

Matias Korva

TIEDONKERUUN ANALYSOINTI MOOTTORIURHEILUSSA

TIEDONKERUUN ANALYSOINTI MOOTTORIURHEILUSSA

Matias Korva
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Matias Korva
Opinnäytetyön nimi: Tiedonkeruun analysointi moottoriurheilussa
Työn ohjaaja: Mauri Haataja
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017 Sivumäärä: 40 + 3 liitettä

Tämän opinnäytetyön tilaaja on Oulun ammattikorkeakoulun Ultra-hanke. Tutkimuksessa perehdyttiin ajoneuvojen tiedonkeruun käyttöön moottoriurheilussa. Tiedonkeruun analysointia tutkittiin sen automatisointia silmällä pitäen. Tiedonkeruun analysointi jaettiin kuljettajaa seuraavaan ja autoa seuraavaan pääosiin ja niitä tarkasteltiin eri ajotilanteissa kuten kiihdytyksessä, jarrutuksessa sekä kaarreaajossa. Tavoitteena oli tutkia ajotilanteiden analysointia, jotta voidaan tehdä analysointia automatisoivia ehtoja.

Tutkimuksessa käytettiin moottoriurheilussa käytettäviä Motecin valmistamia L120- ja C187-tiedonkeruujärjestelmiä. Testiajoja ajettiin kahdella erilaisella henkilöautolla talvi- ja kesäajo-olosuhteissa. Testiajot sisälsivät kaarreaajoko-
keet, joissa haettiin yli- ja aliohjauksia, suoran kiihdytyskokeita sekä jarrutusko-
keita.

Tutkimuksessa saatiin tiedonkeruun analysoinnin avulla tutkittua yleisimpiä ja selkeimpiä ajotilanteita ja ajoneuvon käyttäytymistä näissä tilanteissa. Kaarreaajokokeissa saatiin havaittua yli- ja aliohjauksien syntyminen sekä jarrutus ja kiihdytyskokeissa suorituskykyyn vaikuttavat tekijät. Tutkimuksessa suoritettujen ajokokeiden on helposti toistettavissa ja tutkimustyö on pohjatyötä jatkuvalla Ultra-hankkeen tiedonkeruun kehitystyölle.

Asiasanat: tiedonkeruu, moottoriurheilu, Motec

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 TIEDONKERUU MOOTTORIURHEILUSSA	6
2.1 Testiajoneuvojen tekniset tiedot	6
2.2 Ajokokeet	7
2.2.1 Testirata	7
2.2.2 Kuivan kelin ajokokeet etuvetoisella henkilöautolla	8
2.2.3 Lumisen kelin ajokokeet etuvetoisella henkilöautolla	9
2.2.4 Jäärata-ajokokeet takavetoisella henkilöautolla	9
2.2.5 Ympyräkokeet kaarreajon analysointiin	9
3 DATAN ANALYSOINTI	11
3.1 Kiihdytys	11
3.1.1 Vaihteen vaihto kiihdytyksessä	12
3.1.2 Vetävien pyörien luisto kiihdytyksessä	13
3.2 Jarrutus	14
3.2.1 Jarrutus stabiliteetti ja lukkojarrutus	14
3.2.2 Jarrutuspaikka	16
3.2.3 Jarrutusalue	18
3.3 Kaarreajo	20
3.3.1 Neutraaliohjaus	27
3.3.2 Aliohjaus	27
3.3.3 Yliohjaus	29
3.3.4 Ajolinja	32
4 YHTEENVETO	36
LÄHTEET	37
LIITTEET	
Liite 1 Audi A1:n järjestelmäkaavio	
Liite 2 BMW 120d:n järjestelmäkaavio	
Liite 3 GPS-yksikön tekniset tiedot	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tilaaja on Ultra-hanke. Oulun ammattikorkeakoulun Ultra-hanke on laaja hanke, joka koostuu useista hankekokonaisuuksista, kuten kilpa-auton korirakenteen suunnittelusta, hybridoimansiirtojärjestelmästä ja ajoneuvojen tiedonkeruun kehittämisestä (1). Tämän opinnäytetyön aiheena on tiedonkeruun analysoinnin kehittäminen. Tiedonkeruun kehittämisessä pääaiheita ovat tiedonkeruun käytön kasvattaminen, analysoinnin helpompi käyttö sekä automaattinen tiedon talteenotto.

Ultra-hankkeen tiedonkeruun kehittäminen on pitkäaikainen kehittämishanke, joka jaetaan useaan opinnäytetyöhön sekä tuleviin oppilasprojekteihin, jotka keskittyvät tiedonkeruun automaattiseen tallentamiseen sekä reaaliaikaiseen datan analysointiin (1). Tämä tutkimus on ensimmäinen tämän osa-alueen töistä, ja tässä keskitytään tiedonkeruun tarkempaan analysointiin selkeissä ja helposti toistettavissa ajokokeissa. Helposti toistettavien ajokokeiden avulla saadaan ajodynamiikan analysointi jaettua pieniin osa-alueisiin, jotta voidaan analysoida eri tekijöiden vaikutusta ajotilanteissa. Tätä työtä voidaan käyttää lähteenä tulevilla töillä, kuten tiedonkeruun automatisoinnissa ja automaattisessa tallennuksessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä ajoneuvoissa käytettävään tiedonkeruuseen ja sen analysointiin. Tiedonkeruun käyttämisessä ja analysoinnissa keskitytään kuljettajan toiminnan seurantaan sekä ajoneuvon käyttäytymiseen eri ajotilanteissa.

Kuljettajan toimintaa tutkitaan kaarreajossa, jarrutuksissa ja suoran kiihdytyksissä. Työssä vertaillaan eri kuljettajien ajotyylejä ja ajotyyliden vaikutusta parhaimman suorituskyvyn saavuttamiseen. Tiedonkeruun analysointia kehitetään moottoriurheiluun ja parhaan suorituskyvyn hakemiseen on osana analysointia. Työssä käytettyjä ajokokeita voidaan kuitenkin käyttää myös muihin testi- ja tutkimustöihin.

2 TIEDONKERUU MOOTTORIURHEILUSSA

Tiedonkeruulla tarkoitetaan tiedon eli datan talteenottoa ajotilanteessa myöhemmää käsittelyä varten. Tiedonkeruu ja sen käyttö voi yksinkertaisemmillaan olla käytetyn ajan ottamista ja vertaamista keskenään. Kerättävä data voi kuitenkin olla mitä tahansa tietoa, jota voidaan kerätä ajotilanteesta ja hyödyntää myöhemmin datan analysointivaiheessa. (2, s. 8.)

Tiedonkeruu ja sen käyttö on kasvavassa roolissa moottoriurheilussa. Moottoriurheilussa tiedonkeruun tärkein tavoite on saada ajoneuvosta ja kuljettajasta nopeampi, mutta tiedonkeruun analysointi on myös tärkeä työkalu myös vianmäärityksissä, sekä uuden ajoneuvon kehitys- ja testaustöissä. (2, s. 8.)

Yleisiä ajotilanteesta tiedonkeruun avulla kerättäviä tietoja ovat (2, s. 13):

- nopeus- ja pyörimisnopeus
- aika
- kiihtyvyys
- sijainti- ja asentotieto
- lämpötila
- paine
- ääni
- etäisyys
- seossuhde.

2.1 Testiajoneuvojen tekniset tiedot

Ensimmäisissä ajokokeissa on käytetty autolaboratorion Audi A1 -testiautoa, joka on varusteltu laajalla Motecin tiedonkeruujärjestelmällä. Audin tiedonkeruujärjestelmä on valmistettu aikaisempina vuosina opiskelijoiden projektiopintoina. Audin tiedonkeruujärjestelmä koostuu M142-moottorinohjainyksiköstä, joka lähettää CAN-väylässä moottorista kerättävät tiedot C187-näyttöön. C187-näyttöön on liitetty muut kuljettajaa ja ajoneuvoa seuraavat anturit joita työssä tarvitaan. Audi A1:n tiedonkeruujärjestelmän järjestelmäkaavio esitetään liitteessä 1.

Jäärata-ajokokeita varten valmistettu tiedonkeruujärjestelmä asennettiin vuosimallin 2008 BMW 120d -henkilöautoon. Ajokokeissa käytetty BMW oli täysin alkuperäiskuntoinen, eikä autoon ollut tehty mitään muutoksia. Jäärata-ajokokeita varten valmistetut tiedonkeruujärjestelmät perustuvat auton alkuperäisessä CAN-väylässä kulkevan tiedon käyttämiseen. Motecin valmistama L120-tiedonkeruuyksikkö liitettiin rinnan auton CAN-väylään, josta saatiin kerättyä tarvittava data auton omia antureita käyttäen. L120-tiedonkeruuyksikkö lukee auton CAN -väylästä väyläviestejä kullekin anturitiedolle määritetystä väyläosoitteesta, jotka se asetettujen kalibrointiarvojen avulla muuttaa ymmärrettävään muotoon. Tiedonkeruujärjestelmän kytkentäkaavio löytyy liitteestä 2.

Molemmissa testiautoissa käytettiin myös GPS-yksikköä, jolla saatiin GPS-sijaintitieto ja ajonopeus. GPS-yksikkönä käytettiin Race Graden valmistamaa CAN-väylään liitettävää yksikköä, johon sai liitettyä ulkoisen antennin. GPS-yksikön tekniset tiedot esitetään liitteessä 3.

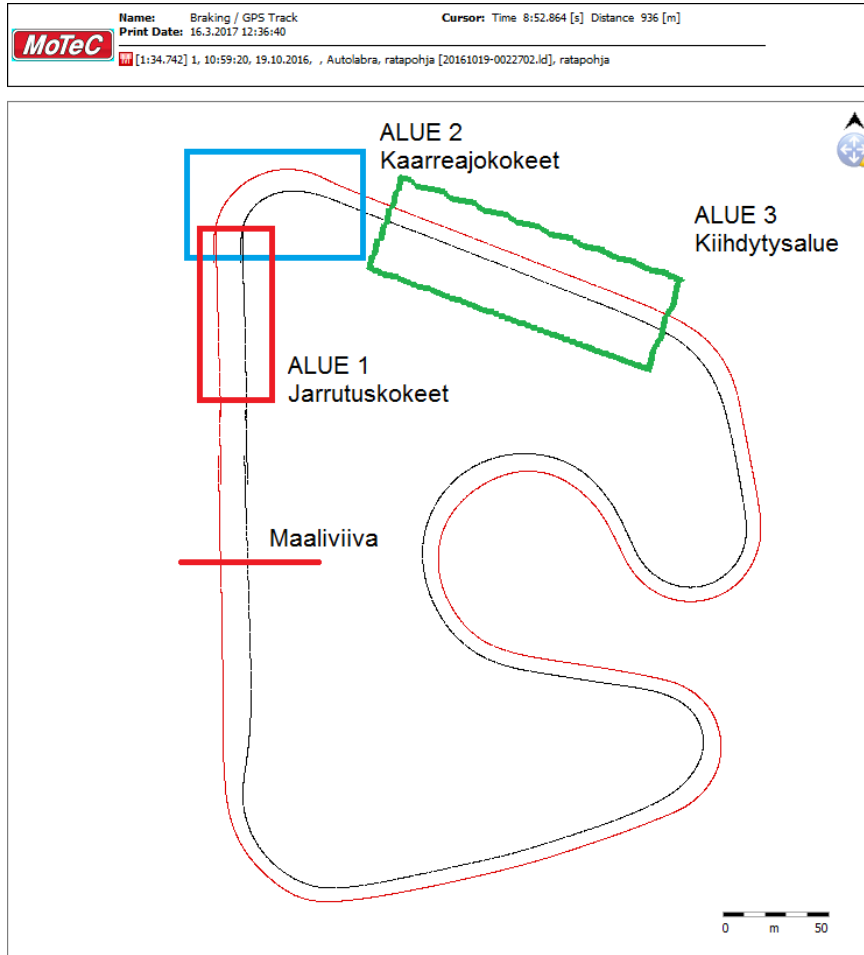
2.2 Ajokokeet

Tutkimusta ja tiedonkeruun analysointia varten suoritettiin ajokokeita. Ajokokeissa kerättiin tarvittavaa dataa erilaisissa ajoympäristöissä, erilaisilla ajotyyleillä sekä erilaisia kaarreajotilanteita aikaansaaden. Ajokokeita suoritettiin kolmen eri kuljettajan toimesta ja ajokokeet suoritettiin autotekniikan opiskelijoiden toimesta. Ajokokeet suoritettiin erilaisissa olosuhteissa ja jokaisella ajokokeella oli eri päätavoite. Olosuhteet ja tavoitteet esitetään myöhemmin ajokokeiden esittelyssä.

2.2.1 Testirata

Rata-ajokokeet suoritettiin Ouluzonen moottoriradalla. Rata on suunniteltu ralli-cross-sarjan autoille, mutta asfaltoitujen kaarteiden ja lisäsuorien ansiosta rataa voi kiertää täysin asfaltoidulla alustalla. Radalla on pituutta 1 460 m, ja testeissä sitä kierretään myötä päivään (3). Radan profiili on esitetty kuvassa 1, johon on rajattu ajokokeissa käytetyt alueet. Aluetta 1 käytetään jarrutuskokeissa. Alue 1 alkaa 75 m maaliviivan jälkeen ja kattaa koko ajoradan leveyden. Alueella on pituutta 120 m, josta kaarreosuutta 20 m. Alueella 2 suoritetaan kaarreajoko-

keet. Alue 2 kattaa radan koko ensimmäisen kaarteeseen. Kaarteeseen keskilinjaa säde on 30 m ja kaarteeseen keskilinjaa pituus on 100 m. Aluetta 3 käytetään suoraa kiihdytysmittauksissa ja suoralla on pituutta 160 m.



KUVA 1. Ouluzonen moottoriradan profiilikuva GPS-sijaintitiedon avulla Motecin i2-ohjelmasta

2.2.2 Kuivan kelin ajokokeet etuvetoisella henkilöautolla

Ensimmäiset ajokokeet suoritettiin kuivalla asfalttiradalla. Rengastuksena ensimmäisissä ajokokeissa oli tieliikennehyväksytyt kesärenkaat, joilla saatiin hyvä pito kuivalla asfaltilla. Ensimmäisissä ajokokeissa painotettiin täydellisen ajokierroksen ajamiseen sekä erilaisten ajolinjojen käyttöön. Erilaisia ajotapoja vertaamalla saadaan esille ihanteellinen ajolinja ja maksimisuoritus kuhunkin mutkaan. Luonteeltaan auto oli kuivalla asfaltilla aliohjaava eikä yliohtilanteita kuivalla kelillä saatu aikaan.

2.2.3 Lumisen kelin ajokokeet etuvetoisella henkilöautolla

Toiset ajokokeet suoritettiin lumisella alustalla pakkaskelillä. Radan pinta oli liukas ja märkää lunta oli radan pinnassa noin 100 mm. Rengastuksena toisissa ajokokeissa oli tieliikennehyväksytyt nastattomat talvirenkaat. Toisessa ajokokeessa keskityttiin yliojauksen syntymiseen ja saada esille selkeitä aliojauksen ja yliojauksen rajapisteitä. Liukkaalla lumella auto on luonteeltaan herkästi yliojjaava kevyen takaosan ja jäykän jousituksen seurauksena.

2.2.4 Jäärata-ajokokeet takavetoisella henkilöautolla

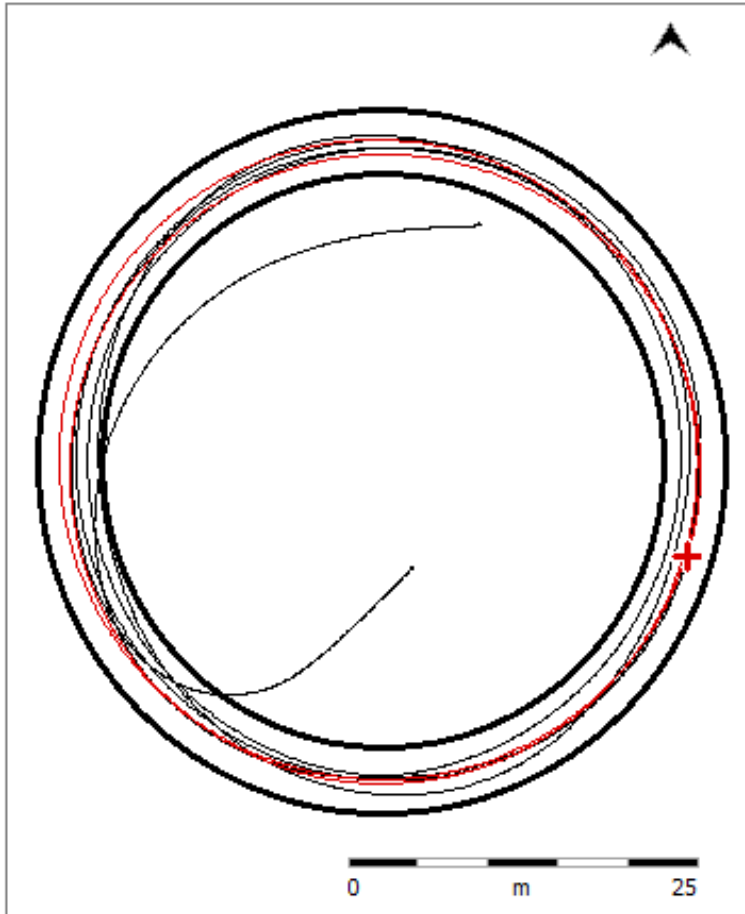
jäärata-ajokokeet suoritettiin BMW 120d-henkilöautolla, jotta saatiin dataa myös takavetoisesta autosta ja nähtiin tiedonkeruun toimivuus kyseisessä autossa.

Jäärata ajokokeet suoritettiin itse auratulla suljetulla jääradalla. Radan pinta oli aurattu ja karhea pakkasjää. Rengastuksena käytettiin tieliikennehyväksytyjä nastarenkaita. Ajokokeessa keskityttiin yliojauksen syntymiseen ja pyrittiin saamaan esille selkeitä aliojauksen ja yliojauksen rajapisteitä.

2.2.5 Ympyräkokeet kaarreajon analysointiin

Kaarten säteen todentamista varten suoritettiin ympyräkokeita. Ympyräkokeet suoritettiin suljetulla tasaisella parkkipaikalla, jossa oli asfalttialusta. Kokeissa ajettiin tasaisella nopeudella ja kääntökulmalla 6, 15, 20 ja 23 m säteisillä rajatuilla ympyröillä. Kokeessa tavoitteena on saada ajoneuvo kulkemaan tasaisella ohjauspyörän asennolla ympyrää säteen pysyessä vakiona. Kun ajoneuvo on saatu stabiloitua kiertämään samaa kehää, alettiin ajonopeutta nostamalla tasaisesti pitäen auto samalla ajokehällä. Kuvassa 2 on esitetty 20 m ympyräkokeen testirata GPS-sijaintitiedon perusteella. Ympyräkokeiden tuloksia käsitellään luvussa 3.3 Kaarreajo.

MotEC Name: Cursor: Ti...
Print Date: _____
[4:07.000] N, 10:18:0...



KUVA 2. 20 m säteen ympyrätestin ratapohja GPS-sijaintitiedon perusteella

3 DATAN ANALYSOINTI

Tiedonkeruun käyttäminen kuljettajan toiminnan analysoinnissa on paras keino selvittää ja kehittää kuljettajan heikkouksia. Ajettua dataa voidaan verrata eri kuljettajien kesken tai saman kuljettajan eri ajokertojen kesken. Tämän avulla voidaan todeta eri ajotyylien vaikutus ja selvittää suorituskyvyltään paras ajotapa erilaisissa ajotilanteissa. (2, s. 8.)

Kuljettajan toimintaa analysoitaessa yleisiä autosta kerättäviä tietoja ovat (2, s.13):

- ohjauspyörän asentotieto
- kaasupolkimen asentotieto
- jarrujärjestelmän painetieto
- pitkittäis- ja sivuttaiskiihtyvyydet
- vaihdetieto
- kaikkien pyörien pyörintänopeus
- moottorin tietoja kuten moottorin pyörintänopeus.

Kuljettajan analysointi on jaoteltu eri ajotilanteisiin ja eri toimintoihin selventääkseen tapahtumien ja toimintojen vaikutus suorituskykyyn. Todellisuudessa kuljettajan analysoinnissa tulee ottaa kaikki tekijät huomioon ja tarkastella ajettua dataa kokonaisuutena. (2, s. 13.)

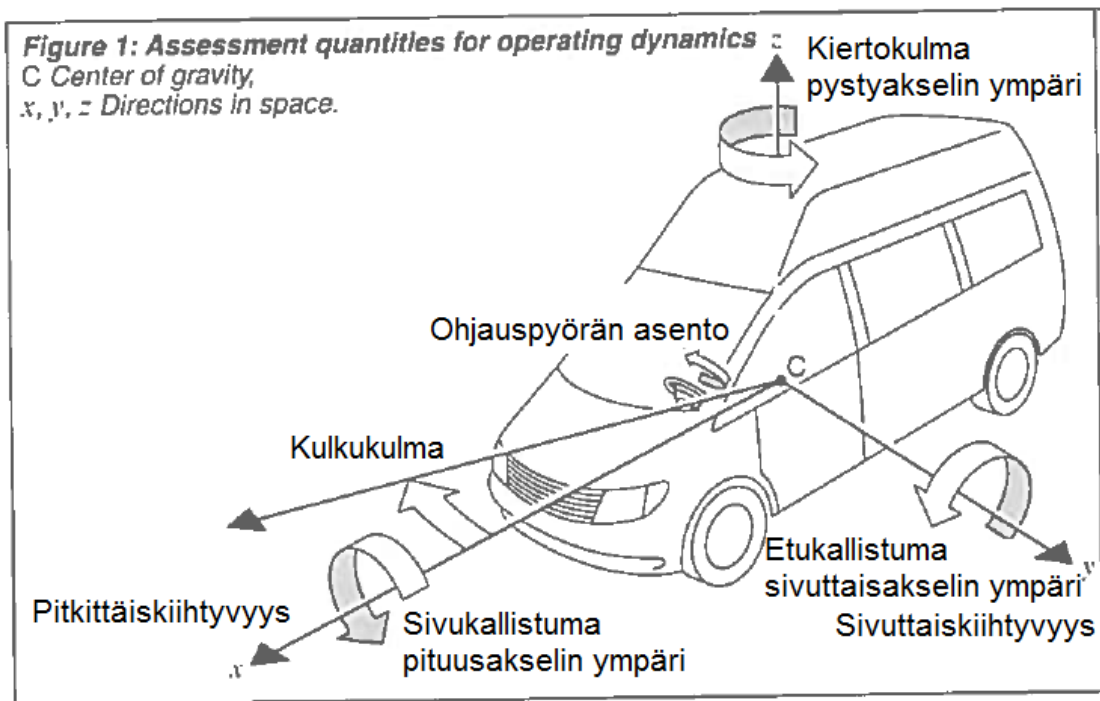
Työssä esiteltävät kaavat on sijoitettu Motecin i2-tiedonkeruun käsittelyohjelmaan, jonka avulla saadaan kaavojen tulokset jatkuvana graafisena kuvaajana yhdistettynä muuhun dataan.

3.1 Kiihdytys

Kiihdytystä ja kiihtyvyyttä voidaan seurata yksinkertaisimmin ajoneuvon asennetuilla kiihtyvyyssantureilla, joilla voidaan nähdä ajoneuvon pitkittäisakselin suuntainen kiihtyvyys kiihdytyksessä. Tarkemmin mitkä tekijät vaikuttavat kiihdytykseen, tarvitaan enemmän anturitietoa ajoneuvosta ja dataa tulee tarkastella kokonaisuutena. (2, s. 14.)

Kiihtyvyyssanturien dataa analysoidessa ajoneuvoa tarkastellaan X-, Y- ja Z- akselien mukaan. Pitkittäskiihtyvyydellä tarkoitetaan X-akselin suuntaista kiihtyvyyttä, joka on ajoneuvon pituusakselin suuntaa ja positiivinen suunta on eteenpäin. Sivuttaiskiihtyvyydellä tarkoitetaan y-akselin suuntaista kiihtyvyyttä, joka on ajoneuvon sivuttaisakselin suuntaa ja positiivinen suunta kaarteissa ulkokaarteeseen suunta. Z-akselilla tarkoitetaan auton pystyakselia auton keskikohdassa ja positiivinen suunta on ylöspäin. (3, s. 798.)

Kuvassa 3 on esitetty tässä työssä käsiteltävät ajoneuvoon vaikuttavat kiihtyvyydet X-, Y- ja Z-akseleittain.

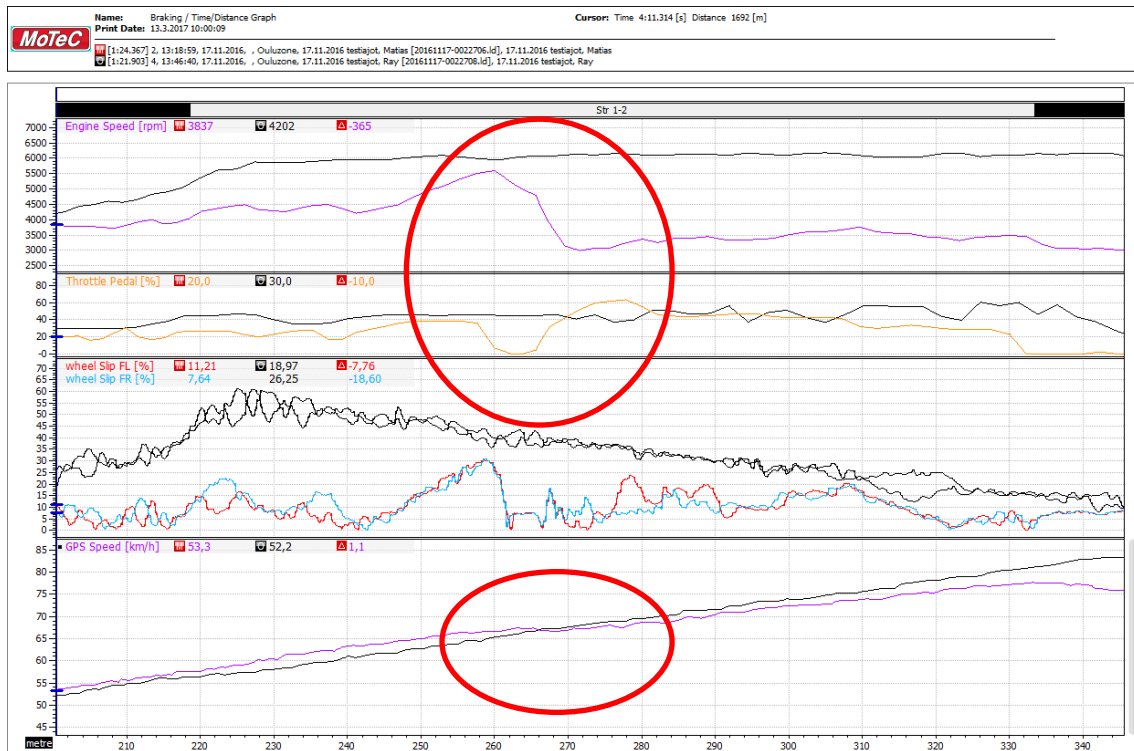


KUVA 3. Ajoneuvoon vaikuttavien voimien tarkastelu X-, Y- ja Z-akselien avulla (4, s. 798)

3.1.1 Vaihteen vaihto kiihdytyksessä

Kiihdytyksessä yleisiä analysoinnin kohteita ovat vaihteen vaihtopaikat suhteessa moottorin pyörintänopeuteen. Moottorin pyörintänopeuteen nähden liian aikainen tai myöhäinen vaihtohetki vaikuttaa parhaan kiihtyvyyteen saavuttamiseen (2, s. 64). Kuvassa 4 on verrattu kahden eri kuljettajan ajamaa dataa kiihdytysalueella 3. Datassa ei ole vaihdetietoa, mutta datasta ylimmäisenä näh-

dään moottorin pyörintänopeudesta, sekä sen alapuolella kaasupolkimen asen-
totiedosta toisen kuljettajan vaihtaneen isomman vaihteen, kun toinen kuljettaja
ajaa samalla vaihteella koko suoran. Alimmaisena datassa on GPS-
nopeustieto, josta voidaan todeta isomman vaihteen vaihtaneen kuljettajan aja-
neen suuremmalla ajonopeudella ensin, mutta vaihteen vaihdon jälkeen ajono-
peus putoaa pienemmäksi kuin samalla vaihteella ajaneen.



KUVA 4. Liian aikaisen vaihteen vaihdon vaikutus alueen 3 kiihdytyskokeissa

Tarkemmalla analysoinnilla voidaan todeta datassa keskellä olevasta luistopro-
sentista liian aikaisen vaihtenvaihdon vaikutus vetovoimaan ja sitä kautta kiih-
tyvyyteen. Kiihdytyskokeissa käytetyn alueen 3 aikana vaihteen liian aikaisin
vaihtanut kuljettaja hävisi 0,34 s.

3.1.2 Vetävien pyörien luisto kiihdytyksessä

Liukkaalla alustalla kiihdyttäessä vetävillä pyörillä ilmenee luistoa. Vetävien pyö-
rien luiston määrä vaikuttaa kiihtyvyyteen. Liian suurella luistolla kiihtyvyyttä ei
saada tarpeeksi ja jos luistoa ei ole, ei maksimikihtyvyyttä ole saavutettu. Eri
alustoilla on eri pitkittäisluiston määrä, jolla saavutetaan suurin kiihtyvyys. Esi-

merkiksi kovilla ja pitävillä alustoilla kuten asfaltti tai betoni maksimi kiihtyvyys saavutetaan noin 15–20 % luistolla. Liukkailla alustoilla luistoprosentti voi olla enemmän ennen kuin kiihtyvyydessä tulee häviötä. Luistoprosentti molemmille etupyörille on laskettu tiedonkeruun analysoinnissa kaavalla 1. (5, s. 20.)

$$\left(\frac{v_{wheel}}{v_{gps}} - 1 \right) * 100\%$$

KAAVA 1

v_{wheel} = pyörän pyörintänopeus [km/h]

v_{gps} = GPS-tunnistimen mittaama ajonopeus [km/h]

3.2 Jarrutus

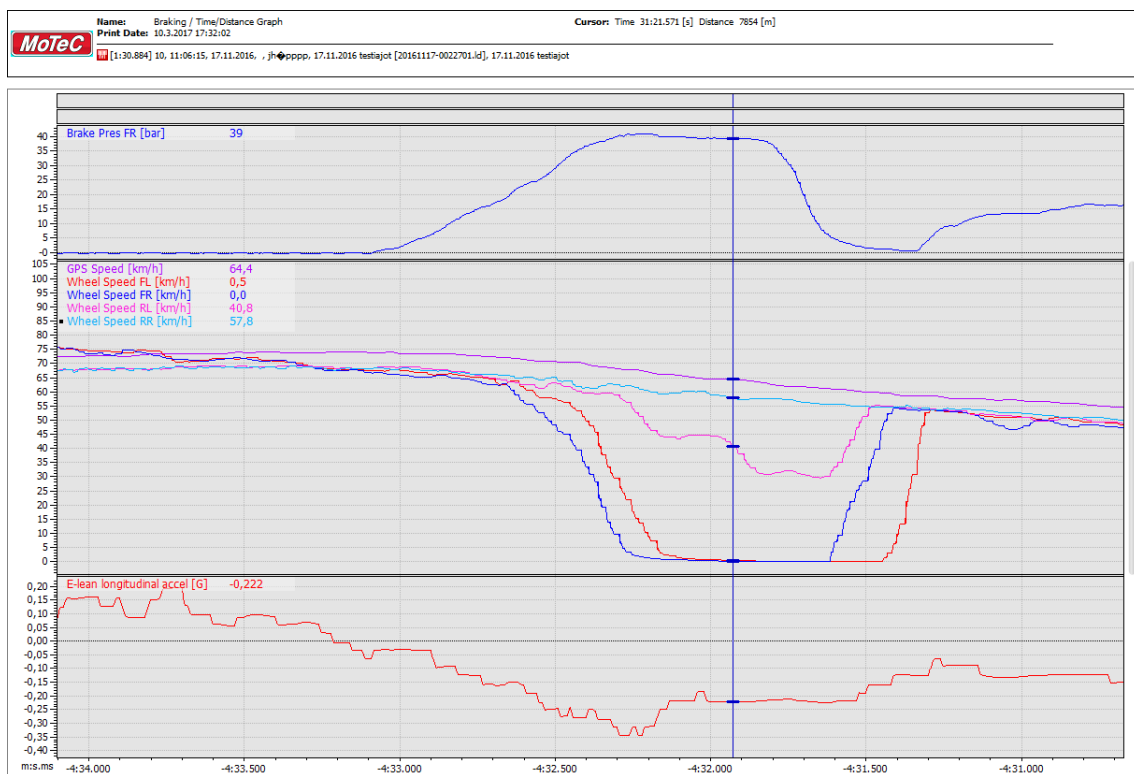
Jarrutuksessa yksinkertaisin analysointi on pitkittäishidastuvuuden tarkastelu kiihtyvyyssanteiden avulla. Tarkempaa analysointia varten tarvitaan myös muuta anturitietoa kuten jarrujärjestelmän paine, pyörien pyörintänopeus sekä ohjauspyörän asento. (2, s. 96.)

Jarrutuksessa yleisiä analysoinnin kohteita ovat jarrutuksen aloitus- ja lopetuspaikat ajoradalla, pyörien lukkiutumiset sekä jarrutuksen tehokkuus. (2, s. 43.)

3.2.1 Jarrutus stabiliteetti ja lukkojarrutus

Lukkojarrutuksella tarkoitetaan yhden tai useamman pyörän pysähtymistä jarrutuksen aikana. Pyörien lukkiutuminen ajossa aiheuttaa pitkittäispidon häviämistä ja sen seurauksena huonoa hidastuvuutta, mutta samalla myös sivuttaispito häviää. Jos takapyörät lukkiutuvat ennen etupyöriä on vaarana ajoneuvon pyörähtäminen pystyakselin ympäri (5, s. 268.) Tämä on paljon vaarallisempi tilanne verrattuna, jos etupyörät lukkiutuvat on seurauksena ohjauksen menetys ja ajoneuvo pyrkii puskemaan suoraan ohjauspyörän asennosta huolimatta. Tieliikenneajoneuvoissa tämä ongelma on ratkaistu ABS-jarruilla, jotka estävät pyörien lukkiutumisen (2, s. 50). Moottoriurheilussa ABS-jarrujen käyttö on pääsääntöisesti kielletty, joten pyörien lukkiutuminen on kuljettajan jarrutustekniikalla estettävä. Jarrutusstabiliteetti tulee toteuttaa ABS-jarruttomassa jarrujärjestelmässä siten, että etupyörät lukkiutuvat ennen takapyöriä lukkiutumisen tapahtuessa (2, s. 48).

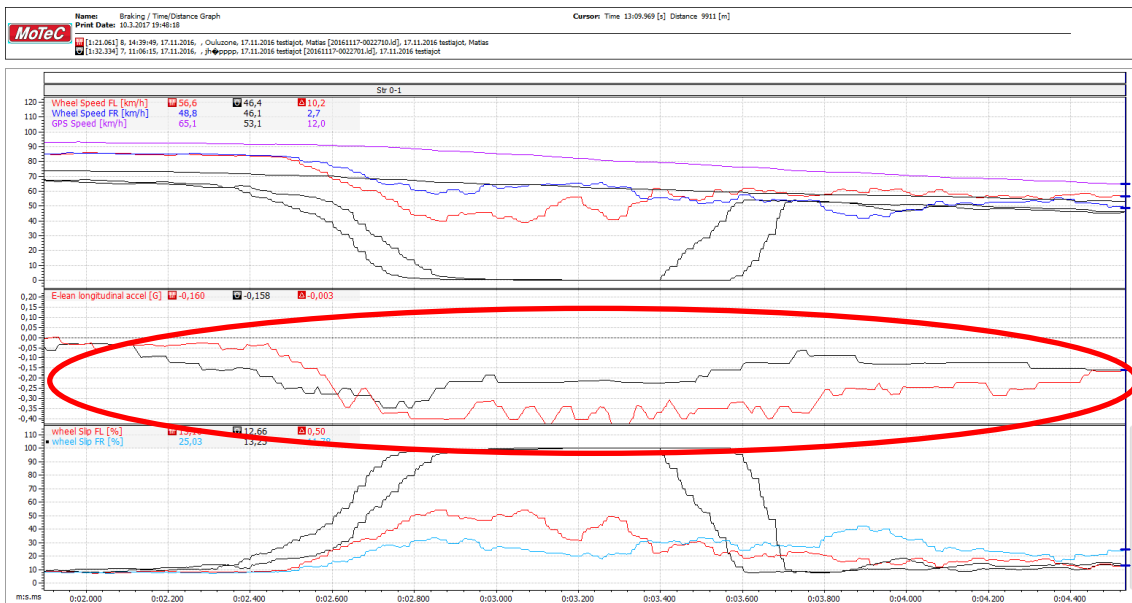
pyörien lukkiutumisen havaitsemiseksi ajetusta datasta tarkastellaan pyörien pyörintänopeustietoa sekä vertaukseksi GPS-tunnistimen nopeustietoa (2, s. 49). Kuvassa 5 on jarrutuskokeissa alueella 1 ajettua dataa matkan funktiona, jossa ylimmäisenä on jarrujärjestelmän paine. Jarrupaineen noustessa, etupyörien pyörintänopeudet hidastuvat nopeammin verrattuna takapyöriin sekä GPS-nopeuteen. Etupyörien lukkiutumisen seurauksena kuljettaja joutuu keventämään jarrutusvoimaa kunnes etupyörät alkavat taas pyörimään ja kuljettaja voi lisätä jarruvoimaa uudestaan. Kuvan 5 data on lumisen kelin ajokokeista etuve-toisella henkilöautolla. Lumisen alustan jarrutuksissa ei kiihtyvyyssanturin datasta havaita niin suurta eroa lukkojarrutuksessa kuin pitävällä alustalla, koska saavutettava maksimi hidastuvuus ei ole yhtä suuri. Lukkojarrutus pehmeällä alustalla aikaansaa lumen pakkautumisen lukkiutuneen pyörän eteen, mikä lisää kitkaa (5, s. 151).



KUVA 5. Eturenkaiden lukkiutumisen havaitseminen ajetusta datasta

Kuitenkin kuvan 5 jarrutusta kun verrataan saman ajokokeiden tehokkaimpaan jarrutukseen kuvassa 6, voidaan verrata saavutettua keskihidastuvuutta jarrutuksessa. Kuvassa 6 mustat graafiset kuvaajat ovat samasta lukkojarrutustilan-

teesta kuin kuvan 5 ja niiden kanssa on synkronoitu samassa jarrutuspaikassa kierrosajan funktiona ajokokeissa tehokkaimman jarrutuksen data. Keskimmäisenä havaitaan pitkittäiskiivtyvyysanturin data, jossa lukkojarrutustilanteessa on saavutettu noin 0,21 g keskihidastuvuus, kun tehokkaammassa jarrutuksessa on saavutettu 0,37 g keskihidastuvuus. tehokkuutta verratessa tehokkaimmassa jarrutuksessa on saavutettu 0,62 s aikaetu verrattuna lukkojarrutukseen, joka on merkittävä ottaen huomioon, että käsittelyssä on vain yksi jarrutusalue.



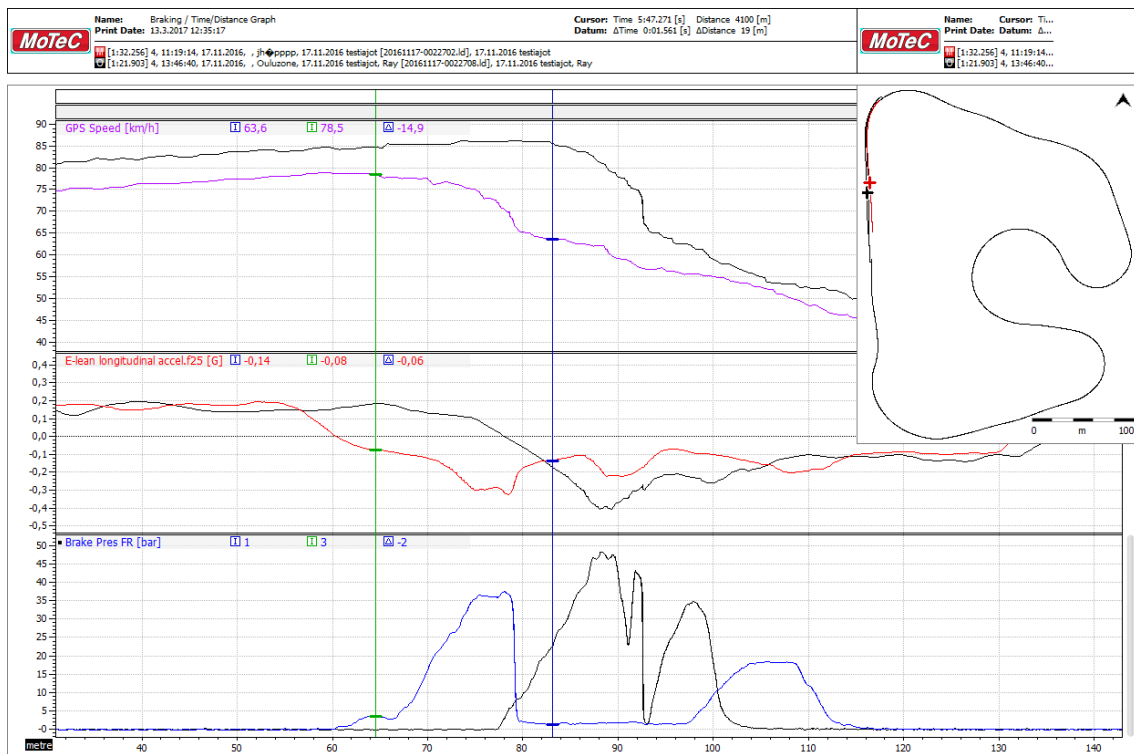
KUVA 6. Lukkojarrutuksen datan vertaaminen tehokkaimpaan jarrutukseen

Kuvan 6 tarkemmalla analysoinnilla voidaan havaita alimmaisesta datasta las-kennallisen luistoprosentin avulla, että lumisen kelin ajokokeiden olosuhteissa parhaan hidastuvuuden jarrutuksissa saavuttaa noin 32 % luistolla. Liukkaalla ja pehmeällä alustalla luiston kasvaminen ei heikennä hidastuvuutta niin kriittisesti kuin pitävällä ja kovalla alustalla, koska tässäkin pehmeän alustan pakkautuminen renkaiden eteen lisää hidastavaa kitkaa jarrutuksen lisäksi (5, s. 151).

3.2.2 Jarrutuspaikka

Jarrutuspaikalla tarkoitetaan sijaintia ajoradalla missä jarrutus aloitetaan. Jarrutuksen aloituspaikan analysointi ja vertailu on yleisimpiä kohteita kehittää jarrutusta ja saada mahdollisimman tehokas jarrutus. Mahdollisimman myöhäisellä

jarrutuksella saadaan suurin loppunopeus edellisessä kiihdytyksessä, mutta vaatii tehokkaampaa jarrutusta, jotta nopeus kaarteeseen tultaessa ei ole liian suuri (2, s. 43). Jarrutuskokeet suoritettiin alueella 2. Kuvassa 7 esitetään kahden eri lumisen kelin jarrutuskokeiden dataa synkronoituna kuljetun matkan funktiona. Jarrutuspaikkaa tulee tarkastella ajonopeus- tai pitkittäiskiivtyvyys antureiden avulla, koska jarrupolkimen tieto ei kerro todellisuudessa, että milloin kiihdytys on vaihtunut hidastuvuudeksi (2, s. 96). Kuvassa 7 ylimmäisenä datassa esitetään GPS-nopeustieto ja vertikaaliset cursorit on asetettu kahden eri jarrutuskokeen jarrutuspaikan kohdalle. Toinen kuljettaja on aloittanut jarrutuksen 18 m myöhemmin ja tämän seurauksena saavuttanut 8km/h suuremman loppunopeuden enne jarrutusta. Myöhemmin aloitettu jarrutus pitää suuremman ajonopeuden koko jarrutusalueen 2 ajan. Näiden tekijöiden seurauksena myöhemmin jarruttanut saavuttaa jarrutuksessa 1,1 s aikaedun.



KUVA 7. Jarrutuksen aloituspaikkojen vertaaminen keskenään kahden eri jarrutuskokeen välillä ja niiden vaikutus jarrutuksen tehokkuuteen

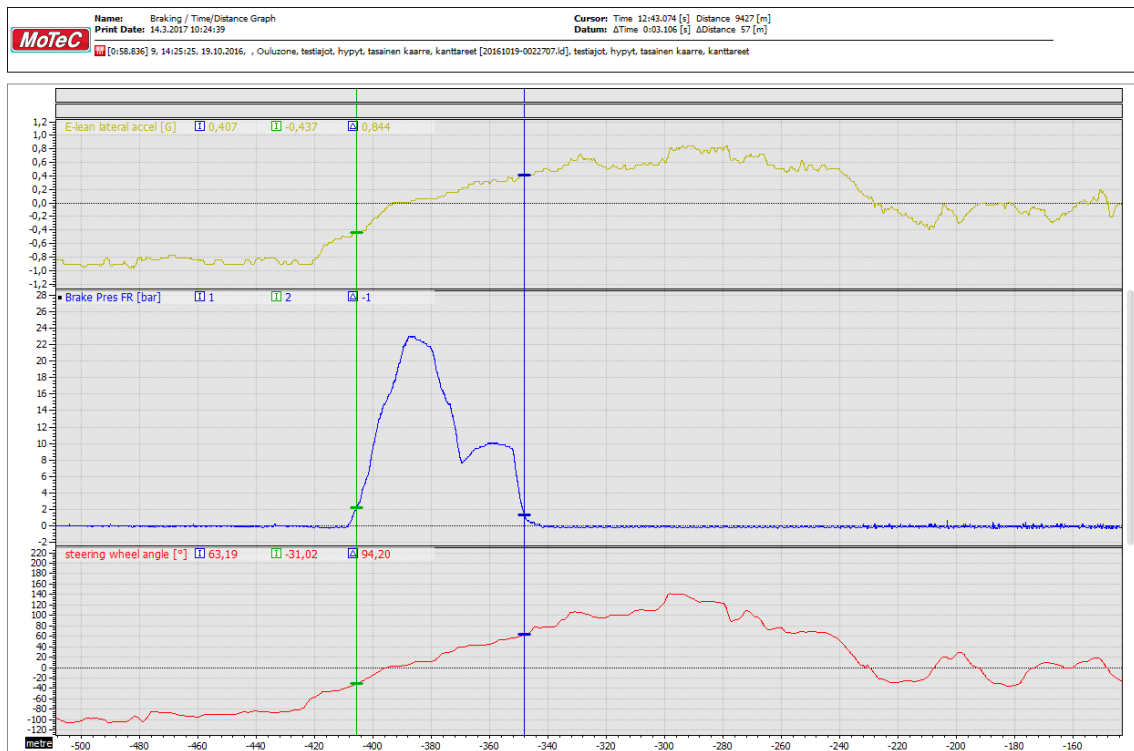
Kuvan 7 tarkemmalla analysoinnilla nähdään keskimmaisesta datassa pitkittäiskiivtyvyysanturin tieto, josta voidaan todeta myöhemmin jarruttaneen henkilön

joutuneen jarruttamaan suuremmalla hidastuvuudella pystyäkseen kääntymään kaarteeseen. Näin ollen jarrutus on ollut tehokkaampaa.

3.2.3 Jarrutusalue

Jarrutusalue alkaa jarrutuspaikasta ja loppuu kun jarrutus lopetetaan. Jarrutusalue voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen, jotka ovat suorajarrutus ja kaarrejarrutus. Kaarteen profiili ja edellisen suoran pituus vaikuttavat missä suhteessa jarrutusalue jakaantuu suorajarrutuksen ja kaarrejarrutuksen kesken (2, s. 43).

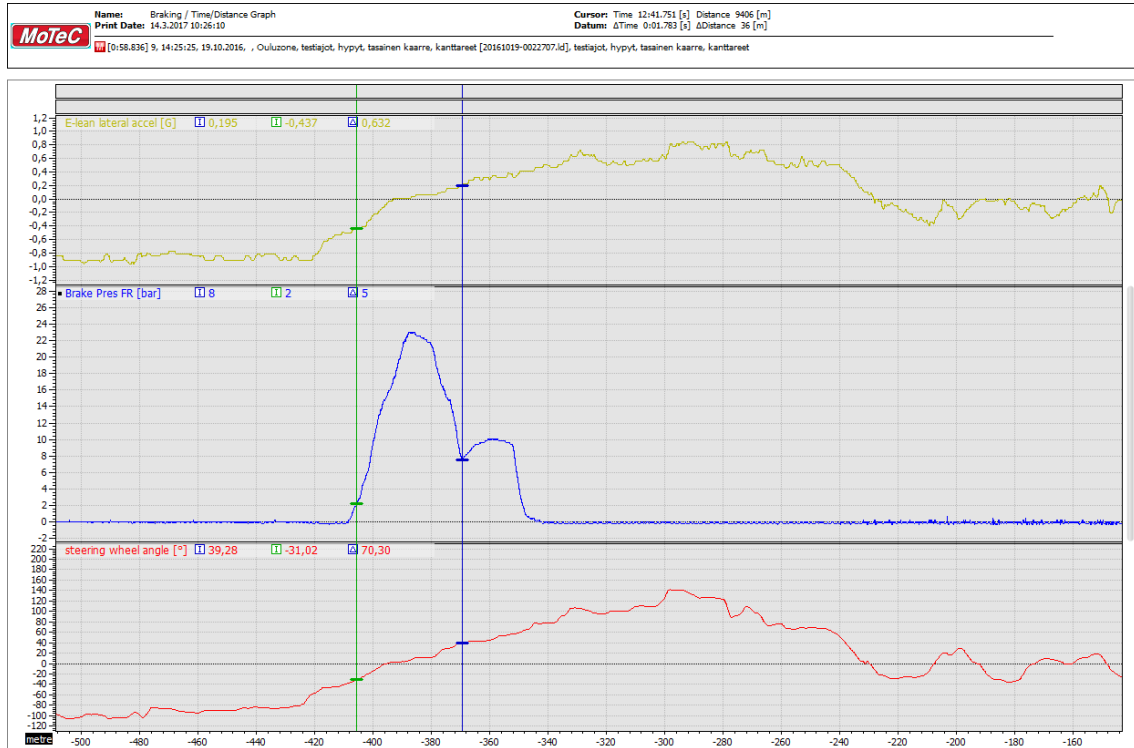
Kuvassa 8 esitetään kursoreilla rajattuna jarrutusalue kokonaisuudessaan. Jarrutusalueen analysointiin on jarrutuskokeiden datasta otettu tarkasteluun sivuttaiskihtiäisyys, jarrujärjestelmän paine, sekä ohjauspyörän asento.



KUVA 8. Kursoreilla rajattu jarrutusalue suoritettujen jarrutuskokeiden datasta

Suorajarrutuksessa suurin osa hidastuvuudesta saadaan aikaan, koska ohjaus pidetään suorassa ja kaikki renkaiden ja ajoradan välinen kitka käytetään pitkitäiseen hidastuvuuteen. Suorajarrutuksen analysointiin tiedonkeruussa tarvitaan jarrupaineen lisäksi ohjauspyörän asentotieto, jotta voidaan rajata alue missä ohjauspyörä on pidetty suorassa (2, s. 34).

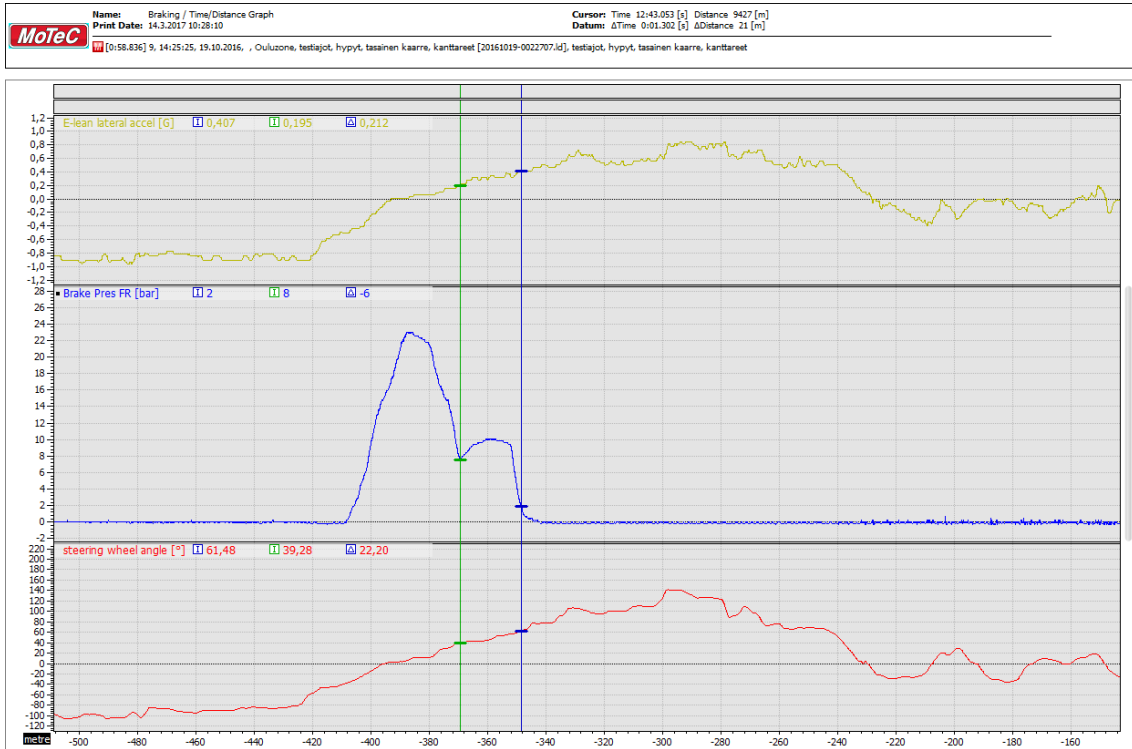
Kuvassa 9 on saman jarrutuskokeen data, josta on rajattu kursoreilla suorajarrutuksen osuus. Kuvassa 9 voidaan todeta jarrupaineen olevan suurin tuolla osuudella ja ohjauskulman lähellä 0 astetta. Myös ylimmäisenä datassa esitetty sivuttaiskiikkyvyys on lähellä 0 g, joten kaikki renkaiden ja ajoradan välinen kitka on saatu käytettyä pitkittäiseen hidastumiseen.



KUVA 9. Jarrutuskokeen datasta rajattu suorajarrutusosuus

Kaarrejarrutus on suorajarrutuksen jälkeistä jarrutusta, jossa on lähdetty jo kääntymään kaarteeseen. Kaarteeseen kääntäminen ja sivuttaiskiikkyvyyden syntyminen vaatii kitkaa renkailta, joten kaarrejarrutus ei voi olla niin tehokasta kuin suorajarrutus jotta ohjattavuus säilytetään. Liian suuri jarrutusvoima kaarrejarrutuksessa voi johtaa pidon irtoamiseen, jonka seurauksena auto voi lähteä yli- tai aliohjaamaan. (2, s. 34.)

Kuvassa 10 on saman jarrutuskokeen data, josta on rajattu kaarrejarrutuksen osuus. Kaarrejarrutuksessa on aloitettu käänteeseen kääntyminen, jonka seurauksena jarruvoima on jouduttu pienentämään merkittävästi, jotta pyörien kitkaa saadaan käytettyä sivuttaiskiikkyvyyden vastustavaan sivuttaiskitkaan.



KUVA 10. Jarrutuskokeen datasta rajattu kaarrejarrutusosuus

3.3 Kaarreajo

Kaarreajoa analysoidessa yksinkertaisimpia tietoja ovat saavutettu sivuttaiskiihtyvyys sekä ylläpidetty ajonopeus. Kaarteessa ajoneuvoon vaikuttavan sivuttaiskiihtyvyyden suunta on kuvassa 13 esitettyyn kaarteeseen keskiöön ja suuruus saadaan kaavalla 2 (5, s. 37).

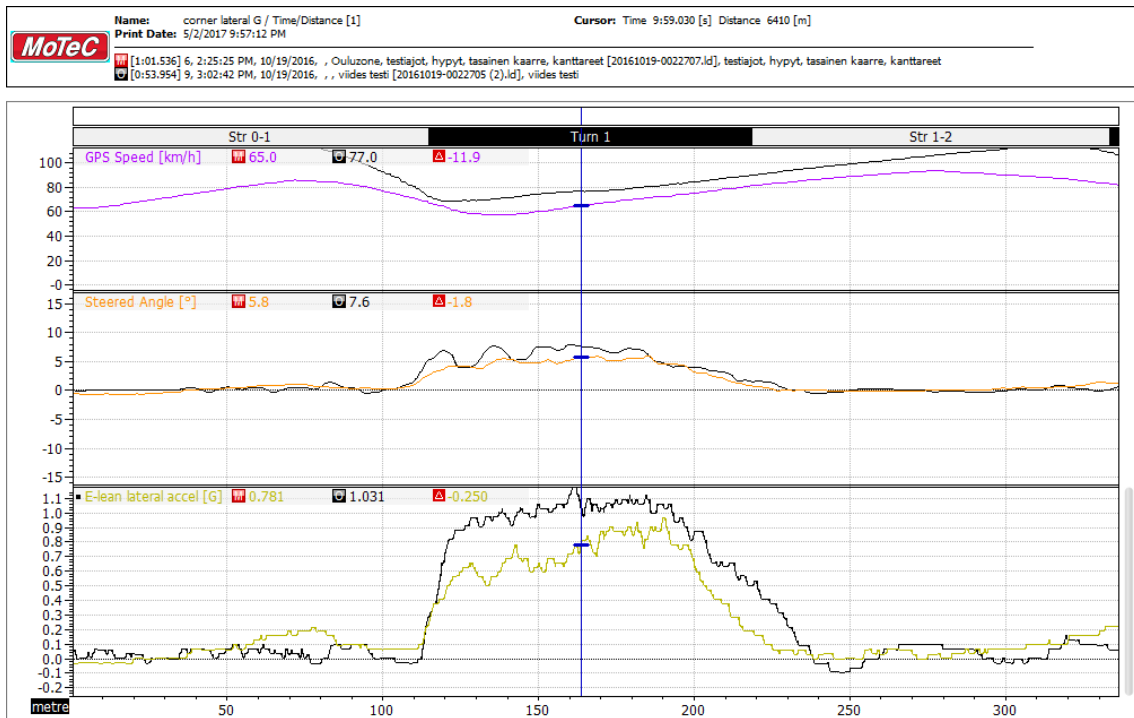
$$a = \frac{v^2}{R}$$

KAAVA 2

Tarkempaa analysointia varten tulee kaarreajo jakaa eri osa-alueisiin sekä analysointiin tulee ottaa mukaan lisää anturitietoa kuten GPS-sijaintitieto ajolinjojen analysointia varten, kaasupolkimen asento sekä jarrutieto. (2, s. 54.)

Ensimmäisenä kaarreajoa analysoitiin kokonaisena suorituksena ja ajokokeiden datasta tarkasteltiin sivuttaiskiihtyvyyttä ja ajonopeutta. Kuvassa 11 on esitetty kahden eri kaarreajokokeen ajettua dataa kuivan kelin ajokokeista. keskimmäisenä on kääntökulma, jotta voidaan eri ajokokeiden dataa verratessa todeta ajolinjan olevan sama. Kuvassa 11 alimmaisena on sivuttaiskiihtyvyys ja ylhääl-

lä ajonopeus, joista voidaan todeta hitaamman kuljettajan ajaneen noin 0,59 g keskisivuttaiskiihtyvyydellä ja 68 km/h keskinopeudella. Nopeampi kuljettaja ajaa noin 0,85 g keskisivuttaiskiihtyvyydellä ja 78,5 km/h keskinopeudella. Kuvan 11 mitattu matka on 117 m ja nopeampi kuljettaja on tällöin saavuttanut noin 0,8 s aikaedun.



KUVA 11. Kaarreajon analysointi pelkästään sivuttaiskiihtyvyyttä ja ajonopeutta tarkastellen

Kaarteen säteen analysoinnilla tiedonkeruussa on hyötyä rataprofiileja mallinnettaessa ja kaarreajon analysoinnissa. Säteitä mitattiin kahdella eri menetelmällä. Kuvassa 12 esitetään dataa 20 m säteen ympyräajokokeista, jossa keskimmäisenä sininen graafinen kuvaaja on saatu GPS-nopeustiedon ja kiihtyvyyssanturin datoista kaavalla 3 (4, s. 37).

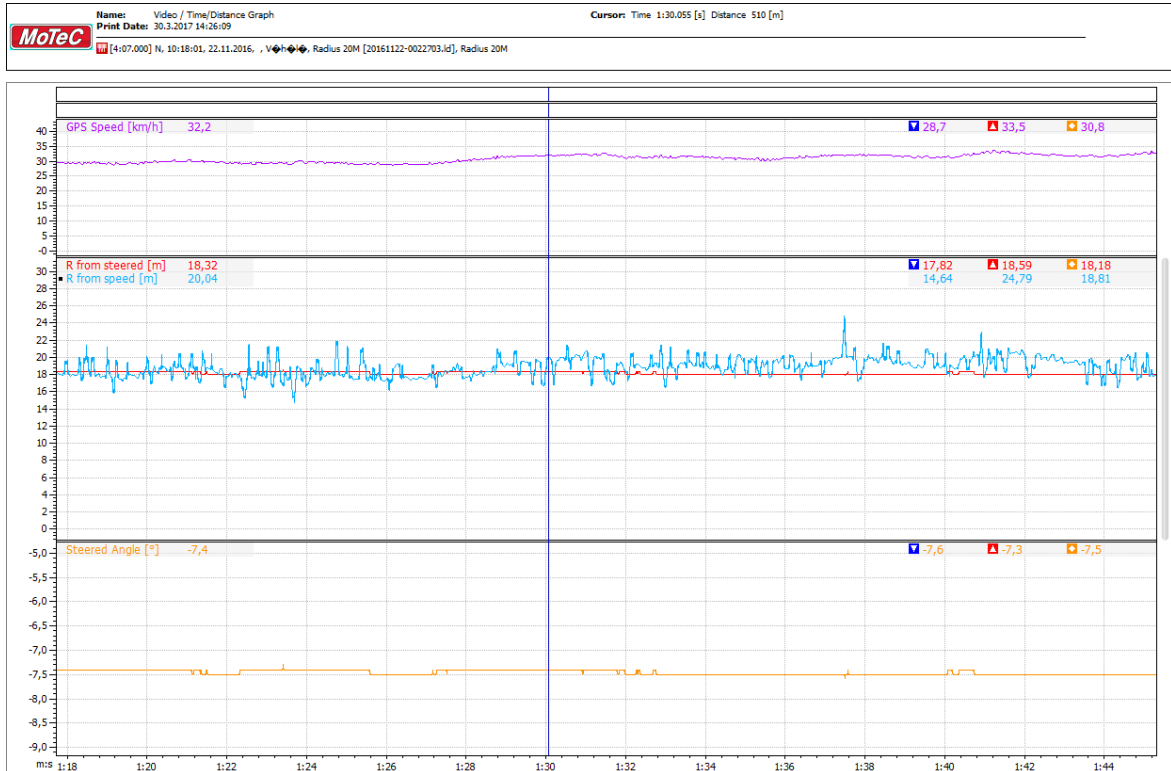
$$R = \frac{v^2}{a_{lat}}$$

KAAVA 3

v = ajonopeus [m/s]

a_{lat} = sivuttaiskiihtyvyys [m/s^2]

Kaavan 3 menetelmässä kiihtyvyyssanturi ja auton kova jousitus aiheuttaa värinää kuvaajassa, mutta keskiarvona kaartein säde on 18,8 m, mikä on 1,2 m pienempi kuin todellinen ajettu kaartein säde. Tätä menetelmää käytettäessä tulee pitää huoli että mitattavat kaarteet ajetaan tasaisella nopeudella ja riittävän hiljaisella vauhdilla, jotta yli-, eikä aliohjausta pääse syntymään.



KUVA 12. Kaartein säteen mittaamista tutkittiin tiedonkeruussa pyörien kääntökulmien avulla

Toisena kaartein säteen mittaamenetelmänä käytettiin Ackermannin kaartoteorian kaartosäteen kaavaa 4 (6, s. 53).

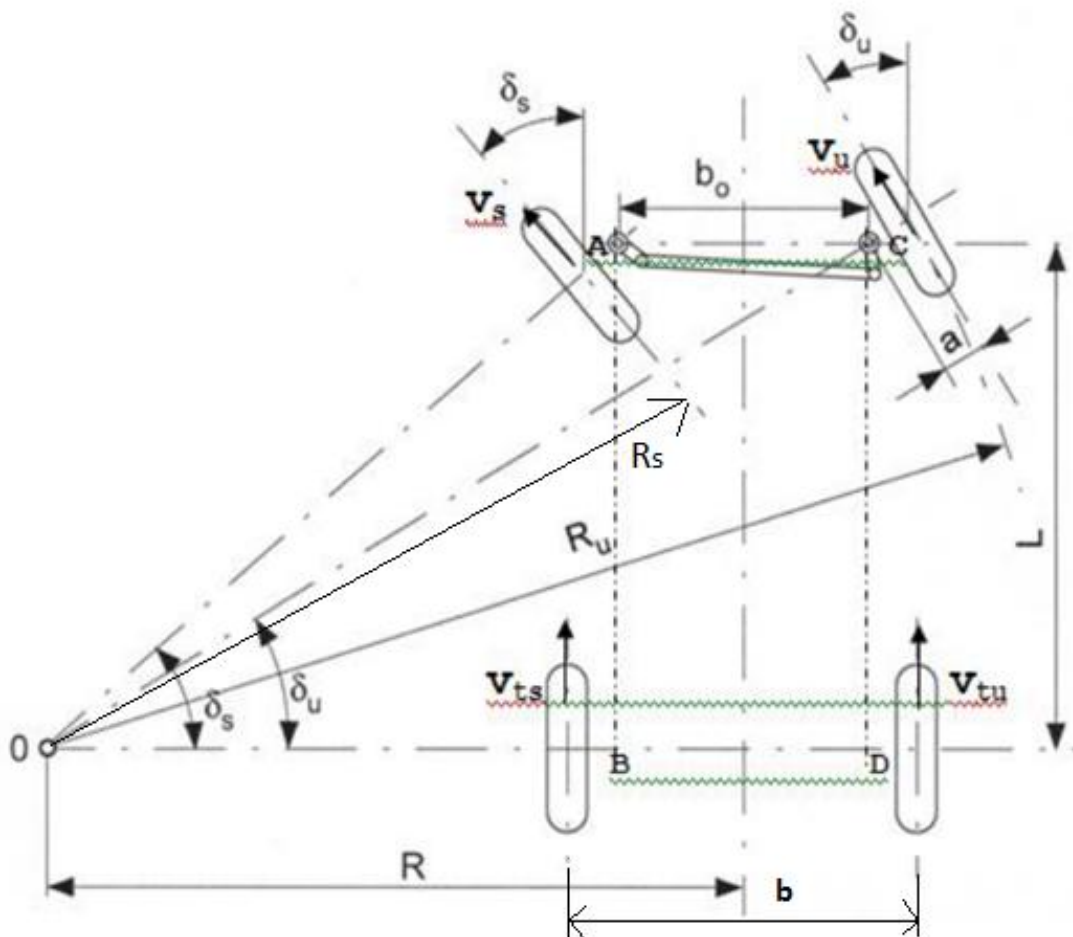
$$R = \frac{L}{\tan \delta_u} - \frac{b_0}{2}$$

KAAVA 4

Kaavan 4 mittaustavassa käytetään etupyörien kääntökulmatietoa sekä auton akselimittoja. Kuvassa 12 keskimmäisenä punainen graafinen kuvaaja on paljon tasaisempi, mutta keskiarvona kaartein säde on 18,18 m. Tässä mittaustavassa on virhettä enemmän kuin ajonopeuden ja sivuttaiskiihtyvyyden perusteella mitatulla. Tämä johtuu siitä että kyseinen kaava on yksinkertaistettu kaartomalli, jossa keskeiskiihtyvyyttä ei oteta huomioon (6, s. 105). Eri ympyrän säteillä ajat-

taessa tuloksissa ei havaittu eroja. Kaikissa mittauksissa ajonopeuden ja sivuttaiskiihtyvyyden avulla laskettu kaartein säde on lähimpänä todellista ajetun kaartein sädettä.

Ackermann-kaarto kuvaa kaksiakselisen erillispyöräohjauksella olevan ajoneuvon teoreettista kaarta. Ackermann-kaarto on yksinkertaistettu kaartomalli, jossa kaartein kallistuskulma on 0° ja ajonopeus pieni, jolloin keskeiskiihtyvyys ajatellaan olevan 0 m/s^2 . Kuvassa 13 esitetään Ackermann-kaarto ja kaartoteoriassa käytettävät ohjausgeometrianmitat. (6, s. 105.)



KUVA 13. Ackermann-kaartokuva, jossa on esitetty työssä käytettävät alusta-geometrian mitat (6, s. 105)

Kuvan 13 ohjausgeometrian mitat ovat seuraavat:

- b = raideväli [m]
- b_0 = raidenivelten väli [m]
- L = akseliväli [m]
- δ_s = sisemmän etupyörän kääntökulma [°]
- δ_u = ulomman etupyörän kääntökulma [°].

Taulukossa 1 on esitetty auton ohjausmekanismilaskelmissa käytettävät mitat, joiden avulla saadaan laskettua Ackermann-kaarron teoreettiset kääntökulmat sekä kulmavälitys. Mittojen sijainnit autossa on esitetty aikaisemmin kuvassa 13. (6, s. 105.)

TAULUKKO 1. Audi A1 -henkilöauton ohjausmekanismin mitat

a [mm]	d [mm]	L [mm]	b [mm]	b0 [mm]
25	145	2474	1450	1297,00

Kaarraajokokeita varten tarvitaan etupyörien kääntökulma, joka saadaan mitaamalla pyörien suuntauslaitteistolla. Etupyörien ja ohjauspyörän kääntökulmista saadaan laskettua ohjauksen kulmavälityssuhde. Ohjauksen kulmavälityssuhde kuvaa pyörien- ja ohjauspyörän kääntökulmien välistä suhdetta, joka saadaan kaavalla (6, s. 113).

$$i_\alpha = \frac{\alpha_0}{\delta}$$

KAAVA 5

α_0 = ohjauspyörän kääntökulma [°]

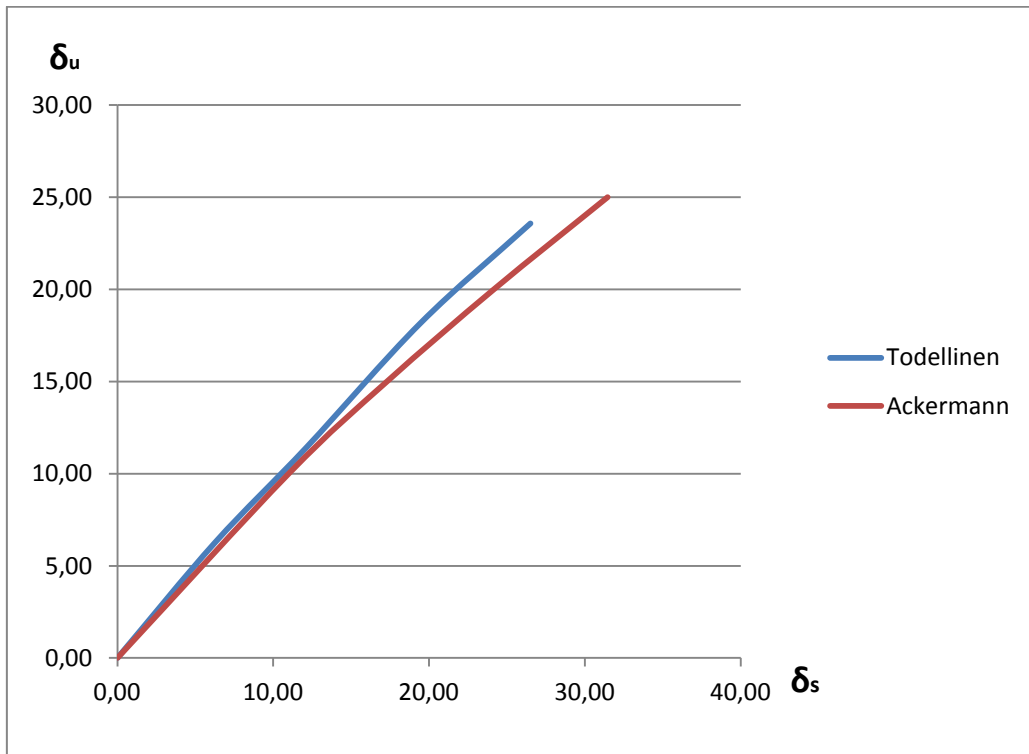
δ = pyörien keskimääräinen kääntökulma [°]

Pyöränsuuntauslaitteella mitatuista arvoista tehdään taulukko ja näiden avulla saadaan i2-tiedonkeruuohjelmassa pelkästään ohjauspyöränasentotiedolla analysoitua myös etupyörien kääntökulmaa. Etupyörien kääntökulmaa voidaan käyttää esimerkiksi aikaisemmin esitetyssä kaarteiden säteen määrittämiskaavassa. Ackermann-kaartoa käytetään vertailuksi taulukossa 2 ja tätä verrataan Audi A1:n todellisiin kääntökulmiin, sekä laskettuun ohjauksen kulmavälitykseen.

TAULUKKO 2. Audi A1 -henkilöauton ohjauksen kääntökulmat vertailtuna Ackermann-kaarron teoreettisiin

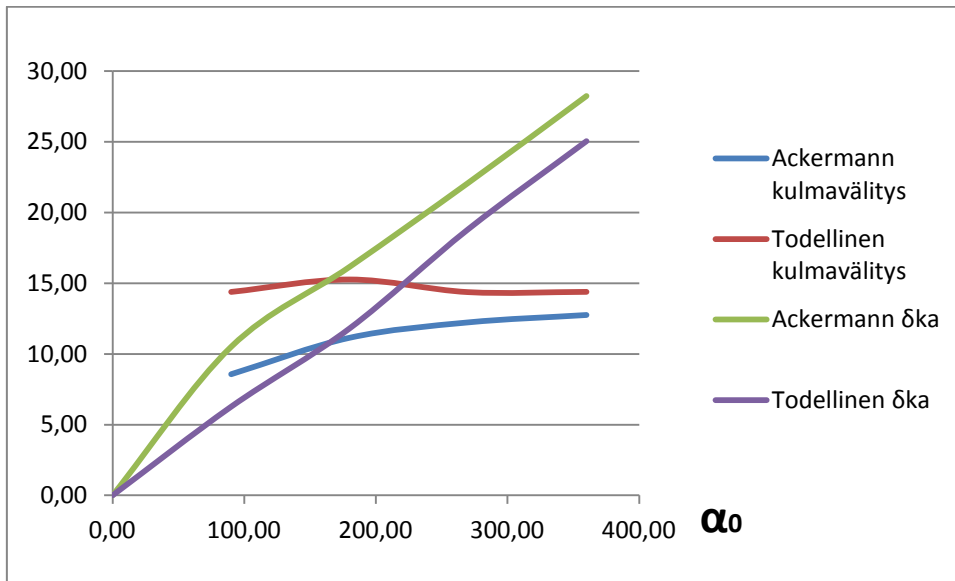
Ohjauspyörä	Ackermann			Todellinen		
α_0	δ_u	δ_s	i_α	δ_u	δ_s	i_α
360,00	25,00	31,46	12,75	23,57	26,50	14,38
270,00	20,00	24,16	12,23	18,16	19,44	14,36
180,00	15,00	17,30	11,14	11,44	12,15	15,26
90,00	10,00	10,99	8,57	6,26	6,26	14,38
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			$\Sigma = 11,17$			$\Sigma = 14,59$

Mitattua todellista kaarta voidaan verrata teoreettiseen kaartoon myös graafisesti pyörän kääntökulman funktiona. Kuvassa 14 esitetään kuinka todellinen kaarto eroaa teoreettisesta, koska teoreettinen Ackermann-kaarto ei ole mahdollista toteuttaa mekaanisella hammastanko-ohjauksella. Ohjausgeometrioita suunnitellessa pyritään kuitenkin mahdollisimman lähelle teoreettista. Tässä autossa todellinen pysyy hyvin lähellä teoreettista aina 15 ° ulomman pyörän kääntökulmaan asti. (6, s. 107.)



KUVA 14. Ackermann-kaarron teoreettinen- ja Audi A1:n todellinen kaarto pyörän kääntökulman funktiona

Audi A1 -henkilöauton ohjauksen todellista ja teoreettista kulmavälitystä voidaan verrata graafisesti ohjauspyörän kääntökulman funktiona. Kuvasta 15 voidaan todeta teoreettisen kulmavälityksen olevan pienempi kuin todellisen kulmavälityksen. Todellisen kulmavälityksen loiva aalto johtuu mittaepätarkkuudesta. Samaan kuvaan 15 on lisätty pyörien teoreettinen ja todellinen keskimääräinen kääntökulma, joka on kaarteeseen ulomman ja sisemmän pyörän keskiarvo.



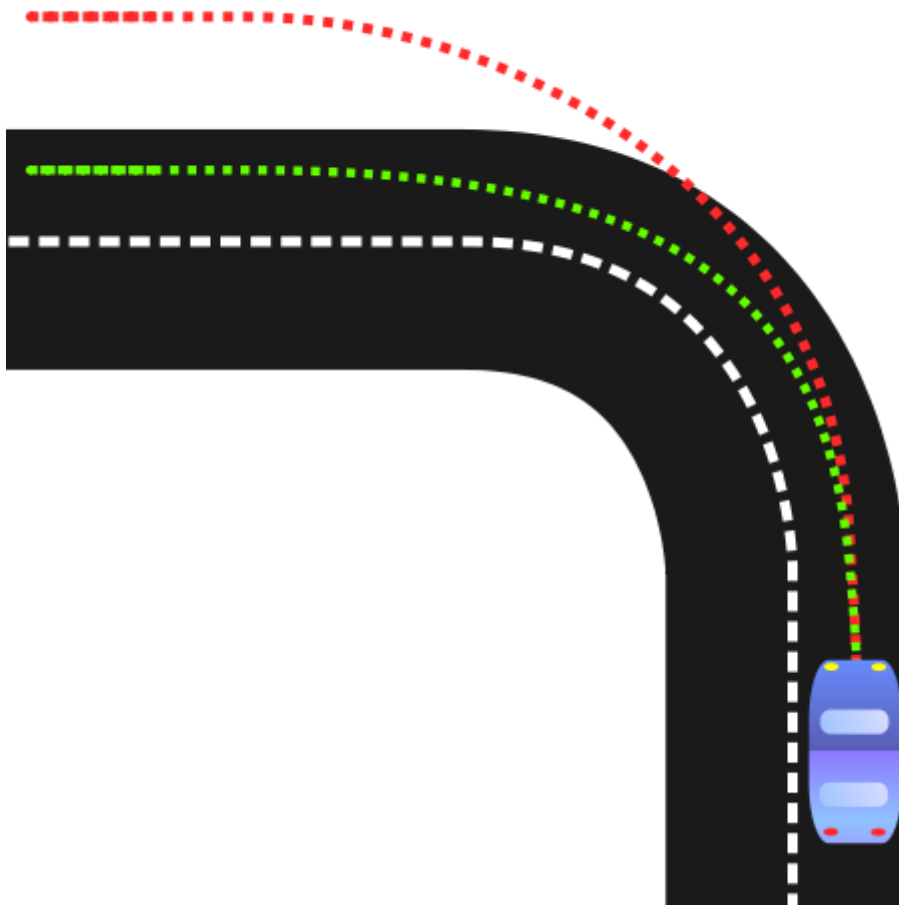
KUVA 15. Audi A1 -henkilöauton todellisen kulmavälityssuhteen vertaaminen Ackermann-kaarron teoreettiseen. Kuvassa esitetään myös pyörien keskimääräisten kääntökulmien vertaaminen

3.3.1 Neutraaliohjaus

Neutraaliohjaus on tapa, jossa auto kulkee kaarteeseen tasaisella kääntökulmalla eikä etu- eikä takarenkaissa ilmene luistoa. Tällä tavalla saavutetaan maksimi sivuttaiskiihtyvyys sekä suurin kaarteeseen ajonopeus pitävällä alustalla kuten asfaltilla (5, s. 344). Tiedonkeruusta neutraaliohjauksen on helppo todeta kun kaarteeseen aikana sivuttaiskiihtyvyydessä eikä ohjauskulmassa tule äkillisiä muutoksia (2, s. 117). Tällöin kaarre on ajettu tasaisesti. Kuvassa 16 ja 18 esitetään vihreällä katkoviivalla neutraaliohjauksella kulkeneen auton kaartolinja kaarreajossa.

3.3.2 Aliohjaus

Aliohjauksessa auto ei kulje neutraaliohjauksen mukaista kaarretta pitkin, vaan pyrkii jatkamaan matkaa suoraan keula ulkokaarteeseen päin. Kuvassa 16 esitetään auton käyttäytyminen kaarteessa auton aliohjautuessa. Aliohjauksen tapahtuessa etupyörissä tapahtuu luistoa. (5, s. 344.)



KUVA 16. Aliohjauksessa auto pyrkii puskemaan mutkassa keula ulkokaarteeseen päin ja etupyörissä syntyy sivuttaisluistoa (7)

Aliohjauksen havaitsemiseen tarvitaan tiedonkeruun datasta sivuttaiskiihtyvyyden tieto, etupyörien kääntökulma sekä ajonopeus. Aliohjauksen tunnistamisessa voidaan hyödyntää aikaisempaa kulmakihtyvyyden kaavaa 3.

Kaava 3 muokattuna tiedonkeruusta saataviin yksiköihin saadaan kaava 6.

$$G_{lat} = v^2 * \left(\frac{\tan(\delta_{out})}{-1 * L} \right)$$

KAAVA 6

G_{lat} = sivuttaiskiihtyvyys [m/s]

v = ajonopeus [m/s]

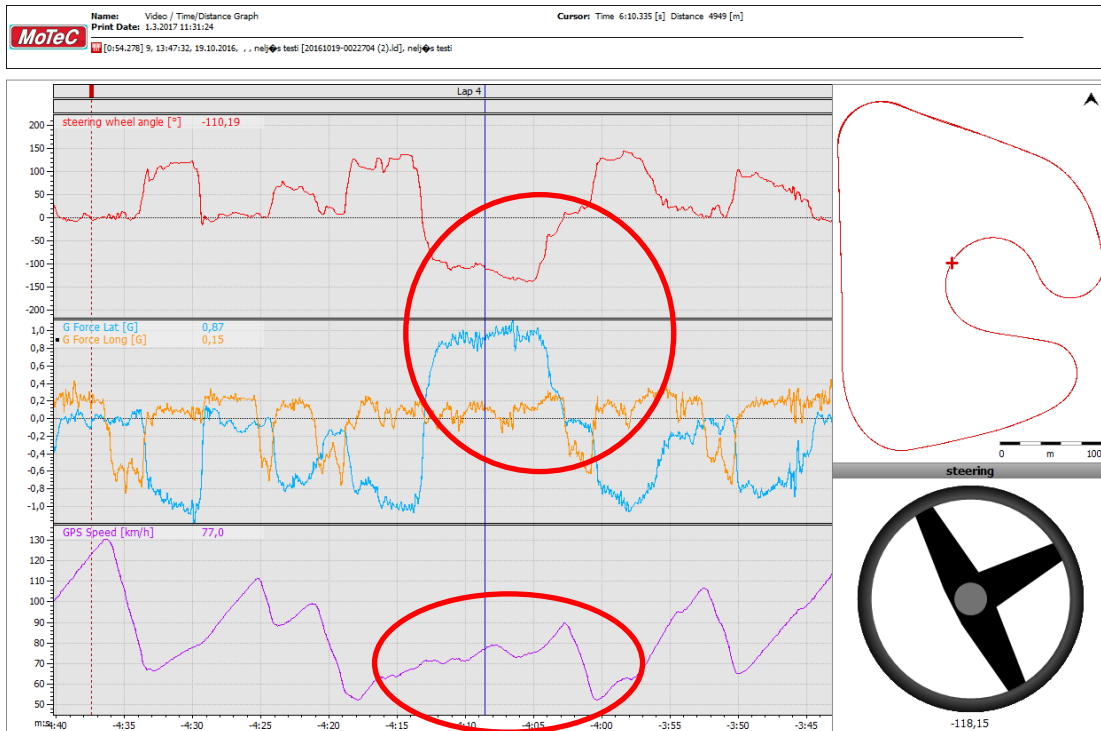
δ_{out} = kaarteeseen suhteen ulomman eturenkaan kääntökulma [°]

L = auton akseliväli [m]

Kaavaa 6 tarkastellessa aliohjauksen tunnistamisessa voidaan todeta että

1. jos kääntökulma kasvaa pitää sivuttaiskiihtyvyydenkin kasvaa, ellei ajonopeus pienene tai
2. jos nopeus kasvaa pitää sivuttaiskiihtyvyydenkin kasvaa, ellei kääntökulma pienene.

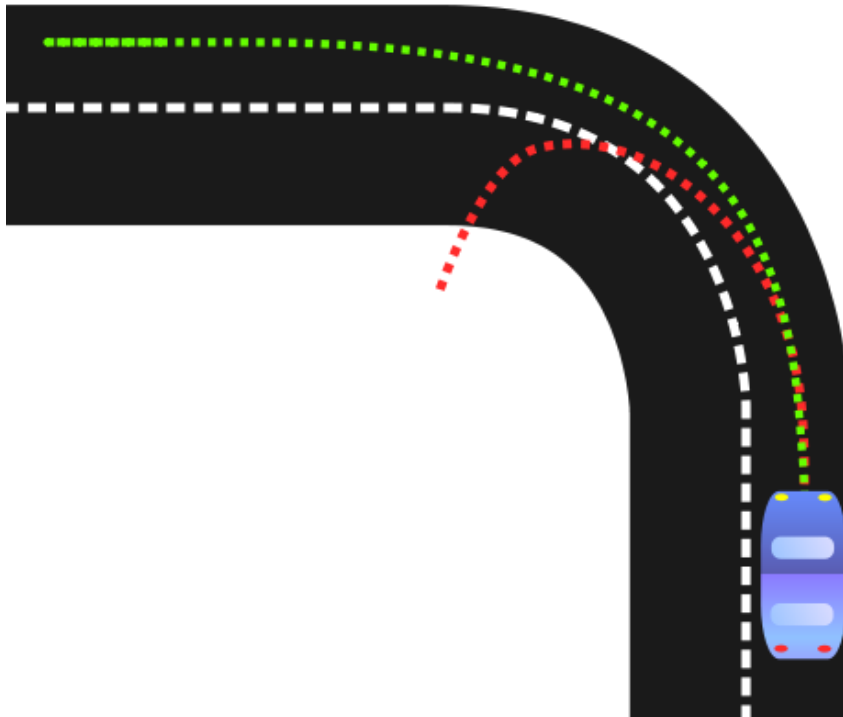
Tiedonkeruun datasta tarkasteltuna kuvasta 17 voidaan todeta miten kääntökulma ja ajonopeus kasvavat vaikka sivuttaiskiihtyvyys pysyy kaartein ajan samana. Kuvasta 17 voidaan todeta miten kaarteissa on syntynyt aliohjausta kasvavasti.



KUVA 17. Kuivan kelin ajokokeissa ajettua kaarreajon dataa, josta analysoidaan aliohjauksen syntyminen

3.3.3 Yliohjaus

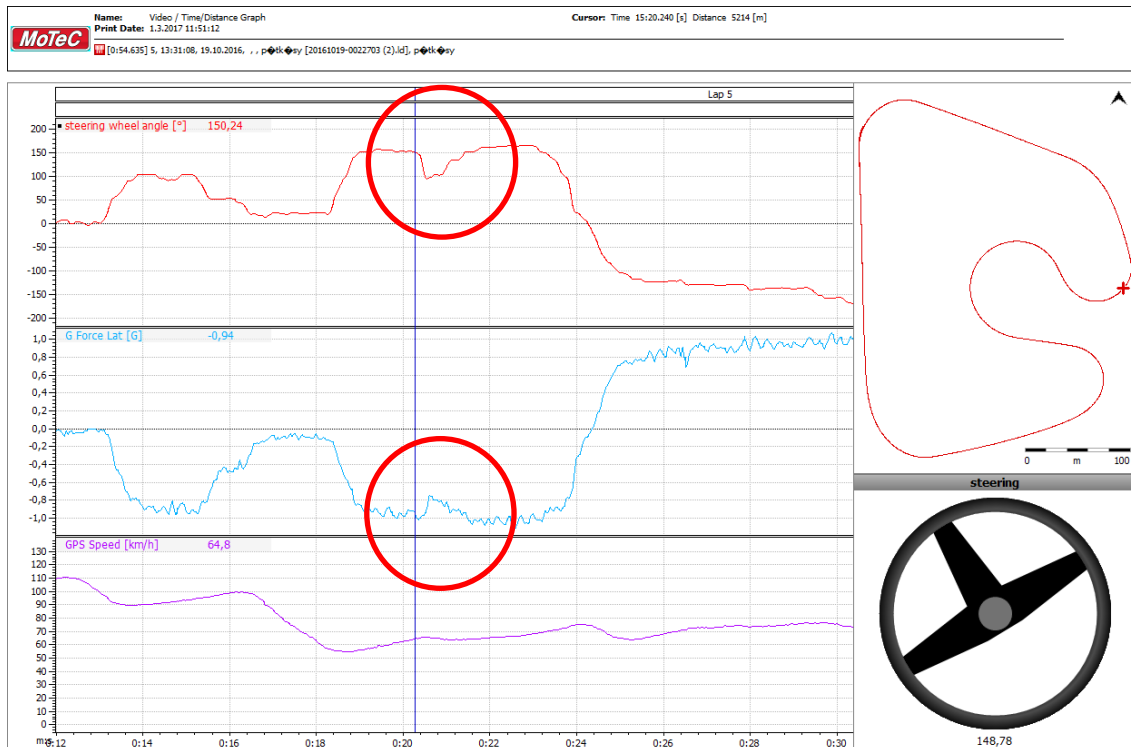
Yliohjauksessa auto ei kulje neutraaliohjauksen mukaista kaarretta pitkin vaan kääntyy liikaa kaarteeseen nähden. Yliohjauksessa auton keula kääntyy sisäkaarteeseen päin ja takapyörissä tapahtuu sivuttaisluistoa. (5, s. 344.) Kuvassa 18 esitetään auton käyttäytyminen kaarteissa auton yliohjautuessa.



KUVA 18. Yliohjaksessa auto pyrkii kääntymään mutkassa keula sisäkaarteeseen päin ja takapyörillä syntyy sivuttaisluistoa (7)

Tiedonkeruusta yliohjaus voidaan havaita kääntökulman korjausliikkeillä kaarteiden suunnasta pois päin, mutta lisäksi sivuttaiskiihtyvyyden väheneminen samaan aikaan varmistaa yliohjaksen syntymisen kaarteessa (2, s. 117).

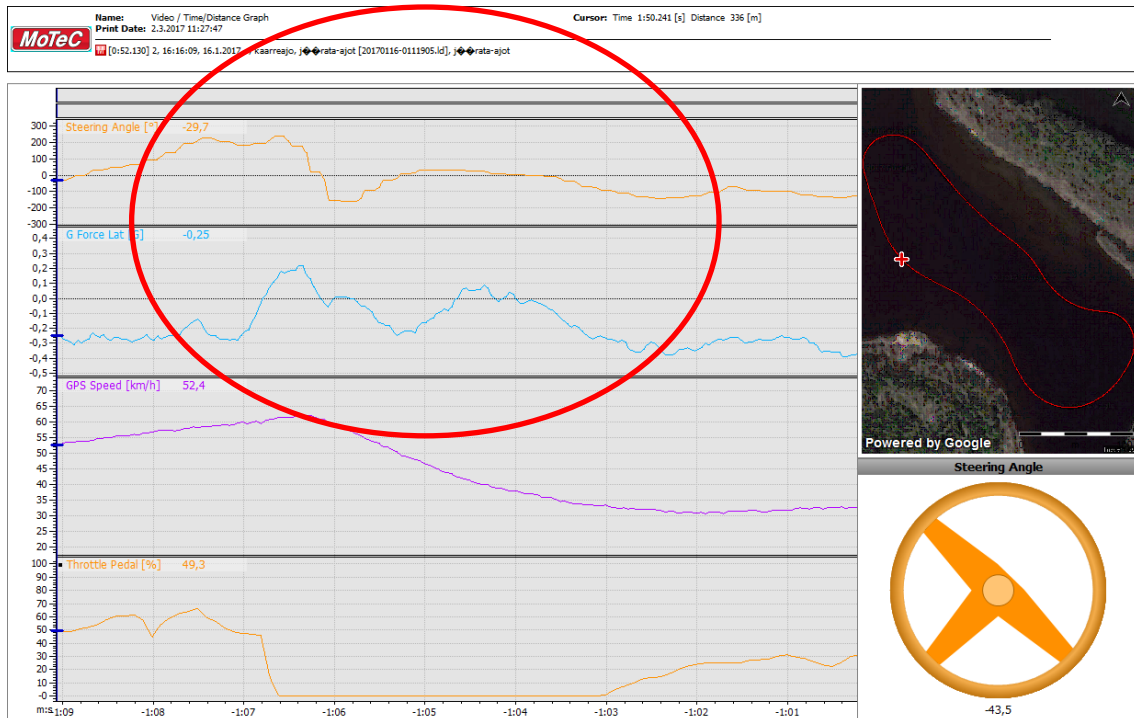
Kuvassa 19 esitetään kuivan kelin kaarreajokokeissa ajettua dataa. Kuvasta voidaan havaita korjausliike kääntökulmassa, sekä sivuttaiskiihtyvyyden pieneminen kesken kaarteiden. Kääntökulma palaa samaan tasoon, mikä tarkoittaa että kääntökulma on ollut oikean suuruinen, mutta takapyörien sivuttaispidon irrotessa on jouduttu nopealla ohjausliikkeellä korjaamaan auton liikerata.



KUVA 19. Kuivan kelin ajokokeissa ajettua kaarreajon dataa, josta analysoidaan yliojauksen syntyminen

Kuvassa 19 korjausliike on ollut oikean suuruinen, koska kääntökulma sekä sivuttaiskiihtyvyys on saatu heti alkuperäiseen tasoon, eikä ajonopeudessa ole tullut häviötä.

Kuvassa 20 esitetään jäärata-ajokokeissa takavetoisella autolla ajettua dataa, jossa yliojaus on syntynyt kaarteen loppuosassa. Datasta voidaan todeta, että korjausliike on ollut liian suuri, koska kääntökulma sekä sivuttaiskiihtyvyys tekevät edestakaista liikettä ennen vakaantumista. Liian suuren korjausliikkeen seurauksena kaasua on jouduttu nostamaan ja ajonopeus tipahtaa merkittävästi.



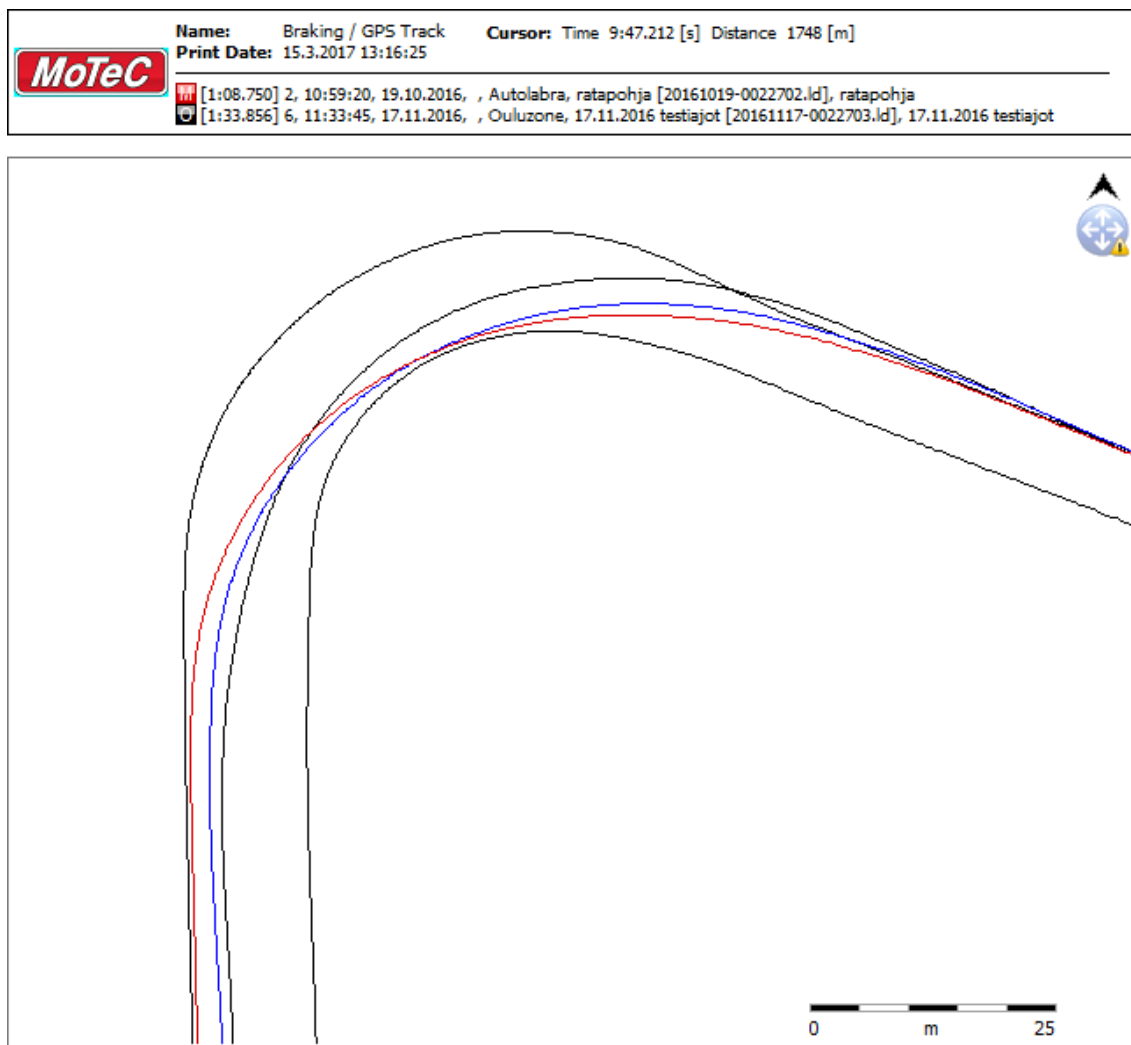
KUVA 20. Jäärata-ajokokeissa ajettua kaarreajodataa, josta voidaan todeta liian suuri korjausliike ylioikeuksen syntyessä ja sen vaikutus ajoon

3.3.4 Ajolinja

Ajolinjalla tarkoitetaan linjaa mitä pitkin auto kulkee ajoradalla. Ajolinjoja vertaillessa tärkein analysoinnin kohde on kaarreajotilanne. Ajolinjojen vertailuun ja analysointiin tarvitaan GPS-sijaintitieto sekä etupyörien kääntökulmatieto. Ajolinjojen vaikutusta suorituskykyyn analysoidessa tulee analysointiin mukaan ottaa myös kiihtyvyystiedot sekä ajonopeus.

Ajolinjoja analysoidessa ajolinjat voidaan jakaa kolmeen tapaukseen. Ensimmäisenä kuvassa 21 punainen ajolinja kuvaa myöhäisen kaarteeseen kääntämisen, missä kaarteeseen tultaessa pysytään pitkään ulkokaarten laidassa ja kääntäminen aloitetaan myöhään. Tämä ajolinja vaatii suuremman kääntökulman heti kaarteeseen alkuaikoina, jonka seurauksena kaarteeseen saavutaan hitaammalla ajonopeudella. Kaarteesta poistuesssa ajoneuvo on aikaisemmin suoristunut, jonka ansiosta kaarteesta poistutaan suuremmalla ajonopeudella ja saadaan parempi kiihdytys seuraavaan suoraan. Myöhäinen kaarteeseen kääntäminen on edullisin, jos kaarretta seuraa pitkä kiihdytys missä saadaan aikaan suurempi loppunopeus (2, s. 54).

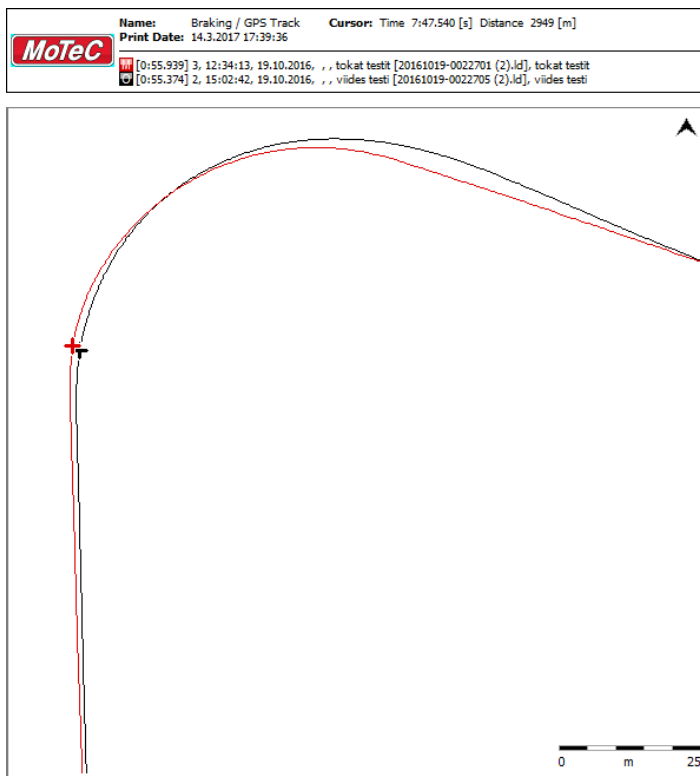
Toinen ajolinjojen ääripää on aikainen kaarteeseen kääntyminen, joka on yleensä huonoin vaihtoehto ja on seurausta liian myöhäisestä jarrupaikasta. Myöhäisen jarrutuksen seurauksena ei pystytä kaarteeseen kääntäminen aloittamaan parhaassa kohdassa, vaan suuren kaarteeseen tulonopeuden seurauksena kaarteen alkuosa joudutaan leikkaamaan jarruttaen lähellä sisäkaarretta. Tämän seurauksena suurin osa kääntymisestä joudutaan suorittamaan kaarteiden loppuosassa suurella kääntökulmalla. Näiden seurauksena ajonopeus kaarteesta poistuessa on hitaampi. Aikainen kaarteeseen kääntyminen on esitetty kuvassa 21 mustalla viivalla.



KUVA 21. Eri ajolinjojen vertaaminen visuaalisesti GPS-sijaintitiedon avulla

Kolmantena on ideaalinen kaartenajolinja. Tässä kaarteeseen kääntyminen aloitetaan ulkolaidasta ja siitä kohtaa kaarteeseen alkua mistä saadaan ajettua pienimmällä kääntökulmalla ja suurimman säteen linjalla koko kaarteeseen matka. Kuvassa 21 sinisenä viivana on esitetty ideaalinen kaartenajolinja.

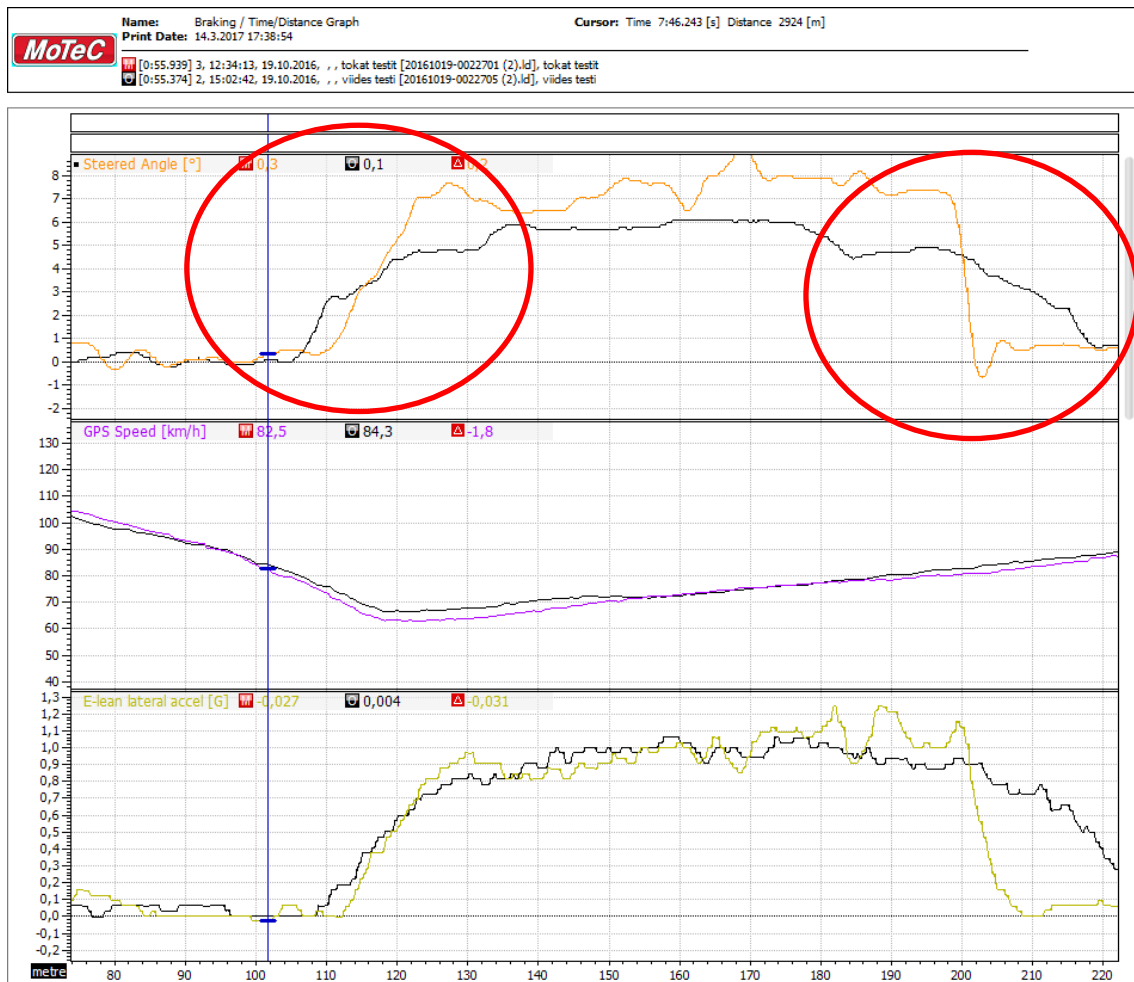
Ajolinjojen vaikutusta suorituskäyttöön analysoitaessa tulee ajettua datasta tarkastella kääntökulmaa, ajonopeutta ja sivuttaiskiikityvyyttä. Kuvassa 22 esitetään kuivan kelin ajokokeissa ajettujen kaarreajokokeiden dataa. Kuvasta havaitaan punaisen ajolinjan kuljettajan ajavan lähempänä ulkokaarretta ja aloittavan kaarteeseen kääntymisen myöhemmin, mutta kääntyen tiukemmin lähemmäs sisälaitaa kaarteeseen loppuosassa ja aloittavan suoran aikaisemmin.



KUVA 24. Eri ajolinjojen vertaaminen GPS-sijaintitiedon avulla

Kuvan 22 ajettujen ajolinjojen datan tarkemmassa analysoinnissa voidaan todeta kuvassa 23 ylimmäisenä punaisen kuljettajan kääntökulmasta myöhäisempi kaarteeseen kääntyminen ja sen seurauksena jyrkempi kääntökulma. Keskimäisenä datassa on ajonopeus josta havaitaan suuremman kääntökulman ja myöhäisemmän kääntymisen pudottavan ajonopeuden mustaa ajolinjaa hitaammaksi. Jarruttamispaikka ja kaasun käyttö ovat molemmissa ajotavoissa

amat, mutta siitä huolimatta punaisen ajolinja saa suuremman loppunopeuden mutkan jälkeiseen suoraan.



KUVA 23. Kuvan 22 ajettujen ajolinjojen datan analysoinnilla voidaan määrittää ihanteellinen ajolinja kullekin kaarteelle

Ajolinjojen osalta parhaan suorituskyvyn analysointi on kaarrekohtaista ja tämän takia jokainen kaarre tulee analysoida erikseen usean ajolinjan ja useiden koe-ajojen perusteella.

4 YHTEENVETO

Tutkimustyössä perehdyttiin tiedonkeruun käyttämiseen ajoneuvoissa ja moottoriturheilussa. Tavoitteena oli tutkia tiedonkeruun käyttämistä auton ja kuljettajan käyttäytymisen analysoinnissa. Moottoriturheilun takia eri tekijöiden ja auton käyttäytymistä analysoitiin ja vertailtiin parhaan suorituskyvyn saavuttamiseksi. Tiedonkeruun analysointi jaettiin eri ajotilanteiden kesken, kuten kiihdytys, jarrutus ja kaarreajo.

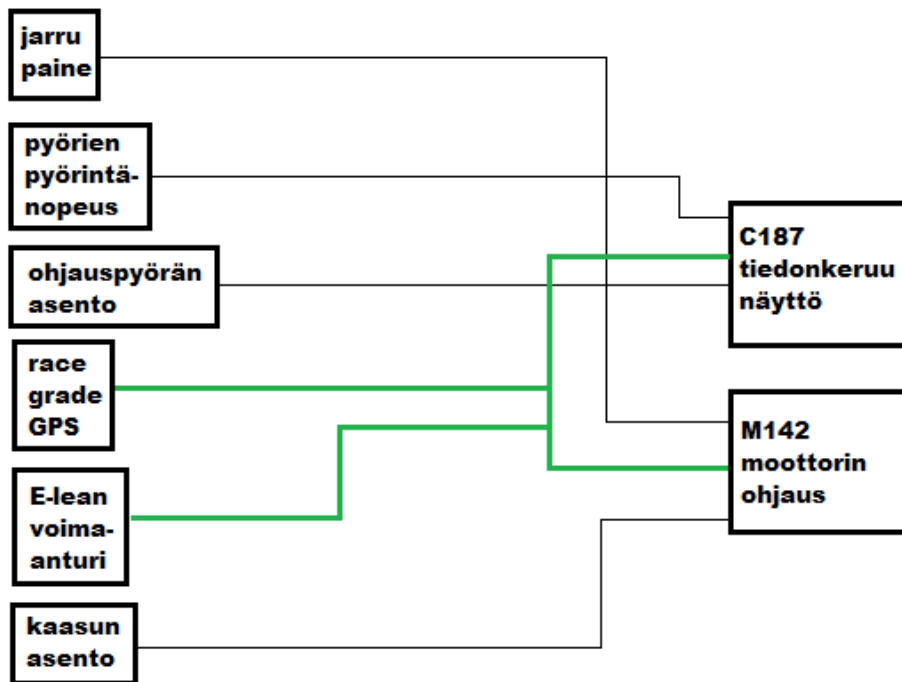
Kiihdytys- ja jarrutuskokeita analysoitaessa keskityttiin parasta suorituskykyä vaikuttavien tekijöiden havaitsemiseen ajetusta datasta ja niiden vertaamiseen keskenään. Kiihdytyksessä parhaalla suorituskyvyllä tarkoitetaan parhaan kiihtyvyyden saavuttamista kiihdytyskokeissa. Parhaan kiihtyvyyden saavuttamiseen eniten vaikuttaviksi tekijöiksi todettiin vaihteen vaihtohetki ja liukkaalla alustalla vetävien pyörien luiston määrä. Myös jarrutuksen tehokkuutta analysoitiin parhaimman hidastuvuuden saavuttamisella, johon vaikuttivat kaikkien pyörien luisto ja ohjaus jarrutuksen aikana.

Kaarreajokokeita analysoidessa parhaalla suorituskyvyllä tarkoitettiin käytettyä aikaa kaarteeseen ajoon, ajettua keskinopeutta kaarteessa sekä saavutettua sivuttaiskiihtyvyyttä kaarteessa. Kaarreajoa vaikuttavat tekijät ovat hyvin kuljettajan käyttäytymiskeskeisiä, kuten ajolinjan valinta, kaarrejarrutuksen suuruus sekä kääntökulman määrä. Kaarreajokokeissa parhaimmaksi analysoinnin kohteeksi havaittiin kiihtyvyydenturinin datan analysointi anturien tarkkuuden ansiosta sekä pyörien kääntökulman vaikutus.

Tiedonkeruun käyttäminen ja analysointi on jatkuvasti kehittyvä aihe. Tämä työ toimii alustana jatkuvalla tiedonkeruun kehittämishankkeelle ja tulevaisuudessa analysoinnin automatisoinnille.

LÄHTEET

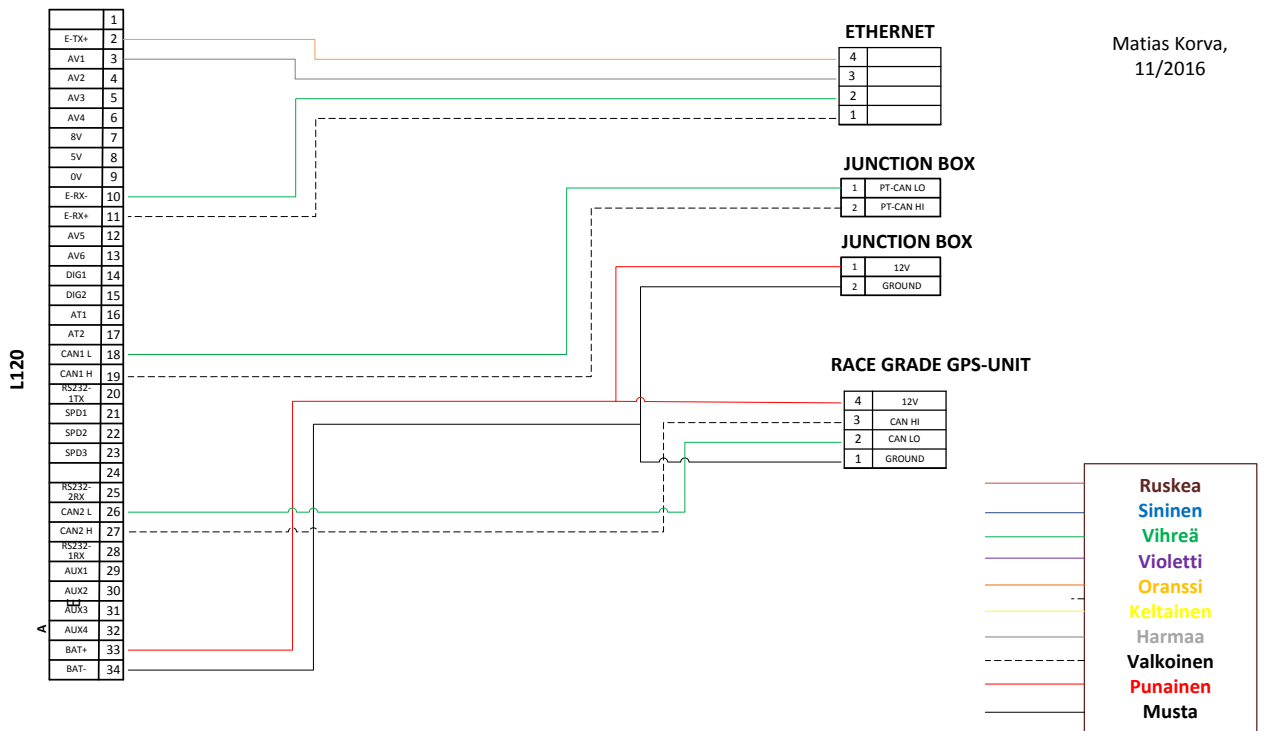
1. Ultra-hanke. Tutkimus ja kehitys. OAMK. Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/fi/tutkimus-ja-kehitys/hankkeet/ultra/>. Hakupäivä 11.5.2017.
2. Brown, Christopher 2011. Making Sense of Squiggly Lines. California: CB-racing.
3. Afalttirata. Ouluzone. OZ operointi Oy. Saatavissa: <http://www.ouluzone.fi/asfalttirata/asfalttirata2>. Hakupäivä 16.3.2017.
4. Reif, Konrad – Dietsche, Karl-Heinz 2014. Automotive Handbook. 9th ed. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.
5. Wong, J.Y. 2008. Theory of ground vehicles. 4th ed. Wiley cop.
6. Haataja, Mauri 2016. 464121A Ajoneuvotekniikan perusteet 5 op. Opintojakson oppimateriaali 2016. Oulu: Oulun yliopisto, teknillinen tiedekunta.
7. Understeer and oversteer. 2017. Automotive handling. Wikipedia. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Understeer_and_oversteer. Hakupäivä 15.5.2017
8. RaceGrade. 2012. Motorsport electronics. GPS-yksikkö. Saatavissa: <http://racegrade.com>. Linkit Products -> GPS -> Spec Sheets. Hakupäivä 9.5.2017.

Audi A1 tiedonkeruujärjestelmän järjestelmäkaavio

Matias Korva,
11/2016

BMW 120 w. MoTeC L120

Matias Korva,
11/2016



RaceGrade

Document Number RG_SPEC-0001 **Title** RaceGrade GPS **Revision Date** Prepared By
Change History 2.2 10/16/2013 Steven Bravek Potted with RaceGrade RaceGel

Introduction

This GPS device provides a true non-interpolated 10 Hz or 20 Hz output enclosed in a motor-sport quality aluminium case. The new improved version is smaller and lighter. It incorporates a foam seal to protect it from the environment and floating circuit board design to be more vibration resistant. Is also potted with RaceGrade RaceGel for improved resistance to vibration and the environment. The connections are now all on the top surface to improve flexibility in mounting arrangement. The main connector was changed to utilize a smaller, lighter and more common Autosport connector.

Specifications:

□ **12-channel GPS engine.**

- Horizontal accuracy < 0.7 meter at 95% with DGPS
- Update rate of 10 Hz or optional 20 Hz.
- Screw on SMA antenna connector.
- Supply Voltage: 6 to 18 VDC
- Current Consumption: 380 mA at 12v
- Temperature Range: -30° to 70° C
- Weight: 230 grams w/o antenna
- Dimensions: 3.95 x 2.35 x 0.9 in, 100 x 60 x 23 mm
- Potted with Racegrade RaceGel for improved resistance to vibration and environment.

Output Streams:

- RS-232 serial at 57600 baud rate formatted NMEA GGA and RMC messages. Others baud rates or message types available upon request.
- CAN output for MoTeC devices (bus speed is 1 Mbit/s)

Connection:

Mating connector: ASL 606-05SN

- pin 1 – Ground
- pin 2 – RS-232 Tx
- pin 3 – 12 volt supply
- pin 4 – CAN Low
- pin 5 – CAN High