



TEKNIikka JA LIIKENNE

Auto ja kuljetustekniikka

Tuotetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

Formula Student -kilpa-auton testaustoiminta

**Työn tekijä: Ragnar Mehisto
Työn ohjaaja: Teemu Laine**

Työ hyväksytty: __. __. 2009

**Teemu Laine
Laboratorioinsinööri**



ALKULAUSE

Tämä insinööriyön aiheena on Formula Student -kilpa-auton testaustoiminta. Kyseessä on ensimmäinen aiheesta tehty insinööriyö.

Haluan kiittää kaikkia projektin mahdollistaneita henkilöitä ja kaikkia Helsinki Polytechnic Formula Engineering Teamin entisiä ja nykyisiä jäseniä. Kiitän myös Teemu Lainetta, joka toimi tämän työn valvojana.

Eriyiskiitos kuuluu ammattikorkeakoululle, jonka tiloissa projekti on jatkunut jo useita vuosia, ja kaikille tukijoillemme, etenkin Audi Finlandille, Mobil 1 ja Boschille, jotka ovat auttaneet tiimiä kunnianhimoisessa haasteessa pitäen budjetin kunnossa.

Helsingissä 14.8.2009

Ragnar Mehisto

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Ragnar Mehisto	
Työn nimi: Formula Student-kilpa-auton testaustoiminta	
Päivämäärä: 14.8.2009	Sivumäärä: 37 s. + 8 liitettä
Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka	Ammatillinen suuntautuminen: Tuotetekniikka
Työn ohjaaja: Teemu Laine	
<p>Insinööri työ käsittelee Formula Student -kilpa-auton testaustoimintaa testivastaavan ja kuljettajan näkökulmasta.</p> <p>Työn tavoitteena oli kehittää Metropolia Motorsport tiimin testaustoimintaa, herättää mielenkiintoa testaustoimintaa kohtaan ja antaa joitakin työkaluja uusille tiimiläisille testaustoimintaan mukaan pääsemiseksi.</p> <p>Testaustoimintaa tarkastellaan työssä kilpa-auton tiedonkeruun ja auton käytöksen muokkaamisen näkökulmasta sekä yritetään parantaa kuljettajan ajotapaa.</p> <p>Työn tuloksena huomattiin, että ajoharjoittelulla on suuri vaikutus Formula Student/SAE -sarjassa kuljettajan suoriin ja Metropolia Motorsport -tiimin tarvitsevan jatkuvuutta testaustoiminnan informaation taltioinnissa, jotta virheitä ei toisteta nopean jäsenvaihtuvuuden takia. Kuljettajien välillä on merkittäviä tasoeroja, jolloin auton potentiaalia jää käyttämättä. Nämä tasoerot ovat tasoitettavissa runsaalla harjoittelulla. Tiimin vanhoja autoja ei käytetä tarpeeksi lajikohtaiseen harjoitteluun vaan turvaudutaan mikroautoharjoitteluun, koska tiimin resurssit rajaavat ajan, kuljetuskaluston, testipaikan ja mahdollisten vaurioiden korjausbudjetin takia kyseisen harjoittelutavan hyvin minimaaliseksi.</p>	
Avainsanat: Formula Student, tiedonkeruu, testisuunnitelma, kuljettajakoulutus	



ABSTRACT

Name: Ragnar Mehisto	
Title: Developing the Testing of the Formula Student Racecar	
Date: 14 Aug 2009	Number of pages: 37 pages + 8 appendices
Department: Automotive and Transport Engineering	Study Programme: Automotive Design
Instructor: Teemu Laine, B.Eng.	
<p>This Bachelor's Thesis describes the testing of a Formula Student race car from the point of view of the student responsible for testing and the driver.</p> <p>The objective was to develop the testing work of the Metropolia Motorsport Team, to arouse interest in the testing work and to give some basic information on testing to new team members which would help them to get involved in test work.</p> <p>The test work is analyzed to get information on the race car, its behaviour change and to improve the driver's driving method.</p> <p>This study shows that driving practice plays a very important role in improving the Formula Student/SAE series driver's performance. It seems that the Metropolia Motorsport Team needs to continue to gather information on testing work so that the same mistakes will not be made because the team members are changed at regular intervals. There are remarkable differences in the drivers' driving skills which means that the full potential of the car's performance is not always used. These differences in driving skills can be minimized with a lot of driving practice. The older cars of the team are not used to get more experience in driving but the team uses karting cars to practice driving. The reason for this is that there are not enough resources in the budget to practice because the teams have to be prepared to spend a certain amount of time for testing, pay the transportation costs, the reservation of the testing place and also have to be prepared to pay for damage that might occur in testing.</p>	
Keywords: Formula Student, data aqation, testplan, driver trainig	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	HISTORIAA	2
3	MOTEC	4
3.1	Anturit.....	4
3.2	Tietojen käsittely.....	6
3.2.1	<i>Kitkaympyrä.....</i>	<i>7</i>
3.2.2	<i>Ohjaus.....</i>	<i>9</i>
3.2.3	<i>Painosiirto.....</i>	<i>13</i>
4	KULJETTAJA	15
4.1	Säännöt.....	15
4.2	Kilpailuosiot.....	15
4.3	Kuljettajan valinta.....	17
4.4	Koulutus.....	17
4.4.1	<i>Ensimmäinen kuljettajakoulutuskerta.....</i>	<i>18</i>
4.4.2	<i>Toinen kuljettajakoulutuskerta.....</i>	<i>20</i>
4.4.3	<i>Dropout.....</i>	<i>21</i>
4.5	Kaasun käyttö.....	22
4.6	Jarruttaminen.....	22
4.7	Ergonomia.....	23
4.8	Mielikuvaharjoituksia.....	24
5	TESTEIHIN VALMISTAUTUMINEN	25
5.1	Testien tarkoitus.....	25
5.2	Testikauden aloitus.....	25
5.3	Testisuunnitelma.....	25

5.4	Testipaikka	26
5.5	Kalusto	26
5.6	Pakkaaminen.....	27
6	TESTIEN LÄPIVIENTI	28
6.1	Auton käyttäytyminen	28
6.1.1	<i>Auton läpikäynti testeissä</i>	<i>28</i>
6.1.2	<i>Kysymyksiä kuljettajalle</i>	<i>29</i>
6.2	Testausmenetelmiä	30
6.3	Jouset.....	31
6.4	Camber	31
6.5	Caster	31
6.6	Auraus ja haritus	32
6.7	Renkaiden lämpötilojen seuranta.....	32
6.8	Testisuunnitelmaesimerkki.....	33
7	PÄÄTELMÄT	34
	VIITELUETTELO	37
	LIITTEET	

Liite 1: Testipohja
Liite 2: Katsastuslista

1 JOHDANTO

Formula Student/SAE on yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa opiskeleville opiskelijoille tarkoitettu kansainvälinen suunnittelu-, rakennus- ja ajokilpailu. Virallisia kilpailuja järjestetään vuosittain Yhdysvalloissa, Englannissa, Saksassa, Australiassa, Italiassa, Brasiliassa ja Japanissa. Kilpailuissa arvostellaan auton teknisiä ratkaisuja, kustannustietoisuutta, myyntiesitystä ja tietysti auton nopeutta radalla. Virallisten kilpailujen lisäksi Metropolia Motorsport, aikaisemmin Stadia Motorsport, -tiimi on pannut alulle epävirallisen Baltic Open Race -ystävyysskilpailun, jossa kilpaillaan vain auton nopeudella.

Tämä insinööriö kertoo Formula Student/SAE -kilpa-auton testaustoiminnasta. Tavoitteena on luoda uusille tiimiläisille tiivistelmä tämänhetkisestä tilanteesta tiimin testauksen suhteen sekä antaa ajatuksia testauksen kehitykselle. Insinööriö toimii työkaluna sellaisille tiimiläisille, jotka haluavat ymmärtää testaustoimintaa ja kehittää kuljettajan ajotaitoja.

Työssä käydään läpi tiimin käyttämää Motec-tiedonkeruuohjelmaa, kuljettajan koulutusta sekä testien läpivientiä kokonaisuudessaan. Tiedonkeruuta pohditaan antureiden keräämän tiedon analysoinnin kannalta ja itse ohjelman käyttö on jätetty pois. Kuljettajan koulutus perustuu asiantuntijoiden alaisuudessa harjoitteluun ja kirjallisuudesta tehtyihin poimintoihin. Testien läpiviennissä käydään läpi tiimin ja kaluston logistiikka, sekä perehdytään testausmenetelmiin ja mahdollisiin autoon tehtäviin muutoksiin ja muutosten vaikutuksiin.

2 HISTORIAA

Lauri Eho on kirjoittanut artikkelin Suomen Autolehteen 02/2009, jossa käydään läpi tiimin siirtyminen nykyiseen tiedonkeruujärjestelmään.

Kaikki sai alkunsa koulun ensimmäisestä kilpurista, HPF002:sta. Autossa käytettiin turboahdettua Honda CBR 600 F4 moottoria. Hyvästä kilpailukyvyistä huolimatta, auton sähköjärjestelmä oli melko pelkistetty. Moottorinohjauksena toimi kotimainen Hestec-moottorinohjausjärjestelmä, jolla ohjattiin polttoaineensuihkutusta ja sytytystä. Hondan latausjärjestelmä säilytettiin alkuperäisenä ja kuljettajan informatiikasta vastasivat vain keskeisimmät moottorin toiminnasta kertovat mittarit. Järjestelmä tiedettiin kuitenkin toimintavarmaksi, joten se noudatti hyvin pitkälle samaa kaavaa vuoteen 2004 asti.

Autojen ongelmiksi oli tiedostettu kunnollisen tiedonkeruun puute niin alustan kuin moottorinkin osalta, suuri polttoaineen kulutus ja moottorinohjaimen laskentatehon ja tarkkuuden riittämättömyys. Vuonna 2004 moottorinohjaimeksi vaihtui Tatech, jonka ominaisuuksia oli sekventiaalinen suihkutusta ja sytytystä, 512M sisäinen tiedonkeruu, sekä lisääntynyt säätökarttojen määrä ja tarkkuus. Yhteistyö laitteen valmistajan kanssa oli tiivistä ja nykyään Tatech:in kaupallisesta versiostakin löytyvä luistonestojärjestelmä on Metropolian tiimin kehittämä. Myös auton alustan käyttäytymisen analysointi astui uudelle aikakaudelle, kun vuodesta 2005 käyttöön otettiin kilpa-autoista tuttu Motec ADL8-tiedonkeruulaite.

Kaudella 2006 tehdyt uudistukset alkoivat kantaa hedelmää ja kilpailukauden sijoitukset olivat USA:ssa 5., Englannissa 4. ja Saksassa 2. Lisäksi voitot saksan kilpailun design-osuudessa, sekä tunnustuspalkinnot innovatiivisesta elektroniikan käytöstä kertoivat auton kehittyneisyydestä. Tuolloin autossa oli ensimmäistä kertaa mukana kokonaan itse valmistettuja mikrokontrollereilla varustettuja ohjainlaitteita, ja mm. auton kytin toimi sähköisesti. Kaudelle 2007 suurin muutos oli siirtyminen edellisvuonna käytössä olleesta turboahdetusta Yamaha R6-moottorista vapaastihengittävään. Edellisvuotisia sähköjärjestelmiä tyydyttiinkin vain optimoimaan, mutta myös väyläteknikkaa kokeiltiin ensimmäistä kertaa joidenkin ohjainlaitteiden välillä.

Vuoden 2008 kilpuri, mallimerkinnältään HPF008, sai alkunsa jo vuoden 2007 elokuussa, jolloin ensimmäiset suunnitelmat lyötiin lukkoon. Auto olikin valmis tietokoneenruudulla marraskuun lopussa ja ensimmäistä kertaa se liikkui omin voimin testiradalla jo tammikuun puolivälissä. Riittävän testikauden takaaminen oli välttämätöntä, sillä vaikka suunnittelun lähtökohtina olivat luotettavuus ja keveys, koki auto massiivisia muutoksia verrattuna edellisvuotiseen.

Myös sähköjärjestelmä uudistui HPF008:ssa täysin. Ohjainlaitteiden välillä siirryttiin käyttämään omavalmisteista, uusista henkilöautoistakin tuttua, 2-johtimista CAN-tiedonsiirtoväylää. Tämä oli välttämättömyys, sillä ilman väyläteknikkaa auton johtosarjasta olisi tullut aivan liian monimutkainen ja

painava. Keskusyksikkönä toimii hiilikuituinen monitoimiratti, johon on sijoitettu kierroslukuledit, vaihdenäyttö sekä erillinen LCD-näyttö jonka avulla pystytään seuraamaan auton toimintaa. Lisäksi ratista kontrolloidaan mm. ohjainlaitteiden asetuksia, sähköistä jarrubalanssinsäätöä, lähtöjärjestelmää, sekä F1-tyylistä sähköistä kytkintä ja elektropneumaattista vaihteensiirtoa. Uuden järjestelmän avulla kyettiin muun muassa saamaan kytkimeen keinotekoinen ”tuntuma”, sekä vaihtamaan vaihteita irrottamatta käsiä ohjauspyörästä. Myös lähtöjärjestelmä uudistui kokonaan. Valittavissa on joko puoli- tai täysautomaattimoodi, jonka avulla on mahdollista painaa auton kaasupoljin pohjaan ja vapauttaa kytkin täysin. Tällöin auto automaattisesti rajoittaa lähtökierrosluvun sopivaksi ja säätää kytkimen optimaalista luistatusta vertailemalla etu- ja takarenkaiden pyörintänopeuksia. Vauhdin kasvetua moottorinohjaimen luistonesto ottaa kontrollin ja hiilidioksiditoiminen vaihteisto vaihtaa vaihteita automaattisesti ylöspäin. Kaikki asetukset on lisäksi muutettavissa reaaliaikaisesti kahdensuuntaisen bluetooth-telemetrian avulla. Järjestelmällä on kyetty vakioimaan kiihdytystilanne, poistamaan kuljettajan virheet ja saavuttamaan jopa alle 60ms vaihtenvaihtoajat.

Myös auton tiedonkeruu on monipuolisempi kuin koskaan ja autosta pystytäänkin tallentamaan jo lähes kaikkea mahdollista, esim. pelkkiä rengaslämpöantureita on 12 kappaletta. Tämä ei kuitenkaan tarkoita etteikö tiedonkeruussakin olisi vielä kehittämisen varaa ja se astuukin ensi vuonna jälleen uudelle aikakaudelle, kun järjestelmä yhtenäistyy käyttöön tulevan Motec M880-moottorinohjaimen myötä.

Lisääntynyt elektroniikka ei kuitenkaan ole tuonut mukanaan pelkkää hyvää. Vaikka laitteiston hyötysuhde on pyritty optimoimaan hyödyntämällä mm. pulssinleveysmodulaatiota, on auton virrankulutus kasvanut reilusti. Yamanhan moottorin alkuperäistä latausjärjestelmää onkin jouduttu muokkaamaan riittävän lataustehon saavuttamiseksi. Tällä hetkellä Metropolian tiimi suunnittelee jo kuumeisesti ensi vuoden kilpuria ja yksi suurimmista haasteista onkin laturi ja sen tehon riittävyys, sillä uudesta sähköjärjestelmästä on visioitu jälleen kerran hienostuneempaa kuin koskaan.”

Nyt mallimerkinnältään HPF009-auto on valmistunut ja kausi näyttää tuloksen valossa onnistuneelta.

3 MOTEC

3.1 Anturit

Tiimillä on tiedonkeruulaitteena käytössä Motec i2Pro M880. Useiden antureiden ansiosta kuljettajan suoritusta voidaan arvioida erittäin yksityiskohtaisesti ja parannusohjeita on helppo antaa. Antureiden keräämä tieto otetaan talteen UTC (usb to can) -adapterin avulla (kuva 1).



Kuva 1. HPF009 valmiina tiedon luovutukseen.

Yksinkertaisimmillaan autoa ajoa voi tehokkaasti analysoida vain kuudella eri anturilla, joilla mitattavia osa-alueita ovat

- moottorin kierrosluku
- renkaan pyörintänopeus
- kaasun asento
- ratin kääntökulma
- pitkittäiskiikkyvyys
- sivuttaiskiikkyvyys.

Näiden lisäksi on tallennettava auton toiminnan kannalta tärkeät tiedot, kuten nesteiden paine ja lämpötila sekä akun jännite. Kierroksen alku ja loppu

saadaan tietoon käyttämällä beaconia, tämä helpottaa aikavertailua kierrosten välillä. Näillä tiedoilla voidaan analysoida tehokkaasti ajoa ja samalla säästää rahaa. Mikäli kuitenkin halutaan mennä syvemmälle yksityiskohtiin auton käytöksessä, on budjettia kasvatettava. Antureita auton eri osa-alueille hankitaan sen mukaan, kuinka tarkasti halutaan saada tutkia auton ongelmia kyseisellä osa-alueella. Näitä antureita voivat olla

- iskunvaimentimen liike
- jarrulinjan paine
- kytkimen paine
- vaihde asento
- jokaisen pyörän nopeus
- etu- ja taka-akselin sivuttaiskiihtyvyys
- pystysuuntainen kiihtyvyys
- rengaspaine
- raidekorkeus
- jousikuorma
- rengslämpötila
- jarrulevyn lämpötila
- yaw (auton pystyakselin kierto) nopeus
- aerodynaaminen paine
- vaiteenvalitsimen voima-anturi.

Tämä lista on esimerkki mahdollisista analysointityökaluista, joita tarvitaan kun tehdään erittäin tarkkaa työtä. Metropolian tiimillä on käytössä useimmat em. antureista kuten kuvassa 2 näkyy.

Steering Wheel		Motec M880		Motec ADL		Clutch	
Shifting paddles (ECU)		Engine data logging		Chassis data logging			
Clutch Paddle (ECU)		Shifter drive		Data to Steering Wheel			
TC setup (ECU)		TC		Wireless Serial connection for telemetry			
Engine setup (ECU)		Engine mapping					
Radio		Intake Manifold control					
Driver info (ECU)		Fan control					
-RPM		Fuel pump control					
-Gear		Water pump control					
-Warning		Info to ADL / Steering Wheel					
-Coolant temp		-RPM					
-Oil temp		-Gear					
-Battery		-Wheel speeds					
Launch Control (Clutch)		-Brakepressure					
		-Throttle position					
		Lambda					
Sensors				Sensors		Sensors	
Clutch paddle position sensor		FL Wheel Speed (Dig 1 PIN 46)		Steered angle sensor (AT 1 PIN 34)		Motor position sensor	
Shift paddle position sensor		FR Wheel Speed (Dig 2 PIN 45)		FL susp pos sensor (AV 1 PIN 45)		Clutch position sensor	
TC setup sensor		RL Wheel Speed (Dig 3 PIN 52)		FR susp pos sensor (AV 2 PIN 46)			
Engine mapping sensor		RR Wheel Speed (Dig 4 PIN 53)		RL susp pos sensor (AV 3 PIN 47)			
Launch mode sensor		Oil pressure sensor (AV 3 PIN 6)		RR susp pos sensor (AV 4 PIN 48)			
		Oil temperature sensor (AT 3 PIN 30)		Yaw velocity sensor (AV 5 PIN 49)			
		Coolant temp sensor (AT 2 PIN 38)		Long acc sensor (AV 6 PIN 50)			
		Intake press sensor (AV 2 PIN 18)		Lat acc sensor (AV 7 PIN 19)			
		Intake temp sensor (AT 1 PIN 28)		Brake pressure front (AV 8 PIN 20)			
		RPM sensor (REF PIN 49)		FL tyre temp outer (AV 9 PIN 21)			
		Camshaft pos sensor (SYNC PIN 56)		FL tyre temp centre (AV 10 PIN 22)			
		Fuel pressure sensor (AV 4 PIN 7)		FL tyre temp inner (AV 11 PIN 23)			
		Throttle pos sensor (AV 1 PIN 26)		FR tyre temp outer (AV 12 PIN 24)			
		Brake pressure rear (AV 5 PIN 12)		FR tyre temp centre (AV 13 PIN 25)			
		Gear Position sensor (AV 6 PIN 36)		FR tyre temp inner (AV 14 PIN 26)			
		Shifter Cylinder Force sensor (AV 7 PIN 35)		RL tyre temp outer (AV 15 PIN 1)			
				RL tyre temp centre (AV 16 PIN 2)			
				RL tyre temp inner (AV 17 PIN 3)			
				RR tyre temp outer (AV 18 PIN 4)			
				RR tyre temp centre (AV 19 PIN 5)			
				RR tyre temp inner (AV 20 PIN 69)			
Outputs		Outputs		Outputs		Outputs	
Led bar		RPM		Fuel pump (AUX 1 PIN 9)			
3 colored led		Eng temp		Fan (AUX 2 PIN 8)			
7-segment		Gear Indicator		Up valve (AUX 3 PIN 43)			
Red led		Warning		Down Valve (AUX 4 PIN 51)			
Green led		Neutral indicator					

Kuva 2. Luettelo-HPF009 autossa olevista antureista.

3.2 Tietojen käsittely

Tiedonkeruu on avaintyökalu auton oikeiden säätöjen löytämiseksi. Siihen tarvitaan kuitenkin kuljettaja, joka pystyy yhdenmukaisesti suorituksiin ja henkilö, joka osaa sanoa, mihin suuntaan autoa tulisi säätää. Vuosittain järjestetään hyviä kursseja, jossa käydään läpi nimenomaan tiedonkeruuta ja kilpa-auton kehittämistä. Kurssille osallistuminen kuitenkin vaatii perustietojen hallintaa ja mieluiten myös käytännön kokemusta, jolloin ongelmatilanteiden kautta on tullut kysymyksiä. Sellaisen ihmisen lähettäminen kurssille, joka ei osaa englanninkielistä terminologiaa, on samaten resurssien tuhlausta.

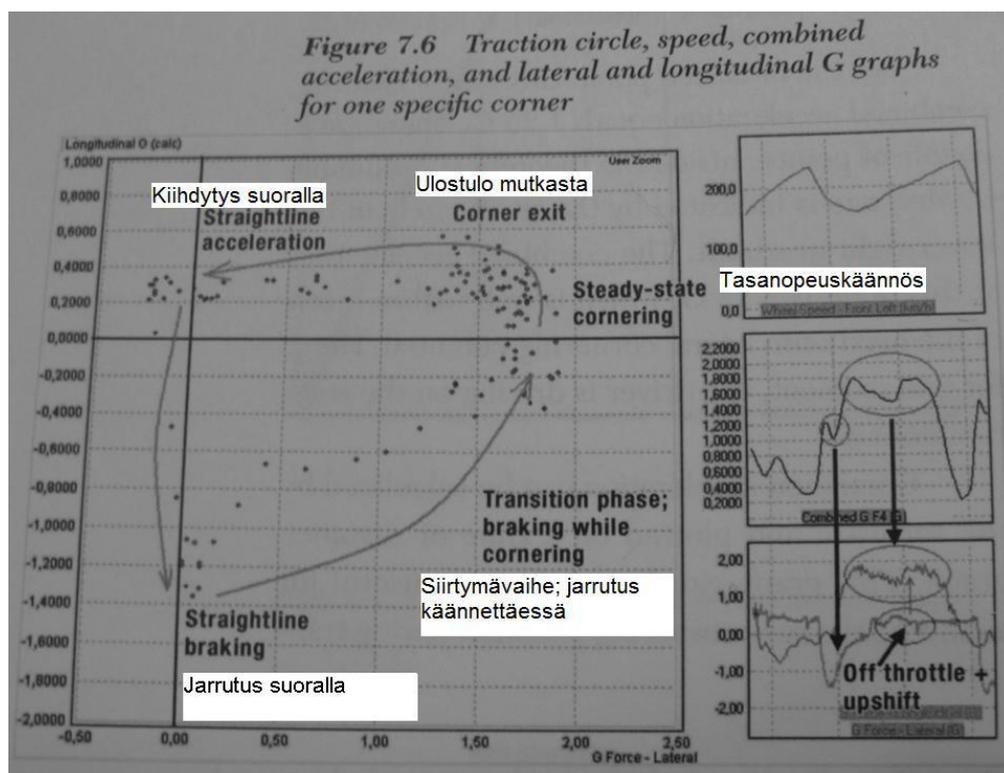
Antureiden keräämä tieto käydään läpi GTR2 MoTeC i2 Pro -ohjelmalla. Ennen suurempaa pohdiskelua on syytä varmistaa, että mittarit ovat oikein kalibroituja, yksiköt ovat kohdallaan ja tulokset ovat järkevän näköisiä. Ohjelma itsessään on helppokäyttöinen ja ohjeita käytölle löytyy internetin lisäksi tiimin tiedostoista. Ei ole kuitenkaan syytä väheksyä vuosien käyttökokemusta, sillä ohjelma on helppo oppia, mutta sen hallitseminen vie vuosikautia.

Perusasiat, jotka on syytä ohjelmasta ottaa selvää, ovat oman pohjan tekeminen, johon voidaan valita useista kanavista tarvittavat tiedot, anturit jne. ja kuinka saat ladattua kerättyä tietoa. Suurennustyökalu on hyvin hyödyllinen, samoin eri kuljettajien suoritusien päällekkäin asettaminen vertailua varten. Ohjelmassa on radan kartan tekemisen mahdollisuus, siinä on syytä varmistaa, että kierros, joka pohjaksi valitaan, on ajettu rauhassa eikä esim. renkaiden sutimista esiinny. Tarvittaessa voidaan käyttää referenssinä jonkun muun valmistajan vastaavaa laitetta. Esimerkiksi Racelogicilta löytyy sellainen.

Ongelmat auton nopeudessa voidaan karkeasti jakaa tehon, pidon ja kuljettajan huonouteen. Pitoa voidaan analysoida hyvin mm. kitkaympyrän, ohjauksen ja painonsiirron kautta. Kuljettajan kehittämistä käsitellään 4. luvussa. Teho jää moottoriryhmän päänvaivaksi. Tiedonkeruusta on kuitenkin osattava lukea myös kriittiset moottoriin liittyvät asiat, jotta vältyttän moottoririkoilta.

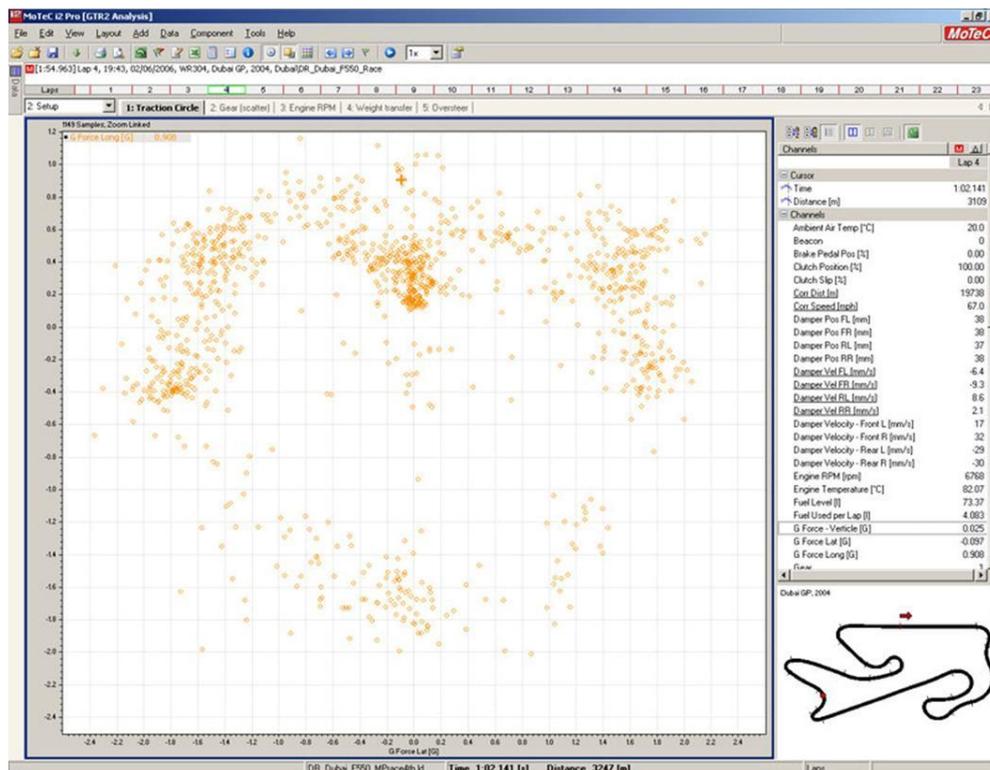
3.2.1 Kitkaympyrä

Kilpa-auton renkaat kehittävät suunnilleen saman voiman jarrutukseen, kiihdytykseen sekä käännökseen. Voima tulee tien ja renkaan välisen kitkakerroimen ja renkaaseen kohdistetun massan tulosta. Tämä voima saadaan tallioitua kiihtyvyyssietoina ns. g-g -diagrammiin tai kitkaympyräksi nimitettyyn kuvaajaan (kuva 3).



Kuva 3. Kiihtyvyydet kitkaympyrässä /2, s. 62/.

Idea on, että käytössä on sama määrä pitoa koko ajan. Voit käyttää pidon joko kokonaan kiihtyvyyteen tai negatiiviseen kiihtyvyyteen eli jarrutukseen tai kääntymiseen tai johonkin kombinaatioon näistä. Tämän kuvaajan perusteella voidaan lukea kuinka ääri rajoille kuljettaja pääsee auton pidon suhteen. Kuvaaja ei kuitenkaan ole ympyrän muotoinen vaan enemmän soikion muotoinen. Tämä johtuu siitä, että kiihdytyksessä suurempien kiihtyvyyksien saavuttamiseksi on voitettava erinäiset vastustavat voimat kuten ilmanvastus jne. kun taas jarrutuksessa nämä voimat tekevät työtä kuljettajan eduksi. Motecista saatu tieto näyttää kuvan 4 kaltaiselta.



Kuva 4. Kitkaympyrä /7/.

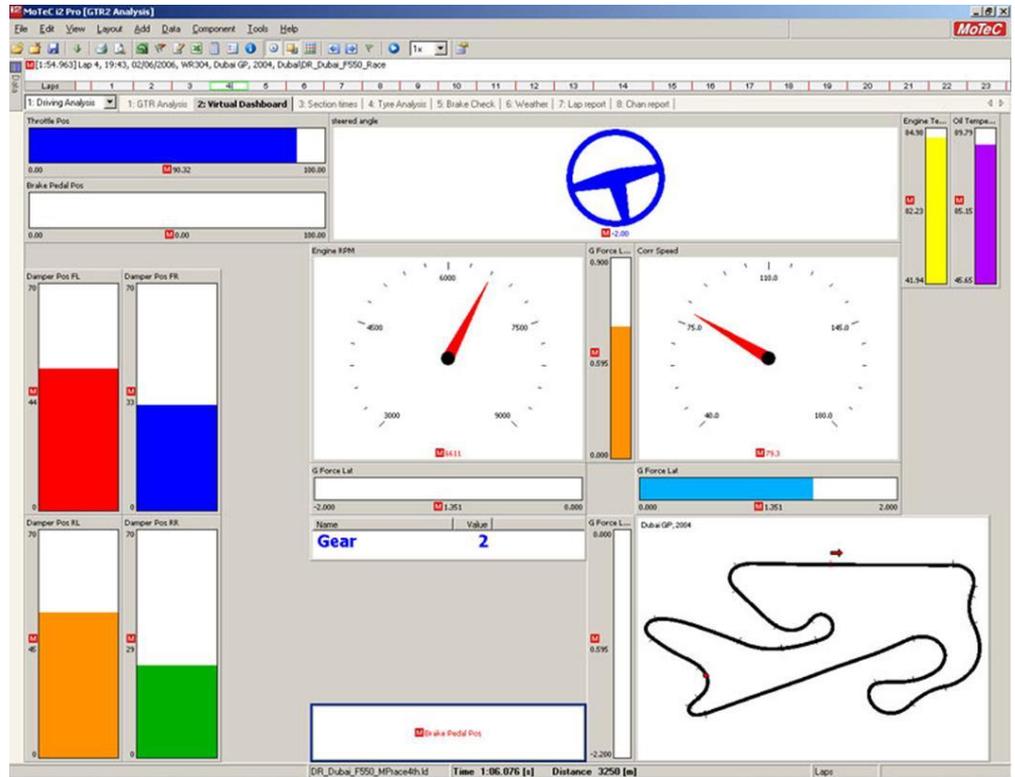
Pisteet tulevat kiihtyvyyden maksimikohdasta ennen suunnanvaihtoa. Maksimikihtyvyyksistä voidaan päätellä kuljettajan suorituskyky autolla. Mikäli on tiedossa teoreettinen kitkaympyrä autolle kyseisillä säädöillä, pystytään näkemään käyttämättä jäänyt kapasiteetti. Usein kitkaympyrä näyttää timantin muotoiselta. Tämä johtuu kilpikuljettajille ominaisesta ajotavasta, jossa jarrutetaan ennen mutkaa, hellitetään jarrua mutkassa ja avataan kaasua mutkasta ulostullessa. Kitkaympyrän perusteella kuitenkin kuljettajien tulisi jarruttaa koko mutkan läpi hellittämällä mutkasta ulostuloa kohti jarrua ja siirtyä tasaisesti kaasulle. Tämä olisi pidon kannalta maksimaalinen suoritus.

3.2.2 Ohjaus

Kuljettajan ollessa vaihteikas tai tietämätön auton ohjautuvuudesta voidaan se selvittää tiedonkeruusta. Ohjauksen tunto on kuitenkin subjektiivinen käsite.

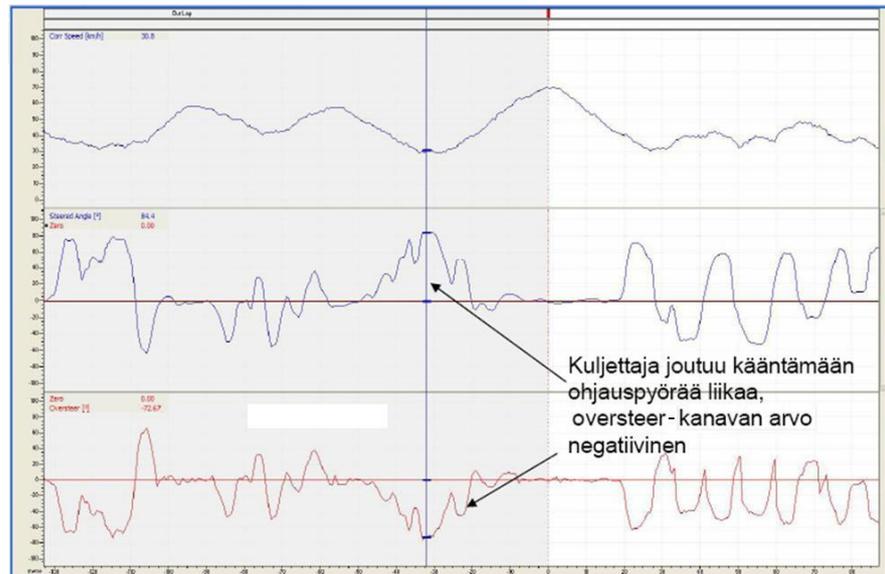
Aliohjauksen, joka tunnetaan myös auton puskemisena, tunnistaa kuljettajan aggressiivisesta auton tempaisusta mutkaan, jolla yritetään saada perää irtamaan ja seuraamaan mutkaa. Yliohjaus on edellisen vastakohta, jossa ongelmana on takapyörien pito mutkassa. Tiedonkeruusta yliohjauksen tunnistaa kaasun käytön varovaisuudesta etenkin mutkissa, koska mikäli tehoa

lisätään, pyörät alkavat sutia ja auto pyörähtää. Toinen yliojauksen merkki on ratinkääntökulman raju edestakainen liike mutkissa, koska kuljettaja joutuu tekemään korjausliikkeitä pyörähtämisen välttämiseksi. Tiedonkeruuohjelmassa on mahdollista katsoa ns. animaatiota jälkikäteen (kuva 5), jolloin animoidun ratin liikkeestä näkee helposti auton ajettavuuden mutkassa.

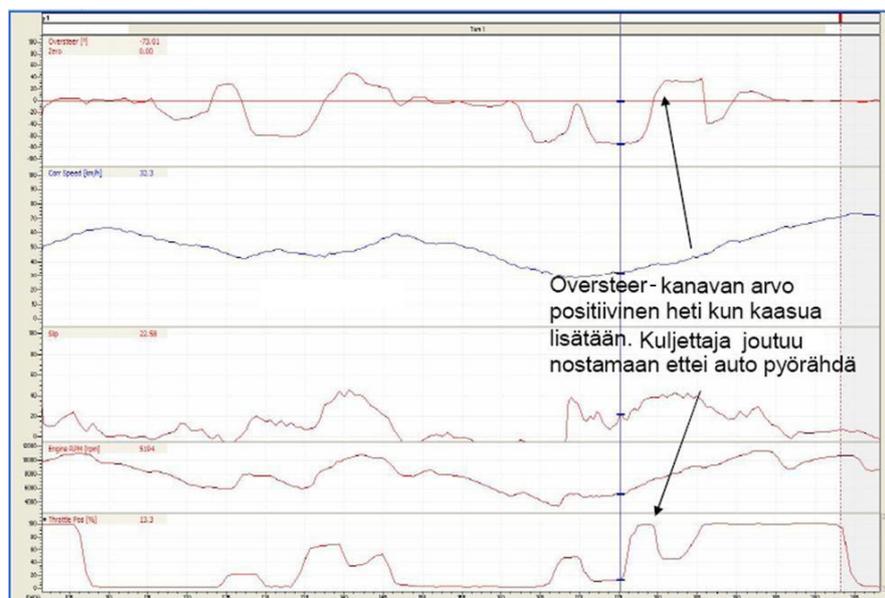


Kuva 5. Virtuaalisuoritus ajosta /7/.

Tietokoneen ruudulla aliohjaus näyttää kuvan 6 mukaiselta. Kuvassa näkyvät kolme kanavaa, ylimpänä nopeuskanava, keskellä on ohjauspyörän kääntökulma, vasemmalle käännettäessä käytetään yleensä positiivista ja oikealle käännettäessä negatiivista lukemaa, alimpana on yliojauuskanava, joka tulee auton etu- ja takapäähän asetettujen kiihtyvyyssantureiden erosta. Yliojauuskanavan ollessa negatiivinen auto aliohjaa. Vastaavasti kuvassa 7 näkyy, kuinka oversteer-kanava on positiivinen eli auto yliohjaa. Yliojauksessa kaasun käyttö mutkissa on varovaista, kuten ylimpänä kuvassa 7 oleva kanava kertoo, ja yliojtaus on suorassa yhteydessä kaasun määrään.



Kuva 6. Aliohjaus: nopeus, ratin kääntökulma, yliohjauskanava /4/.



Kuva 7. Yliohjaus: nuolella osoitetut kanavat: kaasun asento ja yliohjauskanava /4/.

Ohjaus voidaan tietysti tehdä tarkoituksella yli- tai aliohjaavaksi, jolloin radasta riippuen saavutetaan hyöty. SAE J6702 määrittelee neutraalin ohjauksen aliohjauksen ja yliohjauksen seuraavasti:

Neutraali ohjaus: “A vehicle is neutral steer at a given trim if the ratio of the steering wheel angle gradient to the overall steering ratio equals the Ackermann steering gradient.” Ratin kääntökulma on sama kuin ackermann-kääntökulma.

Aliohjaus: "A vehicle is neutral steer at a given trim if the ratio of the steering wheel angle gradient to the overall steering ratio is greater than the Ackermann steering gradient." Ratin kääntökulma on suurempi kuin ackermann-kääntökulma.

Yliohjaus: "A vehicle is neutral steer at a given trim if the ratio of the steering wheel angle gradient to the overall steering ratio is smaller than the Ackermann steering gradient." Ratin kääntökulma on pienempi kuin ackermann-kääntökulma.

Tarkoituksena on renkaiden sortokulman yhdenmukainen käyttö, kun renkaiden ollessa samansuuntaisesti tai käänteis Ackermannissa sortokulma aiheuttaa rasiusta renkaisiin eri käänöksissä eri määrän (kuva 8). Tämä johtaa renkaiden epätasaiseen kulumiseen. Samalla renkaat lämpenevät eri tavalla.

Ackermann- kääntökulma:

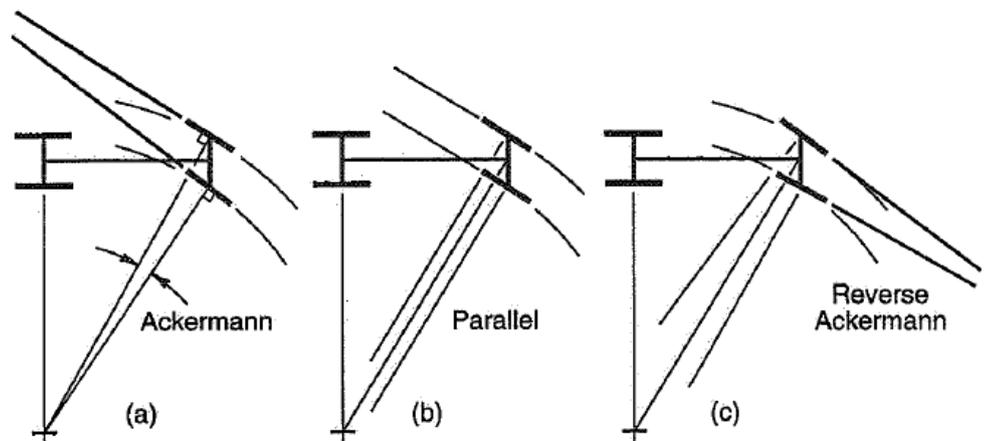
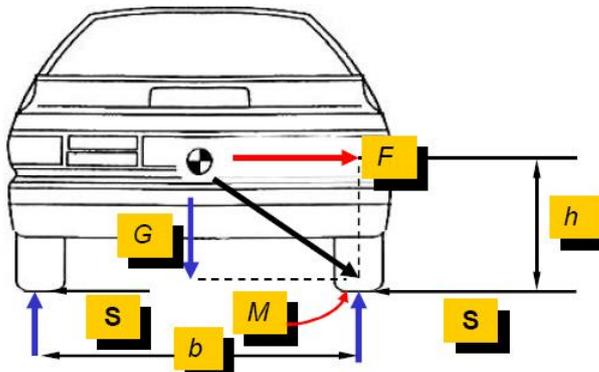


Figure 5.4 (a) Ackermann, (b) parallel, and (c) reverse Ackermann steering.

Kuva 8. Kääntökulmat /1, s. 129/.

3.2.3 Painosiirto

Painonsiirrossa ratkaisevia tekijöitä ovat auton massakeskipiste, joka on suunniteltava huolella, koska valmistusvaiheessa muutosten teko tältä osin on hyvin haastavaa ja jousituksen komponenttien valinta.



Saadaan:

$$\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} = \mu_s \cdot G$$

$$v_{\text{liuku}} \geq \sqrt{gR\mu_s}$$

Auto liukuu, mikäli

$$F > \sum S \quad \text{Eli koska} \quad F = m \cdot a_s$$

$$a_s = \frac{v^2}{R} \quad \sum S = \mu_s \cdot G$$

a_s = sivuttaiskiihtyvyys

v = ajonopeus

R = kaartosäde

μ_s = sivuttaiskitka

(Todellisuudessa pienempi, koska painonsiirto sivusuunnassa pienentää $\sum S$:ää)

Kuva 9. Kitkan vaikutus auton liukuun /3/.

Kuvassa 9 esitetään kaavat, joiden perusteella auto lähtee liukuun. Samalla huomautetaan, että tilannetta pahentaa painonsiirto, joka pienentää summa S :ää eli kokonaiskitkaa. Auton pidon kannalta on tärkeää, että kaikki renkaat ovat maassa luomassa pitoa. Painonsiirtoa hallitaan alustan säädöillä ja nyrkkisääntönä on, mitä joustavampi alusta on, sitä vähemmän tapahtuu painonsiirtoa. Aleksi Malinen on käynyt insinöörityössään läpi perusteellisesti painonsiirron ja mainitsee, että painonsiirtoa on helppo muuttaa muuttamalla kallistusjäykkyyttä eli jousia ja kallistuksenvakaimia. /5, s.36/ Tiedonkeruussa on iskunvaimentimilta tuleva tieto niiden pituuden muutoksesta. Positiivinen arvo on iskunvaimentimen lyheneminen auton staattisesta tilasta ja negatiivinen taas piteneminen. Näistä arvoista voidaan laskea pyörien liikematka.

MR = x rengas/ x iskunvaimennin

MR = liikematkojen suhde (motion ratio)

x rengas = pyörän liikematka

x iskunvaimennin = iskunvaimentimen liikematka

Tästä liikematkasta voidaan myös laskea auton painonsiirtymät. Kuitenkin jo iskunvaimentimen liikematkasta saatavan informaation perusteella tehdystä käyrästä voidaan seurata jarrutuksien, kiihdytyksien sekä käännösten aiheuttamaa painon siirtymistä eri renkaille. Tämä informaatio saadaan esim. kuvan 10 kaltaisilla asentoantureilla.



Kuva 10. HPF009:n iskunvaimentimen asentoanturi ja iskunvaimennin.

4 KULJETTAJA

4.1 Säännöt

Formula Student/SAE -sarjassa sääntöjen mukaan kuljettajalla on oltava oman maan voimassaoleva ajolupa ts. ajokortti. Yksi kuljettaja ei saa ajaa enempää kuin kolme kilpailuosiota. Yksi kuljettaja ei saa ajaa molempia ajojaksoja. Huomiona mainitaan, että kilpailuissa, joissa endurance ja polttoainetaloudellisuusajo ajetaan yhtenä ajona, vaaditaan vähintään neljän kuljettajan osallistumista ajojaksoihin osallistuttaessa kaikkiin dynaamisiin ajojaksoihin. Mikäli endurance ja pa-taloudellisuusajo ajetaan erikseen, on kuljettajia oltava vähintään viisi. /8/

4.2 Kilpailuosiot

DYNAAMISET OSAKILPAILUT JA MAKSIMIPISTEET

Kiihdytys	75 p
Skid Pad	50 p
Autocross	150 p
Pa-taloudellisuus	100 p
<u>Kestävyysajo</u>	<u>300 p</u>
Yhteensä	675 p

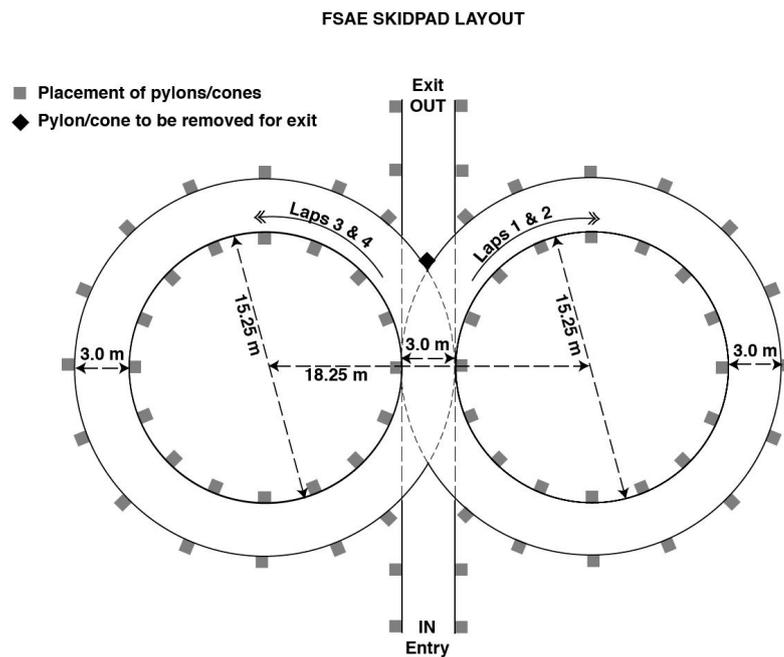
Kuten kokonaispistemäärästä huomaa on suurin osa pisteistä jaossa dynaamisina kilpailupäivinä eli 675 pistettä 1000:sta. Panostuksen ajo-osioihin on siis oltava sen mukaista koko projektin aikana.

Kiihdytys: Autoa kiihdytetään paikaltaan 75 m matka. Lähtö tapahtuu 0,3 m lähtöviivan takaa ja kello lähtee käyntiin kun lähtöviiva on ylitetty. Kuljettajia on oltava kaksi ja kummallakin kuljettajalla on kaksi suoritusta käytettävissä. Voittoajat ovat 3,5 ja 4,0 sekunnin välillä. Tiimin 2008 kilpa-auto HPF008 saavutti kauden aikana kohtalaisia tuloksia.

HPF008-tulokset	USA:	4,386 s
	Englanti:	4,327 s
	Saksa:	4,313 s

Skid Pad: Autoa ajetaan ympyränmuotoista rataa (kuva 11) ensin oikealle kiertäen kaksi kierrosta, minkä jälkeen kiertosuunta vaihdetaan vasemmalle siirtymällä ympyrästä toiseen ja toistetaan kaksi kierrosta. Aika otetaan molempiin suuntiin jälkimmäisestä kierroksesta. Kuljettajasäännöt ovat samat kuin kiihdytyksessä. Voittoajat ovat 5,0 sekunnin tietämillä. Kaudella 2008 kahdeksikkoajoa ei seuraavilla ajoilla voitettu.

HPF008-tulokset	USA:	5,308
	Englanti:	5,505
	Saksa:	5,517



Kuva 11. Skid-pad-rataprofiili /8/

Autocross ja endurance, vapaasti suomennettuna aika-ajot ja kestävyysajo, ovat molemmat rata-ajoa. Ensin kaksi kuljettajaa ajaa kaksi suoritusta paikaltaan, ja nopeimman kuljettajan aika ratkaisee seuraavaksi ajettavan kestävyysajon lähtösijoituksen.

Kestävyysajo on 22 km pitkä ja puolessavälissä suoritetaan kuljettajanvaihto. Maalissa suoritetaan vielä polttoaineen määrän mittaus, jonka perusteella vähiten kuluttanut auto voittaa polttoainekulutuskilpailun.

Näin kun kilpailulajit ovat hyvin tiedossa, on helppo asettaa tavoitteita testikaudelle. Kiihdytyksen tulee kulkea alle 4 s, skid-padin alle 5 s, ja auton on selviydyttävä ilman teknisiä ongelmia rata-ajosta.

4.3 Kuljettajan valinta

Kauden 2009 kuljettajat Metropolia Motorsportin tiimille valittiin kuljettajakoulutuksen perusteella. Tiimin kuljettajavalinnat suoritettiin halukkaiden kesken ensin karkeasti ajamalla aika-ajot mikroautoilla, jolloin kuusi sopivinta kuljettajaehdokasta jatkaa kuljettajakoulutukseen. Kuljettajakoulutus tapahtuu VM Karting Centerissä asiantuntevien ihmisten valvonnassa. Mikroauto on hyvä harjoitusväline, mutta jousituksen puuttuminen on jo yksinään niin suuri ero formulaan verrattuna, että käytännössä mikroautohajotukset auttavat ainoastaan fyysisistä kestävyyttä ja linjojen näkemistä. Kun sisärataharjoituskausi loppuu, on valittuna neljä kuljettajaa, joista kaksi ajaa kiihdytystä ja skid-padia ja kaksi nopeinta aika-ajot ja kestävyysajon.

4.4 Koulutus

Kuljettajien välinen vertailu on hyvä lähtökohta kuljettajien parantamisessa. Kilpailuvietti on erittäin tehokas työkalu lähes kaikkiin kehityskohteisiin. On hyvin todennäköistä, että yksi kuljettaja on nopeampi kuin toinen, joko koko radalla tai eri osissa rataa. Kun voidaan kertoa hitaammalle kuljettajalle miksi hän on hitaampi, auttaa tämä nopeuden parantamisessa. Tiedonkeruun perusteella saadaan radasta kartta, tiedetään, milloin kuljettaja jarruttaa, mihin suuntaan hän kääntää, kuinka paljon ja milloin avaa kaasun. Tietokoneen ruudulla voidaan laittaa kaksi eri suoritusta päällekkäin käyränä ja kuljettajat itse näkevät, missä virheitä on tehty. Kuljettaja toivottavasti rekisteröi oman suorituksensa muistiin, ja näin ollen tietokoneen ruudulla olevassa käyrässä on järkeä kuljettajan mielestä. Mitä nopeammin ajo voidaan käydä läpi, sitä parempi, koska silloin mahdolliset virheet ovat tuoreessa muistissa. Seuraavaksi kuljettajan on pystyttävä itse arvioimaan suorituksensa. Kaikki kommentit kirjataan muistiin ja ennen seuraavaa ajokertaa ne käydään läpi, jolloin kehitystä on helpompi jatkaa eikä lähdetä taas nollasta liikkeelle.

4.4.1 Ensimmäinen kuljettajakoulutuskerta

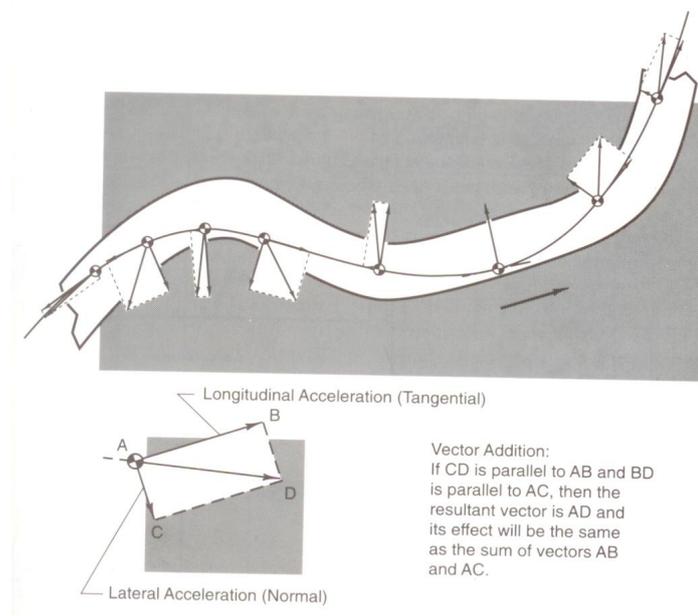
Rata käveltiin läpi kahden asiantuntevan henkilön kanssa, joista toinen on aktiivinen kilpakuljettaja. Esille tulleita asioita olivat jokaisen kuljettajan oma ajolinjan valinta. Ei ole olemassa yhtä oikeata linjaa, vaan jokainen valitsee näkemyksensä mukaan nopeimman reitin. Samalla kuitenkin huomautettiin, että perusidea on säilyttää nopeus mutkasta ulos tullessa mahdollisimman suurena sekä on huomioitava myös seuraavat mutkat. Mutkaan sisääntullessa on jätettävä jarrutus mahdollisimman myöhäiseksi, ja kun jarrutetaan, on jarrutuksen oltava jatkuva ja selkeä eikä pätkittäinen, jolloin voi olettaa, että jarrutus on aloitettu liian aikaisin. Tietysti myöhästyneestä jarrutuksesta koituu yleensä enemmän harmia, joko ajolinjalta pois liukumisen tai kokonaan radalta pois liukumisen vuoksi. Koska kyseessä ovat mikroautot, on myös mahdollista ajaa kaarteet väkivaltaisella heittelytyylillä, koska autossa ei ole iskunavimentimia tai jousia, jolloin auton hidastaminen tapahtuu sivuttaisluisuudella ja samalla saadaan auton kulkusuunta halutunlaiseksi. Tässä tyylissä on kuitenkin merkitystä tietysti kuljettajan taidoilla, mutta myös kitkalla, eli auto menee luisuun helpommin, mitä pienempi kitka on sekä jarrutusvaikeus on suurempi suuremmalla kitkalla. Tästä johtuen kevyt kuljettaja pysyy käyttämään kyseistä tyyliä helpommin kuin painava.

Vauhdin säilyttämiseksi on tehtävä ajolinjallaan mutkasta mahdollisimman suora. Kierretään siis käännökseen tultaessa ulkoreunasta sisäreunaan, mutkan apexiin, ja tullaan ulos renkaat mahdollisimman suorina ja niin, ettei enään tarvitse kääntää ennen seuraavaa käännöstä. Tämä auttaa autoa kiihtymään parhaiten tarkoituksenmukaiseen suuntaan. Mutkan apex on se kohta mutkasta, josta aloitetaan ulostulo, kohtia voi siis olla useampia. Apexia pidetään myös pisteenä, johon päätetään jarrutus ja josta aloitetaan kiihdytys. On sanottu, että nopeimmat kuljettajat eivät ole ne, jotka ajavat mutkan nopeiten, vaan ne, jotka ajavat mutkasta toiseen nopeiten. On siis tärkeää, että kiihdytys mutkasta ulos onnistuu. Kun haetaan jarrutuspaikkoja, jotkut kuljettajat käyttävät visuaalisia apuvälineitä kohdan löytämiseksi. Tämä on hyvä tapa, mutta on käytettävä sellaista esinettä/kohtaa, joka ei missään tapauksessa muuta sijaintia. Lisäksi on oltava joustava tämän tyylin kanssa, sillä kehitystä voi rajoittaa, jos orjamaisesti ajaa kierroksesta toiseen väärin jarruttamalla tietystä kohtaa. Harjoittelun aikana myös toivottavasti parantaa nopeuttaan, ja jos jarrutuskohtaa ei muuta, menee mutka leveäksi.

Kilpailuissa on myös huomioitava renkaiden kuluminen ja näin pidon heikkeneminen ja jarrutusmatkan kasvu.

Autoihin istuttaessa muistutettiin taas jokaisen omasta ajoasennosta, joka tuntuu mukavalta. Ei kuitenkaan ollut suositeltavaa ajaa liian etukenossa. Selkä pyritään pitämään penkissä eikä rattia puristeta liikaa. Ajon aikana huomautettiin liiallisesta aktiivisuudesta, jos kuljettaja ohjasi autoa, vaikka oli suoralla. Hankalaksi osoittautui myös ns. sikaani, jossa kuljettaja menetti paljon aikaa suhteessa muuhun rataa. Myös tottumus toisenlaiseen autoon hankaloitti radankäytön hahmotusta, ja eräällä kuljettajalla ajolinjat jäivät liian leveiksi. Ajon jälkeen todettiin ongelmiksi yliryttäminen ja liiallinen jarrun päällä seisominen. Hankalaksi koettiin myös auton vauhdin säilyttäminen. Varsinkin mikäli auto sattuu luisuun, niin seurauksena on auton hyytyminen eli todella tahmea kiihtyvyys.

Fysiikan mukaan tarkastellessa auton mutkanopeutta selviää, että kyseessä on tangenti ja normaalivoiman vektoreiden summa eli resultantti (kuva 12). Normaalivoimaa on siis käytettävä vain sen verran kuin on tarpeellista, sillä se syö pois tangentialivoimaa, joka nopeuttaa auton pitkästä kiihtyvyyttä. Suoralla kääntäminen siis hidastaa nopeutta.

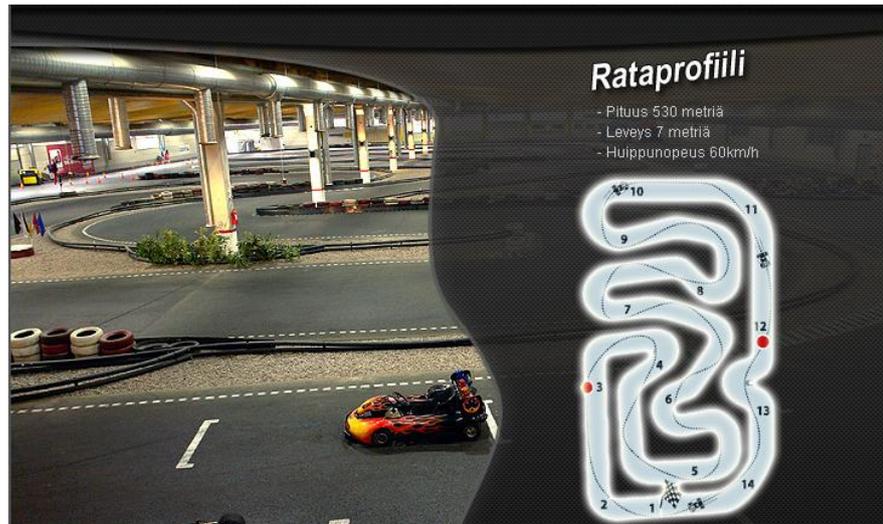


Kuva 12. Mutkassa vaikuttavat voimat /1 s. 9/.

4.4.2 Toinen kuljettajakoulutuskerta

Toisella kerralla oli huomattavasti enemmän aikaa ajamiseen. Ensin ajettiin lämmittelyksi 20 kierrosta, jolloin kuljettajilla oli aikaa hakea rytmiä ja lämmitellä renkaat. Kommenteiksi ohjaajilta lämmittelystä tuli aivan liian kova vauhti mutkiin ja liikaa luisuilua radalla. Myös apexista kauas jääminen mutkissa tuli esille. Ratin käyttö oli liian aggressiivista, sekä seuraavan mutkan huomioon ottaminen oli unohtunut. Parannusehdotuksena oli ratin kääntäminen mutkassa vain kerran, oikeassa kohdassa riittävästi ja mikäli tuntuu, ettei mutka taitu, niin käännetään lisää, mutta ei riuhdota pätkittäin edestakaisella liikkeellä "hakien" ratin oikeaa asentoa. Rauhallsuuteen haettiin apua ajamalla letkassa eli edellä ajoi asiantuntija ja muut tulivat mahdollisimman tarkasti samoja ajolinjoja perässä. Kierrokset aloitettiin tarpeeksi rauhassa, jolloin jokainen pystyi sisäistämään, mistä ajetaan ja hiljalleen lisättiin vauhtia. Lopulta kaikki saivat ajaa omaan tahtiin ja lähes heti vauhdin kovetessa ajolinjat levisivät pitkin rataa. Kuitenkin kaikki kuljettajat paransivat aikoja edelliskerrasta.

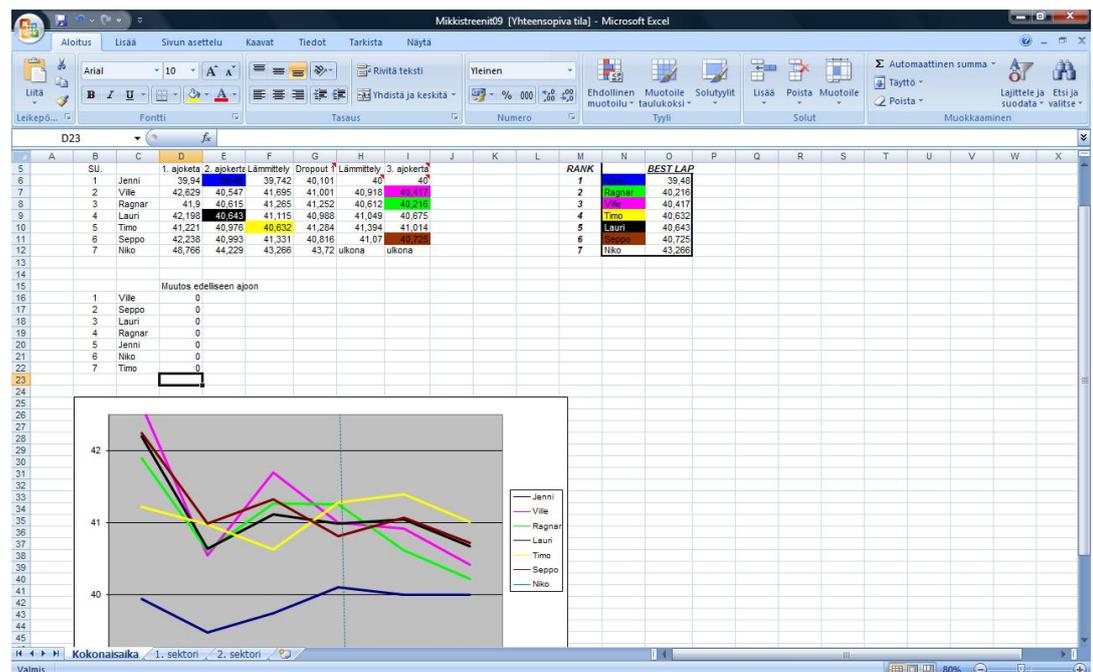
Fyysisesti ensimmäisen kerran ajo tuntui lähes samalta kuin toisen kerran, vaikka ajettiin yli puolet pidempään. Ajoista voi myös päätellä, että kuljettajan painolla ei ole huomattavaa merkitystä rata-aikoihin, sillä sekunnin sisällä olevien kuljettajien painoero oli n. 30 kg. Syy tähän on autojen nopea huippunopeuden saavuttaminen ja nopeuden täysin pysäyttävien mutkien puuttuminen. Rata on jaettu kahteen sektoriin, mikä helpottaa kuljettajien vertailua ja pystytään paremmin, rajaamaan missä kohtaa virheitä tehdään. Haastavimmiksi kohdiksi radassa osoittautuivat mutka nro 4 ja nro 12 (kuva 13). Molemmissa mutkissa nopeus on suurimmillaan ja jarrutuksen on osuttava juuri oikein. Verratessa rataa FSAE-kilpailujen rataa erot ovat radan leveydessä VM: 7 m FS: 4,5 m, keskinopeus VM: 40 - 50 km/h FS: 48 - 57 km/h, huippunopeus VM: 60km/h FS: 105 km/h. Kilpailuissa ajaminen tulee olemaan siis huomattavasti haastavampaa, sillä näkyvyys autossa on huonompi, rata kapeampi ja nopeus suurempi.



Kuva 13. VM Karting Centerin rataprofiili /6/.

4.4.3 Dropout

Kuten kilpailuissa myös harjoituksissa on kyettävä muutamalla kierroksella todistamaan nopeutensa. Tämän takia käytettiin heikompien kuljettajien karsintaa varten dropout-menetelmää. Kolmen harjoitusajokerran jälkeen ajettiin dropout-ajot. Kuljettajilla oli kolme kierrosta, samalla autolla, joista kuljettajan nopein kierros oli merkitsevä. Kaikkien ajettua hitaimman kuljettajan koulutus loppuu. Kuvan 14 olevasta Excel-taulukon käyristä näkee harjoittelun positiivisen vaikutuksen.



Kuva 14. Kuljettajakoulutuksesta tehty Excel-taulukko.

4.5 Kaasun käyttö

Kuljettajan perustehtävä on kaasun annostelu. Mitä pidempään kaasu on avattuna kierroksen aikana, sitä kovempaa kierros kierretään. Kaasu voidaan avata liian aikaisin tai liian myöhään, liikaa tai liian vähän, mutta harvoin oikeaan aikaan oikea määrä. Buddy Fey on tehnyt taulukon /2 s. 133/, jossa on ohjearvoja hetkelle, jolloin kaasu tulisi avata. Taulukossa alle 150 hv autoille, johon formula student luokitellaan, annetaan ohjearvoksi 95 %:n hetki mutkahuippukiihtyvyydestä, jolloin täysi kaasu olisi avattava. Selkeytykseksi siis mikäli mutkassa päästään esim. 1,2 G:n kiihtyvyyteen tulisi kuljettajan mutkasta ulostullessa 1,14 G:n kohdalla painaa kaasu pohjaan. Mikäli auto on kunnossa eikä kitkaongelmia ole, kiihtyvyyden laskiessa 95 %:n alle ennen kaasun avaamista on kuljettaja liian varovainen kaasun käytön suhteen. Vaihtoehtona on tietysti liian aikainen kaasun avaaminen, joka näkyy polkimen hellityksenä ja ylioijauksena. Ammattikuljettajat taitavat myös kaasun jouhean käytön, jotta auto ei muuttuisi levottomaksi kaasun pumpaamisesta.

4.6 Jarruttaminen

Ratkaisevia tekijöitä jarrutuksessa ovat jarrutuspaikka ja jarrutusmatka sekä toistojen samankaltaisuus, nopeus jolla kaasulta siirrytään jarrulle, maksimihidastuvuuden saavuttamisen nopeus, kuljettaja jarrutuksen voimkkuus ja kitkan hallinta jarrutuksen aikana. Metropolian tiimin autoissa ei ole tähän saakka ollut lukkiutumattomia jarruja, joten kuljettajan on ollut opittava jarrujen käytös säästääkseen renkaita ja jarruja erityisesti kestävyysajossa. Tiedonkeruusta saadaan jarrupaineanturin antamat tiedot, joista analysointi suoritetaan. Testeissä on harjoiteltava jarrutusmatkan minimointia sekä suoralla että mutkassa. Pysähtymismatka selviää tiedonkeruusta. Mutkan läpäisy nopeus riippuu todella paljon siitä kuinka hyvin todellinen jarrutusmatka kohtaa kuljettajan jarrutusmatkan kanssa. Olen kuullut puhuttavan, että 80 % mutkan läpäisy nopeudesta määräytyy mutkan ensimmäisen 10 %:n aikana.

Jarrut ovat sellaiset työkalut, joilla voidaan voittaa tai hävitä paljon. Kustannuksien kannalta tilanne on hyvä, kunhan jarrusatulat säilyvät ehjänä eli levyjä ja paloja voidaan kuluttaa. Useimmat jarrupalat on kehitetty niin, että niiden pito paranee kuumetessa, mutta vain tiettyyn pisteeseen saakka. Liian kylmillä paloilla ajaminen on siis hidasta. Kuljettajat onkin opetettava pääsemään mahdollisimman nopeasti huippupitoon, kuitenkin niin etteivät

jarrunesteet ala kiehumaan. Autossa on siis oltava mahdollisuus säätää jarrujen lämpötiloja, joko eri jarrupalamateriaaleilla tai ilmanohjaimilla, jotka ohjaavat eri määrän ilmaa jarruille. Tässäkin kuten kaikissa testeissä on pidettävä tarkkaa kirjanpitoa. Oikeiden säätöjen löydettyä on taltioitava radan keskinopeus, huippunopeus, mutkien määrä, ilman lämpötila ja ilmankosteus. Näiden tietojen perusteella voidaan valita kilpailupäivänä suunnilleen oikeat jarrut.

4.7 Ergonomia

Kuljettajalle ratkaisevassa roolissa on mukavuus ohjaamossa. Mikäli kuljettaja saa itselleen sellaisen ajoasennon, jossa hän pystyy käyttämään parhaiten fysiikkaansa, on tulos sen mukainen. HPF008-auto on suunniteltu mahdollisimman pieneksi ja kuljettajan ajoasento on tehty hyvin makaavaksi. Seurauksena kuljettajan kädet ja rintalihakset väsyivät nopeasti ja pidemmällä kuljettajilla raajat kolahtelivat runkoputkiin. Yksi vaihtoehto on tietysti kuljettajan lähettäminen kuntosalille treenaamaan lihaksiaan, mutta koska tiukka aikataulu auton valmistumisen suhteen ei sitä useimmiten salli, on helpompaa suunnitella toimiva ohjaamo. Kuljettajan työn helpottamiseksi yksi idea olisi ohjaustehostimen suunnittelu autoon. Ohjaustehostimen voisi kehittää esim. mönkijän ohjaustehostimesta, joka on suhteellisen kompakti. Tästä seurauksena on tietysti painonlisäys ja yksi komponentti lisää, johon voisi tulla ongelmia, mutta samalla kuljettajat pystyisivät parempiin suorituksiin, koska eivät väsyisi niin pahasti ja design-kilpailuosiossa tuomarit varmasti osaisivat arvostaa ajatusta.

Toimiva ohjaamo perustuu toimivaan tilamalliin, joka valmistetaan suunnittelun pohjalta vielä siinä vaiheessa, kun muutokset ovat mahdollisia. Tilamalli on siis ohjaamon suunnittelun fyysinen viimeistelytyökalu, jossa kuljettajat käyvät vuorollaan istumassa ja kommentoimassa ”työpistettään”. Seuraavaksi suunnittelu lyödään lukkoon ja ohjaamo tulee tilamallin mukaiseksi. Haasteena ohjaamon suunnittelussa on tietysti kuljettajien laaja spektri. Kauden 2009 kuljettajat vaihtelivat 160 cm:n ja 185 cm:n väliltä ja paino vaihteli 40 kg:n verran kevyimmästä painavimpaan. Tähän haasteeseen eivät monet kilpa-autosuunnittelijat joudu, koska yleensä kuljettajia on yksi. Ratkaisuna Metropolian tiimi käyttää säädettäviä polkimia sekä kuljettajan mukaan muotoiltuja lisäpehmusteita niille kuljettajille, jotka sellaista tarvitsevat.

Ohjaamoja suunniteltaessa on hyvä perehtyä hieman ihmisen fysiikkaan. Minkälaiset liikeradat käsillä ja jaloilla on? Millä kohdalla jalkapohjaa polkimia painetaan? Näkyvätkö renkaat keilojen väistämistä varten? Pääseekö kuljettaja sääntöjen vaatimassa ajassa ulos autosta jne. Näihin kysymyksiin vastaukset vaihtelevat vuodesta toiseen auton ja kuljettajien mukaan. Ammattikuljettajat harjoittelevat äärimmäisen paljon fyysistä puolta, joten tästä ei varmasti ole haittaa opiskelijakuljettajille. Muutaman ajokerran jälkeen jokainen kuljettaja varmasti tietää, mikä paikka hänellä väsy nopeimmin, ja treenaaminen on tehtävä tämän pohjalta. Samalla on muistettava, että sarjassa ei ole rajoituksia auton tai kuljettajan painolle, joten kova työ auton painon karsinnassa ei saa tuhoutua kuljettajan painon alle.

4.8 Mielikuvaharjoituksia

Kaikkien lajien huiput harjoittelevat suorituksiaan käymällä niitä mielessään läpi. Myös tähän sarjaan se on sovellettavissa. Kuljettaja sulkee silmänsä ja kuvittelee jonkin radan, jota hän ajaa. Samalla toinen henkilö ottaa aikaa ja aina kun kuljettaja sanoo kiertäneensä kierroksen, aika pysäytetään. Tavoitteena on, että kuljettaja pääsee mahdollisimman lähelle samaa aikaa kierros toisensa jälkeen mielessään ja samoihin aikoihin todellisuudessa. Hyötynä harjoituksesta on radan muistaminen, nopeuden hahmottaminen ja halpa tapa harjoitella. Tämä harjoitus on kuitenkin mahdollinen vasta, kun kuljettaja on päässyt muutamaa otteeseen ajamaan autolla, jolloin pystytään kuvittelemaan mahdollisimman oikein vaihteiden vaihdot jne. On muistettava, että kuljettaja on vain ihminen ja mielikuvaharjoittelun lisäksi on huolehdittava muutenkin kuljettajan henkisestä latautumisesta. Tällä tarkoitan ihmissuhdetaitojen perusasioita, että kehutaan kun onnistumisia tulee ja yritetään kääntää epäonnistumiset positiivisemmaksi.

5 TESTEIHIN VALMISTAUTUMINEN

5.1 Testien tarkoitus

Tärkeimpiä asioita ovat pidon löytäminen autolle, kuljettajien tottuminen autoon ja osien kestävyys testaus. Koko testikauden aikana on korostettava tarkkuutta, sillä testit ovat merkityksettömät, mikäli niitä ei voida toistaa eri säädöillä, jolloin säätöjen vaikutus todetaan. Tietojen järjestelmällinen arkistointi auttaa kilpailupaikalla oikeiden säätöjen asentamisessa. Tiimiläisiä voisi motivoida jonkin arvostetun autourheilusarjan testeissä mukana olemisella. Asian järjestäminen on täysin toteutettavissa, ja hyöty voi olla huomattava. Asioiden oppiminen käy eri ihmisillä eri tavalla, ja tämän takia erityisesti kuljettajien ja testivastaavien on opetettava asioita tekemällä, katsomalla, lukemalla ja kuulemalla.

5.2 Testikauden aloitus

Edellisen kauden päätyttyä ja seuraavaa kautta suunniteltaessa on huomioitava, miten edellisen auton testaus sujui ja mitä seuraavalta testikaudelta halutaan. Realistista on suunnitella n. kaksi testiä viikkoon testikauden aikana. Moottorin säädetään pitkälti ajamalla dynamometrillä, joten suurimmat säädöt radalla ovat alustamiesten käsissä, ja onkin toivottavaa, että testivastaava tulisi alustaryhmästä.

5.3 Testisuunnitelma

Testit aloitetaan testipalaverilla, jossa laaditaan testaussuunnitelma. On tiedettävä tarkkaan, mitä tullaan testien aikana tekemään, jotta kaikki tarvittavat työkalut ja varaosat voidaan ottaa mukaan sekä säästetään aikaa, kun tiedetään tarkkaan, mitä seuraavaksi tehdään. Testisuunnitelmaan merkitään testeissä mukanaolijat ja heidän yhteystietonsa ja vastuualueensa. Mikäli autoa on ehditty jo testaamaan, käydään pikaisesti edellisen testin tärkeimmät kohdat läpi ja mietitään, pitääkö edellisen testin asioihin vielä puuttua. Tärkeintä on, että jokaisessa testissä on tavoite. Sen on tultava selvästi esille suunnitelmassa, jotta jokainen tietää varmasti, miksi radalla ollaan. Testien aikana tulee aina yllätyksiä, joihin ei osata varautua. Kuitenkin sään suhteen on pystyttävä mukautumaan, niin että on oma suunnitelma kuivalle

ja sateiselle säälle. Auto on laitettava palaverin jälkeen sellaiseen kuntoon, että radalla voidaan käynnistää auto ja aloittaa testien ajaminen.

Ossi Oikarisen pitämässä Race Engineering Basics-kurssilla /4/ tulivat seuraavat kohdat esille testauksen toteutuksesta:

- Tutustuminen rataan ennen ajoa kuljettajan kanssa
- Radan piirustus mutkien numeroineen insinöörille ja kuljettajalle
- Run Plan eli suunnitelma testille
- Setup sheet nro 1 mekaanikolle
- Rengaspaine kylmänä rengasmekaanikolle
- Vaihtoehtoinen ohjelma, jos sää muuttuu
- Aamulla kokous, jossa suunnitelma ja testattavat asiat käydään läpi
- 30 min ennen testin alkua radioiden tarkistus
- Testin aloitus ajallaan. Ei myöhässä! Run sheet (Kirjanpito)

5.4 Testipaikka

Lähtökohta testisuunnitelmalle on paikan valinta, jossa testit tullaan suorittamaan. Valitettavasti Suomen talvi rajoittaa talvella pidettävät testit sisäradoille, jotka eivät vastaa kilpailuolosuhteita. Kesäisin tiimi käyttää useampia ulkoratoja, mutta tärkein on lähimpänä sijaitseva Tattarisuon kartingrata. Ennen testejä on sovittava testauspaikan kanssa järjestelyistä. Usein testiaika rajoittuu n. 4 tuntiin, jolloin aikataulun pitävyys on oleellisessa osassa. Tuloksia voi saada myös suunnittelemalla testikaudelle testausviikon, jolloin koko tiimi matkustaisi sovittuun paikkaan testaamaan. Ongelmana on rajallinen budjetti ja auton rakennukseen kuluva aika. Mikäli testiviikon pitäminen onnistuisi, voisi sitä pitää urheilutermein ”viimeistelyleirinä”, jossa voidaan harjoitella koko kisan läpikäyntinä.

5.5 Kalusto

Metropolia Motorsport -tiimin on otettava huomioon testeihin lähtiessä oppilaitoksessa muiden tarpeet eli on varattava ajoissa kuljetus- ja muu kalusto,

joka on koko organisaation käytössä. Testisuunnitelman liitteenä on oltava testiaikataulu ja kaikkien mukanaolijoiden puhelinnumerot ja tehtävät. Testeille on myös valittava vastuuhenkilö, joka pitää huolta aikataulun pitävyydestä tai mahdollisesti pois jätettävien testien priorisoinnista sekä on mukana testien alusta loppuun ja varmistaa kaiken sujuvuuden.

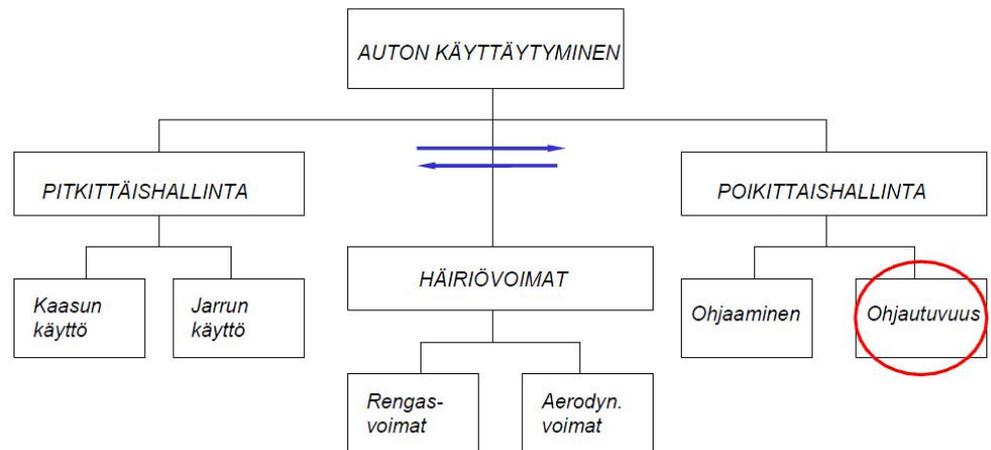
5.6 Pakkaaminen

Jokainen osa-alueen johtaja on vastuussa oman osa-alueensa toimivuudesta. Mikäli johtaja ei itse pääse testeihin, on hänen kerrottava selvästi testisuunnitelmaan, kuka hänet korvaa. Pakkaaminen suoritetaan sovittuna aikana ja osa-alueen johtajat pitävät huolen, että testisuunnitelman kaikki osat voidaan heidän puolestaan suorittaa ja kaikki tarvittava on mukana. Ennen auton pakkaamista tai edellisenä iltana käynnistetään auto ja varmistetaan sen toimivuus, jotta ei tarvitse mennä radalle asti toteamaan esim. ohjausvaihteen olevan halki. Jokaisella osa-alueella on oma tarkastuslista, joka käydään läpi.

6 TESTIEN LÄPIVIENTI

6.1 Auton käyttäytyminen

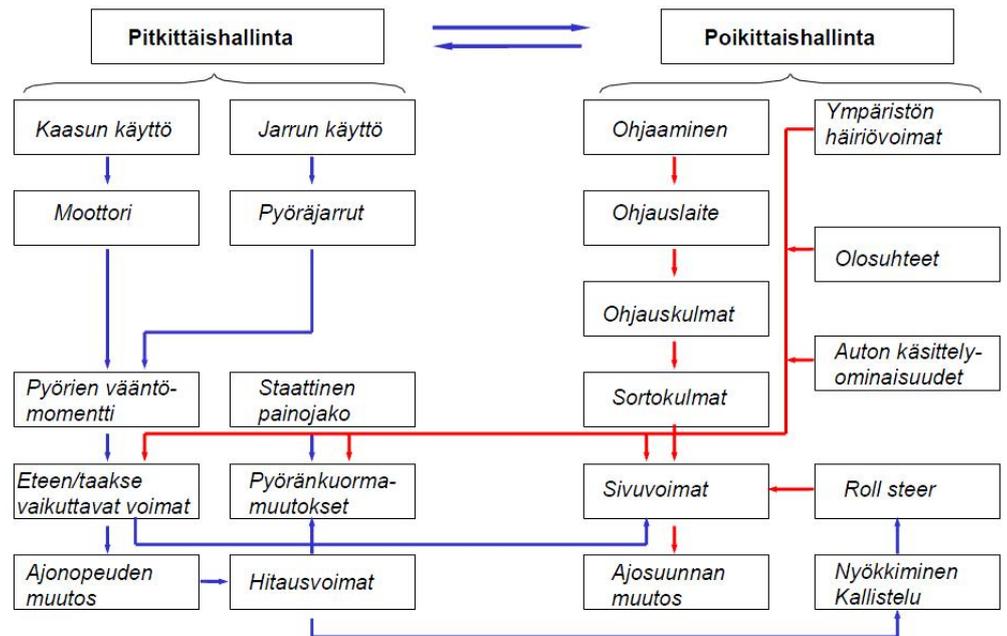
Ensimmäisten testien tarkoitus on ajaa auto sisään sekä varmistaa kaikkien osien toiminta. On hyvä antaa jokaisen kuljettajan kommentoida autoa puolueettomasti, ts. ilman että tietää, mitä muut kuljettajat ovat sanoneet; näin varmistetaan objektiivinen näkemys jokaiselta ajajalta. Tärkeintä ensitestien kannalta on ajon jälkeen auton tarkastus, joka suoritetaan erityisen huolellisesti. Tarkastuksessa on hyvä käyttää kilpailujen katsastuksessa käytettävää listaa (liite 2). Kuljettajan kanssa on käytävä läpi kuvan 15 mukaiset auton käyttäytymiseen liittyvät asiat. Läpikäynti voi olla yksinkertaisesti kohta kohdalta hyvä tai huono ja perustelut. Aerodynaamisiin voimiin on hankala vastata, koska autossa ei ole siipiä ja nopeudet ovat pieniä, mutta asiaa voidaan sivuta, mistä ei varmasti ole haittaa. Kuljettajakoulutusosiossa käydään läpi sekä pitkittäis- että poikittaishallinta kuljettajan näkökulmasta.



Kuva 15. Auton käyttäytymiseen vaikuttavat voimat /3/.

6.1.1 Auton läpikäynti testeissä

Testikauden mennessä eteenpäin kuljettajalle on osattava esittää oikeanlaisia kysymyksiä autosta kehitystä varten. Kuljettaja usein huomaa itse ajon aikana vain dramaattiset ongelmat, mikäli sellaisia esiintyy.



Kuva 16. Pitkittäis- ja poikittaishallinnan osa-alueet /3/.

Kuvan 16 kaava auttaa ymmärtämään auton käyttäytymisen kokonaisuutta ja miten yksi asia vaikuttaa seuraavaan. Tätä kaavaa on hyvä käyttää ongelmien esiintyessä, mutta myös silloin, kun kaikki näyttää toimivan hyvin, koska kaiken voi tehdä paremmin. Varsinkin, jos tavoiteajat ovat kaukana ja kuljettajan mielestä auto on ihan OK, tarvitaan joku mikä viittaa mihin suuntaan autoa muutetaan.

6.1.2 Kysymyksiä kuljettajalle

Auton hyvien säätöjen löytäminen on usein monen tekijän summa. Tiedonkeruun perusteella päästään pitkälle, mutta auton on myös sovittava kuljettajalle. Nämä kaksi voivat olla ristiriidassa toisiinsa. Tässä tapauksessa on alettava kuljettajan kautta kehittämään sopivinta kompromissia, jolla päästään mahdollisimman lähelle teoreettista auton suorituskyvyltistä rajaa. Kysymykset kuljettajalle eivät saa olla alussa johdattelevia, mutta kyllä sellaisiakin joutuu käyttämään, jos ei muuten asia etene.

- Voiko mutkan X vetää täydellä kaasulla? Miksi ei?
- Vakioympyrää ajettaessa kumpi pää luistaa ensin?
- Ovatko jarrut tasapainossa?
- Onko mutkasta ulostulossa vaikeuksia?

6.2 Testausmenetelmiä

Hyvät testausmenetelmät ovat kilpailuissakin käytävät skidpad ja kiihdytys. Kilpailuosioiden lisäksi (8 ja kiihdytys) on oltava myös muita vakiintuneita testaustapoja, joilla pystytään päättelemään säätömuutoksen aiheuttama vaikutus. Pujottelu tietyn välimatkan päähän asetettujen keilojen välillä kertoo paljon auton ketteryydestä ja on helppo toistaa. Auton käyttäytyminen ääritilanteissa voidaan kokeilla eri nopeuksilla suoritettavasta ns. väistökokeesta, jossa auto käännetään pois alussa olleelta ajolinjalta auton verran, suoritetaan auto uudelle ajolinjalle ja käännetään auto takaisin alkuperäiselle ajolinjalle. Ajolinjat rajataan keiloilla. Auton nopeus määräytyy matkasta liikkeellelähtöpisteestä väistökohtaan. Mitä kauempaa auto päästetään liikkeelle, sitä rajumpi väistö saadaan aikaan. Matka on kuitenkin pidettävä sellaisena, että kuljettaja ei joudu jarruttamaan ennen väistöä. Samalla kuljettaja saa lähtöharjoituksia. Testissä pitäisi tulla esille auton ali- tai yliohjaus. Vastaavia testimenetelmiä voidaan keksiä useita, mutta tärkeintä on niiden toistettavuus. Vertailemalla tuloksia saadaan aikaan kehitystä, mutta vertailu on turhaa tai mahdotonta, ellei samaa testiä voida suorittaa uudestaan.

Coast down -testi

Testillä saadaan tietää autoon vaikuttavat vastustavat voimat. Mikäli resurssit antavat myöten, olisi ihanteellista suorittaa testi tuulitunnelissa. Budjetin ollessa tiukka voidaan testi tehdä myös tynellä säällä sileällä asfaltilla. Auto kiihdytetään ennaltamäärättyyn nopeuteen, vaihdetaan vaihde vapaalle ja annetaan auton rullata alempaan ennaltasovittuun nopeuteen. Seuraavaksi katsotaan tiedonkeruusta auton hidastuminen tietyssä ajassa, jolloin saadaan keskihidastuvuus (m/s^2). Keskihidastuvuus kerrotaan auton kokonaispainolla (kuljettaja mukaan lukien), jolloin saadaan vastustavien voimien määrä (N). Auton hyvä rullaaminen vaikuttaa lähes kaikkiin kilpailuosioihin. Tämä on myös helppo tapa tutkia auton kunto voimansiirtoa lukuun ottamatta, ovatko laakerit kunnossa, laahaavatko jarrut tms.

Coast down -testiä voisi ajatella jokaisen testirupeaman ensimmäisenä testinä, jolla varmistetaan auton tekninen kunto. Riittää kun radalle merkitään kaksi kohtaa, virallisen mittauksen alku- ja loppukohta ja katsotaan silmä-

määräisesti, kuinka lähelle päästään. Toivottavaa on, että testikauden aikana saadaan muutama metri lisää liukumatkaan.

6.3 Jouset

Aluksi on saatava selville suurten säätöjen vaikutukset ja viimeisimmissä testeissä hienosäädetään ja yhdistellään eri säätökombinaatioita. Toiset testit vietetään jousien valinnan parissa. Kaikki kuljettajat pääsevät ajamaan kaikilla jousivaihtoehdoilla omissa olosuhteissa, ts. kaksi kuljettajaa ajavat kiihdytystä ja kahdeksikkoo tai ovaalia riippuen testipaikasta sekä kaksi tulevat ajamaan rata-ajoa. Teoriassa pehmeillä jousilla sallitaan auton suurempi kallistelu ja näin parannetaan pitoa kaarretilanteissa, koska mutkan sisäpuoleiset renkaat pysyvät paremmin tiessä. Haittavaikutuksena on auton hidas toiminta ääritilanteesta toiseen, eli kallistelu vasen oikea vasen mutkissa on suurempaa ja näin vie enemmän aikaa ja auto muuttuu holtittomaksi ja tämän takia mutkiin ajetaan hitaammin. Näiden tietojen perusteella rata-ajoon tarvitaan todennäköisesti jäykemmät jouset kuin kahdeksikkoon ja kiihdytykseen. Testien tavoitteena on saada toisilla jousilla auto niin jäykäksi, että mutkissa sisärenkas olisi ilmassa ja toisilla jousilla mahdollisimman hyvin kaikki renkaat maahan. Vertailukohteena ovat kierrosaika, maksimikiihtyvyydet ja kuljettajan kommentit.

6.4 Camber

Mutkissa renkaan pidon kannalta on kaksi päätekijää: painojakauma ja cambersäätö. Useimmissa kaarteissa renkaaseen tulee positiivista camberia, jolloin säädöillä kompensoidaan renkaan kallistumaa maksimaalisen pitopinta-ala saamiseksi. Alustaryhmällä on käytössä simulointiohjelma, jonka perusteella säätöjä suoritetaan. Testeissä vertaillaan eri kuljettajien sekä omia suorituksia että muihin verrattuna rata-ajoa, 8-ajoa sekä keilapujottelua. Vertailukohteena ovat kierrosaika, maksimikihtyvyydet ja kuljettajan kommentit. Testien tavoitteena on saada mahdollisimman hyvä aika juuri 8-ajosta, sillä säätövaikutusten pitäisi näkyä parhaiten siellä.

6.5 Caster

Caster tunnetaan myös renkaan etujättönä, joka auttaa renkaiden suoristamisessa ja auton suoraan kulkemisessa. Tämä johtuu renkaan kosketuspinn-

nan ja kääntöakselin välisestä renkaita suoristavasta momentista. Ilman ohjaustehostinta kuljettaja joutuu joka käänöksessä käyttämään voimiansa tätä momenttia vastaan, joka väsyttää kuskin ja virheet tulevat todennäköisimmiksi. Casterin lisääminen kuitenkin auttaa autoa kääntymään ketterämmin, koska käänöksessä ulomman renkaan camber-kulma menee negatiivisemmalle ja näin pito paranee. Etujätön lisäämisen myötä ohjaustuntuma autoon paranee, sillä kuljettaja tuntee ohjauksen raskaudesta sivuttaiskiivetyvyyden, joka yrittää suoristaa renkaita. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että tuntisi myös pidon menetyksen.

6.6 Auraus ja haritus

Auton tasapainoisen käytöksen saavuttamiseksi on säädettävä pyöränkulmat kohdalleen. Renkaat ovat aurauksen puolella, jos auton menosuuntaan olevien renkaiden etureunat ovat lähempänä toisiaan kuin takareunat. Haritus on päinvastaista. Renkaat voivat tietysti myös olla nollakulmassa, jolloin kumpaakaan, aurausta tai haritusta, ei ole. Aurauksella saadaan auto menemään paremmin suoraan, harituksella auto kääntyy paremmin ja pyöränkulmien ollessa nolla on suoraan ajettaessa renkaisiin kohdistuva sortokulma nolla ja näin rengas rullaa paremmin. Rullaamiseen vaikuttavat toki muutkin säädöt, kuten camber, josta syntyy sivuvoimia. Haittapuolena aurauksessa on huonompi kääntyvyys, harituksessa auton vetely suoralla, ja nollakulma on kaikin puolin neutraali eli siinä ei ole hyviä eikä huonoja puolia. Renkaiden kulumiseen voidaan myös vaikuttaa pyöränkulmamuutoksilla. Nopein tapa on rengaslämpöjen tarkkailu ja havaintojen perusteella muutosten tekeminen haluttuun suuntaan. Mutkat, jarrutukset ja kiihdytykset muuttavat jatkuvasti pyöränkulmia. Nämä muutokset tunnetaan nimillä bump steer ja roll steer.

Bump steer eli jousto-ohjaus tapahtuu yleensä jarrutuksen tai kiihdytyksen yhteydessä, jolloin akselin kummankin renkaan jousitus muuttuu saman verran ja näin aiheuttaa muutoksia ohjauskulmiin. Roll steer eli kallistumajousto taas on yleensä käänöksestä johtuva ohjauskulmiin tuleva muutos, jossa toisen renkaan jousitus pitenee ja toisen lyhenee.

6.7 Renkaiden lämpötilojen seuranta

Ongelmana usein on renkaiden liian alhainen lämpötila, jolloin on valittava pehmeämpi rengasseos, vaihtaa rengasmerkkiä tai tehdä muutoksia autoon,

jotta päästään renkaiden parhaaseen toimintalämpötilaan. Aliohjauksella ja yliohjauksella saadaan helposti eroja lämpötiloihin, kuvasta 17 selviävät autoon tehtävät muutokset halutunlaisen ohjauksen savuttamiseksi. Renkaiden lämpötila tulisi tarkistaa aina auton tullessa varikolle. Lämpötilat katsotaan renkaiden kolmesta kohtaa reunoista ja keskeltä. Renkaat lämpenevät enemmän sieltä, mistä renkaat joutuvat kovemmalle rasitukselle ja tulevat kulumaan kuumimmasta kohdasta ensimmäisenä. Tämä lämmin alue on saatava mahdollisimman laajaksi, jolloin rengas kuluu tasaisesti ja pitoalue on suurimmillaan. Renkaat kuitenkin alkavat menettää pitoa tietyssä lämpötilassa. Tämä lämpötila on otettava selville kullekin renkaalle, jotta renkaat eivät turhaan kuluisi. Tiimillä on käytössä myös rengaslämpöanturit, jotka ovat kiinnitettyinä jokaisen pyörän yläpuolelle ajon aikana tapahtuvaa tiedontalennusta varten. Tämä saattaa kuitenkin olla epäluotettava tapa lämpötilojen seuranta varten, koska anturit mittaavat ilmaa eivätkä kumia, eli tulokseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. ulkoilman lämpötila, ajonopeus, kuinka hyvin anturit pysyvät samassa kohdassa ja muista komponenteista hehkuva lämpö.

□ Toimenpiteet pyrittäessä neutraalimpaan ajokäyttäytymiseen

	ALIOHJAUTUVA	YLIOHJAUTUVA
	<i>Etuakseliston sivupitoa lisää</i>	<i>Taka-akseliston sivupitoa lisää</i>
<i>Painopiste</i>	Taaksepäin	Eteenpäin
<i>Etujousitus</i>	Pehmeämmäksi	Kovemmaksi
<i>Takajousitus</i>	Kovemmaksi	Pehmeämmäksi
<i>Kallistuksen vakaaja</i>	Edestä löysemmäksi tai takaa jäykemmäksi	Takaa löysemmäksi tai edestä jäykemmäksi
<i>Renkaat</i>	Pitävämmät eteen	Pitävämmät taakse
<i>Rengaspaineet</i>	Edestä pois tai taakse lisää	Takaa pois tai eteen lisää
<i>Ajokorkeus</i>	Keulaa alas tai perää ylös	Keulaa ylös tai perää alas
<i>Camber-kulma</i>	Eteen negatiivisemmaksi tai takaa positiivisemmaksi	Taakse negatiivisemmaksi tai eteen positiivisemmaksi
<i>Aerodynamiikka</i>	Lisää aerodyn. painoa eteen tai vähemmän taakse	Lisää aerodyn. painoa taakse tai vähemmän eteen

Taulukko 1. Säätojen vaikutukset auton käyttäytymiseen /3/.

6.8 Testisuunnitelmaesimerkki

Testisuunnitelma on hyvin monesta tekijästä riippuva asia ja ensisijaisesti on löydettävä menestyksen kannalta heikoin lenkki ja otettava se silmätikuksi

kuten myös tiimin vahvin ala, joka tulee hioa huippuunsa. Tässä esimerkki, miten testikausi voisi lähteä liikkeelle. Haasteena on asetusten säädön järjestys. Auton yli- tai aliohjatessa on usein kokemus, joka määrää ensimmäisen säätökohteen, jonka vaikutus on merkittävin. Kaikkia säätömahdollisuuksia ei mahdollista testata. Mikäli otetaan 3 vaihtoehtoa jousien, camberin, casterin, aurauksen & harituksen ja rengaspaineiden suhteen kombinaatioita tulee $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 243$ ja nämä kaikki tulisi kokeilla samoissa oloissa samalla kuskilla jne. Toisin sanoen testaus on todella hankala toteuttaa. Mikäli vaikutukset kokeillaan erikseen eri komponenteille, vaihtoehtoja jää vain 15, mikä on mahdollista toteuttaa. Jotta eri muutosten vaikutukset tulisivat esille, on valittava tarpeeksi suuri ero eri asetuksille.

1. Ajetaan ovaalia rataa 10 kierrosta molempaan suuntaan ja tutkitaan sen jälkeen auto.

Vertailukohtia: kolmen eri jousivaihtoehdon vaikutuksia, camber, caster, auraus & haritus, rengaspaineet

2. Kahdeksikkoharjoittelu em. vertailukohtia käyttäen
3. Kiihdytys harjoittelu em. vertailukohtia käyttäen
4. Rata-ajo em. vertailukohtia käyttäen
5. Jarruttaminen, suoralla, mutkaan (ajoharjoittelu), säädöt kuljettajan toiveen mukaan
6. Pujotteluharjoittelu, painonsiirtovaikutukset, transient vaiheet
7. Endurance-ajo kokonaisuudessaan (riittääkö polttoaine jne.)
8. Vertailukokeita vanhaan autoon, samaan aikaan useampi auto radalle eri asetuksilla ja annetaan kuljettajien kommentoita.

7 PÄÄTELMÄT

Testaustoiminnan onnistuminen riippuu paljon siitä, miten aikaisessa vaiheessa auto saadaan ajokuntoon, sekä testivastaavasta, joka suunnittelee testit. Rajoittavia tekijöitä ovat myös rata-aika ja tiimin pieni koko. Yksi ajatus olisikin, että oppilaitos järjestäisi kurssin, jossa esim. 3. vuosikurssin opiskeli-

jat pääsisivät mukaan tiimin testaustoimintaan. Autoa ajaisi tietysti joku tiimiläisistä ja vetovastuussa olisi testivastaava. Testit toteutettaisiin autolaboraatiotyylisesti eli jokaisesta testistä tehtäisiin raportti, jonka perusteella arvostukset annettaisiin. Tämä asettaisi tiimille aikarajoja testien suhteen, sillä kerran viikossa olisi kurssin takia pakko mennä ajamaan. Testivastaava tekisi testisuunnitelman, kävisi sen läpi mukanaolijoiden kanssa ja jakaisi vastuualueet. Testit käytäisiin läpi, joku kirjoittaisi raportin, josta saataisiin tärkeät tiedot talteen. Testivastaava kävisi testin tulokset läpi tiimin kanssa ja samalla keskusteltaisiin seuraavan testin tavoitteista. Tämä olisi kaikille osapuolille edullista. Opiskelijat pääsevät mielenkiintoiselle kurssille, tiimiläiset voivat keskittyä staattisiin osa-alueisiin paremmin, testeistä saataisiin laajemmat raportit ja tiimin ulkopuolelta uusia ajatuksia toimintaan. Kurssin vastaavana toimisi kuitenkin opettaja, joka näkisi toimintaa vuodesta toiseen ja pystyisi kokemuksellaan auttamaan tiimiä kehityksessä. Hölmöintiä olisi tehdä vuodesta toiseen samoja virheitä vain, koska edellisen porukan virheistä ei tiedetä. Haasteena on auton toimiminen, millainen sää sattuu olemaan, opiskelijoiden mielenkiinto ja huolellisuus. Samalla testejä voidaan käyttää uusien tiimiläisten rekrytointiin. Suurin työ tulisi olemaan testivastaavalla, joka joutuu todella suureen vastuuseen siitä lähtien, että kaikki on varmasti autossa kunnossa kun säätömuutoksen jälkeen radalle palataan. Tämän ei kuitenkaan pitäisi olla ylitsepääsemättömän hankala asia kunhan henkilö, joka testivastaavana toimii, pystyy olemaan selvä johtaja, joka määrää testeissä tahdin.

Testivastaava on se henkilö, joka toimii linkkinä auton ja kuljettajan sekä auton ja mekaanikkojen välillä. Hänen on oltava ryhmänjohtaja ja hengenluoja. Testit ovat auton kehitystä varten, joten testivastaavan on oltava luonteeltaan kokeilunhaluinen ja kehittävä. Samalla on pystyttävä hallitsemaan kokonaisuutta, sillä aika loppuu jossakin vaiheessa, joten silloin on auton tärkeimpien asetusten oltava kunnossa. Mikäli keskitytään koko testikauden aikana hiomaan jotakin yhtä kohdetta, niin jokin toinen säätökohde jää hoitamatta. Kokonaisuuden ymmärtäminen myös yhdelle testikerralle on merkittävä, sillä on muistettava auto ja siihen tarvittavat osat sekä työkalut, kuljettaja niin radalla kuin logistisella puolella, kuljetuskalusto, sopiminen radan kanssa testaamisesta ja mahdolliset muut yllättävät tilanteet, joihin on voitava sopeutua.

Kilpiluissa nähdään monilla tiimeillä parhaan ja seuraavaksi parhaan kuljettajan välillä huomattava ero. Metropolia Motorsport ei ole poikkeus. Auto on ollut kilpailukykyinen jo useita vuosia, mutta voitto on vieläkin vain tavoitteena. Tavoitteen saavuttamiseksi on panostettava paljon enemmän kuljettajiin. Autocrossissa kuljettajien ero ei saa olla useita sekunteja, mikä yksiselitteisesti merkitsee toisen kuljettajan jättävän huomattavan potentiaalin autosta käyttämättä. Tiimillä on useita autoja, jotka voidaan pitää ajokuntoisina ja jatkuvassa harjoituskäytössä.

VIITELUETTELO

- [1] Milliken William F. – Milliken Douglas L., Race Car Vehicle Dynamics, USA: SAE. 1994.
- [2] Segers Jörge, Analysis Techniques for Racecar Data Acquisition, SAE International. 2008.
- [3] Petri Kydön opetusmateriaali, Helsingin ammattikorkeakoulu Stadian autotekniikan kurssi. Helsinki. 2006.
- [4] Ossi Oikarisen opetusmateriaali, Race Engineering Basics -kurssi. Helsinki. 2007.
- [5] Aleksi Malisen Formula SAE -kilpa-auton jousituksen suunnittelu. Metropolia ammattikorkeakoulu, Opinnäytetyö, Auto- ja kuljetustekniikka, Helsinki, 2008.
- [6] VM Karting Center, Rataprofiili. [verkkodokumentti, viitattu 15.10.2009]. Saatavissa: <http://www.vmkarting.com/>
- [7] GTR2 MoTeC i2 Pro –ohjelma. 2009.
- [8] Society of Automotive Engineers, 2009 Formula SAE rules. [verkkodokumentti, viitattu 15.10.2009]. 2009. Saatavissa: <http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/>

LIITTEET

Liite 1 testipohja

TESTING SHEET nro. _____

PAIKKA:	ILMA:	SÄÄ:
AIKA: . . .2009 klo.	°C	aurinko / puolipilvinen / pilvinen/ sadetta

KUSKI:	RATA: °C	kuiva / kostea / märkä
--------	-------------	------------------------

ISKARIT:		
	etu	taka
LC		
HC		
RB		

JOUSET:		
	N/mm	lbs
edessä		
takana		

VAKAAJA:			RENGASKULMAT:		
etu:	TAKARATAS:	camber	etu	taka	
taka:	PERÄ: lukko / norm	auraus	° ' °	' °	' °

RENKAAT:				AUTON KOR- KEUS:		
	slicsit / sade		bar / °C	edessä	mm	mm
VE	/	OE	/	takana	mm	mm
VT	/	OT	/	öljypohja	mm	mm

kierros	aika	k.keilat	muuta:
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

radalta tullessa:			
RENKAAT	bar / °C		bar / °C
VE	/	OE	/
VT	/	OT	/

PARAS KIERROS:

Liite 2. katsastuslista

2009 Formula Student MSA SCRUTINEERING SHEET	
CAR NUMBER:	
SCHOOL:	FACULTY ADVISOR SIGNATURE
SEF SUBMITTED? YES/NO	
ENGINE MODEL:	
ENGINE BORE X STROKE:	NUMBER OF DRIVERS:
ABS? YES/NO	TALLEST DRIVER: HEIGHT:
IMPORTANT	
ALL RED SECTIONS OF THE MSA AND TECH FORMS MUST BE CHECKED BY THE STUDENTS BEFORE ARRIVAL AT SCRUTINEERING THE FORM MUST BE SIGNED BY THE FACULTY ADVISOR TO CONFIRM THAT THE CAR HAS BEEN CHECKED	
NOTE - IF THERE IS A CONFLICT BETWEEN THIS FORM AND THE RULES, THE RULES PREVAIL	
PART 1	
SAFETY INSPECTION	
DRIVER'S EQUIPMENT	
HELMETS - Snell SA2000, SA2005, BS 6658-85 Type A or A/FR (not Type B). FIA 8860-2004. Closed Face, no Open Face. Non-UK teams can use other helmets specified in 2009 FSAE regulations	DRIVERS' SUITS - FIA 1986 or 2000 Standard, or other standards as approved by MSA (see supplementary regs) and LABELED AS SUCH. Note for non-UK teams SFI 3-2A/1 is allowed.
SOCKS - Nomex, wool or cotton No polyester. No bare skin.	GLOVES / SHOES - Fire resistant material. No holes. No all-leather gloves.
GOGGLES / FACE SHIELDS - made of impact resistant material.	FIRE EXTINGUISHERS - Two (2) hand-held, 0.9 kg (2 lb.) minimum, dry chemical (10BC, 1A10BC, 34B, 5A 34B, 20BE or 1A 10BE), or 1.75litres AFFF, extinguishers; 1 WITH CAR , 1 in paddock. (Must see BOTH at Tech.). On-board fire system encouraged as alternative to hand-held that moves with car. On-board hand-held extinguisher NOT ALLOWED. Halon extinguishers no longer allowed.
ARM RESTRAINTS - Must be installed so the driver can release them and exit unassisted regardless of vehicle's position.	
HAIR COVER - Fire resistant (Nomex or equiv.) balaclava of full helmet skirt REQUIRED FOR ALL DRIVERS.	
STEERING, SUSPENSION, BRAKES	
STEERING - On at least two wheels with positive stops to prevent linkage lock up or tires contacting any part of the car. 7 degrees max. freeplay at the steering wheel. NO STEER-BY-WIRE on front wheels. Rear steer limited to + or - 3 deg. with mechanical	SUSPENSION - Fully operational with dampers front and rear; 50mm (2.0 in) minimum wheel travel with driver in vehicle.
SUSPENSION PICK-UP POINTS - Inspected thoroughly for integrity.	FASTENERS - Steering, braking, harness and suspension systems must use SAE Grade 5 or Metric Grade M8.8 or higher specs (AN/MS) with visible positive locking mechanisms, no Loctite or lock washers. Minimum of 2 exposed threads. Rod ends in single shear must be captured by a washer larger than the ball diameter. Adjustable rod ends must have jam nuts to prevent loosening. No button heads.
BRAKES - Dual hydraulic system & reservoirs, operating on all four wheels, (one brake on limited slip is OK). System must be protected by structure or shields from d/train failure or minor collisions. No plastic brake lines. No brake-by-wire. NO PARTS STICKING BELOW CHASSIS/TUB IN SIDE VIEW.	WHEEL NUTS - Steel and Titanium wheel nuts will normally be accepted. If Aluminium wheel nuts are used they must be in pristine condition - see FS supplementary regs
VISIBLE ACCESS - To ALL components on Tech form.	
INTERIOR	
DRIVER RESTRAINT HARNESS - 5, 6 or 7 point with single metal quick release to SFI/16.1 or FIA specs and be labeled. Lap belt 76 mm (3in.) wide. Shoulder belts 76 mm (3 in.) wide; 50mm (2") wide OK with HANS. 50 mm (2 in.) anti-sub strap(s). All attached securely to primary structure - 1.00" OD x 0.065" steel tube min. FIA 50 mm (2 in.) lap belts OK, SFI not OK.	DRIVER'S LEG PROTECTION - Covers inside cockpit over sharp parts or moving suspension and steering
	HEAD RESTRAINT and ROLL BAR PADDING - Note any issues with head restraint and roll bar padding
	FLOOR CLOSEOUT PANEL - Note any issues with the floor close out panel
HARNESS MOUNTING - Note any issues with the harness mounting	FIREWALL - Note any issues with the firewall

2009 Formula Student INSPECTION SHEET	
CAR NUMBER:	
SCHOOL:	FACULTY ADVISOR SIGNATURE
SEF SUBMITTED? YES/NO	
ENGINE MODEL:	
ENGINE BORE X STROKE:	NUMBER OF DRIVERS:
ABS? YES/NO	TALLEST DRIVER: HEIGHT:
IMPORTANT	
ALL RED SECTIONS OF THE MSA AND TECH FORMS MUST BE CHECKED BY THE STUDENTS BEFORE ARRIVAL AT SCRUTINEERING THE FORM MUST BE SIGNED BY THE FACULTY ADVISOR TO CONFIRM THAT THE CAR HAS BEEN CHECKED	
NOTE - IF THERE IS A CONFLICT BETWEEN THIS FORM AND THE RULES, THE RULES PREVAIL	
PART 2	
TECHNICAL INSPECTION	
TYRES & WHEELS	
DRY TIRES - Make: ----- Size: ----- Compound: -----	RAIN TIRES - Make: ----- Size: ----- Compound: -----
WHEELS - Four wheels not in a line, 20.32 cm (8.0 in) min. diam. Wheels with single wheel nut must have positive	RAIN TIRES - 3/32 in. min. tread depth moulded by tire manufacturer.
EXTERIOR, GENERAL	
PUSH BAR - With car, detachable, push & pull for 2 people standing erect behind car.	JACKING POINT - Must have an exposed tube at the rear perpendicular to the longitudinal axis approx. 30 cm (12 in) long by 2.5-2.9 cm (1-1 1/8 in) O.D. Painted orange. Visible to person standing 1 metre behind car.
BODY & STYLING - Open wheeled, open cockpit, formula style body.	BODYWORK - Min. 38 mm (1.5 in.) radius on nose. No large openings in bodywork into driver compartment in front of or alongside driver, (except cockpit opening).
TECH STICKER SPACE - 25cm x 20cm (10"x8") on centerline of upper front nose of car.	WING EDGES - Leading edges must be 12.7 mm (0.5 in) min. radius. ALL other edges, including Gurney flaps, must be 3 mm (1/8 in.) min. radius.
WHEELBASE - Minimum 1524 mm (60 in)	AERODYNAMICS - ALL aero devices, wings, u/trays, splitters, no further forward than 46 cms. (18") in front of front tires, no more rearward than rear of rear tires, no wider than outside edge of front tyres. No power ground effects.
CAR NUMBERS - On front & both sides of car, minimum 15.24 cm (6") tall, 20 mm (3/4") stroke & spacing, B on W, W on B only, specified background shapes. Must be clearly visible.	
SCHOOL NAME & OTHER DECALS - School Name, or recognised initials - 5.1 cm (2") tall min. on both sides in Roman letters.	
STEERING, SUSPENSION, BRAKES	
GROUND CLEARANCE - Enough to prevent any part of the car from touching ground during track events. 25 mm (1 inch) min. static clearance with heaviest driver.	STEERING - Should be covered by MSA - On at least two wheels with positive stops to prevent linkage lock up or tires contacting any part of the car. 7 degrees max. freeplay at the steering wheel. NO STEER-BY-WIRE on front wheels. Rear steer limited to + or - 3 deg. with mechanical stops.
SUSPENSION - Fully operational with dampers front and rear; 50mm (2.0 in) minimum wheel travel with driver in vehicle.	FASTENERS - Covered by MSA but note any obvious issues with the following - Steering, braking, harness and suspension systems must use SAE Grade 5 or Metric Grade M8.8 or higher specs (AN/MS) with visible positive locking mechanisms, no Loctite or lock washers. Minimum of 2 exposed threads. Rod ends in single shear must be captured by a washer larger than the ball diameter. Adjustable rod ends must have jam nuts to prevent loosening. No button heads.
SUSPENSION PICK-UP POINTS - Should be covered by MSA	VISIBLE ACCESS - To ALL components on Tech form.
BRAKES - Should be covered by MSA - Dual hydraulic system & reservoirs, operating on all four wheels, (one brake on limited slip is OK). System must be protected by structure or shields from d/train failure or minor collisions. No plastic brake lines. No brake-by-wire. NO PARTS STICKING BELOW CHASSIS/TUB IN SIDE VIEW.	
STEERING WHEEL - Continuous perimeter, near round (no concave sections) with driver operable quick disconnect. 25 cm (9.8 ins) max. from Front Hoop.	

CAR NUMBER:	SCHOOL:
PART 2, contd.	Page 2
TECHNICAL INSPECTION (Cont'd)	
PRIMARY STRUCTURE	
ALTERNATIVE TUBING & MATERIALS - If used, team must show an APPROVED Structural Equivalency Form.	OTHER SIDE TUBES - Design prevents driver's neck hitting bracing or other side tubes
INSPECTION HOLES - 0.18" (4.5 mm) inspection holes req'd in non-critical areas of front & main hoops. Inspectors may ask for holes in other tube(s).	SIDE IMPACT PROTECTION - Min. of two (2) tubes + diagonal must connect the main and front hoops. Upper tube must be between 300 mm and 350 mm (11.8" and 13.8") above the ground. Lower tube can be lower frame member. At least one diagonal per side must connect the upper and lower members between the main and front hoops. All tubes to be 1.0" OD x 0.065" wall or 25.0 mm OD x 1.75 mm wall steel or equivalent. Monocoques require signed SEF.
MAIN HOOP - MUST BE STEEL . 1.00" OD x 0.095" wall or 25.0 mm OD x 2.5 mm wall. Must be 1 piece & extend to lowest frame member. 380 mm (15 ins) apart (inside dim.) where attaches to the Major Structure. Above Major Structure, must be within 10 deg. of vertical. Smooth bends with no wrinkles.	FRONT BULKHEAD - 1.0" OD x 0.065" wall, or 25.0 mm x 1.75 mm wall, steel tube or equiv. No non-crushable objects forward of bulkhead.
MAIN HOOP BRACING - MUST BE STEEL . One brace each side, 1.00" x 0.065" or 25.0 mm x 1.75 mm min., attached within 16 cm (6.3 in.) of top. Min. 30 deg. included angle with hoop. If main hoop is not vertical, bracing must not be on same side of vertical as main hoop. No bends. No rod-ends. Proper construction for removable braces (capping etc.) on BOTH ENDS . Must attach to Major Structure of the Frame directly or thru' proper triangulation.	FRONT BULKHEAD SUPPORT - Support back to front roll hoop; 3 tubes per side, all 1.00" OD x 0.049" wall steel tube or equiv.. 1 bottom, 1 top within 50 mm (2") of top of bulkhead, 1 node-to-node diagonal (must form a triangle with Front BulkH'd and either top or bottom tube). (25.0 mm x 1.5 mm and 26.0 mm x 1.2 mm metric tubes OK)
SHOULDER HARNESS MOUNTING BAR/TUBE - 1.00" OD x 0.095" wall or 25.0 mm OD x 2.5 mm wall steel or equiv. Gussets or braces if not straight.	IMPACT ATTENUATOR - Need Impact Attenuator forward of bulkhead, 200 mm (7.8") long x 200 mm (7.8") wide x 100 mm (3.9") high.
FRONT HOOP - Must be closed section metal tube. 1.00" OD x 0.095" wall or 25.0 mm OD x 2.5 mm wall steel, or equiv. Can be multi-piece. Must extend down to lowest frame member. Max. 20 deg. to vertical. No lower than top of steering wheel. Max. 25 cms (10 ins) horizontal distance to steering wheel.	IMPACT ATTENUATOR MOUNTING - IA must be securely fastened directly to the bulkhead and capable of taking transverse and vertical loads (welded or min. four 8mm (5/16") bolts). No tape, etc. Foam or honeycomb IA needs 1.5 mm steel, 4 mm Al, or approved equiv. mounting plate, same size as Front BulkH'd
FRONT HOOP BRACING - Two forward facing braces, 1.00" OD x 0.065" or 25.0 mm OD x 1.75 mm steel or equivalent, attached within 5 cm. (2 ins) of top. Extra rearward bracing required if Front Hoop leans backwards more than 10 deg.	CONFORMS TO SEF?
SEAT - Lowest point no lower than bottom of side rails OR must have longitudinal 1.00" OD x 0.065" steel tube underneath.	
INTERIOR	
DRIVER RESTRAINT HARNESS - MSA will check conformity	DRIVER'S LEG PROTECTION - Covers inside cockpit over sharp parts or moving suspension and steering components.
FIREWALL - Fire resistant material; must separate driver compartment from fuel supply, cooling & oil systems. Pass-throughs OK with grommets. Multiple panels OK but gaps should be sealed. Must protect (line-of-sight up to mid-height of driver's helmet) from cooling, oil and fuel systems.	MAIN HOOP & FRONT HOOP HEIGHTS - Helmet of tallest driver to be 50 mm (2.0 ins) below lines between top of front and main roll hoops and between top of main hoop to rear attachment point of main hoop bracing..
LAP BELT MOUNTING - Must pass over pelvic area at between 45 deg. and 65 deg. to horizontal. Pivoting mounting with eye bolts or shoulder bolts attached securely to Primary Structure - 1.00" OD x 0.065" steel tube min.	HEAD RESTRAINT - Near vertical . Must take 890 N (200 lbs.f) load. 38.1 mm (1.5 in) thick, Min. 232 sq.cm. (36 sq.ins), energy absorbing padding. Max. 25.4 mm (1.0") from helmet. Helmet contact point 50 mm min. from any edge. APPLIES TO ALL DRIVERS
SHOULDER HARNESS MOUNTING - Mounting points 7"- 9" (178 - 229 mm) apart. Angle from shoulder between 10 deg. up and 20 deg. down to horizontal. Attach to Primary Structure - 1.00"OD x 0.095" steel tube min. Not to put bending loads into Main Hoop Bracing W/O extra bracing.	ROLL BAR PADDING - Rollbar or bracing that could be hit by driver's helmet must be covered with 12.7 mm (0.5 in) thick, SFI or FIA (hard) padding. Pipe insulation and foam not acceptable.
DRIVER'S FOOT PROTECTION - Feet must be rearward of the Front Bulkhead and no part of shoes above or outside the Major Structure in side or front views.	VISIBILITY - 100 deg. min. field either side. Head rotation OK or mirrors. If mirrors, must be firmly installed and
	VEHICLE CONTROLS - All controls, including shifter, must be inside cockpit. No hands, arms or elbows outside side impact system to actuate.
	EGRESS - 5 seconds max. to exit to side of vehicle from fully seated position with all safety equipment; wings must remain fixed in position. ALL DRIVERS

CAR NUMBER:	SCHOOL:
PART 2, contd.	Page 3
TECHNICAL INSPECTION (Cont'd)	
ENGINE COMPARTMENT	
ENGINE - Four cycle piston engine, 610 cc maximum swept displacement. No hybrids.	EXHAUST OUTLET - Outlet 60 cm (23.6") max. behind rear axle centerline and 60 cm (23.6") max. above the ground.
COMPRESSORS - Turbo or super chargers allowed if not OEM to engine; must be between restrictor and engine.	EXHAUST SHIELDING - Exhaust components outside the body forward of main hoop must be shielded from people approaching the car.
AIR INTAKE SYSTEM ROLL OVER PROTECTION - All parts of the engine air and fuel control systems, (including throttle body or carburetor, air intake ducting, air cleaner & air box), must lie within a surface defined by the top of the roll bar and the outside top edge of the tires.	SCATTERSHIELDS GENERAL - Required for clutches, chains, belts, etc. No holes. 6mm diam M8.8 or 1/4" diam Grade 5 fasteners minimum.
AIR INTAKE SYSTEM - Any portion less than 350 mm (13.8") above ground must have Side Impact protection to Rule 3.3.8.	SCATTERSHIELD MATERIALS-For chains, 2.7mm (0.105") min. thick STEEL, 3 x chain width. For belts, 3mm (0.120") min. thick aluminum 6061-T6, 1.7 x belt width.
ELECTRONIC THROTTLE CONTROLS - ETC or "drive-by-wire" NOT permitted.	CATCH TANKS - Any coolant overflow, crankcase breather or lube system vents must have separate catch tanks. One quart minimum each. 100 deg. C mat'l. Behind firewall, below shoulder level. 3 mm min. dia. vent away from driver. PCV OK if routed to the intake system upstream of restrictor.
THROTTLE PEDAL - Must have positive stop to prevent overstressing cable.	COOLANT - Only water or water with 1.5% corrosion inhibitor; no glycol or water pump lubricants added.
THROTTLE - Cable must be at least 50.8 mm (2 in) from any exhaust component and out of exhaust stream; must have smooth operation with no possibility of binding or sticking; must have minimum of 2 springs at the TB, each capable of closing the throttle independently. TPS not acceptable as a return spring. Push-pull cable recommended but optional.	GAS CYLINDERS - Proprietary manufacture & labeled, nonflammable gas, regulator on tank, securely mounted within the Major Structure, but not in cockpit , axis not pointed at driver, insulated from exhaust, appropriate lines & fittings.
RESTRICTOR - Must be circular; max diam. 20.0 mm (0.7874 in) for gasoline fueled cars and 19.0 mm (0.7480 in) for E85 fueled cars. Cannot be movable.	HIGH PRESSURE HYDRAULICS - Pumps and lines must have 1 mm thick steel or aluminum shields to protect driver and workers.
INTAKE MANIFOLD - Securely attached to block or head with brackets & mechanical fasteners. OEM type rubber bushings not sufficient.	ON-BOARD STARTER - Required.
FUEL RAIL - Securely attached to block, head or int. manifold with brackets & mechanical fasteners.	FLUID LEAKS - Oil, coolant, fuel - none permitted.
	VISIBLE ACCESS - To all items on Tech Sheet
FUEL SYSTEM	
FUEL SYSTEM ROLL OVER PROTECTION - All parts of the fuel storage, supply and fuel control systems, (including fuel rail, throttle body or carburetor), must lie within a surface defined by the top of the roll bar and the outside top edge of the tires.	FUEL FILLER NECK - Min. 38 mm (1.5 in) diam. & 125 mm (4.9 in) vert. height above top of tank. Needs fuel resistant, transparent sight tube, 6 mm (1/4") min. ID, 75mm (3") min. vert. height, visible to fueler , with a non-moveable fuel level line 13 mm -25 mm (0.5 in.-1.0 in.) below top of sight tube. Sight tube must NOT run below top of tank . Clear filler tube allowed. Must prevent refueling spillage contacting driver, exhaust or ignition parts.
FUEL TANKS - Must lie within major structure of the chassis with full side impact protection & firewall between fuel supply & driver. Rigid tanks CANNOT CARRY STRUCTURAL LOAD & must be flexibly mounted. Bladders or bags in rigid	FUEL VENTS - Must exit outside of the bodywork, and have a check valve to prevent leakage if car inverted.
BELLYPANS - Must be vented to prevent accumulation of fuel.	FUEL TYPE - 99 octane gasoline, E-85. (Mark down type)
FUEL LINES - No plastic lines between tank & engine. Fuel injection systems must use metal braided hose with threaded fittings, or reinforced rubber hose & approved clamps. Must be securely attached and protected from possible rotating equipment or collision failure.	FUEL STICKER - Appropriate sticker applied adjacent to fuel filler.
ELECTRICAL	
PRIMARY MASTER SWITCH - On driver's right near roll bar, access from outside of car, <u>rotary type, no relay, must kill ALL electrical systems</u> . Marked with international symbol.	BRAKE PEDAL O/TRAVEL SWITCH - Must cut ignition & fuel pump; no re-start if released or actuated a second time. Must NOT rely on programming to work. Not re-
COCKPIT MASTER SWITCH - Pull-ON, Push-OFF, alongside & unobstructed by steering wheel, easily reached by driver. Must kill ignition & fuel pump(s). Marked with international	BRAKE LIGHT - Working RED brake light, 15 watts min. or equiv. required, clearly visible from the rear; on veh. centerline line; height between wheel centerline & driver's shoulders.
BATTERY - Attached securely to frame or chassis; hot terminal insulated; wet-cells in marine box if inside cockpit.	

CAR NUMBER:	SCHOOL:
PART 2, contd.	Page 4
TECHNICAL INSPECTION (Cont'd)	
SPECIALIZED TESTS	
<p style="color: red; font-size: small;">MAIN HOOP & FRONT HOOP HEIGHTS - Helmet of 95th percentile male (PERCY) to be 50 mm (2.0 ins) below the lines between top of front and main roll hoops and between top of main hoop to rear attachment point of main hoop bracing.</p>	<p style="color: red; font-size: small;">COCKPIT OPENING - Fig 8 template passes down from above cockpit rim to below top SIS tube) or to 350 mm above ground for monocoques). Strg wheel, strg column, seat & padding can be removed.</p>
<p style="color: red; font-size: small;">IMPACT ATTENUATOR - Test piece presented and same as IA on car.</p>	<p style="color: red; font-size: small;">COCKPIT INTERNAL CROSS SECTION - Fig. 9 template passes forward from cockpit to 100 mm rear of pedals. Strg wheel, column and padding for B.5.7 can be removed.</p>
NON-COMPLIANCE / COMMENTS:	
<div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div> <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 15px;"></div>	
APPROVED BY:	DATE:

2009 Formula Student INSPECTION SHEET	
CAR NUMBER:	
SCHOOL:	
SEF SUBMITTED? YES/NO	
ENGINE MODEL:	
ENGINE BORE X STROKE:	
ABS? YES/NO	
IMPORTANT	
THIS FORM MUST STAY WITH THE CAR UNTIL THESE PARTS OF INSPECTION HAVE BEEN COMPLETED	
PART 3	
FUEL SYSTEM & TILT TABLE INSPECTION	
FUEL SPILLAGE - No fuel spill permitted when car is tilted to 45 degrees in the direction most likely to create spillage; Tanks must be filled to scribe line	VEHICLE STABILITY - All wheels in contact with tilt table when tilted to 60 degrees to the horizontal.
FUEL STICKER - Fuel sticker in place adjacent to F/T filler. MARK TYPE OF FUEL USED (e.g. 93, 100 or E-85) ON THIS FORM	FUEL TYPE
NON-COMPLIANCE / COMMENTS:	
APPROVED BY:	DATE: