

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Auto- ja kuljetustekniikka

Autosähkö

INSINÖÖRITYÖ

DOE-MENETELMÄN KÄYTTÖ KILPA-AUTON TESTITYÖN VÄHENTÄMISEKSI

**Työn tekijä: Mikko Ruoho
Työn valvoja: Heikki Parviainen
Työn ohjaaja: Tuomas Tanska**

Työ hyväksytty: __. __. 2007

**Heikki Parviainen
lehtori**



INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Tekijä: Mikko Ruoho | |
| Työn nimi: Doe-menetelmän käyttö kilpa-auton testityön vähentämiseksi | |
| Päivämäärä: 11.4.2007 | Sivumäärä: 33 s. + 2 liitettä |
| Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka | Suuntautumisvaihtoehto: Autosähkö |
| Työn valvoja: lehtori Heikki Parviainen | |
| Työn ohjaaja: diplomi-insinööri Tuomas Tanska | |
| <p>Tämä insinöörityö käsittelee eri kilpa-autoluokkien testityötä ja Doe-menetelmän soveltuvuutta tämän testityön helpottamiseksi. Työssä syvennytään ralliautoilun N-ryhmään perinpohjaisesti auton rakentamisesta varsinaiseen testaamiseen asti. Tutkittavana kilpa-autona on Mitsubishi Lancer Evolution 9. Tarkoituksena on tutkia AVL Cameo -ohjelman ja Doe-menetelmän soveltuvuus ralliautoilun testaamiseen.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä teorian tasolla Doe-menetelmän soveltuvuutta ralliautoiluun, rata-autoiluun ja kiihdytysautoiluun. Jokaisesta kilpa-autoilumuodosta kerrotaan tarkemmin yleistä tietoa ja millaisiin asioihin Doe-menetelmää voitaisiin soveltaa. Cameo on alun perin suunniteltu moottorien säätö- ja testityön vähentämiseen, joten työssä selostetaan myös ohjelman ominaisuuksia. Lisäksi suoritetaan testit N-ryhmän kilpa-autolla Cameon suunnitteleamalla tavalla ja tuloksista optimoidaan ajallisesti paras vaihtoehto.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selvitettyä, kuinka Cameo ja sen käyttämä Doe-menetelmä soveltuvat kilpa-autojen testaamiseen ja kuinka testityön määrää saatiin vähennettyä.</p> | |
| Avainsanat: AVL, Cameo, Design of Experiments, DOE, koesuunnittelu, ralli | |

ABSTRACT

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Name: Mikko Ruoho | |
| Title: Reducing testing of race cars by using Doe-methodology | |
| Date: 11 th April 2007 | Number of pages: 33 |
| Department: Automotive & Transport Engineering | Study Programme: Automotive Electronics Engineering |
| Instructor: Heikki Parviainen, Lecturer | |
| Supervisor: Tuomas Tanska, M.Sc. | |
| <p>The objective in this study was to examine and improve the testing of race cars and especially rally cars with the use of Doe-methodology. In theory it is possible by using Doe-methodology to carry out larger test sessions with fewer test runs. Traditionally the testing is done by changing one parameter at a time but in this study Doe-methodology is used to reduce test combinations. AVL Cameo program uses Doe-methodology originally to tune and develop new automotive engines but in this study the purpose is to apply it in rally car testing.</p> <p>This study describes how Cameo works and what kind of features it has. In the theory part the applicability of Cameo in other forms of motor sports such as drag racing and circuit racing was examined. In practice Cameo produces a test matrix for the chosen parameters and then those combinations were tested. From the test results, Cameo produces models which are necessary in the optimizing process. In the optimizing process Cameo can optimize the optimum results from the tested parameters.</p> <p>The tests showed that Doe-methodology and Cameo work in race car testing and by using it, it is possible to reduce test combinations and still gain good results.</p> | |
| Keywords: DOE, AVL, Cameo, Design of Experiments, Rally car | |

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

| | | |
|----------|----------------------------------------------|-----------|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | DESIGN OF EXPERIMENTS (DOE) | 2 |
| 2.1 | Doe | 2 |
| 2.2 | Käyttötarkoitus | 2 |
| 2.3 | AVL Cameo | 2 |
| 3 | TEOREETTINEN SOVELTUVUUS ERI LAJEIHIN | 4 |
| 3.1 | Ralliautoilu | 4 |
| 3.1.1 | <i>Yleistä</i> | 4 |
| 3.1.2 | <i>Mitsubishi Lancer Evolution 9</i> | 4 |
| 3.1.3 | <i>Parametrit</i> | 7 |
| 3.1.4 | <i>Testaus</i> | 8 |
| 3.2 | Rata-autoilu | 10 |
| 3.2.1 | <i>Yleistä</i> | 10 |
| 3.2.2 | <i>Parametrit</i> | 12 |
| 3.2.3 | <i>Testaus</i> | 13 |
| 3.3 | Kiihdytysautoilu | 13 |
| 3.3.1 | <i>Yleistä</i> | 13 |
| 3.3.2 | <i>Parametrit</i> | 15 |
| 3.3.3 | <i>Testaus</i> | 16 |
| 4 | KÄYTÄNNÖN SOVELTUVUUS | 17 |
| 4.1 | Cameon testimatriisimallit | 17 |
| 4.1.1 | <i>Central Composite Design (CCD)</i> | 17 |
| 4.1.2 | <i>Box Behnken Design</i> | 18 |
| 4.1.3 | <i>D-optimal</i> | 19 |
| 4.2 | Mallien soveltuvuus | 20 |
| 4.3 | Testimatriisin luonti | 21 |
| 4.4 | Testien suorittaminen | 24 |
| 4.5 | Testitulosten käsittely | 25 |
| 4.6 | Optimoinnin suorittaminen | 26 |
| 4.7 | Tulosten arviointi | 30 |

5 YHTEENVETO

31

VIITELUETTELO

33

LIITTEET

Liite 1
Liite 2

Ote Mitsubishi Lancer Evolution 9:n luokitustodistuksesta
Optimoinnin tuloskaavio

1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan moottoriurheilun eri muotoja testi- ja kehitystyön kannalta. Tavoitteena on soveltaa uudenlaista menetelmää testaamiseen, jolla on mahdollista saada samanlaiset lopputulokset kuin perinteisilläkin menetelmillä mutta tekemällä vähemmän varsinaista testityötä. Menetelmän käyttöä sovelletaan N-ryhmän kilpa-autoon, joka on tällä hetkellä rallin toiseksi nopeimman kilpailuluokan auto.

Doe-menetelmä ei ole mikään uusi keksintö, vaan se on kehitetty jo 1900-luvun alkupuolella ja nykyään sitä käytetään lähes jokaisella teollisuuden alalla. AVL Cameo on itävaltalaisen ohjelmistovalmistajan ohjelma, joka käyttää tätä menetelmää. Ohjelman alkuperäinen käyttökohde on moottoreiden säätö- ja kehitystyö, joten sen soveltuvuutta tämän työn kokeisiin ei vielä tiedetä. Ohjelman käytöllä pystytään vähentämään uusien moottoreiden kehitystyötä merkittävästi ja tavoitteena on saada vastaavanlaista hyötyä tässäkin työssä.

2 DESIGN OF EXPERIMENTS (DOE)

2.1 Doe

Lyhenne Doe tulee sanoista Design of Experiments, jonka suomenkielinen vastine on koesuunnittelu. Suomenkielisestä nimestä voidaan päätellä, että kyse on eräänlaisesta kokeiden suunnittelusta, jossa erilaisilla matemaattisilla keinoilla pystytään aikaansaamaan parempia tuloksia ja suoritettavien kokeiden määrää on mahdollista pienentää.

Koesuunnittelun alku juontaa juurensa 1920-luvun Englantiin missä tutkija Ronald Fisher teki kokeita pienessä maatalouden tutkimuskeskuksessa. Hän pystyi kokeillaan osoittamaan, että on mahdollista saada aikaan laadukkaita kokeita ja tuloksia, vaikka luonnolliset olosuhteet, kuten lämpötila, maaperän kunto ja vesisade, muuttuisivatkin kokeen aikana. Tällaisten kokeiden avulla Fisher kehitti menetelmiä, joilla tehdyistä kokeista oli mahdollista saada maksimaalinen hyöty. Näitä menetelmiä ja kirjaa *Statistical Methods for Research Workers*, jonka Fisher julkaisi vuonna 1925, pidetään merkittävinä Doen kehitykselle vielä tänäkin päivänä. /1/

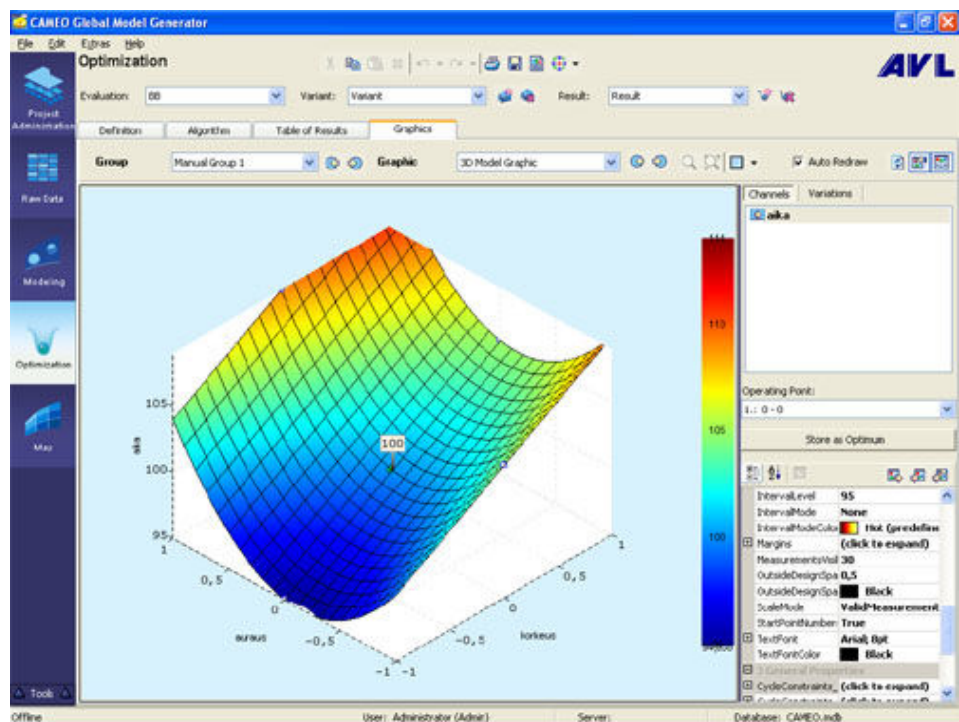
2.2 Käyttötarkoitus

Fisherin kehittämiä menetelmiä sovellettiin alkuaikoina maatalouden lisäksi myös teollisuudessa ja sotilastekniikassa. Niistä käyttö on laajentunut, ja nykyään koesuunnittelua käytetään lähes jokaisella teollisuuden alalla tulosten, laadun ja ajankäytön parantamisessa. Teollisuudessa erilaisten prosessien hallinnassa ja kehittämisessä koesuunnittelu on jo perustyökalu. Koesuunnittelua käytetään muun muassa lääketeollisuudessa, kosmetiikkateollisuudessa ja monenlaisten prosessien hallinnassa.

2.3 AVL Cameo

AVL List on 1950-luvulla perustettu itävaltalainen yritys, joka tänä päivänä valmistaa muun muassa erilaisia ohjelmistoja ja mittalaitteita autoteollisuudelle. AVL Cameo on ohjelma, joka on alun perin suunniteltu vähentämään ja helpottamaan moottoreille tehtäviä säätötoimenpiteitä ja vähentämään kehitystyöhön käytettävää aikaa. Cameo osaa ohjata suoraan

moottoridynamometria ja pystyy automaattisesti suorittamaan erilaisten kuormitustilanteiden mittaamisen. Jatkuvasti tiukentuvat vaatimukset moottoreiden suorituskyvylle, päästöille ja niiden kehitysajalle ovat synnyttäneet uudenlaisia menetelmiä ratkaisemaan tätä ongelmaa. Cameo käyttää siinä tämän ongelman ratkaisemiseksi Doe-menetelmää, matematiikkaa apuna käyttäen kaikkia mahdollisia säätökombinaatioita ei tarvitse mitata dynamometrissa vaan testattujen parametrien vaikutuksista pystytään muodostamaan mallit ja näin saadaan muodostettua laadukkaita tuloksia vähemmällä ajalla. Cameon potentiaali moottoreiden säätötyössä on jo tiedossa, ja on myös havaittu, että Cameota voidaan soveltaa, lähestulkoon minkälaisiin testeihin vain.



Kuva 1. Cameon käyttöliittymä

3 TEOREETTINEN SOVELTUVUUS ERI LAJEIHIN

3.1 Ralliautoilu

3.1.1 Yleistä

Ralliautoilu on sellainen moottoriurheilun kilpailumuoto, jossa kilpaillaan autoilla, jotka on muutettu normaaleista siviililiikenteeseen tarkoitetuista henkilöautoista täysiverisiksi kilpa-autoiksi. Autoihin asennetaan pakolliset turvavarusteet kuten turvakaaret kilpailuparia suojaamaan, kilpailukäyttöön soveltuvat penkit ja 6-pisteturvavyöt. Autoihin tehdään myös paljon muita muutostöitä, jotka parantavat autojen suorituskykyä ja kestävyyttä. Kaikki tehtävät muutokset tulee suorittaa vallitsevien sääntöjen mukaisesti ja niitä noudattaen.

Pääsääntöisesti kilpailut pidetään yleisillä teillä, jotka on suljettu siviililiikenteeltä kilpailun ajaksi. Kilpailujen pituudet riippuvat kilpailun tyypistä, ja SM-tasolla ne ovat noin 6 - 8 erikoiskoetta ja 100 erikoiskoekilometriä. Useimmat kilpailut ajetaan suomessa sorapintaisilla teillä, mutta myös asfalttipintaisia erikoiskokeitakin on. Kilpailuluokkia rallissa on paljon, jotta samantasoiset autot voivat kilpailla keskenään tasavertaisesti.

Tässä työssä keskitytään kansainvälisesti toiseksi nopeimpaan kilpailuluokkaan, joka on N-ryhmä. Autoina tässä luokassa on 4-vetoiset turboahdetulla moottorilla varustetut henkilöautot. Automerkkejä luokassa on käytännössä kaksi: Mitsubishi ja Subaru. Tässä työssä keskitytään Mitsubishi Lancerin kehitysversioon Evolution 9.

3.1.2 Mitsubishi Lancer Evolution 9

Mitsubishi Lancer Evolution on 4-ovinen sporttinen perheauto, joka on varustettu 2-litraisella turboahdetulla moottorilla ja jatkuvalla nelipyörävedolla. Tällä hetkellä markkinoilla oleva malli on jo Lancerin yhdeksäs kehitysversio ja seuraavakin on jo kehitteillä. Mitsubishi Lancer Evolution -mallisarjan suunnittelussa on jo mietitty autojen soveltuvuutta kilpailukäyttöön, ja teknisestikin nämä edustavat kehityksen kärkeä, mutta samalla ne täyttävät kaikki määräykset kuten päästömääräykset. Moottorissa on muun muassa muuttuva venttiilinajoitus ja voimansiirtoakin

ohjataan elektronisesti eri ajotilanteiden mukaan. Vaikka auto on jo tehtaalta lähtiessään pitkälle kehitelty kilpa-auton aihio, niin se joutuu kokemaan laajan muutosprosessin muuttuessaan täysiveriseksi kilpa-autoksi. Koska kyseessä on niin sanottu vakioautoluokka, säännöt ja auton luokitustodistus rajaavat tarkkaan, mitä muutoksia autoon saa tehdä ja mitä ei. Esimerkiksi moottoriin ei saa tehdä mitään muutoksia, joita siihen ei ole luokiteltu, ja kaikkien strategisten luokitustodistuksen mukaisten mittojen tulee täytyä, esim. puristussuhde ja kuutiotilavuus. Autot toimitetaan täysin varusteltuina siviiliautoina, jotka sitten muutetaan kilpa-autoiksi. Ensimmäisenä työvaiheena on auton purkaminen, jossa siitä irrotetaan kaikki mahdolliset osat pois, ja pelkkä kori asennetaan koripukkeihin (kuva 2).



Kuva 2. Mitsubishi Lancer Evolution 9

Koripukissa auton korin saumat vahvistetaan hitsaamalla, turvakaaret asennetaan ja tehdään muut korin muutostyöt. Tällaisen auton turvakaaret sisältävät vahvaa kromimolybdeeniputkea yhteensä yli 50 metriä, minkä ansiosta nykyajan ralliautot ovat erittäin turvallisia (kuva 3).



Kuva 3. Kori valmina maalattavaksi

Näiden työvaiheiden jälkeen auton kori on valmis maalattavaksi. Auton lähes jokaiseen osaan tehdään jonkinlaisia toimenpiteitä, esimerkiksi tukivarsiin vaihdetaan jäykemmät puslat ja sähköjohdoista poistetaan ylimääräiset. Moottori puretaan ja sen kaikki osat tarkistetaan ja välykset mitataan.

Korin maalauksen jälkeen alkaa päinvastainen työ eli auton kasaaminen. Polttoaine- ja jarruputket vaihdetaan alumiinisiin ja ne sijoitetaan korin sisäpuolelle kestävyuden parantamiseksi. Auton alusta suojataan kulumiselta hiilikuitu-kevlar-valmisteisilla pohjasuojilla. Viimeisenä isona kokonaisuutena autoon asennetaan moottori vaihdelaatikkoineen. Tässä vaiheessa autosta ei enää puutu kuin joitain pieniä osia, mutta auto alkaa olla siinä kunnossa, että sillä voidaan suorittaa sisäänajo ja moottorin säätäminen parhaimman suorituskyvyn saavuttamiseksi. N-ryhmän säännöt täyttävästä Mitsubishiin moottorista saadaan tehoa hieman vajaa 300

hevosvoimaa, ja maksimivääntö on noin 580 Nm. Mahdolliset lastentaudit saadaan poistettua ensimmäisien testien aikana ja auto alkaa olla valmis ensimmäiseen kilpailuun, jossa sen todellinen suorituskyky selviää. Vaikka vain murto-osa alkuperäisistä osista asennetaan autoon takaisin, niin silti tämä työvaihe on aikaa vievin. Tiiviisti kiteytettynä auton valmistumisprosessi on edellä kuvatuunlainen ja aikaa tähän menee helposti ainakin kaksi kuukautta ahkerasti tehtynä (kuva 4).



Kuva 4. N-ryhmän Mitsubishi Lancer Evo 9

3.1.3 Parametrit

Ralliautoissakin on mahdollista säätää monia asioita, mutta säännöt rajaavat varsin tarkasti, mitä saa tehdä, ja että esimerkiksi tukivarret ja niiden kiinnityspaikat tulee säilyttää alkuperäisinä. N-ryhmässä kilpailujen taso on tällä hetkellä todella kova, ja siellä pitää auton, kuljettajien ja koko kokonaisuuden olla huippuiskussa. Kärkiautoissa ei ole kovinkaan isoja suorituskyvyllisiä eroja, ja nämäkin erot tulevat lähes kokonaan auton alustan ja voimansiirron kautta. Autojen moottoreiden erot ovat melko pienet, koska niihin ei sääntöjä noudattamalla voi tehdä juurikaan muutoksia. Moottoriin tulee asentaa 32 mm:n imuilmankuristin, jolla moottoreiden tehoa rajoitetaan. Moottorinohjausjärjestelmä on vapaa, mutta

sen johtosarja tulee säilyttää alkuperäisenä. Pakoputkisto voidaan vaihtaa, mutta sillekin on määritetty maksimihalkaisija. Nelipyörävetoa ohjataan elektronisesti hydraulipaineen avulla ja sen toimintaa pystytään säätämään tietokoneen välityksellä. Auton alustassa iskunvaimentimet ovat vapaat, joten niiden asetuksia voidaan muuttaa vapaasti samoin kuin pyöränkulmien asetuksia. Muitakin osia autoihin voidaan vaihtaa, mutta niiden tulee olla luokiteltuja kyseiseen autoon. Esimerkiksi Mitsubishiin on luokiteltu kaksi kappaletta jäykempiä kallistuksenvakaajia sekä eteen että taakse (liite 1). Taulukosta 1 on nähtävissä, miten parametrit jakautuvat variation- ja response-parametreiksi.

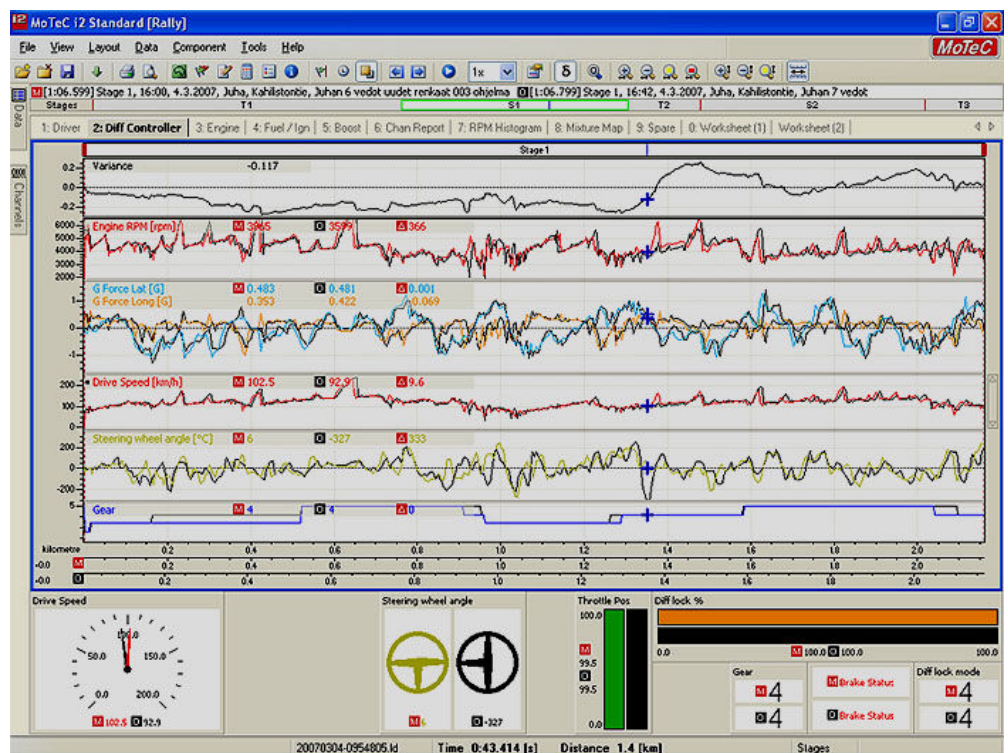
Taulukko 1. Esimerkkejä mahdollisista rallin parametreista

| Variation parametrit | Response parametrit |
|---------------------------|---------------------|
| Auraus | Aika |
| Camber | Kääntyvyys |
| Ajokorkeus | Pito |
| Iskunvaimennus | Tuntuma |
| Jousien jäykkyys | G-voimat |
| Kallistuksenvakaajat | |
| Kitkalukkojen esijännitys | |
| Keskilukon ohjelma | |

3.1.4 Testaus

Testaaminen ralliautoilussa suoritetaan yleensä jollain sopivalla yleisessä käytössä olevalla tiellä, joka suljetaan muulta liikenteeltä testien ajaksi. Hyvä testitie on luonteeltaan vaihteleva, jossa on sekä hitaita että kovavauhtisempia mutkia, ja myös korkeusvaihteluita olisi hyvä olla. Kun kilpailut Suomessa ajetaan sorateilla, niin testitkin luonnollisesti suoritetaan sorapintaisilla teillä. Testituloksien vertaamisen kannalta tällainen sorapintainen tie ei ole helpoin mahdollinen, koska ennen testejä se on ollut siviilikäytössä ja ajourat luonnollisesti noudattavat omia ajokaistoja ja näiden väliin jää alueita, joissa on paljon irtosoraa. Ensimmäisien ajokertojen aikana pito muuttuu todella paljon, kun ajettava ajolinja alkaa puhdistua irtosorasta. Sama asia vaikuttaa koko testien ajan, koska puhtaana pysyy vain se kapea ihanteellinen ajolinja ja heti sen ulkopuolella pito on todella huono.

Aika on yleensä sellainen suure, jolla on hyvä ja helppo todeta jonkin asian hyvyys tai huonous, mutta ralliauton testaamisen kannalta tämä ei välttämättä aivan pidä paikkaansa. Testierikoiskokeella tulee helposti joitain pieniä virheitä, ja vaikka säädöt olisivatkin hyvät, niin kokonaisaika ei sitä välttämättä kerro. Tässä kohtaa hyvänä apuna on tiedonkeruulaitteisto, jolla on myös mahdollista havaita, miten ja missä kohtaa aikaeroa syntyy kahden eri ajokerran välillä. Kuvasta 5 kursorin kohdalla on havaittavissa, että auton perä karkaa ja kuljettaja joutuu tekemään ison korjausliikkeen ratilla suoristaakseen auton. Tämä taas pudottaa auton vauhtia ja kiihtymistä seuraavalla suoralla. Kuvan ylimmältä riviltä on nähtävissä kahden eri ajokerran aikojen käyttäytyminen testierikoiskokeen aikana ja että toinen ajokerta on alussa nopeampi, mutta kursorin kohdalla sattuneen pienen ajovirheen takia loppuaika on molemmissa käytännössä sama.



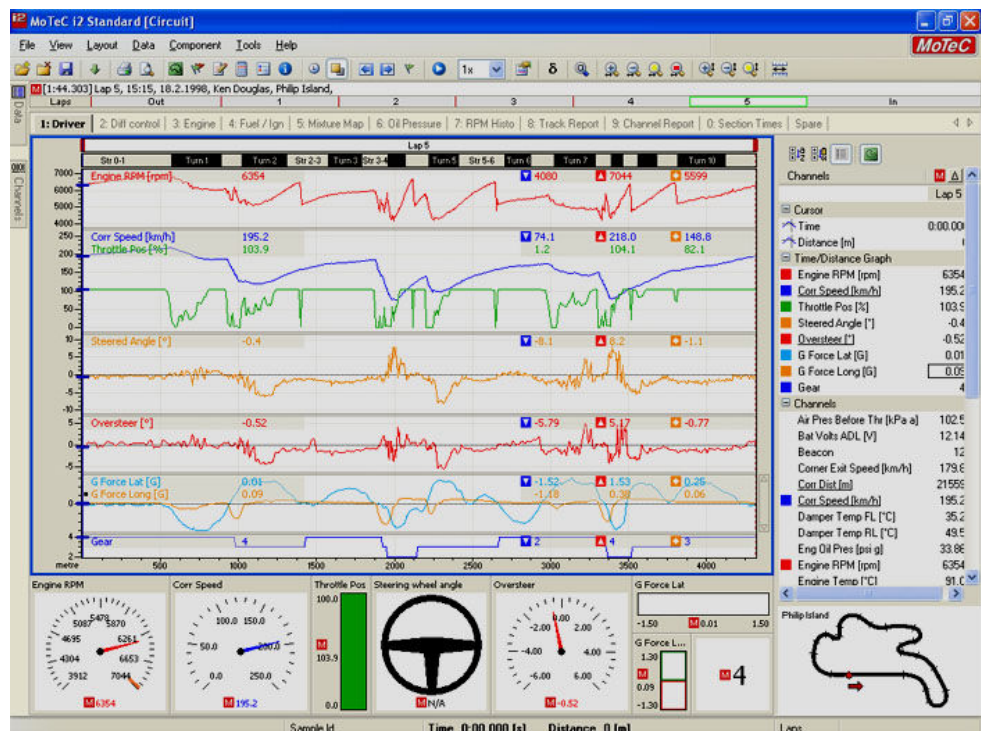
Kuva 5. Testierikoiskoe tiedonkeruulla esitettyinä

Tiedonkeruuta on hyvä käyttää apuna erilaisten muutosten havainnoimiseen, mutta rallissa pelkästään sen avulla on vaikea tehdä yksiselitteisiä johtopäätöksiä. Testien aikana kuljettajan tulisi pyrkiä ajamaan samalla suoritusasolla koko ajan, jotta juuri edellä mainituilta ongelmilta vältyttäisiin ja tulokset olisivat ajallisestikin vertailukelpoisia.

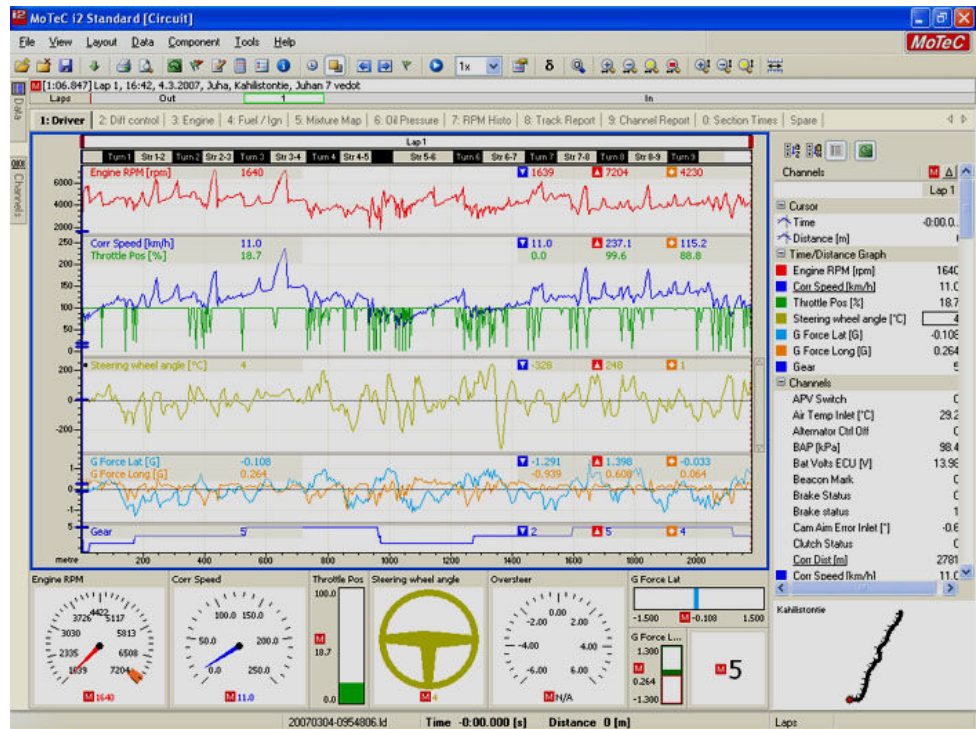
3.2 Rata-autoilu

3.2.1 Yleistä

Rata-autoilu on moottoriurheilun muoto, jossa erilaisilla kilpa-autoilla ajetaan asfalttipintaisilla moottoriradoilla. Rata-autot voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään eli koppiautoihin, jotka ulospäin näyttävät lähestulkoon siviiliautoilta ja formuloihin, jotka puolestaan ovat matalia isoilla siivillä varustettuja autoja. Rata-autoilu on ralliin verrattuna aivan erilaista, koska rallissa ajetaan yleensä vain kertaalleen sama tie ja radalla samaa rataa ympäri monia kymmeniä kertoja. Rata-ajossa monet muutkin asiat eroavat rallista; esimerkiksi pito on lähestulkoon sama koko radalla. Radalla tämä pito pyritään hyödyntämään maksimaalisesti ja auto pitämään radassa kiinni koko ajan sivuluisut minimoiden. Tiedonkeruun käytön kannalta rata-autoilu on helpompaa ja erilaisten säätöjen erot on helpompi havaita. Tämä on selitettävissä muun muassa sillä, että pyörät luistavat vähän ja koko auto liikkuu rauhallisemmin. Kaikki liikkeet tapahtuvat loogisemmin, ja tiedonkeruun datassa ns. häiriöt pienenevät, ja sitä on helpompi lukea. Kuvassa 6 on radalta kierros ja kuvassa 7 rallin testierikoiskoe. Niistä näkee, että kaasun käytössä, ohjausliikkeissä ja kiihtyvyyksissä on selkeitä eroja.



Kuva 6. Rata-ajon kierros



Kuva 7. Rallin testierikoiskoe

Rata-autoilun puolelta tarkemman tutkinnan kohteeksi otetaan Helsingin ammattikorkeakoulultakin tuttu Formula Student -projekti, joka on maailmanlaajuinen ammattikorkeakoulujen ja yliopistojen välinen kilpailusarja. Tämä kilpailumuoto käsittää paljon muutakin kuin pelkkiä ajosuorituksia. Jokainen tiimi suunnittelee ja valmistaa oman kilpa-autonsa alusta loppuun asti. Formula Student -kilpa-auto on jonkin verran kooltaan mikroautoa suurempi mutta kuitenkin kaikilta osin täysin säädettävä formula-auto. Suunnitteluvaiheessa alustan jousitusgeometrioita on suunniteltu ja simuloitu tietotekniikan avulla ja valmiissa autossa niitä on mahdollista muuttaa. Moottorina autossa on Yamahan moottoripyörän 600 cm³:n kokoinen moottori, ja tämän vuoden kilpa-autossa se on ensimmäistä kertaa vapaastihengittävä. Formula Student -kilpailu ajetaan mikroautoradan tapaisilla ja kokoisilla radoilla, jotta keskinopeudet saadaan pidettyä kurissa (kuva 8).



Kuva 8. Yhdysvaltojen Formula Student -kilpailu 2006

Vuodessa järjestetään ympäri maailmaa useita kilpailuja, joista Stadian formulatiimin päätapahtumiksi luetaan kevään Yhdysvaltojen ja syksyn Englannin kilpailut.

3.2.2 Parametrit

Formula Student -kilpa-autossa on paljon mahdollisuuksia testata erilaisia asioita ja muuttaa auton säätöjä suorituskyvyn parantamiseksi. Säännötkin ovat varsin vapaat, joten nekään eivät rajaa auton kehittämismahdollisuuksia [2]. Formula Studentissa on lukematon määrä Cameon sovellusmahdollisuuksia, joilla kokonaisuutta on mahdollista parantaa ja siirtää tietoa uudelle tiimille. Kilpailupaikoilla mahdollisuudet varsinaiseen testaamiseen ovat todella huonot, joten auton pitää olla kilpailukykyinen heti ensimmäisestä kisasuorituksesta alkaen. Kisasäätöjen pitää olla kohdallaan alusta alkaen, ja jos joitain muutoksia tarvitsee tehdä, niin niiden vaikutukset pitää olla hyvin tiedossa, jotta seuraava kilpailusuoritus ei mene piloille. Tähän ongelmaan Cameosta voisi hyvinkin olla apua, kunhan vain suoritettavat testimatriisit ovat olleet riittävän monipuolisia ja saadut tulokset todettu paikkansapitäviksi. Taulukossa 2 on esimerkkejä parametreista, joita Cameossa voitaisiin käyttää rata-autoilussa.

Taulukko 2. Esimerkkejä mahdollisista Formula Studentin parametreista

| Variation parametrit | Response parametrit |
|----------------------|-----------------------|
| Auraus | Aika |
| Camber | Renkaiden pito |
| Caster | Ohjautuvuus (ali/yli) |
| Auton korkeus | Renkaiden lämpötila |
| Jousituksen jäykkyys | G-voimat |
| Kallistuksenvakaajat | |
| Ohjausgeometria | |

3.2.3 Testaus

Testaustapahtuma radalla poikkeaa rallista, koska testit suoritetaan moottoriradalla. Jos rataa ei ole varattu kokonaan omaan käyttöön, siellä on todennäköisesti muitakin autoja testaamassa. Tämä tuskin vaikuttaa testien lopputulokseen, mutta sekin mahdollisuus on olemassa. Formula Student on sen kokoluokan kilpa-auto, että sille kilpailujen kannalta sopivia testiratoja ovat mikroautoradat, ja niillekin on tehty muutamia hidasteita. Formula Student -kilpailuissa ajetaan normaalin radalla-ajon lisäksi muitakin kilpailuja, kuten esimerkiksi kiihdytys- ja kahdeksikkoajokilpailut. Kilpailusuoritteet ovat nopeatempoisia, ja niissä tulisi saada renkaat lämpiämään mahdollisimman nopeasti, jotta lopputulos olisi hyvä.

3.3 Kiihdytysautoilu

3.3.1 Yleistä

Kiihdytysautoilu on kolmas moottoriurheilun muoto, johon Cameon soveltuvuutta on pohdittu. Kiihdytysautoilussa tavoitteena on ajaa lähdöstä maaliin nopeammin kuin kanssakilpailija tai mahdollisimman lähelle omaa ihanne- eli indeksiaikaa. Kilpamatkana on $\frac{1}{4}$ mailin eli 402,336 m:n pituinen asfalttipinnoitteinen suora. Kiihdytyskilpailut ovat yleensä kaksipäiväisiä, jolloin ensimmäisenä kilpailupäivänä ajetaan karsinta- ja lajittelulähtöjä kilpailijoiden järjestämiseksi pudotuskaavioon. Toisena kilpailupäivänä ajetaan kilpailu loppuun pudotuskaavion mukaisesti, $\frac{1}{3}$ lähtö kerrallaan mies miestä vastaan, ja voittaja jatkaa seuraavalle kierrokselle. Näin edetään, kunnes jäljellä on enää finaali pari, ja tämän erän voittaja on koko kilpailun voittaja. Kilpailuluokkia on monia alkaen junior dragstereistä katukiihdytysautojen kautta kuninkuusluokkaan, joka on Top Fuel. Top Fuel

-luokan kilpa-autoina toimivat putkirunkoiset dragsterit, joiden polttoaineena käytetään nitrometaania (kuva 9).



Kuva 9. Top Fuel -dragsteri [4]

Tehoa Top Fuel -dragstereissä on yli 7000 hevosvoimaa, ja niillä saavutetaan alle 4,5 sekunnin aikoja, loppunopeuden ollessa yli 500 km/h. Bensiinikäyttöisistä kiihdytysautoista nopeimpia ovat Pro Stock -luokan autot (kuva 10).



Kuva 10. Pro Stock -luokan kiihdytysauto [4]

Nekin ovat putkirunkoisia autoja, mutta ulkokuoreltaan ne muistuttavat hyvin pitkälle sarjavalmisteesia automalleja. Moottoritehoa näissä autoissa on noin 1350 hevosvoimaa, ja aikaa 1/4 mailiin menee hieman alle 7 sekuntia, loppunopeuden ollessa yli 320 km/h. Pro Stock -luokan auto onkin seuraavassa tarkemman tutkinnan kohteena.

3.3.2 Parametrit

Kiihdytysautoilu eroaa aikaisemmin mainituista kilpailulajeista varsin paljon johtuen siitä, että kilpailuratana on asfalttipinnoitteinen suora kiihdytysrata. Kiihdytysautolta ei siis periaatteessa vaadita muita ominaisuuksia kuin mahdollisimman paljon tehoa moottorista ja se maksimaalisesti siirrettynä tien pintaan. Asia kuulostaa ja tuntuu varsin yksinkertaiselta, mutta ei kuitenkaan ole, koska erot ovat niin pieniä. Säännöt on kiihdytysautoilussa tietenkin tarkkaan määritetty, mutta säätö- ja muutosmahdollisuuksia on kyllä runsaasti. Maksimaalisen suorituskyvyn ja hyvän kilpailuajan saavuttaminen on pienestä kiinni, sillä kun auto kilpailusuorituksen aikana menettää pidon, niin lähtö on piloilla. Kiihdytysautoilussakin säädetään monia samoja asioita kuin muussakin moottoriurheilussa, mutta poikkeavia asioitakin on lajin luonteesta johtuen.

Taka-akseli Pro Stock -autossa on toteutettu nelilinkkiratkaisuna, jossa tukivarsien kiinnityspisteitä voidaan muuttaa halutun käytöksen saavuttamiseksi kilpailulähdön aikana. Kytkimen säätämällä ja 1. vaihteen välityksellä saadaan auto liikkeelle mahdollisimman hyvin pitoa menettämättä. Cameota voisi kiihdytysautoilussa hyvin käyttää testeissä auton perussäätöjen kohdalleen saamisessa, jolloin ei tarvitsisi suorittaa niin paljon varsinaista ajoa. Mahdollista on myös rakentaa malli, jolla kisalähtöjen välissä on mahdollista tehdä muutoksia edellisen lähdön tietojen perusteella. Tällaisen suunnittelu ja toteutus on hyvin työlästä ja vaatii paljon testaamista. Taulukosta 3 nähdään, kuinka parametrit voisivat jakautua kiihdytysautoilussa.

Taulukko 3. Esimerkkejä mahdollisista kiihdytysautoilun parametreista

| Variation parametrit | Response parametrit |
|----------------------|---------------------|
| Kytkimen jäykkyys | Aika |
| Iskunvaimennus | Alustan liikkeet |
| Painopiste | Renkaiden pito |
| Tukivarsien asento | Renkaiden sutiminen |
| Välitykset | Kytkimen luisto |

3.3.3 Testaus

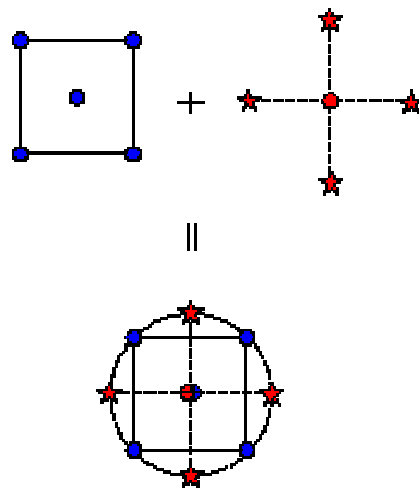
Testaaminen kiihdytysautoilussa on toisaalta helppoa riippuen tietenkin kilpailuluokasta, mutta nopeammissa luokissa se vaikeutuu. Suomessa kiihdytysratoja on kolme, joista vain yhdellä ajetaan Euroopan mestaruusosakilpailu. Euroopassa ratoja ei yleensä liimata kuin kisoihin, ja tämä tekee testaamisen vaikeaksi. Jos rataa ei ole liimattu, pito ei yksinkertaisesti ole riittävän hyvä testien suorittamiseen. Sama ongelma haittaa myös Pro Stock -luokan autojen testaamista. Joillain Euroopan radoilla on joskus mahdollista testata lyhyemmällä 1/8 mailin liimatulla radalla. Tälläkin matkalla pystytään tekemään testityötä ja hakemaan auton säätöjä kohdalleen. Kustannukset vaikeuttavat ja rajaavat myös testaamisen määrää. Moottorit ovat huippuunsa viritettyjä ja vaativat paljon huoltoa, vaikka mitään ei hajoaisikaan. Matkakustannukset muodostuvat myös isoiksi, kun kilpailukalusto viedään sellaiselle radalle, jossa on mahdollista testata, ja se voi helposti sijaita toisessa maassa. Cameon testimatriisia suoritettaessa todennäköisesti tulee semmoisia kombinaatioita, joilla pito ei yksinkertaisesti ole riittävä ja ajaminen voi olla mahdotonta. Tällaisia kombinaatioita pystytään sulkemaan pois tietyillä mallityypeillä ja tuloksista on mahdollista saada parempia.

4 KÄYTÄNNÖN SOVELTUVUUS

4.1 Cameon testimatriisimallit

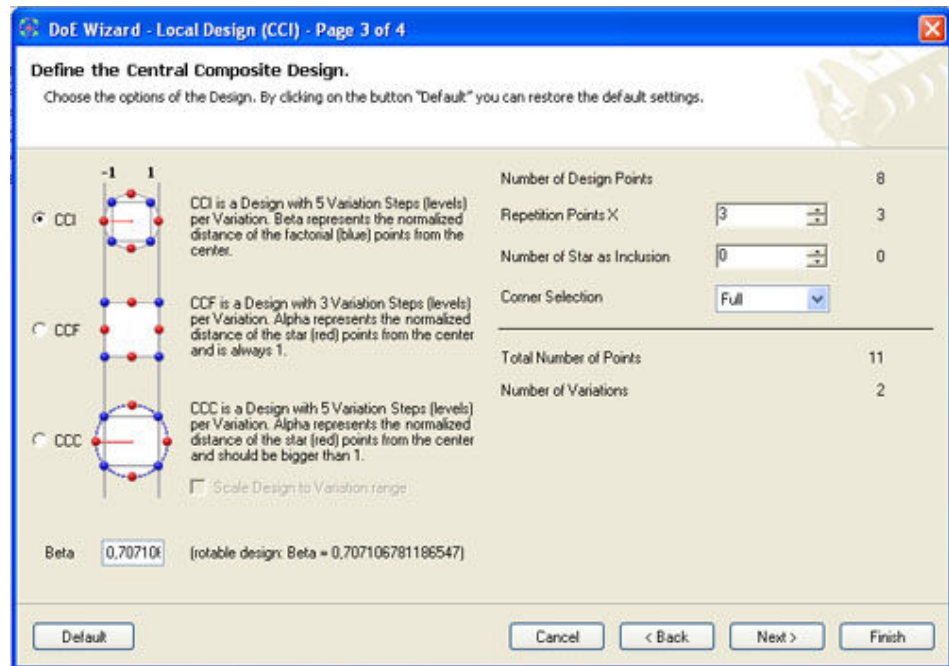
4.1.1 *Central Composite Design (CCD)*

Central Composite Design on ensimmäinen testimatriisin malli, joka Cameon testimatriisien suunnitteluohjelmasta löytyy. CCD-mallit muodostuvat normaaleista mittauspisteistä ja näiden lisäksi niin sanotuista tähtipisteistä, joilla pystytään mallintamaan kurvikuutta (kuva 9).



Kuva 11. Kahden parametrin CCD-malli

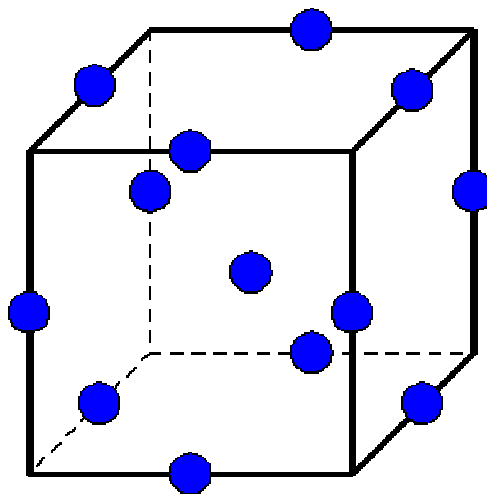
CCD-malleja Cameossa on kolme, jotka eroavat toisistaan tähtipisteiden ja varsinaisten pisteiden keskinäisellä sijoittelulla. CCC on tyypiltään alkuperäinen CCD-malli, jossa tähtipisteet sijaitsevat etäisyyden α päässä keskipisteestä ja muodostavat näin uudet ala- ja yläarvot kaikille parametreille. Pisteiden sijoittelusta johtuen jokaiselle parametrille tulee viisi eri arvoa. Tilanteissa, joissa annetut parametrien raja-arvot ovat todellisia raja-arvoja, joita ei voida ylittää, paremmin sopiva tyyppi on CCI, joka on CCC:stä pienemmäksi skaalattu tyyppi. Tässä tyypissä tähtipisteet sijaitsevat raja-arvoilla ja varsinaiset pisteet samassa suhteessa niiden sisäpuolella. Myös tässä tyypissä jokaisella parametrilla on viisi arvoa. Kolmas tyyppi on CCF, jossa tähtipisteet on sijoitettu sivujen keskelle, ja näin ollen tätä tyyppiä käytettäessä jokaisella parametrilla on vain kolme eri arvoa. Kuvassa 12 näkyy Cameon testimatriisien teko-ohjelman eri CCD-mallit.



Kuva 12. Cameon erityyiset CCD-mallit

4.1.2 Box Behnken Design

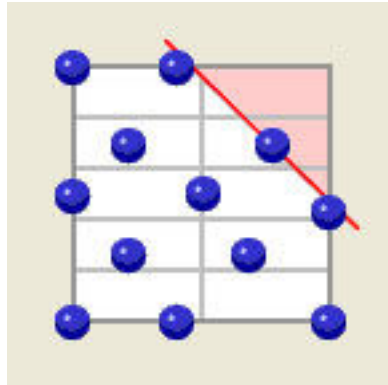
Toinen testimatriisin malli on Box Behnken, jossa mittapisteet sijaitsevat jokaisen parametrin arvoalueen puolivälissä ja näiden kaikkien keskustassa (kuva 13). Malli soveltuu hyvin tilanteisiin, joissa halutaan välttää nurkkatilanteita.



Kuva 13 Kolmen parametrin Box Behnken -malli

4.1.3 D-optimal

Kolmas malli vaihtoehto on D-Optimal, joka soveltuu hyvin tilanteisiin, joihin perinteiset mallit eivät sovellu hyvin tai eivät toimi ollenkaan. D-Optimalin testimatriisin arvot on määritelty satunnaisesti ja testimatriisiin voidaan asettaa raja-alueita, joilla ei saa olla mittapisteitä (kuva 14).



Kuva 14. Kahden parametrin D-Optimal -malli

4.2 Mallien soveltuvuus

Mallien keskinäisistä eroista johtuen jokainen mallityyppi soveltuu tietynlaiseen testiin paremmin ja toisiin taas huonommin. Tähän soveltuvuuteen vaikuttavat muun muassa seuraavanlaiset asiat: parametrien lukumäärä, suoritettavien kokeiden maksimimäärä ja testimatriisin luonne. Taulukosta 4 on helppo vertailla mallien ominaisuuksia.

Taulukko 4. Mallien vertailutaulukko

| Malli tyyppi | Ominaisuudet |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CCC | CCC on laadukas CCD-malli joka soveltuu hyvin testeihin mutta vaatii raja-arvojen ulkopuolelle tähtipisteet. Vaatii 5 arvoa joka parametrille |
| CCI | CCI on myös laadukas CCD-malli jonka tähtipisteet sijaitsevat raja-arvojen sisäpuolella. Vaatii myös 5 arvoa joka parametrille. |
| CCF | CCF on suhteellisen laadukas CCD-malli joka ei vaadi raja-arvojen ulkopuolisia pisteitä. CCF ei kuitenkaan ole yhtä laadukas kuin edelliset havaitsemaan parametrien kurvillisuutta. Vaatii ainoastaan 3 arvoa joka parametrilta. |
| Box Behnken | Box Behnken vaatii vähemmän kokeita kuin CCD-mallit, kun parametreja on kolme tai neljä, mutta ei sovellu kovin hyvin suurempiin kokeisiin. BB on myös hyvä, jos kokeissa halutaan välttää useita raja-arvoja kerrallaan. Vaatii 3 arvoa joka parametrilta. |
| D-Optimal | D-Optimal soveltuu malliksi, jos muut eivät kyseiseen kokeeseen sovi. Tällä voidaan myös valita parametrikohteisesti, onko sen käytös lineaarinen tai monennenko asteen yhtälöä se noudattaa. |

Tässä työssä läpikäytyihin testeihin soveltuu hyvin useampi mallityyppi ja käytettävä mallityyppi valitaan tapauskohtaisesti. CCD-mallien keskinäiset erot ovat pieniä, mutta ehkä ratkaisevin ero on valmiin testimatriisin arvot. CCF-mallin avulla tehty matriisi on helpoin toteuttaa testiolosuhteissa, koska se noudattaa matriisin tekovaiheessa määriteltyjä arvoja, kun taas muiden

CCD-mallien pisteinä on viittä eri arvoa. CCF- ja CCI-mallien testimatriisien erot on helppo havaita taulukosta 5.

Taulukko 5. Kahden parametrin CCD-mallien vertailutaulukko

| CCF-malli | | CCI-malli | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| parametri 1 | parametri 2 | parametri 1 | parametri 2 |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| -1 | 0 | -1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | -1 | 0 | -1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| -1 | -1 | -0,71 | -0,71 |
| 1 | -1 | 0,71 | -0,71 |
| -1 | 1 | -0,71 | 0,71 |
| 1 | 1 | 0,71 | 0,71 |
| 0 | 0 | 0 | 0 |

Box Behnken -malli ei eroa paljon aikaisemmista, mutta suurin eroavaisuus parametrien arvoissa, kuten mallin esittelyssäkin kerrottiin. BB-malli pyrkii välttämään useita raja-arvoja kerrallaan (taulukko 6).

Taulukko 6. Kahden parametrin Box Behnken -malli

| Box Behnken-malli | |
|-------------------|-------------|
| parametri 1 | parametri 2 |
| 0 | 0 |
| 0 | -1 |
| -1 | 0 |
| 0 | 0 |
| 1 | 0 |
| 0 | 1 |
| 0 | 0 |

4.3 Testimatriisin luonti

Testeissä suoritettavan matriisin luonti alkaa päättämällä variation-parametrit, joiden vaikutuksia on tarkoitus testata. Jokaista parametria ja sen vaikutusta response-parametreihin pitää miettiä tarkkaan. Vaikutus voi olla joko lineaarinen, jolloin ei tarvitse suorittaa kuin kaksi mittauspistettä

variation-parametrin ääripäistä tai jos vaikutus ei ole lineaarinen, niin mittauspisteitä tarvitaan kolme tai enemmän kuvaajan muodostamiseksi. Neljän parametrin testimatriisi, jossa jokaisella parametrilla on kolme arvoa, aikaansaa kokonaiskombinaatioiden määräksi $3^4 = 81$ kappaletta. Tämä määrä saadaan eri mallityyppellä käyttämällä pienennettyä murto-osaa alkuperäisestä. Edellä mainittu testimatriisi CCD- ja Box Behnken -malleilla sisältää 29 kappaletta eri kombinaatioita. Kokonaiskombinaatioiden ja testattavien kombinaatioiden määrien suhdeluku on sitä parempi mitä enemmän parametreja on.

Edellä mainitun neljän parametrin testimatriisin 29 kombinaation määrä on liian suuri tämän työn puitteissa tehtäväksi, joten valintana on kolmen parametrin testi. Tälläkin testillä saadaan selvitettyä Cameon ja Doemenetelmän toimivuus tälläkin saralla. Response-parametrien avulla suoritetaan varsinainen asetusten valinta eli optimointi. Optimoinnin kohdefunktioksi valitaan yksi response-parametreista tai jonkinlainen yhtälö useammasta response-parametrasta ja muillekin response-parametreille voidaan asettaa raja-arvoja. Response-parametrien määrä voi vaihdella yhdestä ylöspäin, ja niiden arvona voi olla lähestulkoon minkäläinen suure tahansa. Nämä kolme parametria muodostuivat sellaisista ominaisuuksista, joita yleensä muutenkin testataan ja säädetään. Ensimmäisenä parametrina on takapään jousitus ja siitä sen jäykkyys. Sekin voitaisiin jakaa vielä moneen osaan, mutta sitten oltaisiin taas siinä tilanteessa, että parametreja olisi liikaa, joten nyt käsitellään isompaa kokonaisuutta. Toisena parametrina on etupään jousitus ja sen jäykkyys, joka myös pitää sisällään yhtä paljon muutettavia asioita kuin takapään jousituskin. Tätä käsitellään myös kokonaisuutena parametrien rajaamiseksi. Kolmantena parametrina on aktiivisen voimansiirron ohjaus. Voimansiirron ohjelmaa muutetaan siten, että kokonaisuutena sen käytös on jäykempi. Jokaisesta parametrasta testataan kolmea eri arvoa, jotta testien lopputulokset olisivat mahdollisimman tarkat.

Kun kaikki parametrit on päätetty, niin pitää päättää, mitä Cameon mallia käytetään testimatriisin valmistuksessa. Vaihtoehtoina on kolme edellä esitettyä mallia, ja valintaperusteena käytetään testien määrää. Tämän kokoluokan testissä mallien erot ovat melko pieniä, mutta suuremmalla

parametrimäärällä eroja syntyy nopeasti. Box Behnken -mallin mukaisesti tehdyssä matriisissa on muutama kombinaatio vähemmän kuin CCD-malleissa, joten valintana on Box Behnken -malli.

Taulukossa 7 on Cameon valmistama testimatriisi, joka on tarkoitus suorittaa. Siitä on nähtävissä, millaisia kombinaatiota on tarkoitus testata ja niiden kokonaismäärä.

Taulukko 7. Box Behnken -testimatriisi

| | Takavaimennus | Etuvaimennus | Keskilukko |
|-----|----------------------|---------------------|-------------------|
| 1. | 0 | 0 | 0 |
| 2. | 0 | -1 | -1 |
| 3. | -1 | 0 | -1 |
| 4. | 1 | 0 | -1 |
| 5. | 0 | 1 | -1 |
| 6. | -1 | -1 | 0 |
| 7. | 1 | -1 | 0 |
| 8. | -1 | 1 | 0 |
| 9. | 1 | 1 | 0 |
| 10. | 0 | -1 | 1 |
| 11. | -1 | 0 | 1 |
| 12. | 1 | 0 | 1 |
| 13. | 0 | 1 | 1 |

Normaalisti testimatriisissa suoritetaan tasaisin väliajoin keskipiste kombinaatio, jolla pyritään neutraloimaan ulkoisten tekijöiden vaikutukset. Tässä testimatriisissa keskipistettä ei testata kuin matriisin alussa. Testimatriisissa olevat arvot vastaavat testauksen kohteena olevasta autosta tiettyä arvoa, joten ei ole väliä, millaisia lukuja matriisissa on, kunhan itse tietää niiden vastaavuudet. Esimerkiksi takavaimennuksen 0-arvo on asetus, joka autossa oli aloitettaessa, -1 on tietyn määrän tiukemmalle säädetty ja 1 tietyn määrän löysemälle säädetty. Taulukosta 8 nähdään myös muiden parametrien vastaavat tiedot.

Taulukko 8. Parametrien asetusten kuvaus

| | Takavaimennus | Etuvaimennus | Keskilukko |
|----|----------------------|---------------------|--------------------------|
| -1 | tiukempi asetus | löysempi asetus | aloitusarvo |
| 0 | aloitusarvo | aloitusarvo | tiukempi asetus |
| 1 | löysempi asetus | tiukempi asetus | vieläkin tiukempi asetus |

Response-parametreiksi valittiin aika, jota yleisesti käytetään asioiden vertaamisessa, ja kuljettajan arvosana. Tähän voitaisiin ottaa tiedonkeruusta vielä lisäksi joitain parametreja, mutta näissä testeissä sellaisia ei tiedonkeruusta saatu. Kun on tiedossa, mitä ollaan testaamassa ja missä järjestyksessä, on testien suorittamisen aika.

4.4 Testien suorittaminen

Testitapahtuma suoritettiin 4.3.2007 ja testitienä toimi 2,1 km:n mittainen yksityistie Karkkilassa, jolla saavutetaan 150 km/h huippunopeus ja keskinopeus on 110 km/h luokkaa. Testimatriisin mukaista ajoa ei kannata aloittaa heti ensimmäisenä vaan aluksi kannattaa ajaa muutama lenkki auton yleisen toiminnan tarkastamiseksi, jarrujen lämmittämiseksi ja tien puhdistamiseksi. Kun kaikki on todettu toimivaksi, varsinaiset testit voidaan aloittaa (kuva 15). Testit kannattaa suorittaa matriisin mukaisesti, jotta asiat pysyvät paremmin hallussa. Ajan mittaaminen voidaan suorittaa tiedonkeruun avulla, jolloin testierikoiskokeelle asennetaan valokennot aloitus- ja lopetuskohtaan. Aikaa voidaan myös mitata käsin, mutta sen tarkkuus ei ole kovin hyvä. Jokainen kombinaatio testataan ja kommentit ja aika kirjataan. Myös tiedonkeruudat puretaan tiedonkeruulaitteesta.



Kuva 15. Testien suorittaminen menossa

Kun kaikki testimatriisin testit oli suoritettu, niin suoritettiin vielä muutama muukin kombinaatio, joita voidaan myös käyttää apuna tulosten jatkokäsittelyssä.

4.5 Testitulosten käsittely

Testien suorittamisen jälkeen alkaa oikeastaan varsinainen työ, jotta tehtyjen testien tuloksista saadaan muodostettua selkeät ja niistä pystytään optimoimaan paras ratkaisu. Tuloksista luodaan uusi taulukko, jossa on aikaisemmin luotu testimatriisi, ja siihen lisätään sarakkeita yhtä monta kuin on response-parametrejakin. Jokaista kombinaatiota vastaavat response-parametrien arvot lisätään samalle taulukon riville kombinaation kanssa. Testimatriisin ulkopuolelta testatut kombinaatiot voidaan lisätä taulukon loppuun. Taulukosta 9 on nähtävissä testien tulokset.

Taulukko 9. Testien tulokset

| | Takavaimennus | Etuvaimennus | Keskilukko | Aika (s) | Arvosana |
|-----|---------------|--------------|------------|----------|----------|
| 1. | 0 | 0 | 0 | 63 | 3 |
| 2. | 0 | -1 | -1 | 64,3 | 2 |
| 3. | -1 | 0 | -1 | 63,3 | 3 |
| 4. | 1 | 0 | -1 | 63,1 | 3 |
| 5. | 0 | 1 | -1 | 62,7 | 3,3 |
| 6. | -1 | -1 | 0 | 64,3 | 2 |
| 7. | 1 | -1 | 0 | 64,1 | 2 |
| 8. | -1 | 1 | 0 | 61,9 | 4 |
| 9. | 1 | 1 | 0 | 61,2 | 4,5 |
| 10. | 0 | -1 | 1 | 63,9 | 2,3 |
| 11. | -1 | 0 | 1 | 63 | 3 |
| 12. | 1 | 0 | 1 | 62,4 | 3,5 |
| 13. | 0 | 1 | 1 | 62,2 | 3,5 |
| 14. | 0 | 0 | -1 | 63,7 | 2 |
| 15. | 1 | 1 | -1 | 61,9 | 4 |
| 16. | 1 | 1 | 1 | 61,7 | 3,8 |

Tämän jälkeen testitulokset ovat valmiit vietäväksi Cameoon optimoinnin suorittamiseksi.

4.6 Optimoinnin suorittaminen

Cameolla tehtävässä optimoinnissa on useita työvaiheita, joissa voidaan tehdä huonoja valintoja, jolloin optimoinnista saadut tulokset eivät pidä paikkaansa. Käyttöliittymä Cameossa ei ole suunniteltu tällaista käyttöä varten ja siitä syystä se vaatii paljon opettelua. Saadut testitulokset viedään Cameoon sarkaineroteltuna tekstitiedostona. Cameossa raakadatalle voidaan tehdä monenlaisia muokkaustoimenpiteitä (kuva 16). Kokonaisia kombinaatioita ja yksittäisiä mitta-arvoja voidaan poistaa käytöstä, jos ne haittaavat mallien muodostamista ja optimoinnin suorittamista. Mitta-arvojen avulla voidaan rakentaa kaavoja, joilla saadaan laskettua uusia mitta-arvoja.

| No. | | | takavaim | etuvaim | lukko | Aika | arvosana |
|-----|---|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| | | | Variation | Variation | Variation | Response | Response |
| 1 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | 0 | 0 | 63 | 3 |
| 2 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | -1 | -1 | 64,3 | 2 |
| 3 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | -1 | 0 | -1 | 63,3 | 3 |
| 4 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 0 | -1 | 63,1 | 3 |
| 5 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | 1 | -1 | 62,7 | 3,3 |
| 6 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | -1 | -1 | 0 | 64,3 | 2 |
| 7 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | -1 | 0 | 64,1 | 2 |
| 8 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | -1 | 1 | 0 | 61,9 | 4 |
| 9 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 1 | 0 | 61,2 | 4,5 |
| 10 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | -1 | 1 | 63,9 | 2,3 |
| 11 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | -1 | 0 | 1 | 63 | 3 |
| 12 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 0 | 1 | 62,4 | 3,5 |
| 13 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | 1 | 1 | 62,2 | 3,5 |
| 14 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | 0 | -1 | 63,7 | 2 |
| 15 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | -1 | -1 | 61,9 | 4 |
| 16 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 1 | 1 | 61,7 | 3,8 |

Kuva 16. Cameo data editor

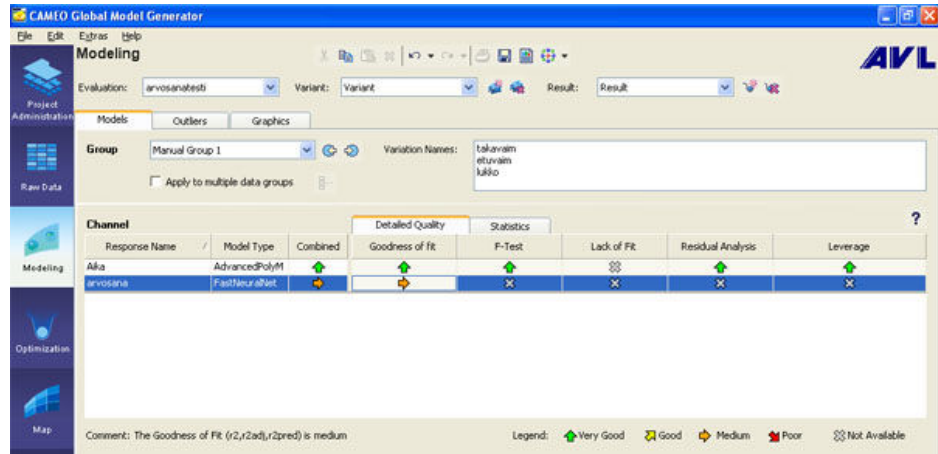
Mitta-arvoja voidaan tutkia myös graafisessa muodossa useiden erilaisten kaavioiden muodossa. Jos testit olisivat suurempia ja mittapisteitä olisi paljon, niin datan arviointi numeroiden perusteella nopeasti olisi vaikeaa mutta graafinen tarkastelu helpompaa. Seuraavana työvaiheena on tuloksien mallintaminen. Tämä vaihe on tärkein laadukkaiden tulosten saavuttamiseksi. Tässä työssä molemmille response-parametreille luodaan mallit.

Mallivaihtoehtoja on kolme, joista ensimmäinen on AdvancedPolyModel. Tällä mallityypillä mallinnus pystytään tekemään tarkemmin kuin aikaisemmilla mallityypeillä. Ennakointilaatua on pystytty parantamaan menetelmällä, joka tarkkailee yksittäisten malliparametrien vaikutuksia käyttäen tilastollisia parametreja ja automaattista mallitermien vähennystä.

FastNeuralNetwork on toinen Cameon mallityyppi, joka mallintaa epälineaarisia funktioita approksimoimalla useita lineaarisia yhtälöitä tai 2. asteen yhtälöitä. FastNeuralNetworkin algoritmi koostuu kahdesta silmukasta, jotka suoritetaan joka kerta, kun iterointi on valmis. Mallin laatu arvioidaan jokaisen iteroinnin jälkeen ja riippuen mallin asetuksista suoritetaan joko uusi iterointi tai edellisen iteroinnin malli säilytetään.

Kolmas ja viimeinen mallityyppi on FreePolyModel. Tämä malli on polynominen regressiomalli, joka sallii jopa 5. asteen yhteisvaikutuksia

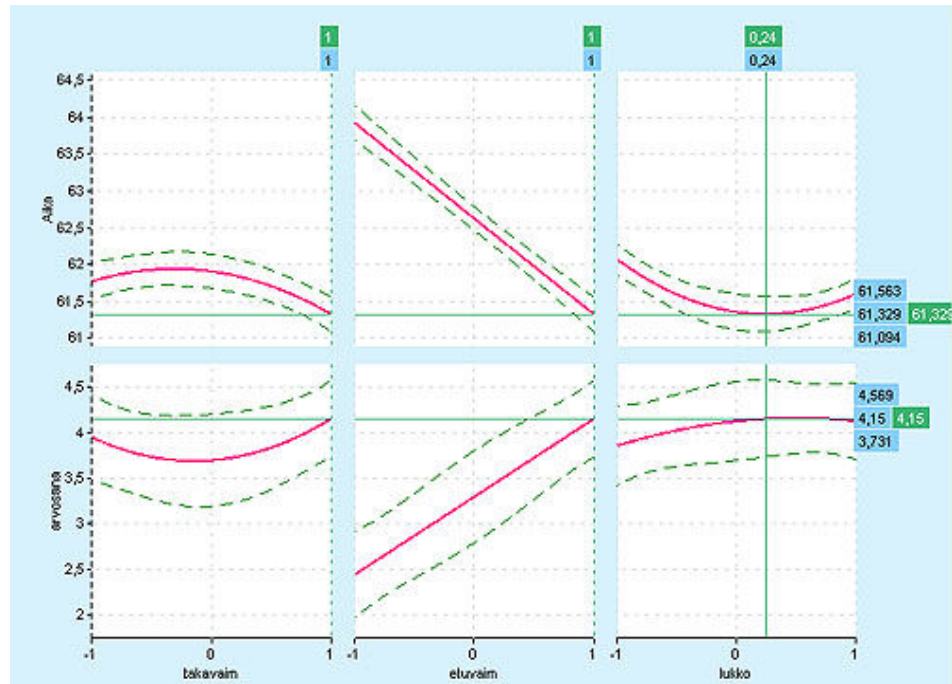
sisääntuloparametrien kesken. Kaikkia näitä parametreja yhdistää niiden lukuisat muutettavat asetukset, joilla voidaan parantaa mallien lopputulosta. Mallien rakentamisen jälkeen niiden laatua pystytään arvioimaan lukuisilla keinoilla. Cameo ilmoittaa mallien rakentamisen jälkeen automaattisesti eriväristen nuolien ja kertoimien avulla mallien laadun (kuva 17).



Kuva 17. Mallien laadun arviointi

Vihreä nuoli kertoo mallinnuksen onnistuneen erittäin hyvin, keltainen hyvin, oranssi kohtalaisesti ja punainen huonosti. Joissain tapauksissa laadukasta mallia ei pystytä rakentamaan, ennen kuin joitain mitta-arvoja on poistettu käytöstä. Niitä pystytään tarkkailemaan sekä graafisesti että numeraalisesti. Useiden kokeilujen jälkeen tässä työssä suoritettuun testiin saatiin rakennettua toimivat mallit. Ottamalla käyttöön testeissä suoritettua lisämittaukset saatiin aikaan paremmat mallit molemmille parametreille. Aika-parametrille sopivin malli saatiin rakennettua AdvancedPolyModelia käyttäen. Arvosana-parametrille sopivimmaksi malliksi löytyi FastNeuralNetwork. Mallien rakentamisen valmistuttua voidaan siirtyä optimointiin. Optimoinnissa on muutamia asetuksia, joita voidaan muuttaa ja näin vaikuttaa optimoinnin lopputulokseen. Optimoinnille asetetaan jokin kohdefunktio jota optimoidaan. Muille response-parametreille voidaan myös asettaa raja-arvoja ja variation-parametreille voidaan asettaa raja-arvoja tai kiinteitä arvoja, jos halutaan, että jokin parametri pysyy tietyissä rajoissa. Tällaisilla raja-arvoilla voidaan suorittaa uusi optimointi, joka noudattaa edellä mainittuja sääntöjä. Mahdollista on myös, että Cameo ei pysty optimoinnissa löytämään järkevää lopputulosta. Tällöin joudutaan muuttamaan asetuksia ja yrittämään uudelleen. Tässä työssä kohdefunktioksi valittiin aika-parametrin minimointi ja muille parametreille ei

asetettu rajoituksia, näin optimoinnin tuloksena saataisiin nopein kombinaatio. Optimoinnin jälkeen tulokset ovat nähtävissä numeraalisina ja kaaviona, jossa niiden keskinäisiä vaikutuksia on mahdollista verrata (kuva 18).



Kuva 18. Ajan optimoinnin tulokset

Kuvasta 18 on nähtävissä myös optimoinnin tulos, joka on suuremmissa koossa liitteessä 2. Kyseisessä optimoinnissa kohdefunktiona oli ajan minimointi ja optimoinnin tuloksena saatiin aika 61,329 s, joka on näillä parametreilla nopein vaihtoehto. Tätä aikaa vastaavat variation-parametrien arvoiksi saatiin seuraavia: takavaimennus asetuksessa 1, etuvaimennus myös asetuksessa 1 ja lukko asetuksessa 0,24. Testissä suoritetuista jousituksen asetuksista johtuen optimoinnin jälkeiset arvot ovat maksimissaan, koska testatut arvot eivät olleet riittävän kaukana toisistaan. Arvosana tässä testissä käyttäytyi hyvin samalla tavalla kuin aikakin, eli paras arvosana on hyvin lähellä parasta aikaa. Arvosanaksi tässä optimoinnissa saatiin 4,15.

4.7 Tulosten arviointi

Tämän työn testeissä kombinaatioiden erot mitattiin ajan avulla, vaikka aikaisemmin tulikin ilmi, että se ei välttämättä rallissa ole paras mahdollinen mittasuure. Tämän asian takia lisäksi otettiin myös kuljettajan arvosana siitä, millaiselta auto tuntui. Optimoinnin tuloksista, jotka sijaitsevat kuvassa 18 ja liitteessä 2, voidaan tehdä monenlaisia päätelmiä. Saatujen tuloksien luotettavuutta kuvaavat vihreät katkoviivat tuloskuvaajien molemmilla puolilla. Aika-parametrin luotettavuus on huomattavasti arvosana-parametria parempi. Etuvaimennuksen kuvaajasta voidaan havaita, että sen käytös on lähes lineaarista koko testausalueen, mutta tämä todennäköisesti johtuu testausalueen suppeudesta. Jos mittausalue olisi ollut reilusti laajempi, niin etuvaimennuksen kuvaaja alkaisi ääripäistä kääntyä huonompaan suuntaan. Mahdollista on myös testeissä suorittaa sellaisia asetuksia, joita voidaan kyllä testata, mutta kilpailutilanteessa samaa asetusta ei voida käyttää. Esimerkiksi kilpailuissa voidaan ajaa jopa 30 km:n pituisia erikoiskokeita, ja ne verrattuna testien muutaman kilometrin pituiseen testitiehen aikaansaavat aivan eri mittaluokan rasituksia autolle ja varsinkin renkaille. Tarkoitus olisikin, että testimatriisin mukaisissa testeissä kaikki ääripään asetukset olisivat sellaisia arvoja, joita ei välttämättä voisi kilpailutilanteessa käyttää mutta testeissä kylläkin. Optimointivaiheessa näille voidaan asettaa ylä- ja alarajat, jotta optimointitulos on käyttökelpoinen. Kolmen parametrin kaikkien kombinaatioiden testaaminen olisi vaatinut 27 eri testikombinaatioita ja Cameon avulla samat testit saatiin suoritettua 13 testin avulla. Näinkin vähäisillä parametrien määrällä, kombinaatioiden määrä saatiin puolitettua.

5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin AVL Cameon soveltuvuutta kilpa-autojen testityön apuna. Tavoitteena oli suorittaa testit ralliautolla Cameon määrittelemällä tavalla ja näistä testeistä saada käyttökelpoisia lopputuloksia.

Cameon käyttöönotto ja sen käyttäminen vaatii paljon perehtymistä ja opettelua, koska se on alun perin suunniteltu autotehtaille uusien moottorien säätö- ja kehitystyöhön. Ohjelma sisältää monia ominaisuuksia, joita tässä työssä ei tarvinnut käyttää mutta joiden vaikutukset piti kuitenkin olla tiedossa. Vastaavanlaisia ohjelmia löytyy markkinoilta muitakin, mutta niiden toimivuudesta ei ole tietoa.

Cameon ja sen Doe-menetelmän käyttäminen testaamisessa eroaa täysin normaalista testaamisesta ja tämän eron ansiosta on mahdollista saada uusia ulottuvuuksia testaamiseen. Perinteisesti testatessa muutetaan vain yhtä parametria kerrallaan, jotta voidaan havaita sen vaikutus kokonaisuuteen. Usein parametria muutetaan jonkin verran, mutta harvoin niin paljon, että mennään sen tietyn ihannepisteen ylitse. Cameon määrittelemiä testejä suoritettaessa muutetaan useampia parametreja yhtä aikaa, jolloin voidaan löytää semmoisia yhdistelmiä, joita ei olisi tullut mieleenkään testata ja jotka ovat käyttökelpoisia. Cameon avulla saadaan myös selvitettyä useamman parametrin yhteisvaikutus kokonaisuuteen, mitä perinteisellä menetelmällä ei saada tehtyä.

Mahdollisia ongelmiakin Cameon käyttämisessäkin on. Ohjelmahan on alkujaan suunniteltu autotehtaiden käyttöön, joten yksityiskäyttöön ohjelman hankintahinta muodostuu varmasti ongelmaksi. Toinen mahdollinen ongelma on, että usein testaamisessa on totuttu tekemään asiat tietyllä tavalla ja Cameota käyttämällä nämä perinteiset menetelmät korvataan Cameon tavalla suorittaa testejä. Doe-menetelmän käyttöönoton kynnyks voi olla monelle liian suuri.

Työn testien tulokset olivat varsin onnistuneet, vaikkakin testit olivat hieman suppeat. Tuloksista on nähtävissä, että menetelmää voidaan onnistuneesti soveltaa tällaisiin testeihin ja saada luotettavia tuloksia. Tuloksista voidaan

myös kertoa se, että optimointituloksia vastaavilla asetuksilla ajettiin talven viimeisen sm-rallin yleiskilpailu- ja luokkavoitot.

VIITELUETTELO

- [1] Wikipedia tietosanakirja. Ronald Fisher [verkkodokumentti]. [viitattu 5.3.2007]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Ronald_Fisher
- [2] Society of Automotive Engineers. 2007 Formula Sae Rules. [verkkodokumentti]. [viitattu 5.3.2007]. Saatavissa: <http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/rules.pdf>
- [3] Wikipedia tietosanakirja. Kiihdytyskisat [verkkodokumentti]. [viitattu 1.4.2007]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kiihdytyskisat>
- [4] Finnish Hot Rod Association. Kiihdytysajo [verkkodokumentti]. [viitattu 1.4.2007]. Saatavissa: <http://www.fhra.fi/dragracing/dragrace.html>



FEDERATION INTERNATIONALE
DE L'AUTOMOBILE
JAPAN AUTO MOBILE FEDERATION
社団法人 日本自動車連盟

Groupe ,Group **N**

Homologation N°

N-5688

Extension N°

07/05 VO

NON VALABLE EN SUPER PRODUCTION
NOT VALID IN SUPER PRODUCTION

JAF公認番号 **FN-080 VO-8/5**

JAF発効日 **2006年3月1日**

FICHE D'EXTENSION D'HOMOLOGATION
FORM OF HOMOLOGATION EXTENSION

追加公認書式

- | | | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | ES | Evolution sportive du type / Sporting evolution of the type スポーツ進化 | <input checked="" type="checkbox"/> | VO | Variante option / Option variant オプション変型 |
| <input type="checkbox"/> | ET | Evolution normale du type / Normal evolution of the type 型式の正常進化 | <input checked="" type="checkbox"/> | VP | Variante de Production / Production variant プロダクション変型 |
| <input type="checkbox"/> | VF | Variante de fourniture / Supply variant 供給変型 | <input type="checkbox"/> | ER | Erratum / Erratum 誤記訂正 |

Véhicule : Constructeur
Vehicle : Manufacturer **MITSUBISHI MOTORS CORP.**
車両 : 製造会社名

Modèle et type
Model and type **LANCER EVOLUTION IX (CT9A)**
行名と型式

Homologation valable à partir du
Homologation valid as from **01 MAR 2006**
FIA公認発効年月日

| Page or ext. 頁または追加番号 | Article 項目 | Description 記述 | PHOTO No. |
|--------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 5 | 3 331 | ENGINE Cooling system Radiator hose kit | 1 |
| 6 | 6 602 | POWER TRAIN Clutch Clutch cover outside view Clutch cover inside view | 2 3 |
| 7 | 7 701 | SUSPENSION General Front top mount plate LH Front top mount plate RH Underneath view of the top mount plate Specify dimensions of the top mount plate Kinematic point keeps for standard position. | 4 5 6 7 |
| | 706 | Stabiliser b) Effective diameter Front stabiliser, effective diameter 29 +/- 0.25mm Front stabiliser, effective diameter 26 +/- 0.25mm Rear stabiliser, effective diameter 27 +/- 0.25mm Rear stabiliser, effective diameter 24 +/- 0.25mm | 8 |



Fédération Internationale de l'Automobile
Chemin de Blandonnet 92
CH-1215 GENEVE 15
Tél. +41 22 544 44 00
Fax Sport +41 22 544 44 50

Marque
Make
会社名 **MITSUBISHI**

Modèle
Model
型式 # **LANCER (CT9A)**

Homologation N°

N-5688

Extension N°

07/05 VO

JAF公認番号

FN-080 VO-8/5

PHOTO N° 7

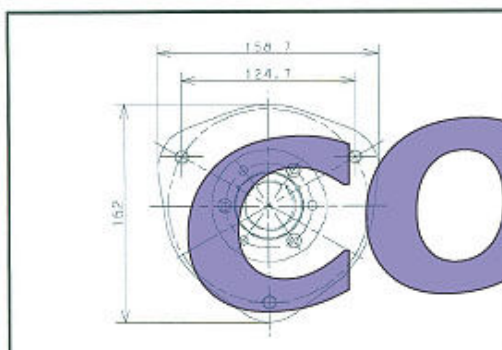


PHOTO N° 8



PHOTO N° 9

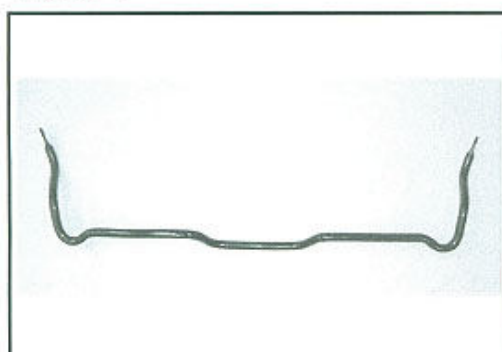


PHOTO N° 10

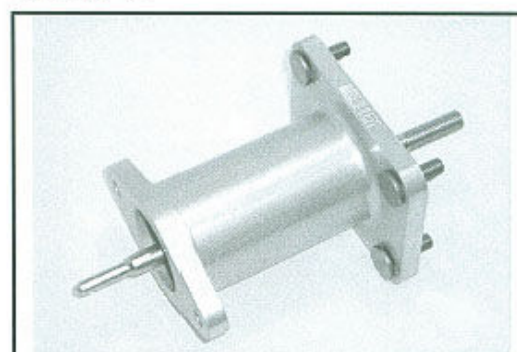


PHOTO N° 11



PHOTO N° 12



Fédération Internationale de l'Automobile
Chemin de Blandonnet, 2
CH-1215 GENEVE 15
Tél.: 41 22 544 44 00
Fax Sport: 41 22 544 44 50

Optimoinnin tulokset

