu punaisen viivan kohdalta kuvan selkeyttämiseksi. Kuvan tapauksessa ajoneuvona on Seat Leon Supercopa mk2, jossa on DSG- vaihteisto. DSG- vaihteistossa välikaasu annetaan ohjelmallisesti tietokoneen avulla, joka huomataan selvänä erona kaasupolkimen asennossa ja toteutuneessa kaasuläpän asennossa. Kuvassa kyseinen kohta näkyy vasemmassa yläreunassa, jossa kaasupolkimen asento on nolla mutta kaasuläpän asento hyppää aina vaihdon yhteydessä. Kuvan oikeassa reunassa näkyy hyppäys välityssuhde-kanavassa, mikä tarkoittaa liian pientä välikaasua. Jos kyseisessä kohdassa olisi kuoppa, tarkoittaisi se liiallista välikaasua.



KUVA 29. Välytysuhdekanava

Välytysuhdekanavalla voidaan myös tarkkailla renkaiden lukkiutumista ja sutimista, mikä tekee siitä todella hyödyllisen analysointityökalun. Esimerkiksi kuvan vasemmassa alakulmassa merkityssä kohdassa pienen piikin jälkeen käyrää painuu hieman alaspäin mikä kertoo sutimisesta. Kyseisessä kohdassa etupyörien nopeus on noin 120 km/h ja takapyörien nopeus noin 113 km/h eli nopeusero on noin 7 km/h. Kyseisessä ajoneuvossa normaalitilanteessa nopeusero etu- ja taka-akselien signaaleissa on noin 2 km/h. Kanavaa tarkkailtaessa voidaankin ajatella että mitä tasaisempi käyrä sitä parempi.

7.1.3 Kaasun käyttö

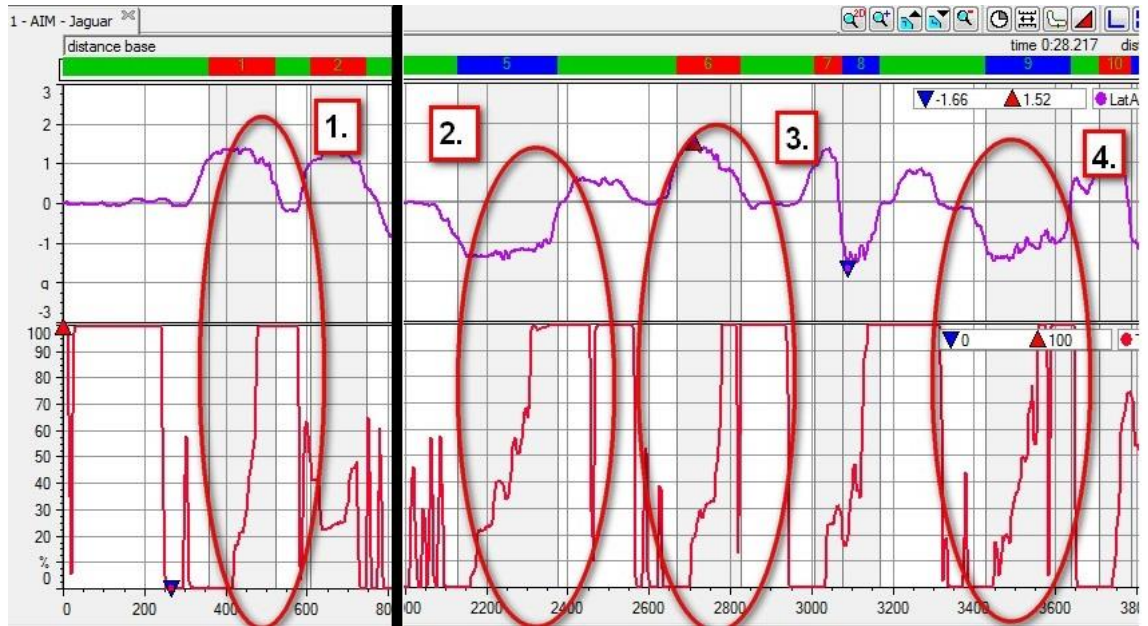
Kaasun käytöllä kiihdytystilanteessa on erittäin suuri vaikutus kiihdytyksen onnistumiseen. Kaasua tulisi painaa juuri oikea aikaisesti sopivalla nopeudella, jotta saadaan kaikki hyöty renkaista. Periaatteessa on aina parempi mitä aikaisemmin kaasulle päästään. On olemassa suuntaa antavia taulukoita (TAULUKKO 5), koska kuljettajan pitäisi olla täysikaasulla suurimman sivuttaiskiihtyvyyden jälkeen. Taulukkoa hyödynnettäessä täytyy muistaa, että se on vain suuntaa antava ja jokainen auto ja rata on erilainen.

TAULUKKO 5. Kaasun käyttö kiihdytyksen alussa (Segers, J.2014)

Moottoriteho	Osuus max. sivuttaiskiihtyvyydestä
< 150 hp	95 %
150 - 250 hp	90 %
250 - 400 hp	85 %
> 400 hp	80 %

Kaasun käytön ajankohdasta voidaan käyttää AiM:n tarjoamaa valmista tiedostoa (KUVA 30). Ylempänä on poikittainen kiihtyvyys ja alempana kaasupolkimen asento. Vaaka-akselilla on kuljettu matka. Kuvassa oleva kierros on katkaista mustan viivan kohdalta kuvan selkeyttämiseksi. Kuvasta on ympyröity neljä kiihdytyksen alkukohtaa. Ensimmäisessä kohdassa kaartein suurin kiihtyvyys on noin 1.45 G ja kohta jolloin kuljettaja on mennyt täydelle kaasulle, on 1.05 G, jolloin prosentiksi saadaan noin 72. Seuraavassa kohdassa kaartein huippukiihtyvyys on 1.4 G ja täydenkaasun kohdalla 1.2 G, jolloin prosentiksi saadaan noin 85. Kolmannessa kohdassa on saavutettu koko radan suurin sivuttaiskiihtyvyys 1.5 G, mutta täyskaasulle on menty vasta 0.9 G kohdalla jolloin prosentiksi tulee 60. Neljännessä kohdassa suurin kiihtyvyys on 1.45 G ja täyskaasulle on päästy 1.15 G, joka tekee prosentiksi 79.

Yhtä kaarretta lukuun ottamatta prosenttiarvo on 70 - 80 tuntumassa ja kaasun lisääminen on hyvin lineaarista, vaikkakin kohdassa 2 ja 4 hieman epätasaista, koska luultavasti on ajettu pidon rajamailla. Ensimmäisessä kohdassa näkyy todella hyvä esimerkki oikeaoppisesta kaasun lisäämisestä. Kolmannessa kohdassa prosentti jäi vain 60 eli siinä kuljettajalla olisi mahdollisuus parantaa. Syykin matalalle prosentilla voidaan löytää kaasupolkimenasennon kuvaajasta. Kaasua ei ole lisätty lineaarisesti vaan siinä näkyy selvä pykälä. Jos kaasun lisäämistä olisi jatkettu lineaarisesti, kiihtyvyyksarvoksi olisi tullut noin 1.2 G ja prosentiksi noin 80, joka olisi ollut linjassa muissa kaarteissa saavutettujen prosenttien kanssa.



KUVA 30. Kaasun käyttö kiihdytyksen alussa

7.2 Jarrutus

7.2.1 Jarrutuskohta

Hyvä tapa arvioida jarrutuskohtaa on kokonaiskiihtyvyyden avulla. Kokonaiskiihtyvyys on matemaattinen kanava, joka luodaan pitkittäisen ja poikittaisen kiihtyvyyden avulla kaavalla (28) (Segers, J. 2014). Kanavalla saadaan selville pitkittäis- ja poikittaiskiihtyvyyden kokonaisarvon, jonka avulla pystytään arvioimaan jarrutettiiniko liian aikaiseen. Kokonaiskiihtyvyys kertoo, kuinka hyvin renkaiden potentiaali hyödynnettiin. Liian myöhään tehdyn jarrituksen huomataan renkaiden lukkiutumisesta tai ajolinjalta ulosajautumisesta. Myöhäisen jarrituksen kuljettaja yleensä huomaa itsekin jo ajon aikana.

$$G_{total} = \sqrt{G_{pitkittäinen}^2 + G_{poikittainen}^2} \quad (28)$$

Kaavassa G_{total} tarkoittaa kokonaiskiihtyvyyttä. $G_{pitkittäinen}$ tarkoittaa pitkittäiskiihtyvyyttä ja $G_{poikittainen}$ tarkoittaa poikittaiskiihtyvyyttä.

Jarrutustilanteesta siirryttäessä kaarreaajoon kokonaiskiihtyvyyden käyrän pitäisi olla tasainen eikä siinä saisi olla kuoppia tai nopeita hyppäyksiä. Hyvän esimerkin liian ai-

kaisesta jarrutuksesta saamme AiM:n mallitiedostosta (KUVA 31). Kuvassa ylimpänä on poikittainen-, keskimmäisenä pitkittäinen- ja alimpana laskettu kokonaiskiihtyvyys. Vaaka-akselilla on kuljettu matka. Kuvasta huomataan kuinka kokonaiskiihtyvyys tekee selvän notkahduksen alun korkean piikin jälkeen. Notkahduksen aikana ajoneuvolla ”rullataan” eikä renkaista oteta täyttä hyötyä irti. Kuvaan on piirretty punaisella kuinka käyrä kulkisi ihannetilanteesta.



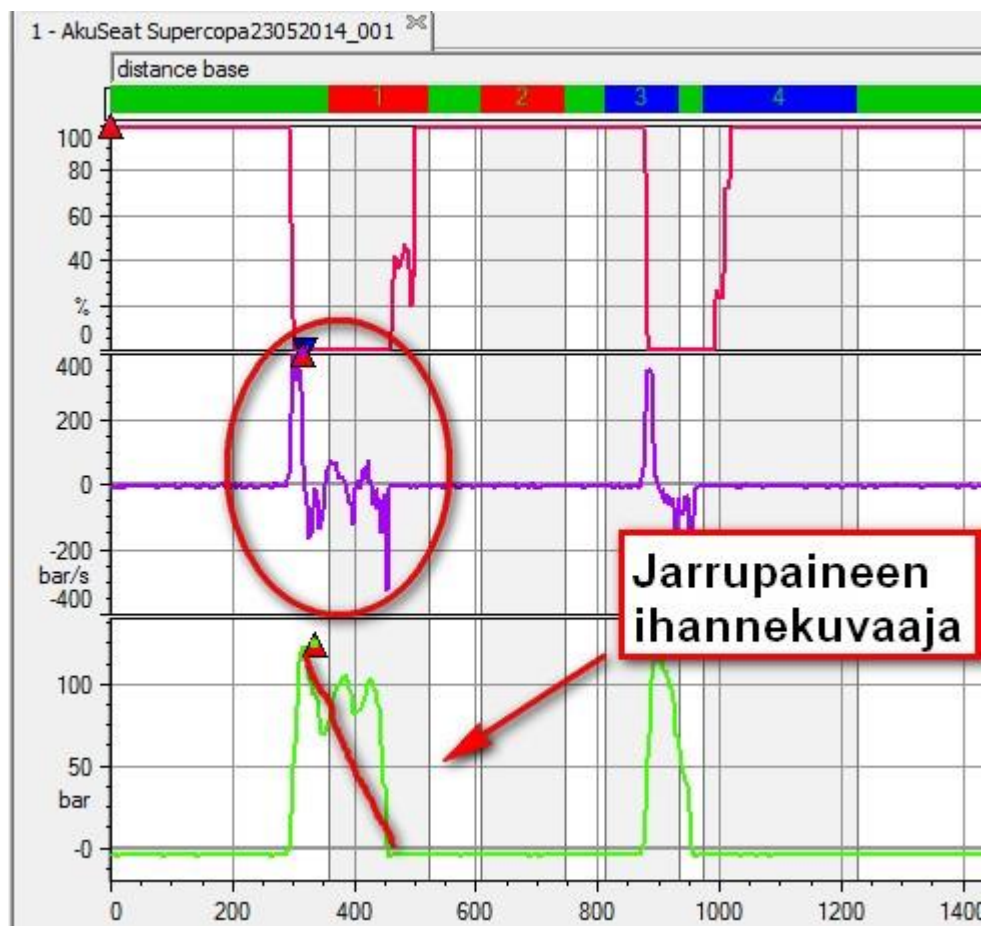
KUVA 31. Kiihtyvyysskanavat

7.2.2 Jarrutuksen tehokkuus ja nopeus

Jarrutuksen tehokkuutta ja jarruviivettä voidaan arvioida jarrupainekekanavan ja kaasuläpänasennon avulla. Jarrupainekekanavan muoto ja jarrupaineen muutosnopeus kertovat kuinka tehokkaasti jarrutus on tehty. Jarrupainetiedot tulevat suoraan antureilta, mutta silti täytyy luoda matemaattinen kanava jolla lasketaan etummaisen ja takimmaisen jarrupiirin paineet yhteen, jotta saadaan jarrubalanssinmuutokset eliminoitua. Jarrupaineen muutosnopeus kanava on matemaattinen ja se saadaan luotua yksinkertaisesti ottamalla derivaatta jarrupaineen kanavasta (Segers, J. 2014).

Käytetty tieto on saatu Aku Motorsportilta Salzburgring- radalta (KUVA 32). Kuvassa ylimpänä on kaasupolkimen asento, keskimmäisenä jarrupaineenmuutosnopeus ja alimpana kokonaisjarrupaine. Kuvasta huomataan, ettei jarruviivettä ole lainkaan kuljettajan

käyttäessä vasemman jalan jarrutusta. Jos jarruviivettä esiintyisi, se huomattaisiin rako-
na kaasun päästämisen ja jarrutuksen alkamisen välissä. Jarrupainekuvaaja olisi ihanne-
tilanteessa lineaarisesti laskeva, mutta esimerkissä kuvaaja on hyvin epätasainen, koska
kuljettaja taisteli lukkiutuvien takapyörien kanssa. Ihannekuvaaja on piirretty kuvaan
punaisella. Epätasainen jarrutus näkyy myös jarrupaineen muutosnopeudessa. Ihanneti-
lanteessa muutosnopeudessa on suuri hyppäys heti alussa, jonka jälkeen se tasoittuu
tietylle tasolle (Segers, J. 2014). Esimerkistä huomataan muutosnopeudessa olevan suu-
ria vaihteluita, jotka johtuvat juurikin kuljettajan pyrkimyksestä olla lukitsematta taka-
renkaita. Jarrutusmatka pystytään lukemaan yksinkertaisesti mittaamalla etäisyyden,
joka on kulunut kun järjestelmässä on ollut jarrupainetta. Kyseisessä esimerkissä jarru-
tusmatka on ollut noin 158 metriä.



KUVA 32. Jarrupaineiden tulkinta

Jarrutuksen nopeutta ja tehokkuutta voidaan arvioida myös pitkittäisenkiihtyvyyden
avulla. Jarrutusnopeutta voidaan arvioida mittaamalla kuinka nopeasti päästään suurim-
paan hidastuvuuteen. Nopeaksi jarrutukseksi voidaan ajatella kaikki alle 0.5 sekuntia

(Segers, J. 2014). AiM:n esimerkkitiedostossa (KUVA 33) tämä aika oli 0.483 sekuntia, joka on hyvä aika.



KUVA 33. Jarrutuksen nopeus kiihtyvyyden avulla

Jarrutuksen tehokkuutta arvioidaan pitkittäisen kiihtyvyyden suuruuden avulla. Periaatteessa renkaat antavat yhtä suuren kiihtyvyyden niin pitkittäisessä kuin poikittaisessakin suunnassa, mutta käytännössä pitkittäinen kiihtyvyys jää aina hieman pienemmäksi. Suurin pitkittäiskiihtyvyys jää noin 95 % poikittaisesta kiihtyvyydestä, minkä lisäksi on olemassa suuntaa antavia arvioita eri asioiden vaikutuksesta pitkittäiskiihtyvyyteen (TAULUKKO 6). Keskikokoinen rengas tarkoittaa renkaan jäljen olevan suunnilleen neliön muotoinen. (Segers, J. 2014)

TAULUKKO 6. Eri tekijöiden vaikutus pitkittäiskiihtyvyyteen

Etumoottori	-2 %
Takamoottori	2 %
Kapea rengas	2 %
Keskikokoinen rengas	0 %
Leveä rengas	-2 %

Kuvassa 33 käytetyssä ajoneuvossa oli etumoottori ja keskikokoiset jolloin prosentiksi saadaan 93. Suurin poikittainen kiihtyvyys kyseisellä ajoneuvolla samalla kierroksella oli 1,5 G. Suurin pitkittäinen kiihtyvyys laskennallisesti olisi tällöin noin 1,4 G. Kuvan

33 tilanteessa suurin kiihtyvyys on 1,22 G, joka on teoreettisesta huippukiihtyvyyttä pienempi. Voidaan päätellä, että kuljettaja olisi luultavasti pystynyt jarruttamaan kovempaan, mutta ennen suuria johtopäätöksiä kannattaa keskustella kuljettajan kanssa onko radalla ollut epäpuhtauksia tai auton kanssa ongelmia.

7.3 Kaarreajo

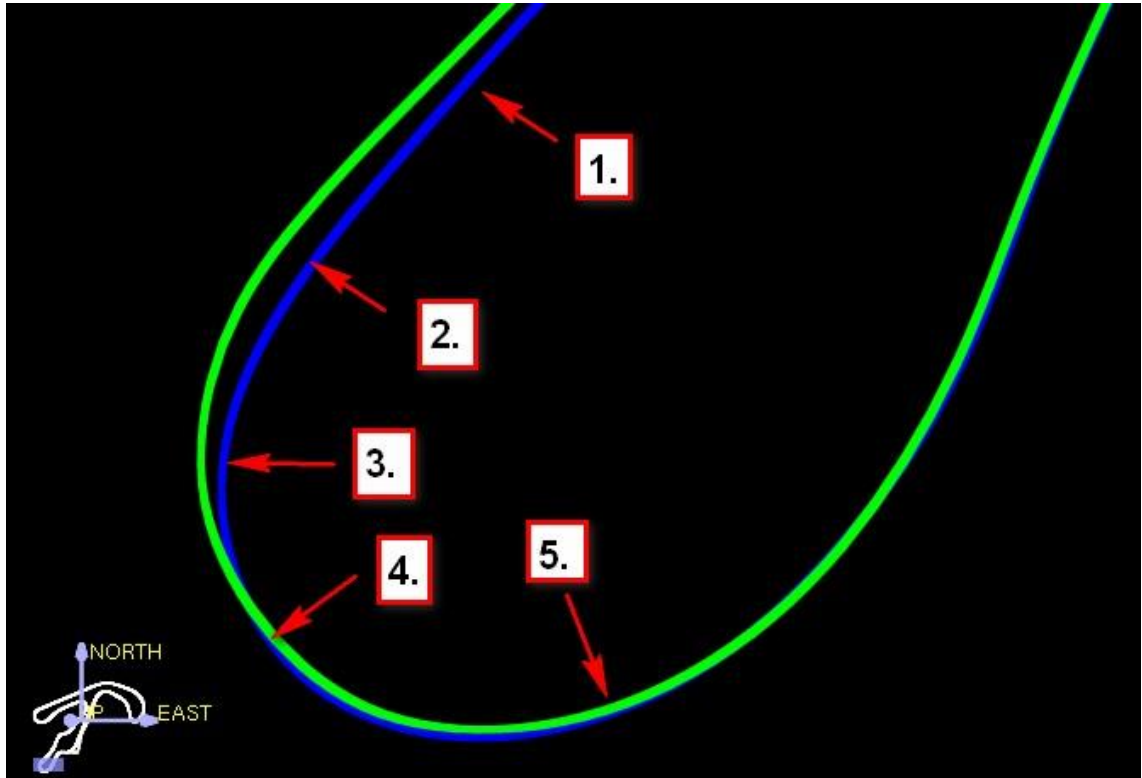
7.3.1 Ajolinja

Tärkein osuus kuljettajan suorituskykyä arvioitaessa kaarreajossa on ajolinjojen analysointi. Useimmissa analysointiohjelmissa eri kierrosten ajolinjoja pystyy arvioimaan päällekkäin ja samalla katsomaan eri muuttujia eri kohdissa kuten ajonopeutta ja sivuttaiskiihtyvyyttä. Ajolinjoja voidaan tarkastella pääsääntöisesti kolmessa eri tilanteessa: aikainen sisäänkäyntyminen, kaarteeseen keskelle kääntyminen ja myöhäinen kaarteeseen loppuosaan sijoittuva kääntyminen (Segers, J. 2014).

Esimerkkinä on AiM:n valmiista tiedostosta poimittu yksi kaarre (KUVA 34). Kuvassa erotetaan hyvin kahden eri kierroksen ajolinjat, sininen linja on ajettu huomattavasti tiukemmin kuin vihreä. Sininen linja voidaan katsoa aikaisen kääntymisen linjaksi ja vihreä joko kaarteeseen keski- tai loppuosaan kohdistuvaksi kääntymiseksi. Ensimmäiseen pisteeseen tullessa kuljettaja on jo päättänyt mitä ajolinjaa pyrkii ajamaan ja se huomataankin selvästi kuvasta. Nopeudet tässä pisteessä ovat käytännössä identtiset. Toisessa pisteessä ajolinjojen valinnan vaikutukset huomataan jo ajonopeuksissa, vihreällä linjalla nopeus on 110 km/h ja sinisellä 105 km/h. Kolmannessa pisteessä nopeusero on taantunut eikä eroa ole enää kuin 2 km/h vihreän ajolinjan hyväksi. Neljännessä pisteessä ajolinjat leikkaavat toisensa, mutta nopeusero on taas lähtenyt kasvamaan vihreän linjan hyväksi noin 5 km/h. Tästä eteenpäin sinisellä ajolinjalla saadaan etua hieman kavennettua ja viidennessä pisteessä nopeusero on noin 3 km/h, tämä ero säilyy käytännössä koko seuraavan suoran.

Pelkästään yhden kaarteeseen ja sen jälkeisen suoran aikana pelkällä ajolinjan muutoksella saavutettiin 0.21 sekunnin ero vihreän ajolinjan hyväksi. Uudelle radalle tullessa olisi hyvä jos kuljettaja ajaisi kaarteet erilaisia ajolinjoja pitkin jolloin kerätystä tiedosta

pystyttäisiin katsomaan miten ne vaikuttavat kierrosaikoihin. Ajolinjojen vaikutus seuraaviin kaarteisiin tai suoriin on myös huomioitava, koska jollain linjalla voidaan hävitä hieman aikaa kaarteessa, mutta sillä voidaan saada parempi suoranopeus jolloin kokonaisuudessaan saatetaan voittaa aikaa.



KUVA 34. Eroja ajolinjoissa

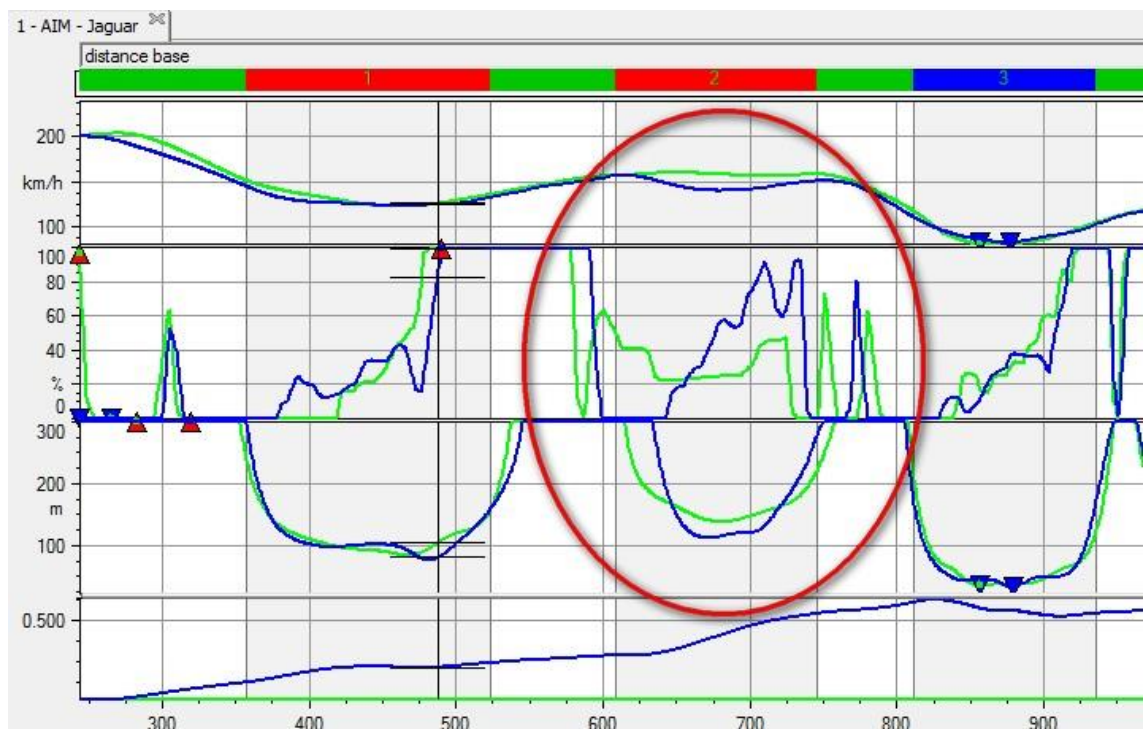
Kaarteen sädettä ja muotoa voidaan myös tarkkailla matemaattisesti kaavan (29), jos graafinen tarkastelu ei ole mahdollista. Kolme ajolinjatyyppeä ja miten ne näkyvät kaavan (29) avulla tehdyssä matemaattisessa kanavasa on esitetty liitteessä 5. (Segers, J. 2014)

$$R = \sqrt{\left(\frac{v^2}{G_{\text{poikittainen}}}\right)^2} \quad (29)$$

Kaavassa R tarkoittaa kaarteen sädettä. v tarkoittaa ajoneuvon nopeutta ja $G_{\text{poikittainen}}$ tarkoittaa pitkittäistä kiihtyvyyttä.

Esimerkkinä kyseisen kanavan käytöstä voidaan käyttää AiM:n mallitiedostoa (KUVA 35). Kuvassa ylimpänä on nopeus, seuraavana kaasupolkimenasento, seuraavana kaarteen säde ja viimeisenä kumulatiivinen ero kierrosajassa. Vaaka-akselilla on kuljettu

matka. Ympyröidyssä kohdassa voidaan huomata selvän eron nopeudessa ja ajolinjassa yhden kaartein aikana. Sinisellä käyrällä merkityllä kierroksella kuljettaja käyttää yhdistettyä aikaisen ja myöhäisen kääntymisen ajolinjaa kaartein tiukkenemisesta alussa ja lopussa päätellen, kun taas nopeammalla vihreällä merkityllä kierroksella kuljettaja käyttää selvästi keskiapeksia ja alkaa kääntyä huomattavasti aikaisemmin sekä käyttää huomattavasti loivempaa ajolinjaa, minkä seurauksena kaarrenoitus ero on noin 17 km/h ja kuljettaja voittaa noin 0.34 sekuntia pelkästään tämän kaartein aikana.

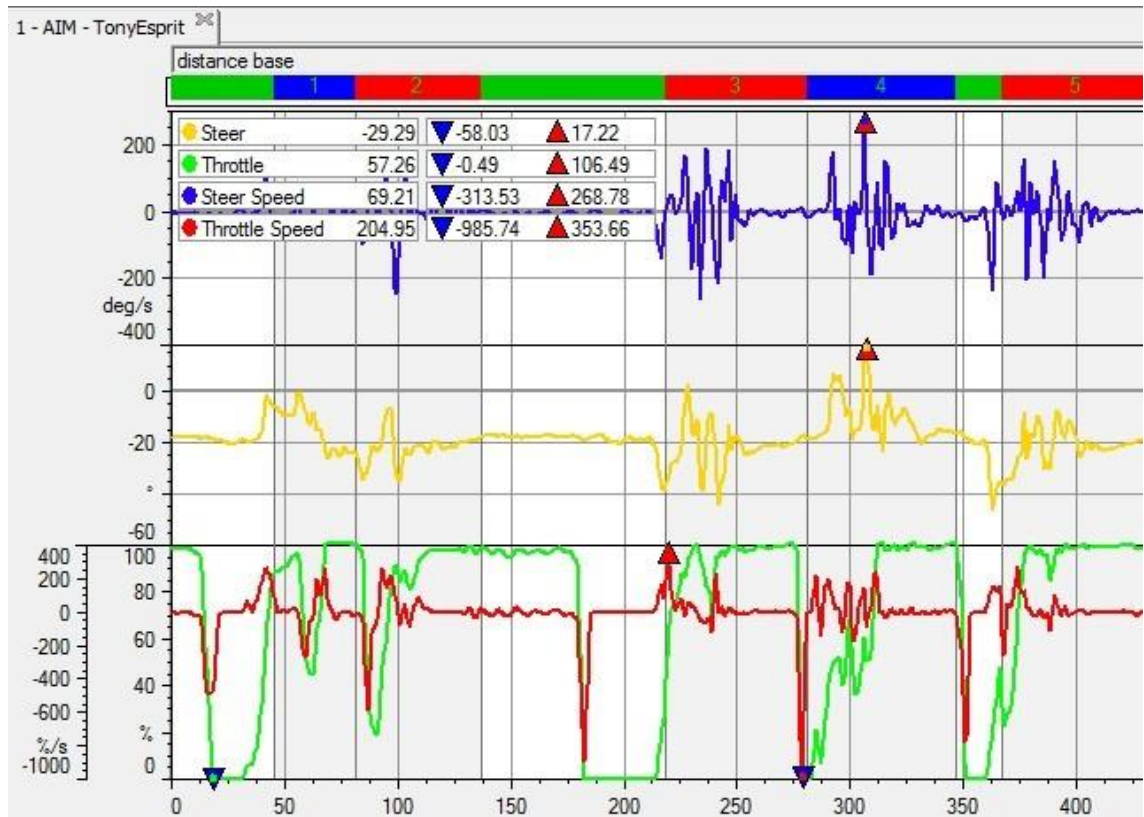


KUVA 35. Kaartein säteen hyödyntäminen ajolinjatarkastelussa

7.3.2 Ohjausliikkeet ja kaasun käyttö

Kaarreaajossa ohjaus- ja kaasupolkimenliikkeet tulee olla hyvin hallittuja ja rauhallisia jotta ajoneuvon tasapaino ei järkkäisi. Nopeita ratin ja kaasupolkimen liikkeitä tehtäessä ajoneuvossa tapahtuu painonsiirtymiä, jotka vaikuttavat auton tasapainoon ja käyttäytymiseen. Ratin ja kaasun muutosnopeudet saadaan selville ottamalla derivaatta kyseisistä signaaleista (Segers, J. 2014). Derivaattojen avulla saadaan matemaattinen kanava (KUVA 36). AiM:n mallitiedostosta otetussa kuvassa ylimpänä on ohjauksen muutosnopeus, seuraavana ohjauksen asento ja alimpana päällekkäin ovat kaasupolkimen asento

vihreällä ja kaasunpolkimenasennon muutosnopeus punaisella. Vaaka-akselilla on kuljettu matka. Muutosnopeuskuvaajissa pääsääntöisesti tasaisempi on parempi.



KUVA 36. Ohjauksen ja kaasunpolkimenasennon muutosnopeudet

8 TELEMETRIA

Telemetrialla tarkoitetaan kerätyn tiedon reaaliaikaista tarkastelemista. Telemetriaa käytetään oikeastaan vain sarjoissa, joissa ajetaan kokoajan prototyypeillä eli ajoneuvojen kehitys on jatkuvaa kuten Formula 1 ja DTM. Telemetrian käyttö tämän tyyllisissä sarjoissa on käytännössä välttämätön, jotta pystytään varmistamaan ajoneuvon toiminta ja kuljettajan turvallisuus. Käytetty tekniikka on yleensä kokeellista eikä sen luotettavuudesta ole varmaa tietoa, joten insinöörien tulee nähdä heti jos jokin menee vikaan ja pystyä varoittamaan kuljettajaa tästä.

Telemetrian avulla kerätyn tiedon analysointi menetelmät ovat käytännössä täysin samankaltaisia kuin muutenkin. Erona on se että yleensä joudutaan priorisoimaan tarkasteltavaa tietoa, koska saatava tieto täytyy analysoida käytännössä sitä mukaa kuin se saadaan. Jos halutaan analysoida suuri määrä telemetrian avulla saatua tietoa, täytyy analysointia tekeviä henkilöitä olla suuri määrä, jolloin kilpatallin budjetinkin täytyy olla suuri. Kustannusten hallitsemisen vuoksi telemetria onkin kielletty hyvin monissa kilpasarjoissa.

9 POHDINTA

Työtä tehtäessä kävi ilmi kuinka suuri määrä tietoa kilpa-autosta on mahdollista kerätä. Pelkkää tietoa kerääviä antureita voi olla kymmeniä tai jopa yli sata. Tämän lisäksi matemaattisia kanavia voi olla luotuna ainakin saman verran. Jos yksi ihminen yrittäisi analysoida kaiken tarjolla olevan tiedon, hän tarvitsisi todella paljon aikaa, mitä ei yleensä kisaviikonloppujen aikana ole tarjolla. Tämän vuoksi monissa ammattitalleissa on useampi insinööri pelkästään tiedon analysoinnissa.

Aineistoa työn aiheesta löytyy kohtuullisen paljon, mutta melkein kaikki on englanniksi tai jollain muulla kielellä. Yksi työn tavoitteista olikin luoda suomenkielistä aineistoa kyseisestä aiheesta ja uskon että sain kerättyä työhön tärkeimmät asiat tiedon analysointiin liittyen. Uskon myös että työstä on hyötyä harrastelijalle joka haluaa kehittää omia ajotaitojaan tai ajoneuvoaan tiedonkeruun avulla tai haluaa muuten tutustua tiedon analysointiin. Työssä käsiteltiin analysointimenetelmiä, joita pystyy hyödyntämään lähes tulkoon jokainen harrastelija sekä menetelmiä jotka vaativat jo enemmän tietotaitoa.

Työn edessä aiheita jouduttiin rajaamaan pois jonkin verran, jotta työn laajuus ja ymmärrettävyys pysyisivät järkevissä rajoissa. Tärkeimmät ja isoimmat asiat pyrittiin esittämään mahdollisimman selkeästi, jotta mahdollisimman moni ymmärtäisi ne. Käsitellyt analysointimenetelmät pyrittiin valitsemaan siten, että työn lukemisen jälkeen lukija pystyisi analysoimaan lähes kaikkia osa-alueita niin ajoneuvossa kuin kuljettajassakin.

Ihannetilanne työtä tehtäessä olisi ollut, jos olisi pystynyt ajamaan muutaman päivän ajan testejä ajoneuvolla, jossa on kaikki tarpeelliset anturit. Testien aikana olisi voinut tehdä ajoneuvon erilaisia asetusmuutoksia ja tutkia niiden vaikutusta kerätyn tiedon avulla. Valitettavasti nyt ei ollut sopivaa ajoneuvoa käytettävissä eikä taloudellisia resursseja järjestää useamman päivän ajotestejä, joten työtä tehtäessä jouduttiin käyttämään myös tiedonkeruujärjestelmien valmistajien valmiita tiedostoja, josta ei yleensä tiennyt esimerkiksi minkälaisella autolla tai missä säässä oli ajettu. Aku Motorsportilta saatuja tiedostoja pyrittiin hyödyntämään niin paljon kuin mahdollista, mutta kyseisessä ajoneuvossa ei ollut kaikkia antureita, joita olisi tarvinnut tämän työn tekemiseen.

LÄHTEET

AiM. 2014. Gps 05 Module. Luettu 6.12.2014.

http://aimsportsystems.com.au/store/product_info.php?products_id=38

Aim: 2014. MXL2. Luettu 5.12.2014. <http://www.aim-sportline.com/eng/products-car/mxl2/index.htm>

dataMC. 2014. suspension-potentiometer-rear-1. Julkaistu 31.3.2014. Luettu 10.12.2014. <http://www.datamc.org/2014/03/31/suspension-potentiometers/suspension-potentiometer-rear-1/>

Jonathan Greaves. A life in motorsport F1 Photos. Luettu 5.12.2014.

<http://jonathangreaves.com/page4.htm>

Jonathan Greaves. A life in motorsport Part 2. Luettu 5.12.2014.

<http://jonathangreaves.com/page3.htm>

Konrad, R. & Dietsche, K.-H. 2014. Automotive Handbook. 9. Painos. Saksa, Karlsruhe: Robert Bosch GmbH

Miataturbo. 2014. IR Tire Temperature Array Data Logger – Any Interest?.Julkaistu 16.10.2014. Luettu 10.12.2014. <http://www.miataturbo.net/race-prep-75/ir-tire-temperature-array-data-logger-any-interest-81463/>

PMD race products. Multi camera system. Luettu 5.12.2014.

<http://www.pmdraceproducts.com/racecamerasmulticamerasystems/>

Segers, J. 2014. Analysis Techniques for Racecar Data Acquisition, Second Edition. Warrendale, Pennsylvania, USA: SAE International

Stack. 2013. Stack Company History. Luettu 5.12.2014.

http://www.stackltd.com/stack_history.html

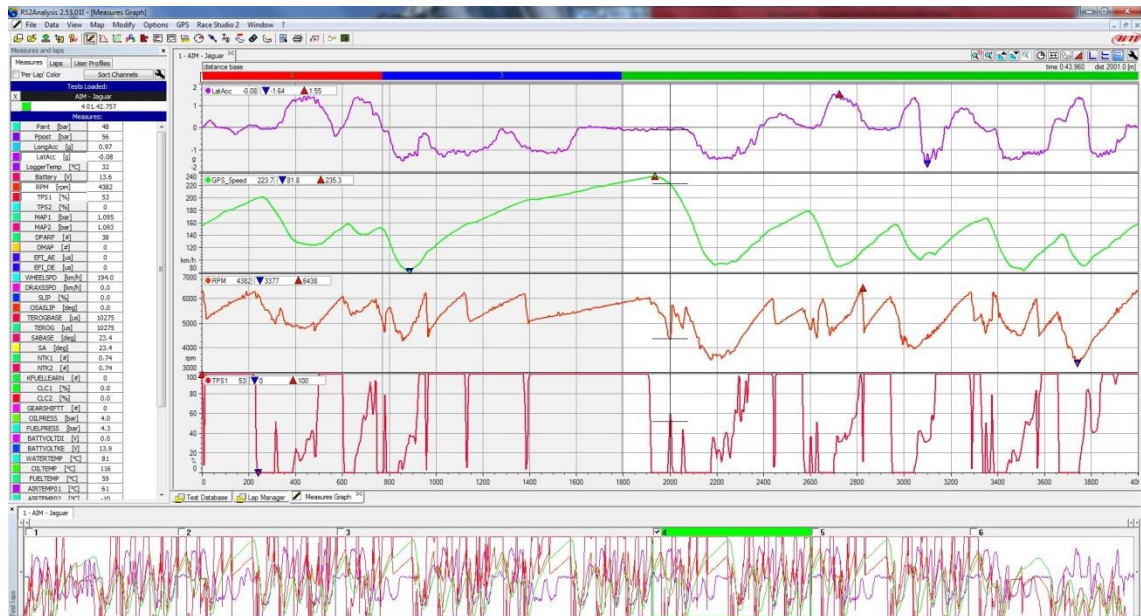
Wikipedia. 2014. Circuit de Spa-Francorchamps. Päivitetty 13.12.2014. Luettu 16.12.2014. http://fi.wikipedia.org/wiki/Circuit_de_Spa-Francorchamps

LIITTEET

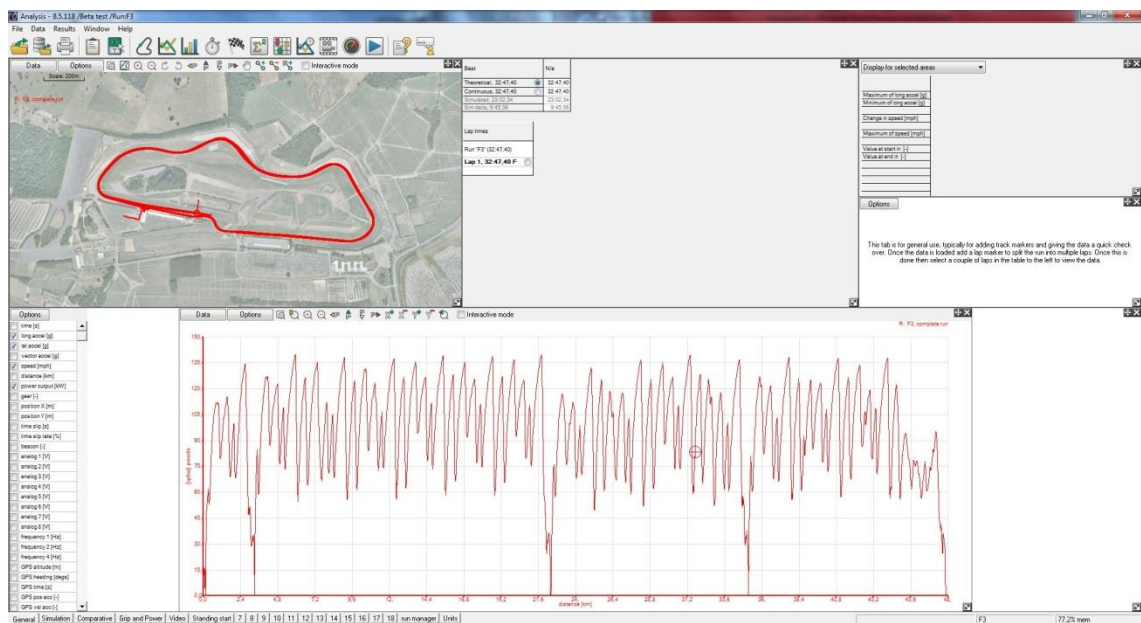
Liite 1. Tiedon analysointiohjelmistojen käyttöliittymiä

1 (2)

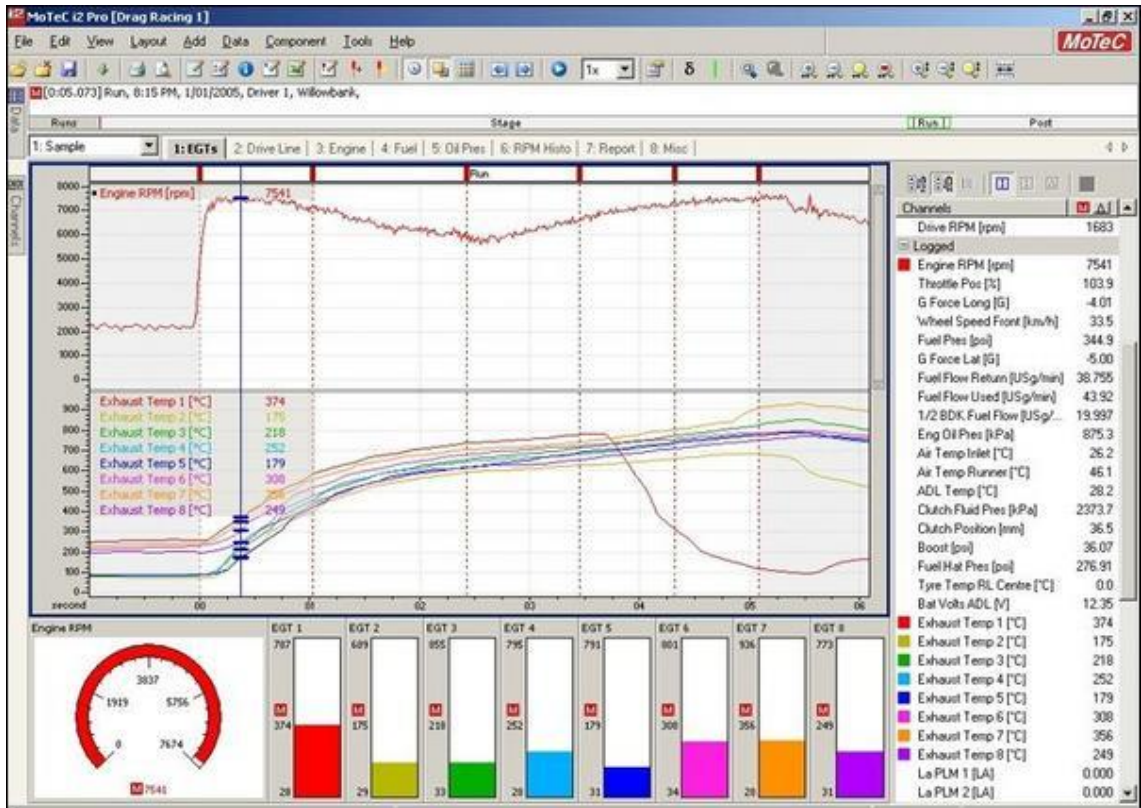
Race Studio Analysis



Racetechnology V8.5



MoTeC i2 Pro



http://us1.webpublications.com.au/static/images/articles/i1082/108255_9lo.jpg

Liite 2. Excel laskentapohja vaihtoajankohdalle.

1 (2)

Ajoneuvon teho-pyörintänopeustaulukko

Kierros-luku 1/min	Vääntömomentti/Nm	Teho/ kW
3000	215	67,5
3100	216	70,1
3200	217	72,7
3300	218	75,3
3400	219	78,0
3500	220	80,6
3600	222	83,7
3700	224	86,8
3800	226	89,9
3900	228	93,1
4000	230	96,3
4100	233	100,0
4200	236	103,8
4300	239	107,6
4400	242	111,5
4500	245	115,5
4600	246	118,5
4700	247	121,6
4800	246	123,7
4900	246	126,2
5000	245	128,3
5100	244	130,3
5200	243	132,3
5300	242	134,3
5400	241	136,3
5500	240	138,2
5600	237	139,0
5700	234	139,7
5800	231	140,3
5900	228	140,9
6000	225	141,4
6100	220	140,5
6200	215	139,6
6300	210	138,5
6400	205	137,4
6500	200	136,1
6600	195	134,8
6700	190	133,3
6800	185	131,7
6900	180	130,1
7000	175	128,3

Vaihtovalojen optimointipohja Excelistä.

Vaihde	Välityssuhde
1.	4,21
2.	2,49
3.	1,66
4.	1,24
5.	1
6.	0,88

Ensimmäiseltä toiselle vaihteelle	
Vaihtoajankohta	
7000 1/min	
Pyörintänopeus vaihtamisen jälkeen	Teho
4130 1/min	3779,6 kW

Toiselta kolmannelle vaihteelle	
Vaihtoajankohta	
7000 1/min	
Pyörintänopeus vaihtamisen jälkeen	Teho
4690 1/min	3222,8 kW

Kolmannelta neljännelle vaihteelle	
Vaihtoajankohta	
6800 1/min	
Pyörintänopeus vaihtamisen jälkeen	Teho
5100 1/min	2464,7 kW

Neljänneltä viidennelle vaihteelle	
Vaihtoajankohta	
6900 1/min	
Pyörintänopeus vaihtamisen jälkeen	Teho
5589 1/min	1923,3 kW

Viidenneltä kuudennelle vaihteelle	
Vaihtoajankohta	
6700 1/min	
Pyörintänopeus vaihtamisen jälkeen	Teho
5896 1/min	1242,5 kW

Yhteensä	12632,89 kW
-----------------	--------------------

Liite 3. Kiertojäykkyyksien laskenta

1 (2)

Lähtöarvot

Etuakseliston massa kg	$m_e :=$ ■
Etuakseliston jousittamaton massa kg	$m_{ek} :=$ ■
Etuakseliston jousitettu massa kg	$m_{ej} := m_e - m_{ek} =$ ■
Taka-akseliston massa kg	$m_t :=$ ■
Taka-akseliston jousittamaton massa kg	$m_{tk} :=$ ■
Taka-akseliston jousitettu massa kg	$m_{tj} := m_t - m_{tk} =$ ■
Etuakselin kallistuskeskiön korkeus mm	$h_{kke} :=$ ■
Taka-akseliston kallistuskeskiön korkeus mm	$h_{kkt} :=$ ■
Etujousivakio	$JV_{je} :=$ ■
Takajousivakio	$JV_{jt} :=$ ■
Etujousituksen liikesuhde	$LS_{je} :=$ ■
Takajousituksen liikesuhde	$LS_{jt} :=$ ■
Etuakseliston kiertoaste	$KA_e :=$ ■
Taka-akseliston kiertoaste	$KA_t :=$ ■
Kokonaiskiertoaste	$KA := \frac{KA_e + KA_t}{2} =$ ■
Etuakselin raideleveys	$RL_e :=$ ■
Taka-akselin raideleveys	$RL_t :=$ ■
Akseliväli	$AV :=$ ■
Jousitetun massan painopisteen korkeus	$h_{ppj} :=$ ■
Etuvakaajan liikesuhde	$LS_{ev} :=$ ■
Takavakaajan liikesuhde	$LS_{tv} :=$ ■

2 (2)

Kiertojäykkyydet

Kallistuskeskiön ja jousitetun massan painopisteen välinen etäisyys:

$$h_{kk} := h_{ppj} - \left[h_{kke} + \frac{(h_{kkt} - h_{kke}) \cdot m_{vj}}{m_{ej} + m_{tj}} \right] - \blacksquare$$

Koria kiertävä momentti 1 G kiihtyvyydellä:

$$M_{roll} := h_{kk} \cdot (m_{ej} + m_{tj}) \cdot g - \blacksquare$$

Korin kokonaiskiertojäykkyys:

$$KJ_{tot} := \frac{M_{roll}}{KA} - \blacksquare$$

Kiertojäykkyys
etuakselille:

$$KJ_{etu} := KJ_{tot} \cdot \frac{KA_t}{KA} - \blacksquare$$

Kiertojäykkyys
taka-akselille:

$$KJ_{taka} := KJ_{tot} - KJ_{etu} - \blacksquare$$

Jouset

Jousijäykkyyksien redusointi pyörille:

Etuakselille:

$$JV_{eR} := \frac{JV_{je}}{LS_{je}^2} -$$

Taka-akselille:

$$JV_{tR} := \frac{JV_{jt}}{LS_{jt}^2} -$$

Redusoitujen jousijäykkyyksien aiheuttama kiertojäykkyys:

Etuakselille:

$$KJ_{je} := \frac{RV_e^2 \cdot JV_{eR}}{2} \cdot \frac{\pi}{180} -$$

Taka-akselille:

$$KJ_{jt} := \frac{RV_t^2 \cdot JV_{tR}}{2} \cdot \frac{\pi}{180} -$$

Vakaajat

Vakaajien jäykkyyksiä vastaava kiertojäykkyys:

Etuakselille:

$$KJ_{ve} := \frac{JV_{ve}}{LS_{ve}^2} -$$

Taka-akselille:

$$KJ_{vt} := \frac{JV_{vt}}{LS_{vt}^2} -$$

Liite 4. Heilahduksenvaimentimien liikkeet ja asento (Segers, J. 2014.)

Table 11.1 Shock movement and wheel position summary for traces in Figure 11.5

	Section 1 Straight-line braking		Section 2 Initial cornering + braking		Section 3 Steady-state cornering		Section 4 Corner exit – acceleration	
	Wheel position	Shock movement	Wheel position	Shock movement	Wheel position	Shock movement	Wheel position	Shock movement
LF	Compression	Bump	Compression	Rebound	Extension	–	Extension	Bump
RF	Compression	Bump	Compression	–	Compression	–	Compression	Rebound
LR	Extension	Rebound	Extension	Rebound	Extension	Bump	Compression	Bump
RR	Extension	Rebound	Compression	Bump	Compression	Bump	Compression	Rebound

Liite 5. Kolme erilaista ajolinjaa (Segers, J. 2014.)

1 (2)

Aikainen ajolinja

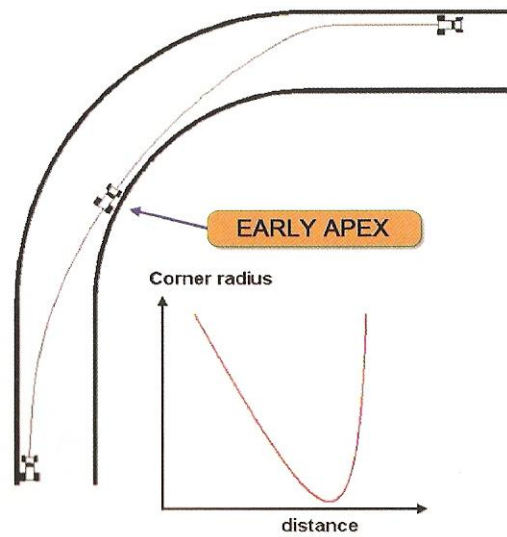


Figure 14.36 Early apex

Kaarteen keskilinja

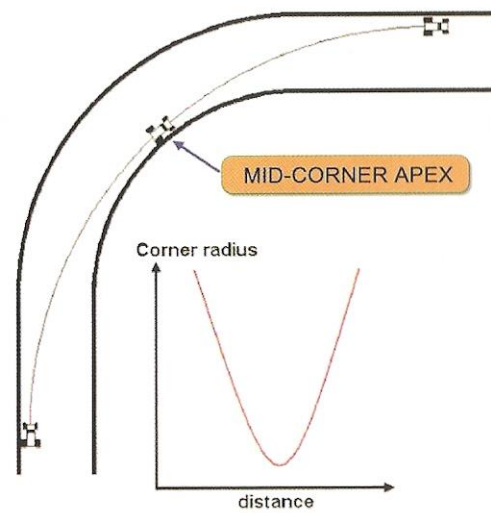


Figure 14.32 Mid-corner apex and the resulting shape of the corner radius graph

2 (2)

Myöhäinen ajolinja

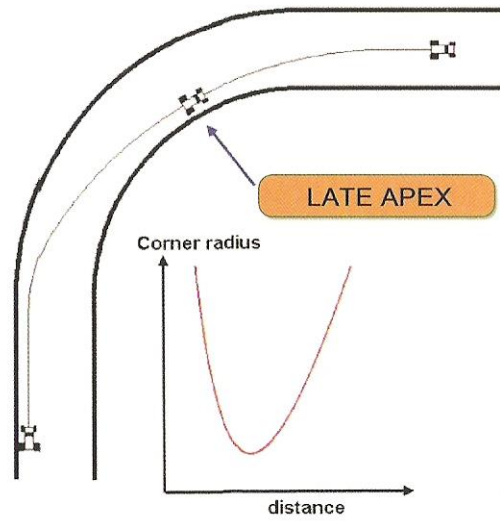


Figure 14.34 Late apex and the resulting shape of the corner radius graph