

Juho-Pekka Karppinen

**AJONEUVON KÄYTTÄYTYMISEN AUTOMAATTINEN ANALY-
SOINTI**

AJONEUVON KÄYTTÄYTYMISEN AUTOMAATTINEN ANALY- SOINTI

Juho-Pekka Karppinen
Opinnäytetyö
Syksy 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka, auto- ja kuljetustekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Juho-Pekka Karppinen
Opinnäytetyön nimi: Ajoneuvon käyttäytymisen automaattinen analysointi
Työn ohjaaja: Mauri Haataja
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2017 Sivumäärä: 101 + 0 liitettä

Työn aiheena oli ajoneuvon käyttäytymisen automaattinen analysointi. Tavoitteena oli selvittää kuljettajan ja ajoneuvon analysoinnin menetelmät, perehtyä kuinka ajoneuvodataa voidaan kerätä ajoneuvon omalla anturoinnilla sekä tuottaa testattuja analysointimalleja, joilla kuljettajaa ja ajoneuvoa voidaan automaattisesti analysoida.

Työssä perehdyttiin tiedonkeruujärjestelmien toimintaan ja rakenteeseen sekä CAN-väylään, josta ajoneuvon omien anturien dataa voitaisiin kerätä talteen. Lähdekirjallisuuden avulla tutustuttiin kuljettajan ja ajoneuvon analysoinnin menetelmiin. Kuljettajan ja ajoneuvon manuaaliseen analysointiin perehdyttiin käyttämällä Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla, jonka avulla luotiin ja testattiin erilaisia automaattisen analysoinnin kaavoja.

Työn lopputuloksena saatiin yhteensä 34 erilaista automaattisen analysoinnin mallia, joista osa toimii ilman datan vertailua. Osa automaattisen analysoinnin malleista vertaa tulostaan esimerkiksi toisen kuljettajan ajamaan tai eri kierroksen dataan. Työn tuloksena saadut analysointimallit ovat hyvä pohja kuljettajan ja ajoneuvon automaattisen analysointimallien jatkokehitykselle.

Asiasanat: Motec, tiedonkeruu, automaattinen analysointi, autourheilu

ALKULAUSE

Haluaisin kiittää opinnäytetyöni tilaajan yhdyshenkilöä ja opettajaani erityisasi-
antuntijaa Arto Lehtosta hyvästä ja haasteellisesta opinnäytetyöaiheesta sekä
avusta opinnäytetyön suorittamisessa. Opinnäytetyöni aihe oli minusta erittäin
mielenkiintoinen ja motivoiva. Haluaisin kiittää myös opinnäytetyöni ohjaajaa yli-
opettaja Mauri Haatajaa. Näiden henkilöiden lisäksi kiitoksen ansaitsee myös
avopuolisoni Armi.

25.11.2017

Juho-Pekka Karppinen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN RAKENNE	8
2.1 Anturit	10
2.1.1 Lämpötila-anturi	10
2.1.2 Lineaarinen painetunnistin	11
2.1.3 Asema-anturi	12
2.1.4 Pyörintänopeustunnistin	14
2.1.5 Kiihtyvyydestunnistin	16
2.2 Mittalaitteet	17
2.3 CAN-väylä	18
2.3.1 CAN-väylän viestien muodostuminen	19
2.3.2 Tiedonkeruu ajoneuvon alkuperäisellä anturoinnilla	21
3 TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN TUOTTAMAT KUVAAJAT	23
3.1 Analysointiohjelma Motec i2 Pro	25
3.2 Ajoneuvon nopeuskuvaaja	28
3.3 Ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyys	30
3.4 Ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys	31
3.5 Kuljettajan kaasupolkimen käyttö	31
3.6 Ajoneuvon ohjaukskulma	32
4 KULJETTAJAN AJOKÄYTTÄYTYMISEN ANALYSOINTI	35
4.1 Jarrutuspaikka	35
4.2 Jarrupolkimen käyttö	36
4.3 Jarrutustehokkuus	37
4.4 Kaasupolkimen käyttö jarrutuksen aikana	42
4.5 Lukkojarrutukset ja jarrubalanssi	43
4.6 Ajoneuvon kaarreajo	46

4.6.1 Kitkaympyrä	50
4.6.2 Ajoneuvon yli- ja aliohjautuminen	52
4.6.3 Kaasupolkimen käyttö kaarteessa	58
5 AJONEUVODATAN AUTOMAATTINEN ANALYSOINTI	63
5.1 Ajoneuvon tilasuureet	63
5.2 Ajoneuvon automaattinen jarrutuksen analysointi	69
5.3 Ajoneuvon automaattinen kaarreajon analysointi	77
5.4 Ajoneuvon automaattinen kiihdytyksen analysointi	88
5.5 Kuljettajan tekemät virheet	93
6 YHTEENVETO	97
LÄHTEET	100

1 JOHDANTO

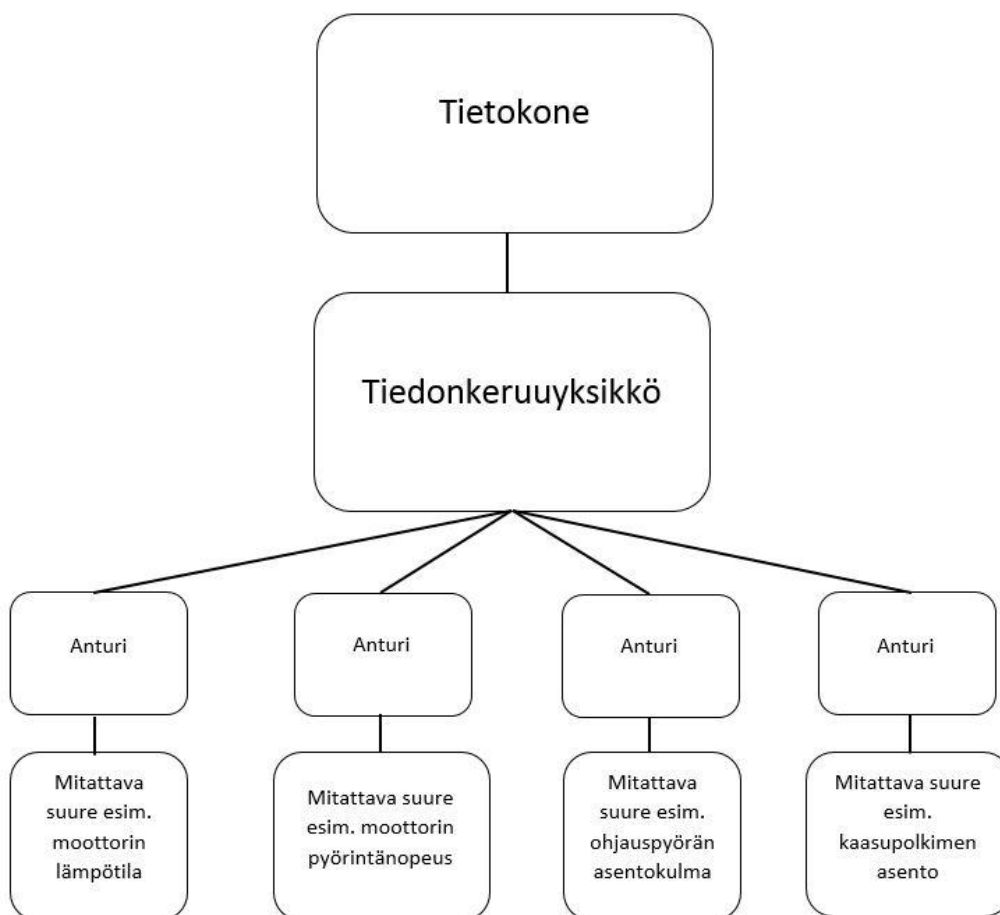
Ultra-hanke (Uutta liiketoimintaa innovatiivisista järjestelmätason tuote- ja palveluratkaisuista) on Oulun ammattikorkeakoulun hanke, joka on suunnattu Pohjois-Suomen tuotannollisille yrityksille ja niiden palveluksessa oleville suunnittelijoille ja TKI-toimijoille. Ultra-hankkeen tavoitteena on parantaa näiden toimijoiden järjestelmätason tuotteiden suunnittelua ja valmistusta yksittäisen kokonaisuuksien sijaan. (1.)

Hankkeessa suunnitellaan ja valmistetaan nelipyöräinen ja -vetoinen ajoneuvo tutkimus- ja testauskäyttöön. Ajoneuvon runko valmistetaan erikoislujista ja ohuista teräslevykennorakenteista. Ajoneuvo tulee toimimaan hybridivoimalla, ja se varustetaan myös tarvittavalla anturoinnilla ajoneuvon kohdistuvien voimien sekä kuljettajan toiminnan ja ajotavan arvioimiseksi. (1.)

Tässä opinnäytetyössä perehdytään ajoneuvojen tiedonkeruussa käytettäviin yleisimpiin antureihin ja niiden toimintaperiaatteeseen sekä kuljettajan ja ajoneuvon analysoinnin menetelmiin. Työssä perehdytään myös siihen, miten kuljettajan toimia voidaan analysoida, kun käytössä ovat ainoastaan ajoneuvon alkuperäiset anturoinnit. Työn tavoitteena on tuottaa analysointikaavoja, joilla kuljettajan ajotapaa ja toimia voidaan analysoida automaattisesti, jotta kuljettaja voisi parantaa ajoaan seuraavalle suoritukselle. Kaavojen tuottamisessa käytetään apuna Motec i2 Pro -analysointiohjelmaa, jota käytetään kilpa-autojen tiedonkeruun tarkastelussa, koska ohjelmalla on helppo muuttaa ja testata valmistettuja analysointimalleja nopeasti.

2 TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN RAKENNE

Tiedonkeruulla (englanniksi Data Acquisition) tarkoitetaan nimensä mukaan tiedon keräämistä. Tiedonkeruussa fyysinen suure, esimerkiksi lämpötila, paine ja ääni, mitataan tietokoneen avulla. Tiedonkeruujärjestelmä koostuu vähintään yhdestä anturista ja mittalaitteesta sekä mahdollisesti tietokoneesta. Anturin tehtävänä on muuttaa fyysinen suure sähköiseksi signaaliksi, kun mittalaitteet muun muassa muuttavat nämä anturien tuottamat analogiset signaalit digitaaliseen muotoon. Tietokoneen avulla voidaan prosessoida, tallentaa ja visualisoida mittalaitteiden tuottamaa dataa. Tietokoneella voidaan myös hallita näitä mittalaitteita. (2.) Kuvassa 1 on tiedonkeruujärjestelmän rakennekaavio.



KUVA 1. Tiedonkeruujärjestelmän rakennekaavio

Elektroniset ohjausyksiköt keräävät tietoa ajoneuvosta erilaisilla antureilla, minkä jälkeen ohjausyksikkö prosessoi anturin tuottaman tiedon. Tällä voidaan mahdollistaa esimerkiksi tietokoneohjattu moottorin sytytys, polttoaineen suihkutus, ABS-jarrujen toiminta ja luistonesto. Esimerkkinä ajoneuvossa, jossa on tietokoneohjattu moottorin sytytys, moottorin ohjausyksikkö kerää anturoinnin avulla tiedon esimerkiksi moottorin pyörintänopeudesta ja kuormituksesta, jäähdytysnesteen lämpötilasta ja kampiakselin asennosta. Ohjausyksikkö prosessoi nämä tiedot, minkä jälkeen ohjausyksikkö ohjaa ajoneuvon sytytyspuolan toimintaa. (3, s. 115 - 119.)

Ajoneuvon ohjausyksikön RAM-muistiin tallentuu ohjausyksikön prosessoimaa dataa, mutta RAM-muisti tyhjäntyy ohjauslaitteen virran katketessa. RAM-muistiin tallennetaan yleensä tietoja, jotka ovat tärkeitä myös ajoneuvon seuraavalla käyttökerralla, esimerkiksi automaattivaihteiston mukautuvuustoiminto. (4, s. 1226.) Nykyaikaisissa ajoneuvoissa on OBD-järjestelmä (On-Board Diagnostics), joka tarkkailee ajoneuvon elektronisten laitteiden toimintaa. Mikäli OBD-järjestelmä havaitsee vian, tallentuu se OBD-järjestelmän vikamuistiin, josta se voidaan lukea jälkikäteen OBD-lukulaitteella. OBD-lukulaitteella voi myös lukea eri antureiden arvoja reaaliaikaisesti. (4, s. 566 - 576.) Tieliikenteeseen valmistetuissa ajoneuvoissa ei siis suoranaisesti ole sellaista tiedonkeruujärjestelmää, että kaikki antureiden tuottamat tiedot tallentuisivat muistiin, josta ne voitaisiin jälkikäteen siirtää esimerkiksi tietokoneelle.

Mikäli antureiden ja toimilaitteiden käyttämää dataa halutaan tarkastella jälkikäteen, tarvitaan sellainen toimilaite, joka tallentaa kaikki mitaamansa suureet muistiin, josta ne voidaan siirtää myöhemmin tietokoneelle. Moottoriurheilussa kilpa-ajoneuvoihin asennetaan juuri tällaiset tiedonkeruujärjestelmät, jotta kerättyä tietoa voidaan analysoida myöhemmin syvällisemmin. Ajoneuvoihin voidaan asentaa myös sellainen tiedonkeruujärjestelmä, joka lähettää kerätyt tiedot suoraan vastaanottimeen, jotta se voidaan analysoida heti. (5.)

2.1 Anturit

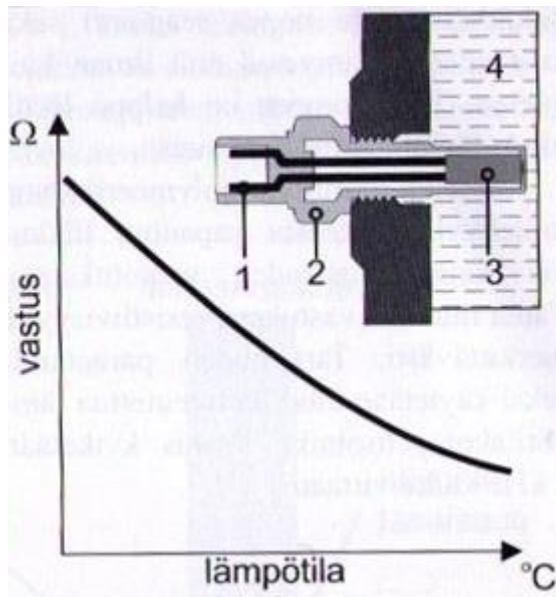
Anturien tehtävänä on muuttaa fysikaalinen suure sähköiseksi signaaliksi. Anturit voivat tuottaa anturin mukaisesti esimerkiksi virta-, jännite-, resistanssi- tai jonkin muun sähköisen signaalin. Tämä signaalin amplitudi eli voimakkuus muuttuu, kun mitattava fysikaalinen suure muuttuu. Anturien tyyppi vaihtelee sen mukaan, mitä fysikaalista suuretta anturilla mitataan. Esimerkiksi lämpötilaa mitataan erilaisella anturilla kuin painetta tai asentoa. (2.)

2.1.1 Lämpötila-anturi

Ajoneuvoissa lämpöenergiaa syntyy esimerkiksi jarrutettaessa, jolloin liike-energia muuntuu lämmöksi. Lämpöenergia siirtyy johtumalla, siirtymällä ja säteilemällä, joista ensimmäinen tapahtuu kiinteissä aineissa sekä paikallaan olevien nesteiden tai kaasujen sisällä. Kun neste tai kaasu virtaa kahden eri lämpötiloissa olevien pisteiden välillä, tapahtuu silloin lämmön siirtymistä. Lämmön säteily tapahtuu lämpöaaltojen muodossa, jotka ovat sähkömagneettisia aaltoja. (6, s. 161.)

Ajoneuvoissa mitataan muun muassa jäähdytysnesteen, imuilman, ulkoilman, moottorin ja vaihteiston öljyn sekä jarrunesteen lämpötilaa. Näiden tietojen avulla säädellään ajoneuvon eri toimintoja ja/tai informoidaan ajoneuvon kuljettajaa. (6, s. 162 – 163.)

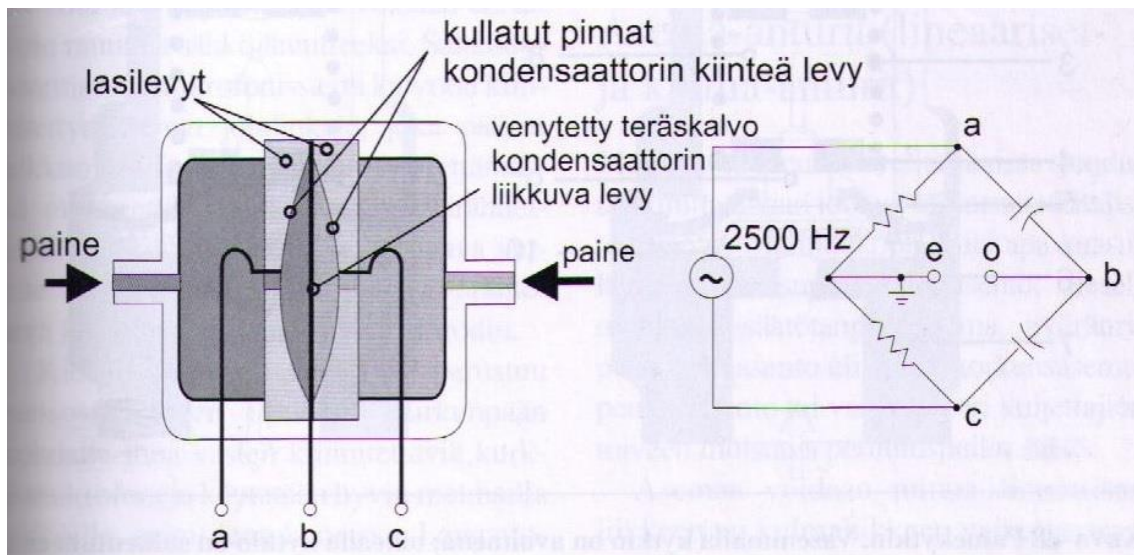
Lämpötilaa voidaan tutkia termistorien avulla. Tällöin saadaan lämpötilatieto koko termistorin toiminta-alueelta. Termistorien vastus muuttuu voimakkaasti lämpötilan muuttuessa. Termistorit voidaan jakaa positiivisiin (PTC = Positive Temperature Coefficient) ja negatiivisiin (NTC = Negative Temperature Coefficient) termistoreihin. Positiivisten termistorien vastus kasvaa lämpötilan kasvaessa ja negatiivisten termistorin vastus puolestaan laskee lämpötilan kasvaessa. Termistorit kytketään tyypillisesti vakavoidun syöttöjännitteen ja maa-doituksen väliin. (7.) Kuvassa 2 on NTC-tyyppinen lämpötila-anturi (6, s. 165).



KUVA 2. NTC-tyyppinen lämpötila-anturi (6, s. 165)

2.1.2 Lineaarinen painetunnistin

Ajoneuvoissa painetunnistimilla saadaan muun muassa imusarjan, polttoaineen, jarrupaineen ja ulkoilman paineesta tietoa anturin koko toiminta-alueella. Mittausalueet vaihtelevat eri painetunnistimissa käyttökohteen mukaan. Yleisimpiä painetunnistimia ovat kalvopainetunnistimet, pietzo-sähköiset ja kapasitiiviset painetunnistimet. Ne mittaavat joko absoluuttista painetta tai paine-eroa ulkoilmaan tai muuhun paineeseen verrattuna. (7.) Kuvassa 3 on kapasitiivisen painetunnistimen rakenne (6, s. 153).



KUVA 3. Kapasitiivinen painetunnistin (6, s. 153)

Yleensä painetunnistimessa on myös elektroniikkapiiri, joka toimii joko vahvistimena tai muuna signaalinkäsittelypiirinä. Kaikki painetunnistimet muuttavat paineen mekaanisen muutoksen avulla sähköiseksi suureeksi, ja riippumatta tunnistimen valmistustekniikasta, ne toimivat samaan tapaan. Tunnistimen mukaan paineanturin signaali on paineen suhteen muuttuva jännite, mutta on valmistettu myös sellaisia painetunnistimia, joiden signaali voi olla suorakaidesignaali, joka muuttuu pulssisuhteeltaan tai taajuudeltaan. (7.)

2.1.3 Asema-anturi

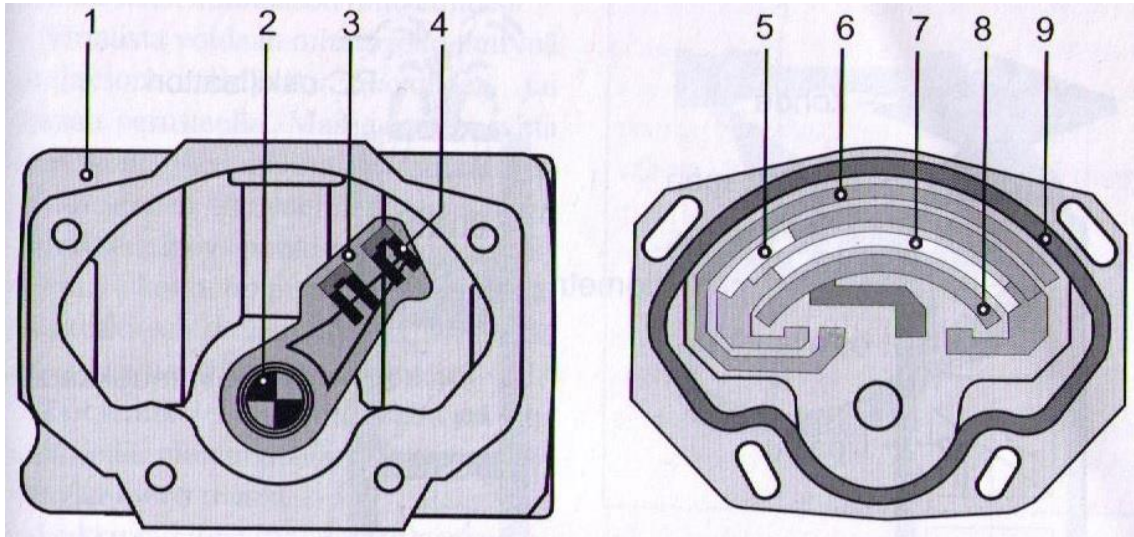
Asema-antureita käytetään ajoneuvoissa esimerkiksi vaihdevalitsimen, pyöräntuennan, kaasuläpän tai -polkimen asennon määrittämiseen. Asemaa voidaan mitata joko kosketuksellisesti tai ilman kosketusta. Kosketukselliseen mittaukseen perustuvia antureita ovat muun muassa mikrokytkimet ja potentiometrit kun koskemattomaan mittaukseen perustuvia antureita ovat mm. optiset ja Hall-anturit, joista Hall-anturia käsitellään luvussa 2.1.4. (6, s. 155 - 156.)

Kosketukselliseen mittaukseen perustavissa antureista mikrokytkin on yksinkertainen asematunnistukseen käytettävä anturi. Asento saadaan selville mekanismin avulla, joka on liitetty tunnistettavaan kohteeseen, ja tämä mekanismi joko

sulkee tai avaa mikrokytkintä. (6, s. 156.) Jos käytetään useampaa kuin yhtä mikrokytkintä, muodostetaan silloin mikrokytkimillä binäärinen tieto kohteen asennosta. Kahdella mikrokytkimellä samassa mekaniismissa saadaan kohteen asennosta maksimissaan neljä erilaista asemaa kun puolestaan neljällä mikrokytkimellä saadaan jo 16 eri asentoa mitattua. Yleinen mikrokytkimien käyttökohte on automaattivaihteisen ajoneuvon vaihdevalitsimen asennon tunnistaminen. (7.)

Kun mekaniismi sulkee mikrokytkimen, ohjainlaitteen tuottama vertailujännite kytketty maadoitukseen. Tällöin mikrokytkimen signaali vastaa binäärilukua 0, ja kun mikrokytkin on avoinna, vastaa signaali silloin binäärilukua 1, koska signaalijännite on sama kuin vertailujännite. (7.)

Toinen kosketukselliseen mittaukseen perustava anturi on potentiometri, jonka yleinen käyttökohte on ajoneuvon kaasupolkimen asennon tunnistaminen. Potentiometrillä on se etu mikrokytkimiin verrattuna, että potentiometrillä mitattaessa saadaan asennon lisäksi myös asennon muutosnopeus. (7.) Potentiometri toimii siten, että sen sisällä on vastus, jonka päihin johdetaan jännite. Vastuksen pinnalle on asennettu kosketin, joka liikkuu vastuksen pinnalla. Kun mitattavan kohteen asento muuttuu, muuttuu silloin myös koskettimen asento vastuksen pinnalla ja näin ollen koskettimella vaikuttava jännite muuttuu sen sijainnin mukaan. Potentiometrillä voidaan sen rakenteesta riippuen tunnistaa joko lineaarista tai kiertyvää liikettä. (6, s. 156.) Potentiometrianturin rakenne on kuvassa 4 (6, s. 157).

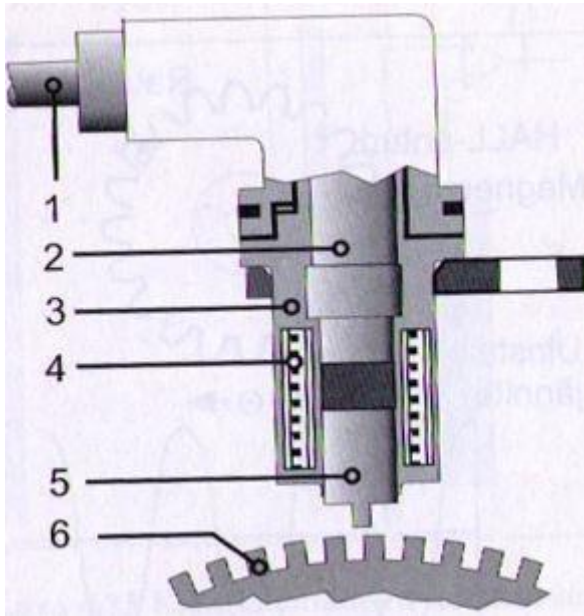


KUVA 4. Potentiometrianturi, jonka numeroidut osat ovat 1. runko, 2. akseli, 3. kiertokappale, 4. liukukappale, 5. ja 7. koskettimet, 6. ja 8. maakoskettimet sekä 9. tiiviste (6, s. 157)

2.1.4 Pyörintänopeustunnistin

Pyörimisnopeuden tunnistamiseen käytetään induktiivisia tunnistimia sekä Hall-tunnistinta. Ajoneuvoissa tyypillinen mittauskohde, josta pyörimisnopeutta mitataan, on moottori. Induktiivinen pyörimisnopeustunnistin koostuu käämistä ja kestopagneetista. Toimiakseen induktiivinen pyörimisnopeusanturi tarvitsee myös metallisen hammastetun roottorin, mutta tämä ei ole itsessään induktiivisen pyörimisnopeustunnistimen osa vaan se kiinnitetään mitattavaan kohteeseen. (7.)

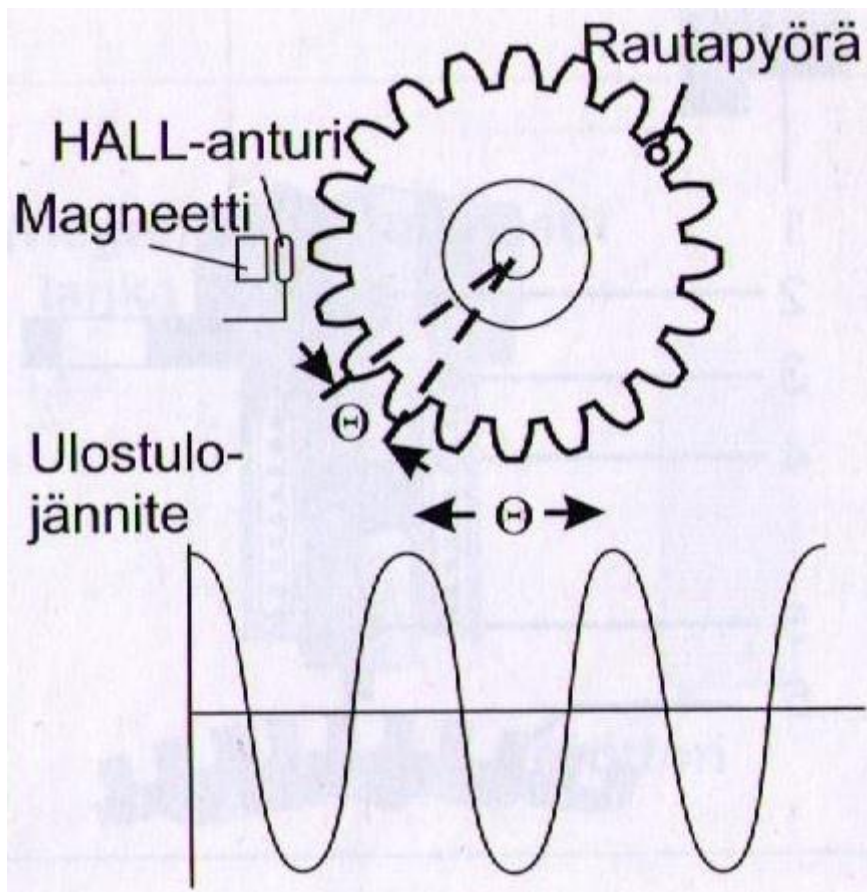
Tunnistimen ja roottorin väliin jää ilmarako (6, s. 172). Induktiivisen pyörimisnopeustunnistimen käämi on kestopagneetin magneettikentässä, ja kun metallinen roottori pyörii, se aiheuttaa magneettikenttään pulssimaista vaihtelua, jonka seurauksena käämiin indisoituu vaihtojännitettä. Vaihtojännitteen taajuus kertoo roottorin pyörintänopeuden ja näin ollen myös mitattavan kohteen pyörimisnopeuden. (7.) Induktiivisen pyörimisnopeustunnistimen rakenne on kuvassa 5 (6, s. 172).



KUVA 5. Induktiivinen pyörimisnopeustunnistin, jonka numeroidut osat ovat 1. johdin, 2. kestmagneetti, 3. kotelo, 4. käämi, 5. kärki, 6. hammaspyörä (6, s. 172)

Hall-tunnistin koostuu kestmagneetista, pyörivästä sakarahelmaisesta roottorista ja elektroniikkapiiristä. Sakarahelmaisen roottorin tehtävä on vuorotellen estää ja sallia kestmagneetin vaikutus elektroniikkapiiriin, sillä aina kun kestmagneetin magneettikenttä pääsee vaikuttamaan elektroniikkapiiriin, kytkee se signaalijohtimen maadoitukseen. Kun sakarahelmainen roottori etenee ja estää magneettikentän vaikutuksen elektroniikkapiiriin, katkaisee elektroniikkapiiri maadoituksen. Tästä syystä pyörimisliikkeestä muodostuu suorakaidesignaali, jonka taajuus muuttuu pyörimisnopeuden mukaan. (7.)

Hall-tunnistimen erottaa induktiivisesta pyörimisnopeustunnistimesta siitä, että Hall-tunnistimessa on kolme johtoa, kun induktiivisessa anturissa on vain kaksi johtoa. Hall-tunnistinta voidaan käyttää myös kohteen asennon tunnistamiseen. Pyörimisnopeuksia mitattaessa, Hall-tunnistin tuottaa käyttökelpoisen signaalin heti nollosuorasta lähtien. (7.) Kuvassa 6 on Hall-anturin rakenne ja ulostulo-signaalin muoto (6, s. 170).



KUVA 6. Hall-anturin rakennekuva sekä sen signaalikuvaaja (6, s. 170)

2.1.5 Kiihtyvyystunnistin

Kiihtyvyystunnistimia käytetään ajoneuvoissa muun muassa lukkiutumattomien jarrujen ja ajonvakautusjärjestelmien kanssa. Kolaritilanteessa kiihtyvyysanturilla mitataan, tarvitseeko turvavyöjä laukaista. (4, s. 1322.)

Kiihtyvyysanturi toimii yleensä siten, että anturin sisällä on seisminen massa sekä sen liikettä vastustava jousi. On monta tapaa, miten seismisen massan liikettä mitataan. Yksi tapa on asentaa jouseen kaksi aktiivista ja kaksi passiivista venymäliuskaa, jolloin jousen taipuman muuttuessa, venymäliuskojen vastusarvot muuttuvat. Tällainen kiihtyvyysanturi soveltuu myös vakiokiihtyvyyksien mittaamiseen. Seisminen massa voi olla myös sijoitettuna silikoniöljyyn, jolloin sen liikettä saadaan vaimennettua. On olemassa Hall-tyyppisiä kiihtyvyysantureita

analogisesta signaalista ennalta määrätyn väliajoin näytteitä, jotka siirretään tietokoneelle tietokoneväylään kautta digitaalisessa muodossa. Tietokoneen sovellusohjelma tekee näistä siirretyistä näytteistä kuvaajan, joka vastaa mahdollisimman hyvin alkuperäistä analogista signaalia. (2.)

Ennalta määrättyä näytteenottoaikaa kutsutaan nimellä tiedonkeruutaajuus ja sen yksikkönä on hertsi. Jos anturin tiedonkeruutaajuus on 10 Hz, tarkoittaa se, että tämän anturin mittatuloksesta otetaan näyte 10 kertaa yhden sekunnin aikana. Tiedonkeruutaajuuden ollessa 200 Hz otetaan silloin 200 näytettä yhden sekunnin aikana. Tiedonkeruutaajuus on riippuvainen siitä, mitä anturilla mitataan. Ajoneuvoissa esimerkiksi moottorin jäähdytysnesteen lämpötila usein hitaasti, jolloin ei ole tarpeen käyttää suurta tiedonkeruutaajuutta. Ajoneuvon jousitusta tarkkailevan anturin tiedonkeruutaajuuden pitää olla suurempi, sillä ajoneuvon jousitus voi muuttua monesti yhden sekunnin aikana, joten jousituksen pienin tiedonkeruutaajuus on 200 hertsiä. Mitä enemmän on suuria tiedonkeruutaajuuksia, sitä nopeammin ne täyttävät mittalaitteen muistin. (8, s. 19 - 20.)

Tietokoneväylän avulla voidaan siirtää myös mittausdatan lisäksi myös ohjauskäskyjä mittalaitteelle. Tietokoneväylät toimivat yleensä USB-, PCI-, PCI Express- tai Ethernet-liitännän kautta, mutta myös Wi-fi-yhteydellä toimivia väyliä on saatavilla. (2.)

2.3 CAN-väylä

CAN-väylä on tiedonsiirtoväylä, joka on alun perin suunniteltu ajoneuvoihin eri ohjausyksiköiden väliseen reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon, mutta sitä voidaan soveltaa myös muihin laitteisiin kuten eri työkoneisiin, hisseihin, robotteihin tai kodinkoneisiin. CAN-väylällä voidaan vähentää merkittävästi kaapelointia ajoneuvoissa, sillä kaikki CAN-väylässä olevat toimilaitteet voivat jakaa esimerkiksi anturitietoa muiden toimilaitteiden kanssa, joten yhden anturin mittaamaa suuretta voidaan käyttää esimerkiksi moottorinohjausyksikössä, ABS-jarrujen ohjausyksikössä ja ajoneuvon mittaristossa. Myös vikadiagnoosi on helpompaa CAN-

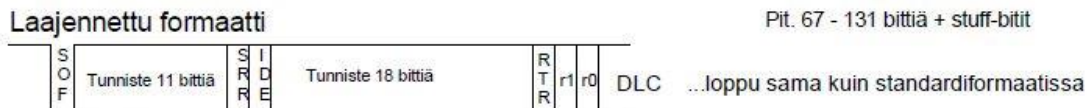
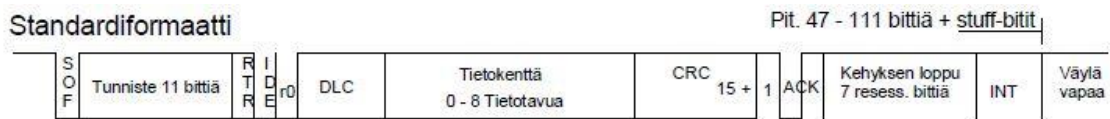
väylällisessä ajoneuvossa, sillä vikatesteri kytketään CAN-väylään ja sen vuoksi testeri pääsee käsiksi kaikkiin väylään kytkettyjen toimilaitteiden anturitietoihin ja voi myös ohjata itse toimilaitteita. CAN-väylän vuoksi uusien toimilaitteiden liittäminen CAN-väylään on helppoa. CAN-väylän nimi tulee sanoista Controller Area Network. (9, s. 1 - 2.)

CAN-väylä koostuu CAN-moduulista ja itse väylästä, joka on yleensä kierretty parikaapeli. Mikäli kyseessä on High speed -väylä, eli sen maksinopeus on 1 Mbit/s, päätetään väylä silloin molemmista päistään n. 120 ohmin suuruisella vastuksella ja sen maksimipituus on 40 metriä. CAN-moduulin tehtävänä on muuttaa fyysinen tapahtuma, esimerkiksi katkaisimen painallus, numeroiksi, jotka voidaan lähettää väylään. CAN-moduulin tehtävänä on myös lukea jonkin muun CAN-moduulin lähettämä viesti ja käyttää sitä hyödykseen. Itse väylä on kaikille CAN-moduuleille yhteinen, minkä takia väylällä menee paljon eri viestejä. Mikäli CAN-väylään liitetään oskilloskooppi, näkyy eri CAN-moduulien lähettämät viestit kanttiaaltoina, joiden amplitudit ovat eripituisia. Teoriassa oskilloskoopilla voidaan laskea, mikä viesti väylällä menee, mutta käytännössä viestien tutkimiseen tarvitaan oma CAN-väylään tarkoitettu diagnostiikkalaite. (9, s. 3 - 10.)

2.3.1 CAN-väylän viestien muodostuminen

CAN-protokollan mukaan CAN-väylälle lähetettävillä viesteillä ei ole osoitetta, vaan kaikki väylällä olevat viestit ovat yleisesti vastaanotettavia. Kaikki eri viestit numeroidaan yksilöllisesti, jotta kukin moduuli voi ottaa sen viestin väylältä, minkä tarvitsee. Esimerkiksi CAN-moduuli voi lähettää painetietoa, jonka tunnistenumero on 200. Kaikki muut CAN-moduulit tietävät, että tunnistenumerolla 200 varustettu viesti sisältää nimenomaan lähettävältä CAN-moduulilta tulevan painetiedon, ja ne voivat lukea viestin, mikäli sitä tarvitsevat. Kukaan muu moduuli ei siis voi lähettää tunnisteella 200, sillä CAN-protokolla ei sitä salli. CAN-protokolla löytyy standardista ISO 11898. (9, s. 4 - 6.)

Viestit CAN-väylällä koostuvat eri kehyksistä, joista jokaisella on oma tehtävänsä. Näitä kehyksiä ovat mm. varsinainen sanomakehys, kyselykehys, virhekehys ja ylikuormituskehys. Varsinainen sanomakehys koostuu tunnistekentästä, DLC-kentästä ja tietotavujen kentästä. Tunnistekentästä näkyy viestin tunnistenumero, joka aiemmassa esimerkissä oli 200, ja DLC-kenttä kertoo tietokentän pituuden. Varsinaisella sanomakehyksellä lähetetään sanoma CAN-väylälle, jotka muut moduulit voivat vastaanottaa. Muut CAN-protokollan sanomien osat näkyvät kuvassa 8. (9, s. 6 - 7.)



- SOF = kehyksen alku
- RTR = bitti, joka ilmaisee onko kyseessä tietokehys vai kyselykehys
(dominantti = tietokehys, resessiivinen = kyselykehys)
- IDE = bitti, joka ilmaisee onko kyseessä standardimuotoinen vai laajennettu kehys
(dominantti = standardimuotoinen, resessiivinen = laajennettu)
- r0, r1 = varattu, ei käytössä
- DLC = 4 bittiä, jotka kertovat tietokentän pituuden
- CRC = tarkistussumma, 15 bittiä. CRC päätetään yhdellä resessiivisellä bitillä
- ACK = kiittauskenttä. Vastaanottavat solmut kirjoittavat dominantin bitin ens. bitin kohdalle, jos ovat saaneet sanoman. Toinen bitti on aina resessiivinen
- INT = kehyksien välinen odotusaika, 3 resessiivistä bittiä
- SRR = RTR-bitin korvaava bitti

KUVA 8. CAN-protokollan mukaisten sanomakehysten rakenne (9. s.6)

Mikäli jokin CAN-moduuleista tarvitsee jonkin tiedon, voi se lähettää kyselykehysten väylälle. Se moduuli, jolla on kyselykehyksellä kysytty tieto, lähettää vastauksen väylälle. Kyselykehys eroaa sanomakehykseltä siltä osin, että kyselykehysten RTR-bitti on resessiivinen ja sanomakehyksessä olevaa tietokenttää ei ole kyselykehyksessä ollenkaan. (9, s. 6 - 7.)

Virhekehysten tarkoituksena on todeta, että väylältä saatu sanoma on virheellinen ja mikäli sanomassa havaitaan virhe, lähetetään virhekehys. Tämän seurauksena kaikki CAN-väylässä olevat moduulit vastaanottavat virhekehysten ja

hylkäävät sanoman. Mikäli CAN-moduuli menee passiiviseen virhetilaan, sen lähettämisen virhekehys muuttuu siten, ettei se sotke muuta liikennettä väylällä. (9, s. 6 - 7.)

CAN-moduuli voi lähettää ylikuormituskehysten eri sanomien välissä, mikäli vastaanottava CAN-moduuli tarvitsee lisää aikaa vastaanottamansa sanoman käsittelyyn. Ylikuormituskehys lähetetään kuvassa 8 näkyvän INT-kentän aikana. Aktiivinen virhekehys ja ylikuormituskehys ovat samanlaisia rakenteeltaan. Ylikuormituskehys on yleensä harvinainen käytännön järjestelmissä. (9, s. 6 - 7.)

Mikäli monta CAN-moduulia yrittää lähettää sanomaa silloin, kun väylä on vapaa, sanoman tunnistenumero määrää, mikä moduuleista saa lähettää sanomansa. Se moduuli, jonka sanoman tunnusnumero on pienin, saa lähettää sanomansa loppuun asti ja muut moduulit lopettavat sanomansa lähettämisen. (9, s. 6 - 7.)

2.3.2 Tiedonkeruu ajoneuvon alkuperäisellä anturoinnilla

Siviiliajoneuvoissa ei yleensä ole ohjainlaitteita, joka tallentaisi tietoja siinä tarkoituksessa, että sitä voitaisiin tarkastella jälkikäteen, paitsi silloin, kun ajoneuvon ohjausyksikkö huomaa ajoneuvossa olevan vian. Mikäli ajoneuvo toimii kuten pitääkin, ei eri anturitietoja silloin tallenneta muistiin. Mikäli ajoneuvo on varustettu CAN-väylällä, on tiedonkeruun liittäminen ajoneuvoon suhteellisen yksinkertaista. Tällöin tarvitaan tiedonkeruuyksikkö, joka tallentaa CAN-väylässä liikkuvat anturitiedot, sekä kytkentä tiedonkeruuyksikön ja CAN-väylän välillä.

Hankalaksi tiedon keräämisen ajoneuvon alkuperäisellä anturoinnilla tekee se, että CAN-viestien sisältämää tietoa on hankala saada avattua ilman ajoneuvon valmistajan apua. Mikäli CAN-viestien tiedot halutaan selvittää itse, vaatii se työtä. Yksi tapa viestien avaamiseen on kytkeä ajoneuvoon CAN-väylän diagnostiikkalaite, joka näyttää CAN-viestien sisällön numeroina. Kun lukija on kytketty CAN-väylään ja molemmat ovat toiminnassa, voidaan muuttaa esimerkiksi

ajoneuvon ohjauspyörän asentoa ja tarkkailla, muuttuuko jonkin viestin numero-sisältö loogisesti ohjauspyörän asennon muutokseen. Samaa tekniikkaa toiste-taan vaikkapa kaasupolkimen asentoon ja niin edelleen, kunnes kaikki tarpeelli-set tiedot ovat löytyneet.

Jos kuljettajan ajotapaa halutaan analysoida, tärkeitä kerättäviä tietoja ovat moottorin pyörintänopeus, ajoneuvon nopeus, ajoneuvon pitkittäis- ja poikittais-kiihtyvyys, kaasupolkimen ja ohjauspyörän asento. Myös ajoneuvon eri pyörien pyörintänopeustieto olisi hyvä saada kerättyä talteen. Näiden avulla voidaan analysoida hyvin kuljettajan ajotapaa. Ajonvakautusjärjestelmällä varustetussa ajoneuvossa ajonvakautusjärjestelmä tarvitsee tiedon ohjauspyörän ja kaasun-polkimen asennosta, ajoneuvon nopeudesta sekä pitkittäis- ja poikittaiskiihty-vyydestä (4, s. 980 - 995). Monia näistä tiedoista tarvitaan myös toisessa oh-jausyksikössä, joten näiden anturien arvot liikkuvat CAN-väylän kautta, josta ne voidaan lukea tiedonkeruuyksiköllä.

3 TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN TUOTTAMAT KUVAAJAT

Kilpa-autoilussa kuljettajan tai kuljettajien perimmäisenä tavoitteena on kulkea ennalta määrätty matka tai rata lyhimmissä ajassa tai korkeimmalla keskinopeudella. Tämän saavuttamiseksi ajoneuvoa voidaan säätää kyseisen autourheilulajin sääntöjen sisällä. (10, s. 3.)

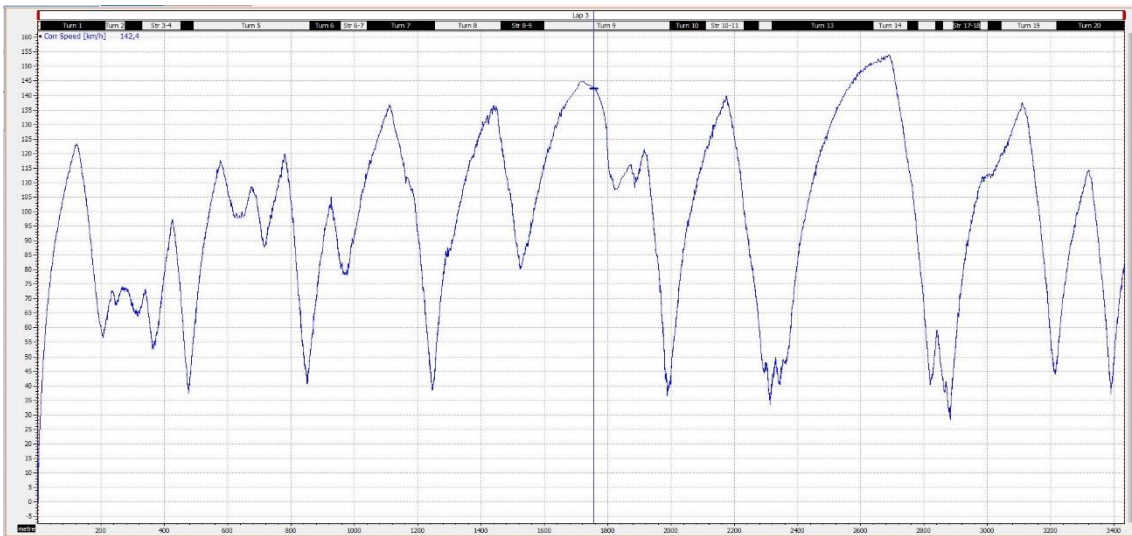
Tiedonkeruuta käytetään kilpa-autoilussa runsaasti, sillä kuljettaja joutuu keskittymään täysin ajamiseen, eikä hänellä siten ole aikaa tarkkailla esimerkiksi ajoneuvon moottorin lämpötiloja kilvanajon aikana. Tiedonkeruulla mahdollistetaan se, että ajettuja kierroksia voidaan tarkastella jälkikäteen. Tarkastelussa voidaan etsiä syitä esimerkiksi sille, miksi kuljettaja oli hitaampi tai nopeampi tai miksi ajoneuvo ei ole käyttäytynyt kuljettajan haluamalla tavalla. Mikäli ajoneuvon säätöjä muutetaan vaikkapa moottorinohjausyksiköstä, voidaan säätöjen vaikutusta kierrosaikaan tai ajoneuvon toimintaan analysoida tiedonkeruun avulla. Esimerkkejä kilpa-autosta kerättävistä suureista sekä niiden tiedonkeruutaajuuksista löytyy taulukosta 1 (8, s. 139).

TAULUKKO 1. Esimerkkejä kilpa-autoista kerättävistä suureista sekä niiden tie-donkeruutaajuudet (8, s. 139)

<u>Mitattava suure</u>	<u>Pienin tie-donkeruutaajuus [Hz]</u>	<u>Normaali tie-donkeruutaajuus [Hz]</u>	<u>Nopea tie-donkeruutaajuus [Hz]</u>	<u>Suurin tie-donkeruutaajuus [Hz]</u>
Ajoneuvon nopeus	10	20	50	100
Moottorin pyörintänopeus	10	20	50	100
Kaasupolkimen asento	10	20	50	100
Ohjauspyörän asento	10	20	50	50
G-voimat	10	10	20	20
Moottoriöljyn paine	5	10	20	50
Imusarjan paine	10	20	50	100
Moottorin ilmakerroin	5	10	20	50
Moottorin sytytysennakko	5	10	50	100
Jarrupaine	10	20	50	100

3.1 Analysointiohjelma Motec i2 Pro

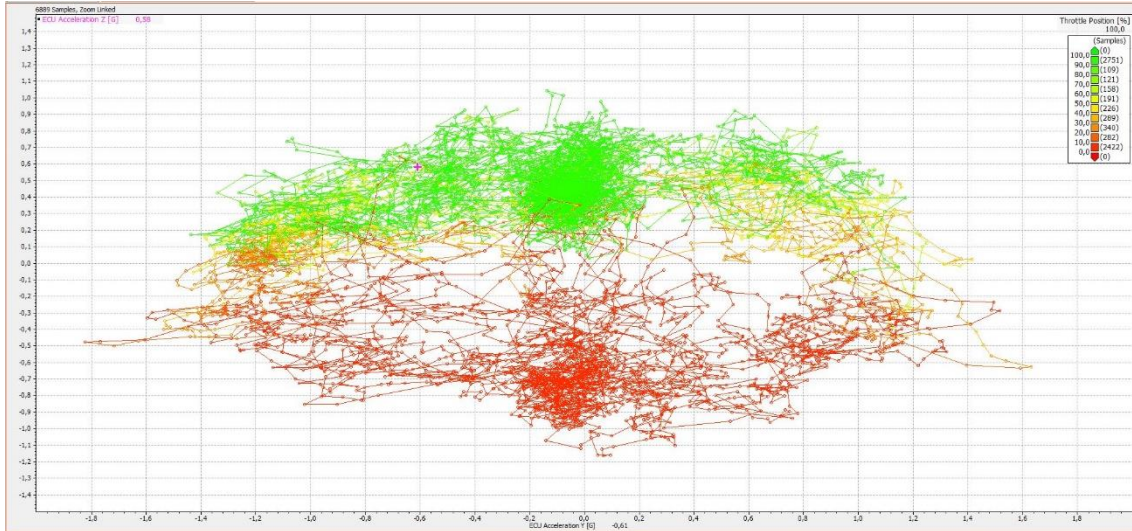
Kun kerättyä tietoa halutaan tarkastella, avataan se analysointiohjelmalla. Tässä työssä on käytetty analysointiohjelmana Motec i2 Pro -analysointiohjelmaa. Analysointiohjelma voi näyttää kerätyn tiedon erinäisissä muodoissa. Yleisiä esitysmuotoja ovat kuvaajat, joissa x-akselilla on aika tai matka ja y-akselilla on mitattu suure. (8, s. 21 - 23.) Kuvassa 9 on kilpa-auton nopeuskuvaaja, jossa y-akselilla on ajoneuvon nopeus ja x-akselilla ajoneuvon kulkema matka.



KUVA 9. Kilpa-autosta kerätyn nopeustiedon kuvaaja Motec i2 Pro-analysointiohjelmassa.

Motec i2 Pro -analysointiohjelmassa käytetään nimitystä Scatter plot sellaisesta kuvaajasta, jossa x-akselilla on jokin muu suure kuin aika tai matka. Yleisin Scatter plotissa esitettävä suure on ajoneuvon pitkittäis- ja sivuttaiskiinto- eli kitkaympyrä. Scatter plotteihin voi lisätä myös kolmannen mitatun suureen värillä. Kitkaympyrässä kolmas suure, joka näytetään värillä, on kaasupolkimen asento. (8, s. 21 - 23.) Kuvassa 10 on esitetty kilpa-auton kitkaympyrä, jossa kuvaajan X-akselilla on ajoneuvon sivuttaiskiinto ja y-akselilla on ajoneuvon pitkittäiskiinto. Kaasupolkimen asento on liitetty kuvaajan värillä siten, että punainen väri tarkoittaa 0 prosentin kaasupolkimen asentoa ja vihreä 100 pro-

sentin asentoa. Keltainen väri tarkoittaa 50 prosentin asentoa. Kuvassa 10 olevat mittapisteen kerätyt useammalta kierrokselta samalta radalta. Kitkaympyrää on käsitelty enemmän luvussa 4.2.1.

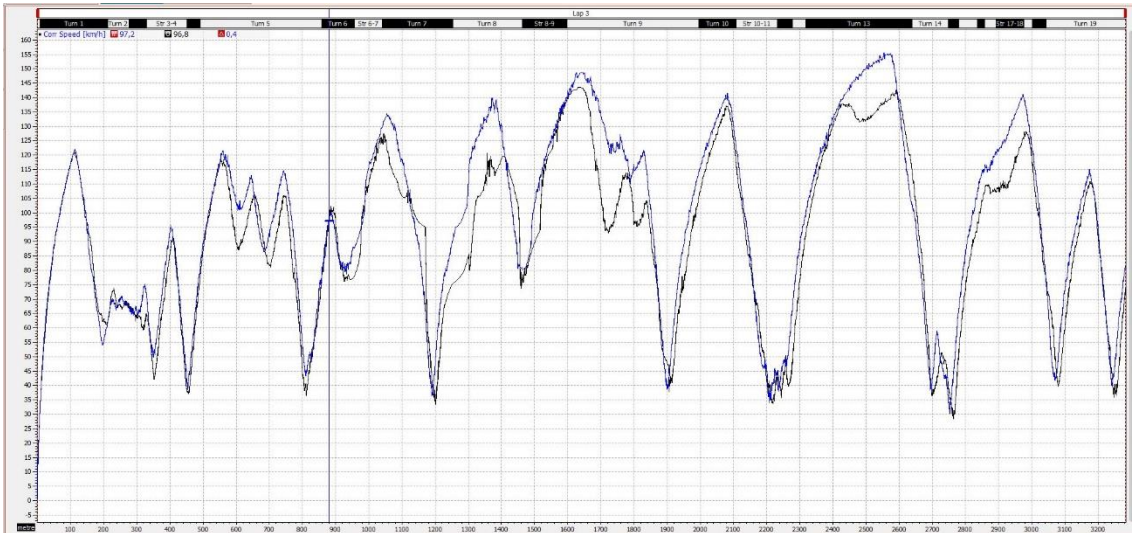


KUVA 10. Kilpa-auton sivuttais- ja pitkittäiskiikhtyvyydet sekä kaasupolkimen asento esitettynä Scatter plotissa

Analysointiohjelmalla voidaan tehdä myös tilastollisia taulukoita, joista voidaan tarkastella esimerkiksi mitatun suureen maksimi-, minimi- sekä keskiarvoja. Näitä taulukoita käytetään usein moottorin kunnon tarkasteluun. (8, s. 21 - 23.)

Muita Motec i2 Pro -analysointiohjelmasta löytyviä esitystapoja ovat histogrammit, jotka näyttävät pylväinä, kuinka pitkään kokonaisajasta on oltu tietyllä alueella (8, s. 21 - 23.). Muita esitystapoja ovat mm. erilaiset mittarit ja visuaaliset esitykset, joiden avulla esitetään monesti ohjauspyörän tai kaasupolkimen asentoa sekä esimerkiksi moottorin pyörintänopeutta. Rataprofiili sekä ajoneuvon sijainti radalla voidaan esittää visuaalisesti.

Kun halutaan verrata kahta tai useampaa eri kierrosta, voidaan nämä kierrosten tutkittavat kuvaajat sekä muut esitykset asettaa päällekkäin, jolloin helposti nähdään niiden eroavaisuudet samassa pisteessä. (8, s. 21 - 23.) Kuvassa 11 on esitetty kahden eri kuljettajan ajamisen kierrosten nopeuskuvaajavertailu. Kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka ja y-akselilla on ajoneuvon nopeus.



KUVA 11. Kahden eri kuljettajan nopeuskuvaajavertailu

Kahden eri kuvaajan vertailu ei kuvaa, kuinka paljon aikaa toinen kuljettaja on hävinnyt tai voittanut. Sitä varten analysointiohjelmassa on varianssitoiminto, joka kertoo, missä toinen kuljettaja on kuluttanut enemmän tai vähemmän aikaa ja kuinka paljon. (8, s.21 - 23.) Kuvassa 12 on alempana ajoneuvon nopeuskuvaajat ja ylempi kuvaaja on analysointiohjelman varianssikuvaaja. Kuvaajien x-akselilla on matka ja nopeuskuvaajan y-akselilla on nopeus. Varianssikuvaajan y-akselilla on aika. Kuten kuvasta huomataan, toisella kierroksella on hävitty eniten aikaa mutkien kaksi ja kolme välissä ja voitettu eniten aikaa mutkassa 6.



KUVA 12. Kahden eri kierroksen nopeuskuvaajat sekä varianssitoiminnon kuvaaja

3.2 Ajoneuvon nopeuskuvaaja

Tärkein kilpa-autosta kerättävä tieto on ajonopeus. Kilpa-auton nopeus voidaan määrittää joko ajoneuvon pyörien pyörintänopeudesta tai GPS:n avulla. Molemmilla mittaustavoilla on omat ongelmansa. (8, s. 24 - 32.)

Renkaan dynaaminen vierintäsäde muuttuu kierroksen aikana lähes jatkuvasti aiheuttaen virhettä myös mitattavan pyörän pyörintänopeuteen. Pyörän pyörimisestä aiheutuva keskihakuvoima, ajoneuvon staattinen massa, ajoneuvon painonsiirrosta aiheutuva renkaan dynaaminen puristus sekä renkaan lämpötilan ja paineen muutos aiheuttavat renkaan dynaamisen vierintäsäteen muutokset. Renkaiden rakenne vaikuttaa siihen, miten ne reagoivat näihin voimiin. (8, s. 26.)

Pyörien pyörintänopeudesta voidaan analysoida lukkojarrutuksia sekä muita pito-ongelmia esimerkiksi kiihdyttäessä. Tämä edellyttää sitä, että ajoneuvon jokainen pyörä on varustettu pyörintänopeustunnistimella. Suurimpaan osaan nopeudesta tehtävistä analysoinneista ei tarvita kuin yksi nopeustieto. Ajoneuvon nopeutta ei tule määrittää vetävän akselin pyörien pyörintänopeudesta, koska ajoneuvon kiihdyttäessä rengas luistaa aina pitkittäissuunnassa. Rengas voi

luistaa jopa 8 prosenttia, ennen kuin kuljettaja huomaa luiston, ja normaalissa kiihdytyksessä luisto on yleensä 1 - 4 prosenttia. (8, s. 27 - 30.)

Vetämättömän akselin pyörien pyörintänopeus vaihtelee myös toisistaan silloin, kun ajoneuvolla ajetaan kaarteessa tai jos toinen pyöristä lukkiutuu osittain tai kokonaan jarrutuksen aikana. Vetämättömän akselin pyörien pyörintänopeudesta voidaan laskea keskiarvo, jolloin ajoneuvon nopeudesta tulee tarkempi. Mikäli ajoneuvolla ajetaan ovaaliradalla, jossa lukkojarrutuksia tapahtuu harvoin ja ajoneuvo on suurimman osan ajasta kaarteessa, tulee ajoneuvon nopeuden määrittämiseen käyttää vetämättömien pyörien keskiarvoa. (8, s. 27 - 30.)

Mikäli ajoneuvolla ajetaan radalla, jossa on mutkia sekä oikealle ja vasemmalle, ajoneuvon nopeuden määrittämiseen tulee käyttää ajoneuvon vetämättömän akselin nopeinten pyörivää pyörää. Tällöin toinen ajoneuvon renkaista voi lukkiutua osittain tai kokonaan jarrutuksen aikana ilman, että se vaikuttaa ajoneuvon nopeuden määrittämisen tarkkuuteen. Mikäli kyseessä on etuvetoinen ajoneuvo, on myös mahdollista, että kaarteessa ajoneuvon sisäreunan puoleinen takapyörä nousee ilmaan, jolloin ajoneuvon todellinen nopeus näyttäisi olevan todellisuutta pienempi, mikäli käytettäisiin vetämättömän akselin pyörien pyörintänopeuden keskiarvoa. (8, s. 27 - 30.)

Mikäli ajoneuvon nopeus määritetään GPS:n avulla, tulee silloin kiinnittää huomiota GPS-laitteen päivitysnopeuteen. Mikäli GPS-laitteella halutaan määrittää ajoneuvon nopeus, tulisi sen päivitysnopeus olla vähintään 10 Hz, mielellään 20 Hz. GPS-laitteella ajoneuvon nopeuden määrittäminen on ongelmallista tilanteissa, joissa GPS-antennilla ei ole tarpeeksi hyvää näkyvyyttä taivaalle. Esimerkiksi puut, rakennukset ja radan yli kulkevat sillat voivat häiritä GPS-laitteen lukemien satelliittien määrää aiheuttaen virhettä ajoneuvon mitattuun nopeuteen. (8, s. 31 - 32.)

Joissakin tiedonkeruun analysointiohjelmassa on mahdollista tehdä uusi laskennallinen korjattu nopeustieto. Tämä toimii siten, että ajoneuvon määritettyä nopeutta korjataan käyttämällä ajoneuvon pitkittäistä kiihtyvyyssanturia. Tällöin voidaan korjata esimerkiksi lukkojarrutuksesta aiheutuneet virheet. (8, s. 30.)

Pelkästä ajoneuvon nopeustiedosta voidaan määrittää radan suorat sekä mutkat, analysoida kuljettajan jarrutuspaikkoja sekä -tehokkuutta, säätää ajoneuvon jarrubalanssia pyörien lukkiutumisen avulla, arvioida ajoneuvon säätöjä kaarrenopeuksien avulla, verrata eri ajolinjoja mutkissa, määrittää alueet, jossa on nostettu kaasua, etsiä paikkoja, jossa on ollut ongelmia pidon kanssa sekä arvioida aerodynaamisia vaikutuksia. Nopeuden analysointi on tärkeää, koska jos kuljettaja voi parantaa nopeuttaan radalla, tuloksena on nopeampi kierrosaika. Nopeuden analysoinnissa tulee ottaa huomioon myös se, missä kuljettajalla on parannettavaa, sillä jos kuljettaja yrittää ajaa nopeampaa niissäkin tilanteissa, joissa parannettavaa ei ole, on ulosajon riski suuri. (8, s. 24.)

3.3 Ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyys

Nopeuden derivaatta on kiihtyvyys, joten kulkevat ajoneuvon nopeus ja pitkittäiskiihtyvyys käsi kädessä. Ajoneuvon nopeuden kasvaessa sen pitkittäiskiihtyvyys pienenee ilmanvastuksen suurentuessa. Suurin pitkittäiskiihtyvyys saavutetaan ajoneuvon kiihdyttäessä pienimmällä vaihteella. Mikäli ajoneuvo ajaa vakionopeudella, ei pitkittäiskiihtyvyyttä silloin ole. (8, s. 94 - 95.)

Mikäli ajoneuvolla ajetaan mäessä, kiihtyvyytunnistimeen tulee häiriötä maan vetovoiman vaikutuksesta. Mikäli kyseessä on ylämäki, pitkittäiskiihtyvyyden arvoksi tulee todellista isompi arvo. Alamäessä tulos on päinvastainen. Mikäli ajettavalla radalla on korkeuseroja, tulee ne ottaa analysoinnissa huomioon. (8, s. 94 - 95.) Ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyytkuvaajasta voidaan analysoida ajoneuvon kiihtyvyyden lisäksi jarrutuspaikkaa, -tehokkuutta sekä jarrujen käyttöä (8, s. 94 - 103).

3.3.1 Ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys

Ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyydestä yksistään ei voida selvittää paljoa, vaan sitä käytetään yhdessä ajoneuvon nopeuden ja ohjauspyörän asennon kanssa yli- ja aliohjautumisen analysointiin. Pelkän sivuttaiskiihtyvyyden avulla voidaan määrittää piste, jossa kuljettaja alkaa kääntyä kaarteeseen. Sivuttaiskiihtyvyyden ja nopeuden avulla voidaan tuottaa ajoneuvolla ajatun radan profiili, mikäli GPS ei ole käytössä. (8, s. 104 - 105.)

Sivuttaiskiihtyvyyden arvoon vaikuttaa samat virheet, kuin ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyyteenkin, tosin sillä erolla, että ylä- ja alamäet eivät aiheuta häiriötä sivuttaiskiihtyvyyteen, vaan kallistetut kaarteet aiheuttavat. (8, s. 104 - 105.)

3.4 Kuljettajan kaasupolkimen käyttö

Kaasupolkimen asentoa muuttamalla kuljettaja muuttaa ajoneuvon kaasuläpän asentoa. Kaasuläpällä säädetään moottoriin menevän ilman määrää. Ajoneuvon moottoriohjausyksikkö säätelee moottorin menevän ilmamäärän perusteella moottoriin suihkutettavan polttoaineen määrää. Kuljettaja siis säätelee kaasupolkimella ajoneuvon moottorista saatavaa tehoa. (8, s. 73.)

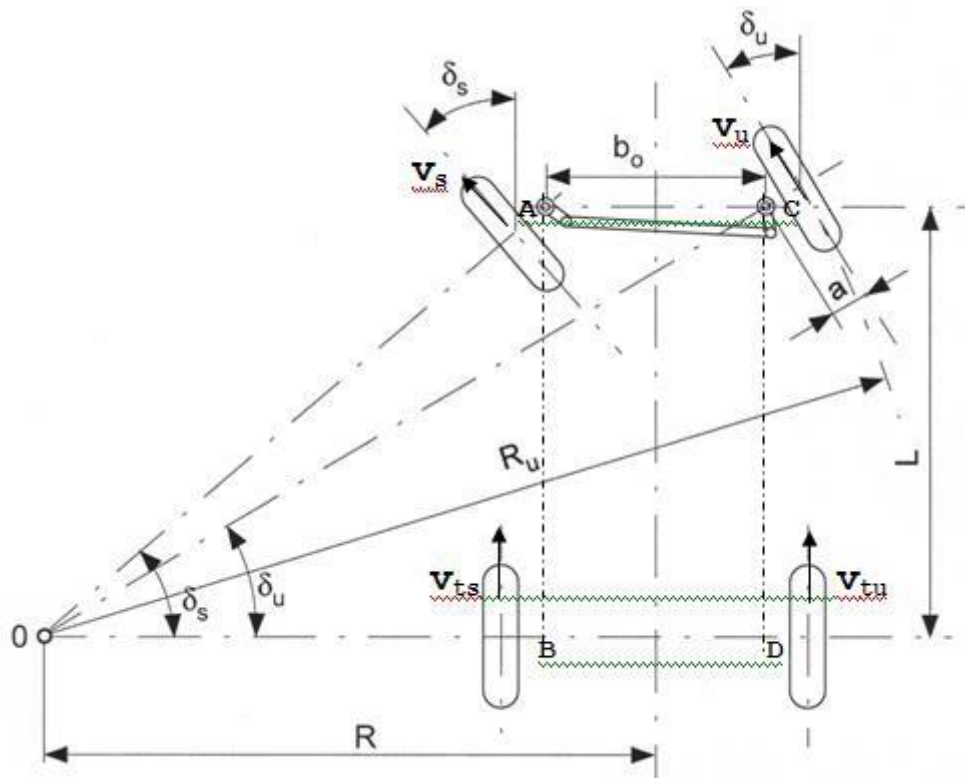
Ajoneuvon tiedonkeruulle tulevan kaasuläpän ja/tai -polkimen asentotiedon yksikkönä on yleensä prosentti, mutta myös kulma tai voltit ovat mahdollisia yksiköitä. Prosentit asentotiedon yksikkönä ovat parhaimmat vertailun ja ymmärtämisen kannalta, joten mikäli kaasupolkimen ja/tai -läpän asentotieto ei tule tiedonkeruulle prosentteina, kannattaa se muuttaa joko tiedonkeruuyksikössä tai analysointiohjelmassa prosenteiksi. Kaasuläpän ja -polkimen asennot eivät aina muutu toisiinsa nähden lineaarisesti. (8, s. 73.) Nykyaikaisten sähköhjattujen kaasuläppien avulla kaasupolkimen ja -läpän asento toisiinsa nähden voidaan ohjelmoida halutuksi (8, s. 87).

3.5 Ajoneuvon ohjauskulma

Ajoneuvon ohjauskulmaa voidaan tarkastella joko ohjauspyörän kulmana tai renkaiden kulmana. Jälkimmäisestä käytetään englanninkielen nimitystä "steered angle". Ohjauspyörän kulma on helpompi kalibroida näistä kahdesta, mutta renkaiden kulmaa käytetään enemmän hyödyksi ajoneuvon dynamiikan laskentakaavoissa. (8, s. 110 - 113.)

Ajoneuvon ohjauspyörän kulma on helpompi kalibroida, sillä se voidaan tehdä silmämääräisesti. Ajoneuvon renkaiden kulmaa kalibroitaessa tarvitaan avuksi laitteisto, jolla voidaan mitata renkaiden kulma. Koska ajoneuvon oikea ja vasen eturengas kulkevat kaarteeseen aikana eri säteellä, ovat tällöin renkaiden kulmat erisuuret. Tätä kutsutaan Ackermann-ohjaukseksi. (8, s. 110 - 113.)

Ackermann-kaarron avulla voidaan kuvata ajoneuvon ohjaussuureita ja käyttäytymistä kaarteessa teoriassa. Kun tarkastellaan Ackermann-kaarta, on kaarteeseen kaltevuuskulma 0 astetta. Pyöräntuennan suunnittelussa käytetään apuna Ackermann-kaarron teoriaa. Kuvassa 13 on esitetty Ackermann-kaarto sekä ajoneuvon pyörägeometrian mitat. Ackermann-kaarron mukaan ajoneuvon kaartokeskiö syntyy siihen pisteeseen, missä kaikkien pyörien nopeusvektorien normaalit leikkaavat toisensa. Kuvassa 13 kaartokeskiö on merkitty numerolla nolla. R tarkoittaa ajoneuvon kääntösädettä, L tarkoittaa akseliväliä, b_0 tarkoittaa raidenivelten etäisyyttä toisistaan, b tarkoittaa raideväliä, δ_s tarkoittaa kaarteeseen sisäreunan etupyörän kääntökulmaa ja δ_u tarkoittaa kaarteeseen ulkoreunan etupyörän kääntökulmaa. (11, s. 53 - 57.)



KUVA 13. Ackermann kaarto sekä ajoneuvon pyöräntuennan mitat (11, s. 54)

Ackermann-teorian mukaan ajoneuvon sisäkaarten pyörän kaartosäde R_s voidaan laskea kaavalla 1 ja ulkokaarten pyörän kaartosäde R_u voidaan laskea kaavalla 2 (11, s. 54).

$$R_s = \sqrt{L^2 + \left(R - \frac{b_0}{2}\right)^2} - \frac{b-b_0}{2} \quad \text{KAAVA 1}$$

$$R_u = \sqrt{L^2 + \left(R + \frac{b_0}{2}\right)^2} + \frac{b-b_0}{2} \quad \text{KAAVA 2}$$

Kaarteiden aikana dynaamista painonsiirtoa tapahtuu ajoneuvon ulkokaarten puoleisille renkaille sivuttaiskiikityvyydestä riippuen jopa 80-90 prosenttia. Tästä syystä vasemmalle kääntyvässä kaarteessa tulisi käyttää oikean puolen eturenkaan kulmaa ajoneuvon ohjaukskulmana ja oikealle kääntyvässä kaarteessa päinvastoin. (8, s. 110-113.)

Ajoneuvon ohjauskulmakuvaajasta on helppo analysoida, missä pisteessä kuljettaja alkaa ohjata ajoneuvoa sisään kaarteeseen. Suoran aikana ohjauskulman tulisi olla lähellä nollaa astetta ja kun ohjauskulmakuvaaja alkaa joko laskea tai nousta, näyttää se pisteen, jolloin kuljettaja on alkanut kääntää kaarteeseen sisälle. Ajoneuvon ohjauskulmakuvaajasta voidaan analysoida myös kuljettajan sisäänkäntönopeutta, suurinta ohjauskulmaa sekä sen vapauttamista. Jos näihin yhdistetään myös kaasupolkimen tai -läpän asentokuvaaja, voidaan määrittää ajolinja. (8, s. 110 - 113.)

4 KULJETTAJAN AJOKÄYTTÄYTYMISEN ANALYSOINTI

Kuljettajan ajokäyttäytymistä voidaan analysoida tiedonkeruulta saatavien eri kuvaajien avulla. Tässä kappaleessa on perehdytty, miten yhden kuljettajan eri kierroksia tai eri kuljettajien kierroksia voidaan vertailla ja mitä tekijöitä kerätystä tiedosta tulisi tarkkailla. On tärkeää, että tarkasteltavien kuvaajien x-akselilla on ajan sijasta matka (8, s. 40).

4.1 Jarrutuspaikka

Kun nopeuskuvaaja laskee, kuljettaja silloin hidastaa vauhtiaan. Jarrutusalue voidaan jakaa kahteen eri alueeseen, suoran linjan jarrutukseen sekä jarrutukseen mutkan sisäänmenossa. Suoran linjan jarrutuksessa saavutetaan ajoneuvon suurin hidastuvuus. Jos kuljettaja jarruttaa myös mutkan sisäänmenossa, kutsutaan sitä englanninkielien termillä trail braking. Tällöin kuljettajan täytyy jarruttaa vähemmän, jotta ajoneuvoa voidaan ohjata mutkaan sisälle. (8, s. 43 - 50.)

Suoran linjan jarrutuspaikka löydetään tiedonkeruulta tarkastelemalla, milloin nouseva nopeuskuvaaja kääntyy laskuun. Suoran linjan jarrutus ja piste, jossa kuljettaja jarruttaa mutkan sisäänmenossa, löydetään nopeuskuvaajasta tarkkailemalla, milloin ajoneuvon nopeus on alkanut hidastua vähemmän jarrutuksen loppupuolella. Nopeuskuvaajasta voidaan analysoida ajoneuvon jarrutuspaikat, -voima, -tyyli sekä lukkojarrutukset. (8, s. 43 - 50.) Mikäli jarrutuspaikka määritetään ajoneuvon pitkittäiskiivetyyskuvaajasta, löytyy jarrutuspaikka siitä kohdasta, kun ajoneuvon pitkittäiskiivetyys kääntyy selvään laskuun. (8, s. 96 - 99).

Kahden eri kierroksen jarrutuspaikkoja tarkastellessa katsotaan, kumman kierroksen nopeuskuvaaja tai pitkittäiskiivetyys on kääntynyt laskuun ennemmin. Sillä kierroksella, jonka kuvaaja lähtee laskemaan aiemmin, on jarrutettu aiemmin. Suurempi nopeus jarrutuksen aikana on se, missä toinen kuljettaja voittaa

aikaa ja on myös silloin pakollista, mikäli kuljettaja yrittää ohittaa toisen ajoneuvon jarrutuksen aikana. On kuitenkin tärkeää, että myöhemmin jarruttanut kuljettaja ei vähennä nopeuttaan liikaa. Mikäli näin käy, hänen mutkanopeutensa on pienempi ja myös mutkan ulostulonopeus. On myös tärkeää, että myöhemmin jarruttanut kuljettaja ei ajaudu liian pitkälle mutkaan suuremman nopeutensa ansiosta, sillä silloin hän häviää ulostulonopeudessaan. (8, s. 43 - 50.)

4.2 Jarrupolkimen käyttö

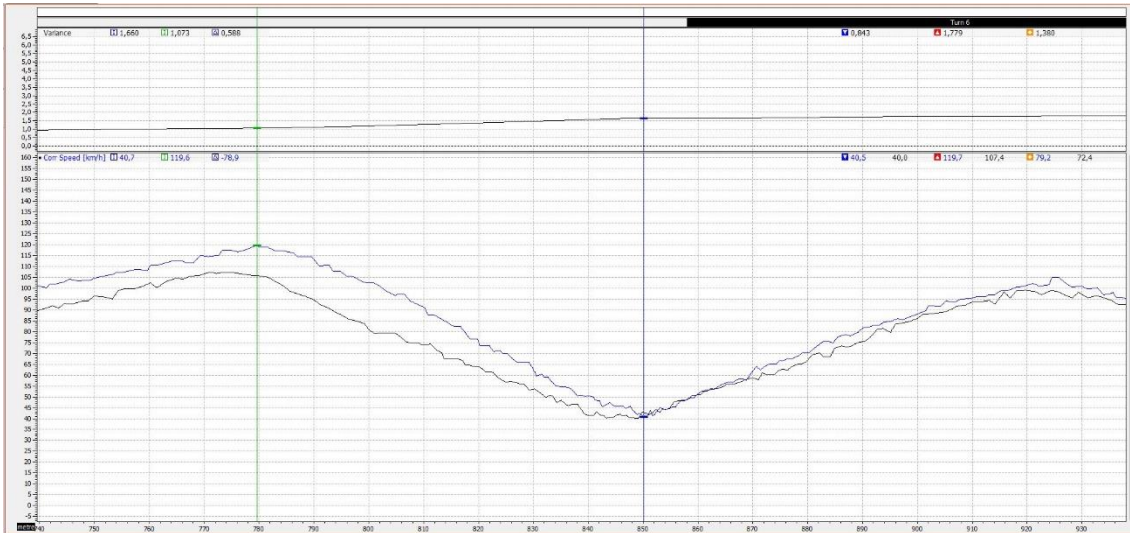
Myös kuljettajan jarrupolkimen painamisen aggressiivisuutta voidaan analysoida nopeuskuvaajasta. Mikäli nopeuskuvaaja kääntyy terävästi noususta laskuun, on kuljettaja alkanut silloin jarruttaa aggressiivisesti. Jos nopeuskuvaaja kääntyy laskuun loivasti, on jarrupoljinta painettu silloin kevyemmin. Ajoneuvon vaikuttava aerodynaaminen voima vaikuttaa siihen, miten aggressiivisesti jarrutus voidaan aloittaa. Mitä enemmän aerodynaamista voimaa on, sitä aggressiivisemmin jarrutus voidaan aloittaa. Kun aerodynaamisen voiman suuruus vähennee nopeuden pienentyessä, täytyy jarrutusta silloin heikentää. (8, s. 43 - 50.)

Ajoneuvon dynaaminen painonsiirto kiihdytyksestä jarrutukseen vaikuttaa myös siihen, miten aggressiivisesti jarrupoljinta voidaan painaa. Mitä jäykemmät jouset ajoneuvossa on, sitä aggressiivisemmin voidaan jarrutus aloittaa. Tähän vaikuttaa myös ajoneuvon jarrubalanssi, eli suhde miten paljon kuljettajan tekemästä jarrutusvoimasta jarrupoljinta painamalla jakautuu etu- ja taka-akselin pyörien kesken. Jarrubalanssi on yleensä säädetty sopivaksi silloin, kun kaikki dynaaminen painonsiirto on tapahtunut. Mikäli jarrupoljinta aloitetaan painamaan liian aggressiivisesti, on mahdollista, että osittainen tai kokonainen lukkojarrutus tapahtuu, ennen kuin kaikki dynaaminen painonsiirto on tapahtunut. Mikäli jarrubalanssia säädetään enemmän taakse, jarrupaineesta menee isompi osuus taka-akselin pyörille, kuin aikaisemmin ja tällöin on vaarana takapyörien lukittautuminen jarrutuksen aikana, joka tekee ajoneuvosta vaarallisen ajettavan. (8, s. 43 - 50.)

Yleisenä sääntönä voidaan pitää, että mikäli ajoneuvolla jarrutetaan suorassa linjassa, tulee kuljettajan siirtyä kaasupolkimelta jarrupolkimelle mahdollisimman nopeasti ja aggressiivisesti, jos kyseessä ei ole nopea mutka. Nopeassa mutkassa kevyempi jarrupolkimen käyttö voi auttaa kuljettajaa pitämään ajoneuvon paremmin hallinnassaan. (8, s. 43 - 50.)

4.3 Jarrutustehokkuus

Laskevan nopeuskuvaajan jyrkkyys kertoo suoraan, kuinka voimakkaasti ajoneuvoa on jarrutettu. Jyrkkyys on myös lähes aina suoraan verrannollinen käytettyyn jarrupaineeseen. Mikäli toinen kuljettaja jarruttaa kaarteeseen myöhemmin, täytyy hänen jarruttaa tehokkaammin, että ajoneuvojen nopeus mutkan ulostulossa on sama. Kun saadaan maksimoitua ajoneuvon jarrutuspotentiaali, paranee kierrosaika sekä nopeuskuvaajan laskun jyrkkyys. (8, s. 43 - 50.) Kuvassa 14 on esimerkki kahden eri kuljettajan ajosta, joista toinen jarruttaa samaan kaarteeseen myöhemmin, mutta tehokkaammin, sillä hänen nopeuskuvaajansa laskee jyrkemmin. Motec i2 Pro -analysointiohjelman varianssikuvaaajan avulla nähdään, että myöhemmin ja tehokkaammin jarruttanut kuljettaja käytti 0,588 sekuntia vähemmän aikaa toiseen kuljettajaan nähden. Varianssikuvaaajan y-akselilla on aika ja nopeuskuvaajan y-akselilla on nopeus. Molempien kuvaajien x-akselilla on matka.



KUVA 14. Toisen kuljettajan myöhäisempi sekä tehokkaampi jarrutus, jonka takia hän käyttää jarrituksen aikana 0,588 sekuntia vähemmän aikaa

Samasta jarrutuspaikasta alkaneita jarrutuksia voidaan myös analysoida nopeuskuvaajan laskun jyrkkyydestä ja sen muutoksesta. (8, s. 43 - 50.) Kuvassa 15 on alempana kahden eri kierroksen nopeuskuvaaja ja yläpuolella varianssi-kuvaaja samaan mutkaan jarrutettaessa. X-akselilla on matka ja nopeuskuvaajien y-akselilla on nopeus. Varianssikuvaajan y-akselilla on aika.



KUVA 15. Kahden samassa jarrutuspaikassa alkaneen jarrituksen analysointi ajoneuvon nopeuskuvaajasta

Jarrutukset alkavat molemmilla kierroksilla samassa paikassa, mutta toisella kierroksella ajoneuvolla on suurempi nopeus jarrutuksen alkaessa. Vihreän kursorin ja ensimmäisen nuolen välissä nopeuskuvaajien jyrkkyys on lähestulkoon sama, jolloin kuljettaja on jarruttanut tämän välin samalla tavalla. Ensimmäisen ja toisen nuolen välissä sinisen nopeuskuvaajan jarrutus on ollut heikompi, sillä tällä välillä nopeuskuvaajat menevät päällekkäin, vaikka mustan nopeuskuvaajan kierroksella on jarrutuspaikkaan tultu suuremmalla nopeudella. Nuolien kaksi ja kolme välissä sinisen nopeuskuvaajan jarrutus on ollut myös heikompi mustan nopeuskuvaajan mennessä pienemmällä nopeudella siniseen verrattaessa.

Nuolien kolme ja neljä välissä on mustan nopeuskuvaajan jarrutus ollut suhteessa heikompi siniseen nopeuskuvaajaan verrattuna, sillä tässä vaiheessa nopeuskuvaajat menevät päällekkäin. Jarrutuksen loppuosassa, nuolien neljä ja viisi välissä, mustan nopeuskuvaajan jarrutus on ollut selvästi voimakkaampi, kun sinisen nopeuskuvaajan jarrutus on kiristynyt loppua kohden ja nopeus molempien jarrutusten lopussa on ollut lähes sama. Kuljettajien suurin nopeusero nuolien neljä ja viisi välissä on 10,4 km/h. Sinisen nopeuskäyrän kuljettaja on käyttänyt jarrutuksen loppuun mennessä, sinisen kursorin kohdalla, 0,243 sekuntia vähemmän aikaa.

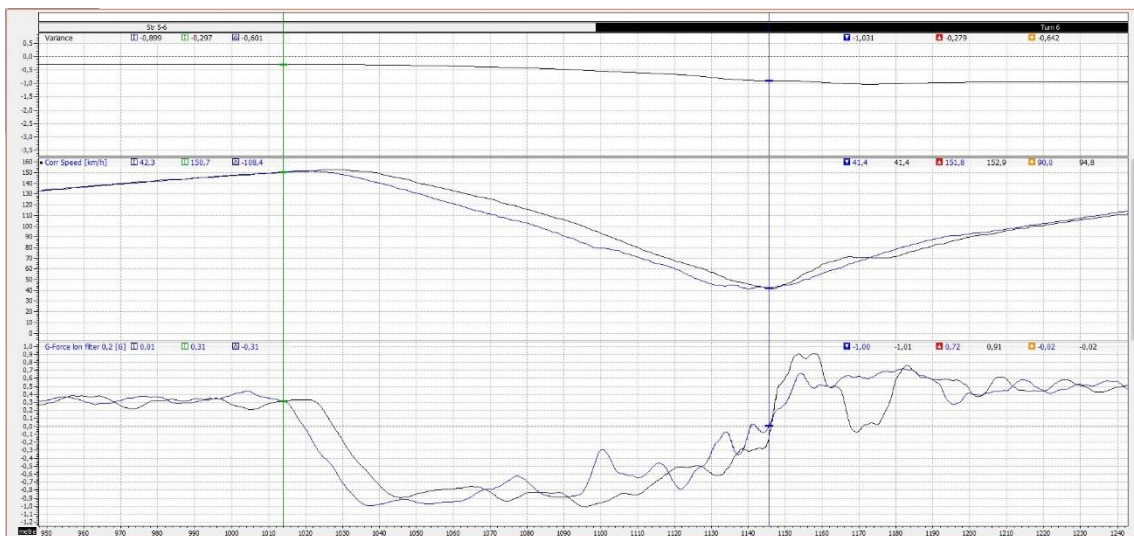
Syytä sille, miksi toinen kuljettaja on jarruttanut heikommin, ei voida nähdä suoraan ajoneuvon nopeudesta. Syyt voi löytyä tutkimalla ajoneuvon jokaisen pyörän pyörimisnopeutta osittaisten tai kokonaisten lukkojarrutusten osalta tai tarkastamalla kuljettajan kaasupolkimen käyttöä, mikäli vaihteita on vaihdettu alaspäin jarrutuksen aikana. (8, s. 43 - 50.)

Pitkittäiskiivyyden avulla jarrutuksille saadaan numeerinen arvo ajoneuvon hidastumisesta, kun nopeuskuvaajan perusteella ajoneuvon jarrutustehokkuudesta saadaan ainoastaan visuaalinen arvio. Mitä suuremmalla jarrutusvoimalla ajoneuvoa hidastetaan, sitä suurempi on ajoneuvon negatiivinen pitkittäiskiivyyys. Ainoastaan suoran linjan jarrutuksia voidaan analysoida pitkittäiskiivyyksistä, sillä mutkan sisään menossa tapahtuvissa jarrutuksissa ajoneuvon

hidastuvuus ei voi olla yhtä suuri, kuin suoran linjan jarrutuksissa. Tämä tapahtuu siitä syystä, että renkaan ja tien välillä olevasta kitkasta pitää hyödyntää osa jarrutuksen sijasta ajoneuvon ohjaamiseen. (8, s. 96 - 101.)

Pitkittäiskiikityvyyskuvaajan muoto jarrutuksessa riippuu siitä, jarrutetaanko ajoneuvolla pienen vai suuren pitovoiman (downforce) alaisena. Mikäli ajoneuvossa ei ole ilmanohjaimia, jotka synnyttäisivät pitovoimaa, jarrutuksissa ajoneuvon maksimi negatiivinen pitkittäiskiikityvyys voidaan saavuttaa heti painonsiirtymisen jälkeen. Tämän jälkeen pitkittäiskiikityvyyden tulisi pysyä tällä samalla tasolla suoran linjan jarrutuksen ajan, jonka jälkeen jarrutusta heikennetään mutkaan kääntymisen takia. (8, s. 96 - 101.)

Kuvassa 16 on kahden eri kuljettajan samalla ajoneuvolla ajama kierros samalla radalla. Ylin kuvaaja on varianssikuvaaja, jonka y-akselilla on aika. Keskimäinen kuvaaja on ajoneuvon nopeuskuvaaja, jolloin y-akselilla on nopeus. Alin kuvaaja on ajoneuvon pitkittäiskiikityvyys, jolloin y-akselilla on ajoneuvon pitkittäiskiikityvyys. Kaikkien kuvaajien x-akselilla on matka.



KUVA 16. Kahden eri kuljettajan jarrutus samaan kaarteeseen

Kuvassa 16 sinisen kuvaajan kuljettaja on aloittanut jarrutuksen vihreän kursorin kohdalla, kun mustan kuvaajan kuljettaja on aloittanut jarrutuksen noin 8 metriä myöhemmin. Pitkittäiskiikityvyyden muodosta heti jarrutuksen alussa

nähdään, että molemmat kuljettajat ovat alkaneet painaa jarrupoljinta lähes identtisellä tavalla. Sinisen kuvaajan kuljettajan pitkittäiskiihtyvyys ei pysy jarrutuksen aikana samalla tasolla, vaan se heittelee enemmän. Tällöin kuljettaja on pumpannut jarrupoljinta. Mustan kuvaajan kuljettaja on puolestaan jarruttanut paljon tasaisemmin koko jarrutuksen ajan. Nämä samat havainnot voidaan todeta myös nopeuskuvaajan avulla. Mustan kuvaajan kuljettaja on käyttänyt tämän jarrutuksen aikana 0,601 sekuntia vähemmän aikaa toiseen kuljettajaan nähden.

Mikäli ajoneuvossa on pitovoimaa synnyttäviä ilmanohjaimia, on renkaiden ja tien välissä oleva pito sitä suurempi, mitä suurempi on ajoneuvon nopeus. Tämän takia myös jarrutukset suuremmista nopeuksista voidaan tehdä isommalla jarrutusvoimalla ilman pyörien lukkiutumista. Suuresta nopeudesta jarrutettaessa ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyys saavuttaa suurimman negatiivisen pitkittäiskiihtyvyyden heti jarrutuksen alussa, jonka jälkeen negatiivinen pitkittäiskiihtyvyys alkaa nousta ajoneuvon nopeuden laskiessa ja pitovoiman pienentyessä. Kun kuljettaja alkaa ohjata ajoneuvoa mutkaan sisälle, nousee pitkittäiskiihtyvyys jyrkemmin positiiviseen suuntaan. (8, s. 96 - 101.)

Ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyyksien vertailu kahdessa eri mutkassa toisiinsa on hankalaa. Mikäli ajoneuvon maksimi hidastumiskiihtyvyys on esimerkiksi 1,2 G:tä, tulisi ajoneuvon pystyä hidastamaan tällä kiihtyvyydellä kaikissa kaarteissa. Tämä tosin ei pidä todellisuudessa aina paikkaansa, sillä jokaisessa kaarteessa on omat tekijänsä, jonka takia teoria ja todellisuus eivät aina kohtaa. (8, s. 102 - 103.)

Mikäli toisen kaarteeseen jarrutuspaikka on mäessä, on silloin kiihtyvyyksianturin näyttämä pitkittäiskiihtyvyys liian suuri tai pieni riippuen siitä, onko kyseessä ylä- vai alamäki. Myös ajoneuvon pitovoima sekä renkaan ja tien väliset kitkerot eri kaarteiden jarrutuspaikoissa vaikuttavat saavutettavaan pitkittäiskiihtyvyyteen. Saman ajosession aikana ajoneuvon massa muuttuu polttoaineen vähenemisen takia sekä renkaan pito muuttuu renkaan kulumisen ja lämmön vaih-

telun mukaan. Näistä syistä ajoneuvon pitkittäis- sekä myös poikittaiskiihtyvyyksiä eri kierroksilla voidaan verrata toisiinsa ainoastaan samassa paikassa. (8, s. 102 - 103.)

4.4 Kaasupolkimen käyttö jarrutuksen aikana

Suurin osa kuljettajan tekemistä pienemmän vaihteen vaihtamisesta tapahtuu jarrutuksen aikana nopeuden hidastuessa. Jotta vaihtenvaihdot pienemmälle vaihteelle sujuisivat mahdollisimman hyvin, ilman että se vaikuttaa ajoneuvon tasapainoon tai hidastuvuuteen, tulisi kuljettajan nostaa moottorin pyörintänopeus sellaiselle tasolle vaihtenvaihdon aikana, että moottorin pyörintänopeus ja kytkettävän vaihteen pyörimisnopeus olisivat samalla tasolla. Tätä hetkellistä kaasunpolkimen polkaisua jarrutuksen aikana kutsutaan englanniksi throttle blips -termillä. Käytännössä kuljettaja painaa jarrupoljinta oikean jalan päkiälään ja käyttää saman jalan kantapäätä kaasupolkimen painamiseen. Tämän tekniikan avulla kuljettaja voi saavuttaa isomman hidastuvuuden riippuen ajoneuvon tasauspyörästöstä sekä vähentää vaihteiston kulumista. (8, s. 74 - 76.)

Mikäli kuljettaja haluaa vaihtaa vaihdetta pienempään ilman kytkinpolkimen käyttöä, tulee hänen vaihtaa vaihde ensin vapaalle ilman kytkintä. Tämän jälkeen kuljettajan tulee nopeasti painaista kaasupoljinta, jolloin moottorin pyörintänopeus vastaa pienemmällä vaihteella olevaa moottorin pyörintänopeutta. Tämän jälkeen kuljettaja kytkee seuraavan vaihteen. Mikäli kuljettaja haluaa vaihtaa vaihdetta kytkimen kanssa, tulee hänen ensin painaa kytkinpoljin pohjaan, jonka jälkeen kaasupoljinta painetaan moottorin pyörintänopeuden korottamiseksi. Tämän jälkeen pienempi vaihde kytketään ja kytkinpoljin vapautetaan. Oikea ajoitus kaasupolkimen painamisen ja pienemmän vaihteen kytkemisen välillä on erittäin tärkeää, koska jos ajoitus epäonnistuu tai kaasupoljinta painetaan liian vähän tai paljon, ajoneuvon takarenkaat voivat lukkiutua aiheuttaen ajoneuvon pyörähtämisen tai ajoneuvon hidastuvuus pienenee aiheuttaen liian pitkän jarrutusmatkan. (8, s. 74 - 76.)

Mikäli samassa jarrutuksessa vaihdetaan pienempää vaihdetta useammin kuin kerran, ainoastaan tekniikka on kaikissa vaihdoissa sama. Kaasupolkimen pikaisella painamisella saavutettava moottorin pyörintänopeuden muutos on jokaiselle vaihteelle eri kuin on myös vaihteen vaihtojen välillä odotettava aika. Jos kuljettaja vaihtaa pienemmälle vaihteelle liian aikaisin, moottorin pyörintänopeus voi kohota liian korkealle, niin sanotuille ylikierroksille. (8, s. 74 - 76.) Moottorin ylikierrokset voivat vahingoittaa moottorin osia vakavasti (8, s. 64.).

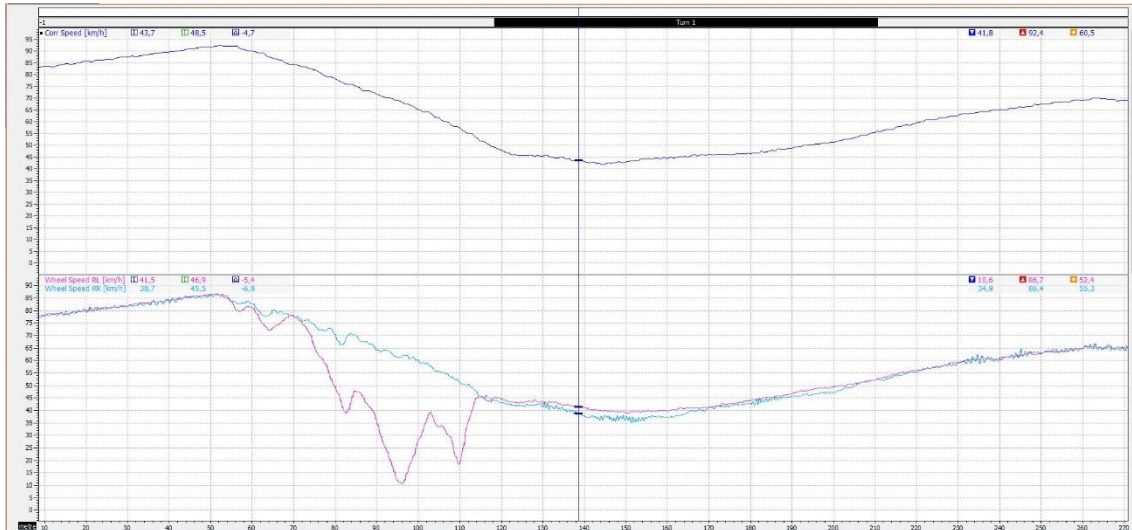
Kaasupolkimen painallukset vaihtenvaihdon aikana tulisivat olla nopeita ja teräviä. Kuljettajan ei pitäisi jäädä painamaan kaasupoljinta vaihtenvaihdon jälkeen, vaan kaasupoljin tulee vapauttaa heti, kun moottorin pyörintänopeus on oikealla tasolla pienemmän vaihteen kytkemisen kannalta. Mikäli kuljettaja jää painamaan kaasua yhtä aikaa jarrutuksen kanssa, ajoneuvon jarrutusmatka pitenee ja ajoneuvon jarrut kuumentuvat turhaan, joka voi johtaa ylikuumentuneihin jarruihin. Polttoaineen kulutus voi myös nousta jarru- ja kaasupolkimen yhtäaikaisen painamisen seurauksena. (8, s. 74 - 76.)

4.5 Lukkojarrutukset ja jarrubalanssi

Kahden eri kappaleen välillä, jotka ovat kosketuksissa keskenään, oleva lepokitka on aina suurempi, kuin niiden välillä vallitseva liikekitka. Teoriassa pyörivän renkaan ja tien välissä oleva kitka on lepokitkaa. Renkaan lukkiutuessa tien ja renkaan välinen kitka muuttuu liikekitkaksi. Käytännössä renkaiden ja tienvälinen kitka ei muutu välittömästi lepokitkasta liikekitkaksi, vaan se tapahtuu tietyn ajan sisällä. Aluksi renkaan kosketuspinnan ne osat, joiden paine, ja täten myös kitka, on pienin, alkavat luistaa kunnes koko kosketuspinta luistaa. (8, s. 43 - 50.)

Lukkojarrutukset voidaan löytää ajoneuvon tiedonkeruulta tarkastelemalla jokaisen pyörän pyörintänopeutta ja vertailemalla sitä ajoneuvon todelliseen nopeuteen. Lukkojarrutukset jaetaan osittaisiin lukkojarrutuksiin sekä kokonaisiin lukkojarrutuksiin. Osittaisissa lukkojarrutuksissa renkaan pyörimisnopeus on selvästi pienempi, kuin ajoneuvon nopeus, mutta rengas silti pyörii. (8, s. 43 - 50.)

Kuvassa 17 ylemmän kuvaajan y-akselilla on ajoneuvon todellinen nopeus ja alemman kuvaajan y-akselilla takapyörien pyörintänopeus. Molempien kuvaajien x-akselilla on matka. Kuvaajista voidaan todeta, että jarrutuksen aloituksen jälkeen molemmissa pyörissä on ollut osittaista lukkojarrutusta ja jarrutuksen loppupuolella ajoneuvon oikeassa takapyörässä on ollut selvä osittainen lukkojarrutus.



KUVA 17. Takapyörien nopeudesta analysoitu osittainen lukkojarrutus.

Kokonaisessa lukkojarrutuksissa rengas lukkiutuu kokonaan. Mikäli rengas lukkiutuu kokonaan, on silloin vaarana, että renkaaseen kuluu tasainen kohta, joka aiheuttaa suurissa nopeuksissa värähtelyjä. Jotta renkaaseen kuluu tasaisen kohta, tulee lukkojarrutuksen tapahtua asfaltilla tai muulla kiinteällä alustalla. Nämä tasaiset kohdat ovat myös alttiimpia lukkiutumaan uudesta tulevissa jarrutuksissa. (8, s. 43 - 50.) Kuvassa 18 on ympyröity punaisella kohta, jossa jarrutuksen aikana on tapahtunut ajoneuvon etupyörien kokonainen lukkojarrutus. Ylemmän kuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus ja alemman kuvaajan y-akselilla on etupyörien pyörintänopeus. Molempien kuvaajien x-akselilla on matka. Myös tätä ennen on tapahtunut osittaista sekä kokonaista lukkojarrutusta molemmilla etupyörillä, mutta ei yhtä aikaa. Kyseinen tiedonkeruu on kerätty ajoneuvon ajaessa lumipeitteisellä radalla.



KUVA 18. Etupyörien pyörintänopeudesta analysoitavat osittaiset ja kokonaiset lukkojarrutukset

Mahdollisimman tehokkaassa jarrutuksessa renkaan ja tien välissä on aina luistoa, mutta yli 10 prosentin luisto tarkoittaa renkaan lukittumista. Renkaan luisto ei saisi ylittää 5 prosenttia. (8, s.43 - 50.) Mikäli ajetaan soralla, lumella tai muulla irtonaisella alustalla, luistoprosentti voi olla 10 - 20 prosenttia. Tällöin irtonainen tavara, esimerkiksi sora, pääsee tekemään pienen patjan jarruttavan renkaan eteen lyhentäen jarrutusmatkaa. (12, s. 35 - 39.)

Kun ajoneuvolla kiihdytetään, renkaan ja tien välissä tapahtuu silloinkin luistoa. Ainostaan silloin, kun ajoneuvo liikkuu tasaista nopeutta, renkaan ja tien välinen luisto on nolla. Kiihdytettäessä pyörien pyörintänopeus on suurempi kuin ajoneuvon nopeus renkaan ja tien välisen luiston takia. Pyörintänopeuseroa lisää myös renkaan vierintäsäteen muuttuminen, sillä ajoneuvon moottorista tuleva vääntömomentti laskee renkaan sivuseinämän jäykkyyttä sekä puristaa kokoon renkaan kontaktipintaa tiehen nähden. (8, s. 51 - 53.)

Vetävän akselin pyörien pyörintänopeudesta voidaan päätellä, millainen tasauspyörästä ajoneuvossa on. Mikäli ajoneuvon tasauspyörästäön lukko on säädettävä, voidaan siihen tehdä muutoksia pyörien pyörintänopeuksien perusteella. (8, s. 51 - 53.)

Jokaisen pyörän pyörimisnopeuden avulla voidaan säätää myös ajoneuvon jarrubalanssia, mikäli ajoneuvo on varustettu sellaisella laitteistolla, mikä mahdollistaa jarrubalanssin säädön. Suoran linjan jarrutuksista voidaan analysoida, tarvitseeko jarrubalanssia muuttaa. Monet kuljettajat haluavat sellaisen ajoneuvon, jonka etupyörät lukkiutuvat aiemmin kuin takapyörät. Jarrubalanssin analysointia tehdessä tulee tarkastella molempia saman akselin pyöriä yhtä aikaa, sillä jos ainoastaan toinen akselin pyöristä lukittuu, se ei välttämättä johdu väärästä jarrubalanssista vaan esimerkiksi tiessä olevasta pompusta. Mikäli tarkastellaan ajoneuvon vetävän akselin pyöriä, tulee ottaa huomioon millainen tasauspyörästö ajoneuvossa on, sillä tasauspyörästön lukko voi tasata eri pyörien lukkiutumista. (8, s. 43 - 50.)

Mikäli kuljettaja jarruttaa samalla, kun hän kääntyy mutkaan sisälle (trail braking), ajoneuvossa tapahtuu dynaamista painonsiirtoa kaarteen ulkoreunan puoleisille pyörille, jolloin sisäkaarteeseen puoleinen pyörä voi keventyä ja lukkiutua kokonaan tai osittain. Nämä lukkojarrutukset eivät ole niin vakavia kuin suoran linjan jarrutuksessa tapahtuvat lukkojarrutukset, sillä kaarteessa lukkiutuneen pyörän päällä ei ole niin paljoa painoa, että tasaista kohtaa renkaaseen muodostuisi. (8, s. 43 - 50.)

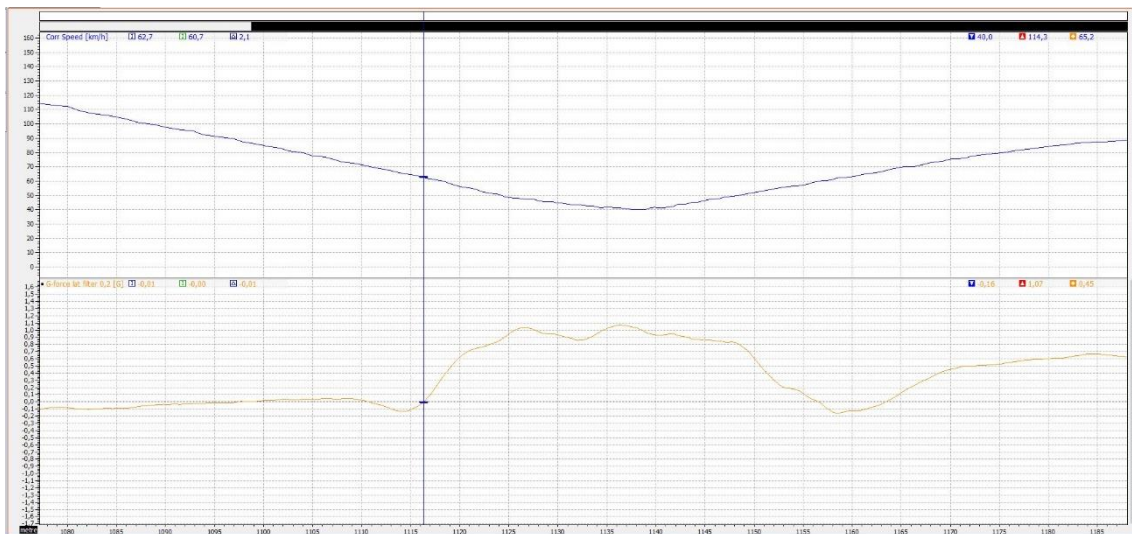
Mikäli kuljettajalla ei tapahdu yhtään osittaisia lukkojarrutuksia, ei hän silloin ole käynyt lähellä ajoneuvon maksimi jarrutuspotentiaalia. Osittaisten lukkojarrutusten avulla kuljettaja voi tarkastella radan pitoa jarrutuksissa, sillä osittainen lukkojarrutus ei vahingoita renkaita niin paljoa ja renkaisiin ei pääse muodostumaan tasaisia kohtia. (8, s. 43 - 50.)

4.6 Ajoneuvon kaarreajo

Kaarre voidaan jakaa kolmeen eri osaan, jotka ovat kaarteeseen sisääntulo, kaarteeseen keskiosa ja kaarteeseen ulostulo. Kaarteeseen sisääntulo alkaa siitä, kun ajoneuvon ohjauspyörää aletaan kääntämään, ja loppuu siihen, kun kaarteeseen vaatima

suurin ohjaukulma on saavutettu. Kaarteen keskiosan aikana kuljettaja ei kiihdytä eikä jarruta, vaan kaikki renkaan pito käytetään kääntymiseen. Kaarteen ulostulo alkaa siitä, kuljettaja alkaa kiihdyttää ulos kaarteesta. (8, s. 54 - 57.)

Sisäänkäätöpointe voidaan määrittää ohjauspyörän asennon sijasta myös ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyydestä. Kun ajoneuvo kulkee suoralla, on ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys silloin arvoltaan nolla. Kun ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys menee joko positiiviseksi tai negatiiviseksi, silloin ajoneuvolla on alettu kääntyä oikealle tai vasemmalle. Ohjauspyörän asento on parempi tapa määrittellä ajoneuvon sisäänkäätöpointe, mutta mikäli sitä ei ole saatavilla, voidaan sisäänkäätöpointe määrittää sivuttaiskiihtyvyydenkin avulla. (8, s. 104 - 105.) Kuvassa 19 on ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyyden perusteella määritetty sisäänkäätöpointe kaarteeseen. Ylemmän kuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus ja alemman kuvaajan y-akselilla on ajoneuvon ohjauspyörän asentokulma. Molempien kuvaajien x-akselilla on matka.



KUVA 19. Ajoneuvon sisäänkääntöpointe sivuttaiskiihtyvyyden perusteella.

Kun kaarreajoa analysoidaan, kiinnitetään huomiota ajoneuvon huippunopeuteen ennen kaarretta, jarrutuspaikkaan, mutkan sisäänkääntöpointeeseen, mutkan sisääntulo nopeuteen, pienimpään kaarrenopeuteen, mutkan ulostulonopeuteen, sekä milloin kuljettajalla on kaasupoljin pohjassa. On tärkeää

myös tarkkailla niin sanotun apeksin paikkaa, eli missä kuljettaja on lähimpänä kaarteeseen sisäreunaa. (8, s. 54 - 57.)

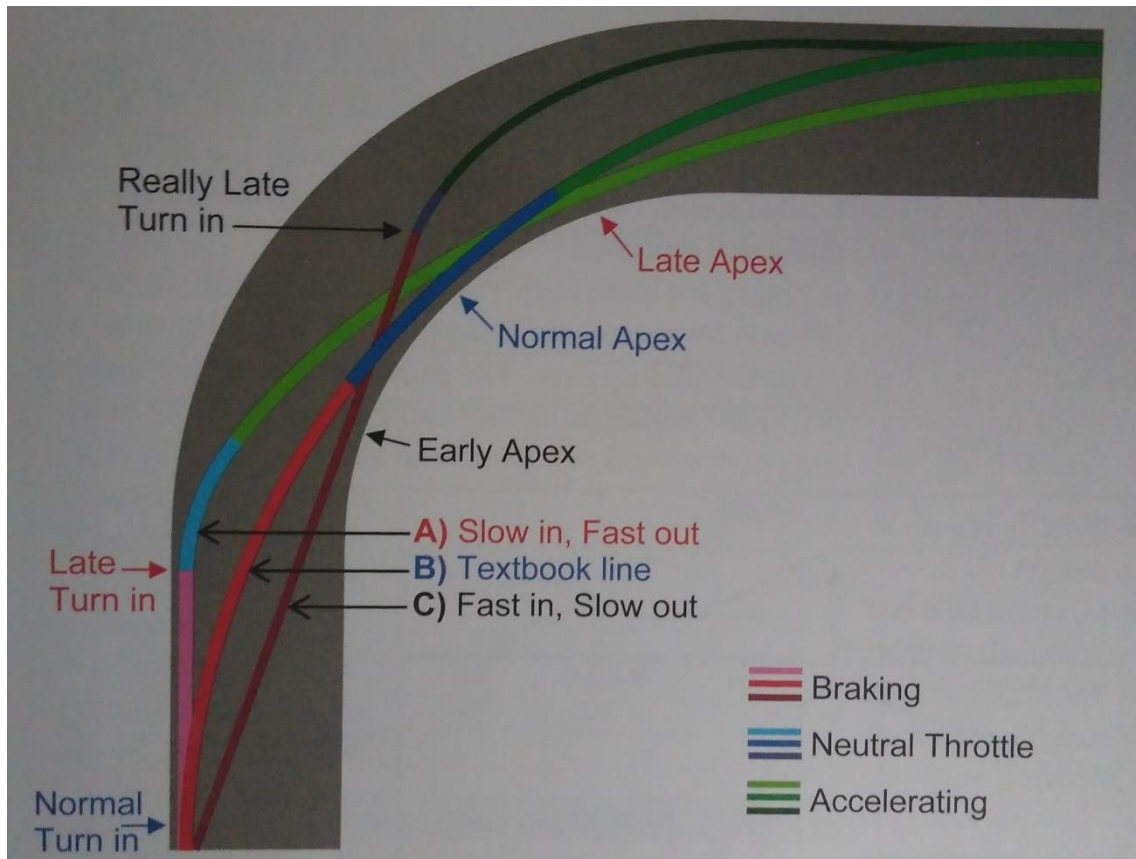
Sama kaarre voidaan ajaa erilaisilla ajolinjoilla. Ajolinja tarkoittaa sitä linjaa, jonka kohdalla ajoneuvon keskikohta menee kaarteeseen aikana. Jotta ajolinja voidaan nähdä, tarvitaan siihen ajoneuvon GPS-sijainti. Ajolinjoja on kolmea eri perustyyppiä, hitaasti sisään ja nopeasti ulos, oppikirja sekä nopeasti sisään ja hitaasti ulos -ajolinja. Nopein ajolinja riippuu aina kaarteesta, ajoneuvosta sekä kuljettajan tyylistä. (8, s. 54 - 57.)

Hitaasti sisään ja nopeasti ulos -ajolinjalla kuljettaja jarruttaa enemmän suoralla linjalla, jolloin jarrutus mutkan sisällä jää vähäiseksi tai sitä ei ole ollenkaan (Trail Braking) ja mutkan sisäänkääntöpiste on pitkällä kaarteessa. Tällöin kaarteeseen säde on pienempi ja mutkan pienin nopeus on myös matalampi. Myöhäisen sisäänkääntöpisteen takia kuljettaja siirtyy nopeammin jarrulta kaasulle, jolloin kaarteeseen keskiosa on lyhyt. Kuljettaja saavuttaa täyskaasuvaiheen myös aiemmin, todennäköisesti jo apeksin kohdalla. Apeksin paikka on kaarteeseen loppuosassa. Jotta tämä ajolinja olisi nopeampi, tulee seuraavan suoran olla tarpeeksi pitkä, jotta kaarteeseen olleen pienemmän nopeuden takia hävitty aika saadaan kirittyä takaisin. (8, s. 54 - 57.)

Kun kaarretta ajetaan oppikirjalinjalla, valitaan mutkan sisäänkääntöpiste sen mukaan, mikä luo mahdollisimman suuren säteen mutkan lävitse. Tällöin ohjauspyörää tarvitsee kääntää mahdollisimman vähän ja ajoneuvon mutkanopeus on mahdollisimman suuri. Oppikirja-ajolinjaa käytetään silloin, kun kaarteeseen ajatellaan olevan nopea mutka ja silloin, kun kaarretta edeltävä mutka ei ole pitkä. Apeksin paikka on mutkan keskellä. (8, s. 54 - 57.)

Nopeasti sisään ja hitaasti ulos -ajolinja on vähiten käytetty ajolinja. Tällöin kuljettaja saapuu mutkaan liian suurella vauhdilla. Mutkan ensimmäinen sisäänkääntöpiste on aikaisin, mutta sisään käännetään hyvin vähän. Tämän ansiosta suoranlinjan jarrutusta voidaan pidentää. Kaarteeseen keskiosaa ei käytännössä ole ja mutkan toinen sisäänkääntöpiste on erittäin myöhään. Kaarteeseen säde on

pieni. Kuljettaja siirtyy käytännössä jarrulta suoraan kaasulle toisen sisäänkäntö pisteen jälkeen. Ajoneuvon sisään tulonopeus kaarteeseen on suuri, mutta ulostulonopeus on pieni. Tätä ajolinjaa käytetään yleensä silloin, kun ajoneuvo tulee mutkaan liian suurella nopeudella. (8, s. 54 - 57.) Kuvassa 20 on havainnollistettu eri ajolinjoja sekä jarru- ja kaasupolkimen käyttöä kullakin ajolinjalla (8, s. 55).

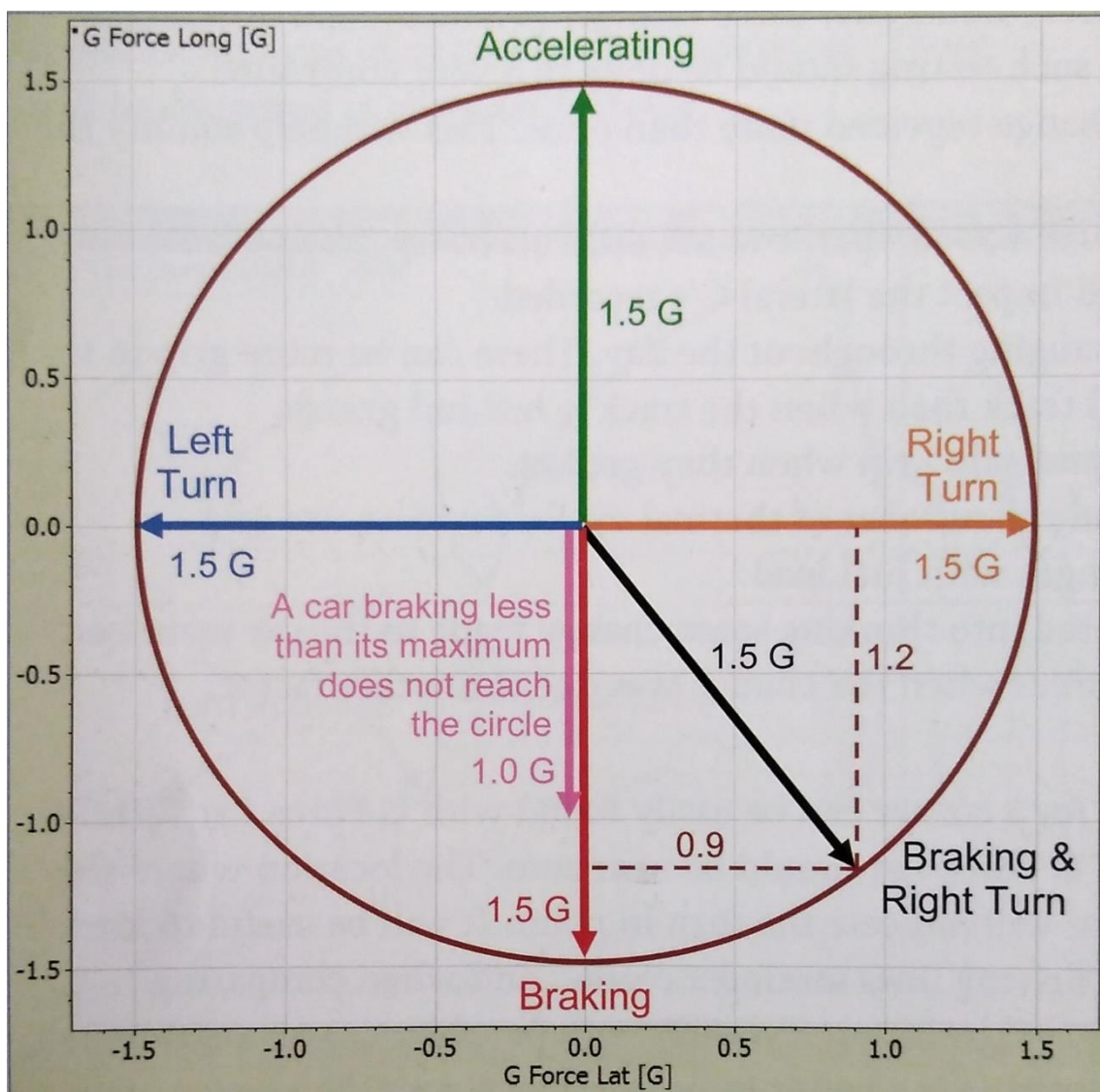


KUVA 20. Kaarteissa käytettävät eri ajolinjat (8, s. 55.)

Mikäli on varmaa, että kuljettaja ajaa ajoneuvoa lähellä pidon rajaa, voidaan ajoneuvon nopeuskuvaajasta määrittellä, mitä ajolinjaa kuljettaja on ajanut. Mikäli näin ei ole, tarvitaan ajolinjan analysointiin myös ajoneuvon ohjauspyörän asento sekä ajoneuvon sivuttainen kiihtyvyyys. (8, s.54 - 57.)

4.6.1 Kitkaympyrä

Kitkaympyrällä voidaan tutkia, kuinka paljon kuljettaja hyödyntää renkaan ja tien välissä olevasta kitkasta. Kitkaympyrässä x-akselilla on ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyyden ja y-akselilla pitkittäiskiihtyvyyden. Ympyrän kehä kuvastaa käytettävissä olevalla kitkalla saavutettavaa ajoneuvon maksimikiihtyvyyttä. Kitkaympyrästä voidaan huomata myös se, että ajoneuvon renkaiden pito voidaan maksimoida vain yhteen suuntaan. (8, s. 106 - 109.) Kuvassa 21 on esitetty kitkaympyrä (8, s.106).



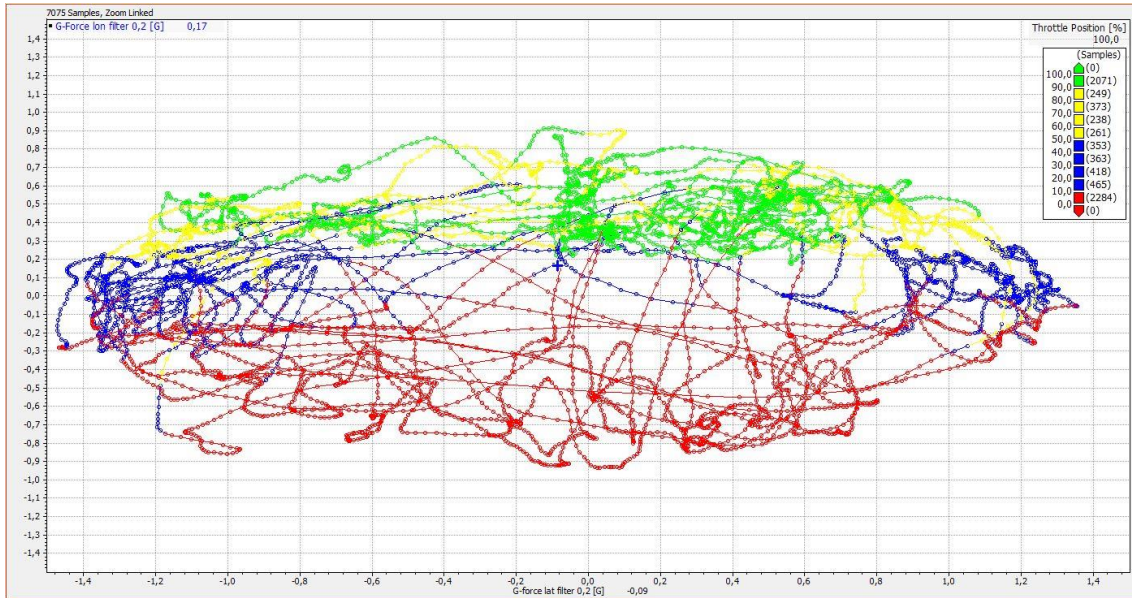
KUVA 21. Ajoneuvon kitkaympyrä (8, s.106)

Koska ajoneuvon renkailla on olemassa maksimipitonsa käytettävissä olevan kitkan mukaan, ajoneuvo ei ole enää kuljettajan ohjattavissa ja se luisuu mahdollisesti ulos radalta, jos tämä maksimipito ylitetään. Mikäli ajoneuvo ei liiku tai ajoneuvolla ajetaan vakionopeutta, on se silloin keskellä kitkaympyrää. Jos ajoneuvolla ei ajeta lähellä pidon rajaa, on se silloin ympyrän sisäpuolella. Lähellä pidon rajaa ajettu ajoneuvo on ympyrän kehällä. (8, s. 106 - 109.)

Kuvassa 21 näkyvä musta nuolen pituus kuvastaa vektorina, kuinka paljon renkaan pidosta on käytetty ja onko sitä käytetty jarruttamiseen, kiihdyttämiseen, kääntämiseen vai näiden yhdistelmään. Mikäli käytettävissä oleva kitka mahdollistaa esimerkiksi 1,5 G:n kiihtyvyydet, voi kuljettaja hidastaa, kiihdyttää tai kääntää ajoneuvoa 1,5 G:n kiihtyvyydellä. Mikäli kuljettaja kääntää sekä hidastaa ajoneuvoa yhtä aikaa, silloin ajoneuvon pitkittäis- ja sivuttaiskiihtyvyyden resultantti ei voi olla suurempi kuin 1,5 G:tä. Sama pätee myös ajoneuvon kiihdyttämiseen ja kääntämisen samalla tavalla. (8, s. 106 - 109.)

Kitkaympyrän säde muuttuu siis sen mukaan, paljonko käytettävissä olevaa kitkaa tien ja renkaan välillä on. Ajoneuvon nopeus, paino, renkaan kunto sekä vallitsevat sääolosuhteet vaikuttavat kitkaympyrän säteen suuruuteen. (8, s. 106 - 109.)

Kuvassa 21 esitetty teoreettinen kitkaympyrä eroaa käytännössä saatavasta kitkaympyrästä hieman (8, s. 106 - 109). Kuvassa 22 on esitetty takavetoisen kilpa-auton pitkittäiskiihtyvyys kuvaajan y-akselilla ja sivuttaiskiihtyvyys x-akselilla. Kaasupolkimen asento on liitetty kuvaajan värillä siten, että punainen väri tarkoittaa 0 prosentin kaasupolkimen asentoa ja vihreä 100 prosentin asentoa. Keltainen väri tarkoittaa 50 prosentin asentoa. Koska monet kilpa-autoista ovat joko etu- tai takavetoisia, leikkautuu kitkaympyrän pitkittäiskiihtyvyydestä osa pois. Tämä johtuu siitä, että vain kaksi rengasta osallistuvat ajoneuvon kiihdyttämiseen, kun taas ajoneuvon hidastamiseen sekä ohjaamiseen osallistuvat kaikki neljä rengasta. Tämän takia ajoneuvolla ei saavuteta yhtä suurta pitkittäiskiihtyvyyttä sekä -hidastuvuutta. (8, s. 106 - 109.)



KUVA 22. Takavetoisen kilpa-auton kitkaympyrä

Molemmat reunat kitkaympyrästä kuulusivat olla samanlaisia, mutta niissä voi olla eroja johtuen kaarteiden kallistuksista tai epäsymmetrisistä ajoneuvon asetuksista (8, s. 106 - 109.). Kuvasta 22 nähdään, että vasemmalla puolella kitkaympyrää on enemmän pisteitä, josta voidaan tulla siihen tulokseen, että radalla on enemmän käännöksiä vasemmalle. Jarrutuksen aikana maksimi hidastuvuus noin 0,9 G:tä ja maksimikiihdytys on ollut myös n. 0,9 G:tä. Maksimi sivuttaiskiihtyvyyttä on ollut melkein 1,5 G:tä. Tästä voidaan tulla tulokseen, että kuljettaja olisi voinut jarruttaa ajoneuvoa vielä voimakkaammin.

Kuljettajan tulisi ajaa aina kitkaympyrän kehällä, jos kyse on kilpa-ajosta. Mikäli kuljettaja ei ole ollut lähellä pidon rajaa, voisi hän ajaa silloin vielä suuremmilla kiihtyvyyksillä saaden paremman kierrosajan. Kitkaympyrän avulla on helppo analysoida kuljettajan jarrutukset samalla, kun hän ohjaa ajoneuvoa sisään kaarteeseen (trail braking). (8, s.106 - 109.)

4.6.2 Ajoneuvon yli- ja aliohjautuminen

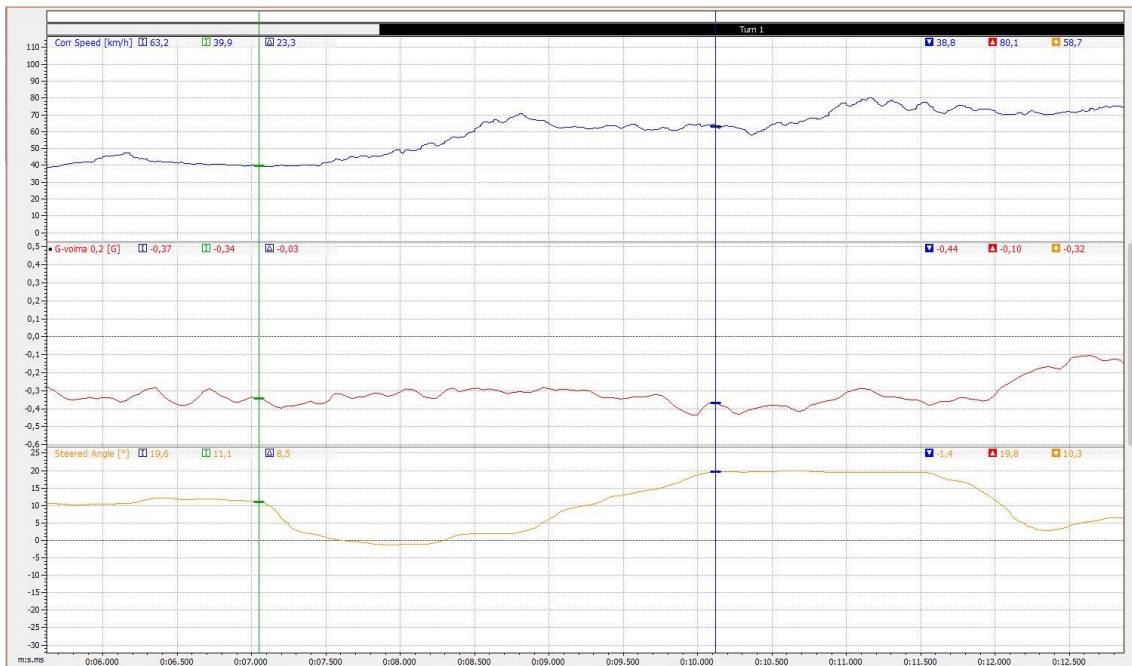
Mikäli ajoneuvon kuljettaja yrittää ylittää kitkaympyrässä esitetyn maksimipidon, yksi tai useampi ajoneuvon renkaista alkaa luistaa. Harvoin ajoneuvon tasa-

paino on sellainen, että sen kaikki neljä rengasta menettävät pidon samanaikaisesti. Yleisempi vaihtoehto on se, että ajoneuvon etu- tai taka-akselin renkaat alkavat luistaa. Ajoneuvon eturenkaiden luistoa sanotaan aliohjautumiseksi ja ajoneuvon takarenkaiden luistoa yliohjaukseksi. Se, tapahtuuko yli- vai aliohjautumista, riippuu hyvin paljon ajoneuvon tasapainosta. (8, s. 114 - 123.) Ackermann-kaartoteorian mukaan on olemassa myös neutraaliohjaus, jolloin ajoneuvo ei yli- tai aliohjaa vaan käyttäytyy teoreettisen Ackermann-kaartoteorian mukaan (11, s. 61).

Yliohjautumisen tapahtuessa ajoneuvon taka-akselin renkaat alkavat luistaa. Kuljettajan täytyy nostaa jalkaansa kaasupolkimelta ja/tai vähentää ajoneuvon ohjaukskulmaa kaarteessa. Joskus on välttämätöntä jopa ohjata vastakkaiseen suuntaan, mihin kaarre kääntyy. Yleensä yliohjautumisen aiheuttaa liian suuri kaasupolkimen painaminen, mutta myös jousituksen pohjaaminen tai huono alustageometria voi aiheuttaa yliohjautumista. (8, s. 114 - 123.)

Kilpa-auton tiedonkeruulta tapahtuneen yliohjautumisen voi löytää tarkkailemalla ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyyttä, ohjaukskulmaa sekä kaasuläpän asentoa. Kun yliohjautuminen tapahtuu, kuljettaja joutuu tekemään korjauksia ajoneuvon ohjaukskulmaan, jotta yliohjautuminen saadaan pois. Riippuen siitä, minne kohdalle ajoneuvoa kiihtyvyytunnistin on sijoitettu, ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys laskee yliohjautumisen aikana. Mitä taaempaan ajoneuvossa kiihtyvyytunnistin on, sitä pienempi sivuttaiskiihtyvyys syntyy kiihtyvyytunnistimeen. Kun kuljettaja saa ajoneuvon takaisin hallintaansa, ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys nousee. (8, s. 114 - 123.)

Kuvassa 23 ajoneuvolla on ajettu lumipeitteisellä moottoriradalla. Alimman kuvaajan y-akselilla on ajoneuvon ohjaukskulma, keskimmäisen kuvaajan y-akselilla ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys ja ylimmän kuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus. Kaikkien kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka.



KUVA 23. Ajoneuvon tiedonkeruulta analysoitu ajoneuvon yliohjautuminen

Kuvassa 23 näkyvällä osalla ajoneuvo on ollut oikealle kääntyvässä kaarteessa ja keskellä kaarretta kursorien välissä ajoneuvon ohjauskulma on laskenut 11,1 asteesta -1,4 asteeseen, jonka jälkeen se noussut 19,6 asteeseen. Myös ajoneuvon sivuttaiskiikkyvyys on laskenut samalla välillä hieman. Ajoneuvo on yliohjannut ja kuljettaja on joutunut ohjaamaan ajoneuvoa vastakkaiseen suuntaan 1,4 astetta, mihin kaarre kääntyy.

Joissain tapauksissa yliohjautuminen voi pahentua, jos kuljettaja nostaa yliohjautumisen alkaessa jalkansa pois kaasupolkimelta. Tällöin tapahtuu dynaamista painonsiirtoa ajoneuvon etuakselille, joka vähentää takarenkailla olevaa pitoa. Mikäli kuljettajan kaasupolkimen käyttö on sopivan jouhevaa ja yliohjautuminen tapahtuu siitä huolimatta, silloin kuljettajan ei tulisi nostaa jalkaansa pois kaasulta, vaan tehtävä tarvittava korjausliike muulla tavalla. Jos kuljettaja on mennyt liian aggressiivisesti kaasupolkimelle ja yliohjautuminen tapahtuu siitä syystä, voi kuljettaja nostaa jalkansa pois kaasupolkimelta. Tämä siitä syystä, että dynaamista painonsiirtoa ei ole vielä ehtinyt tapahtua ajoneuvon taka-akselille. (8, s. 114 - 123.)

Aliohjautumisessa ajoneuvon etupyörät menettävät pitonsa. Tällöin ajoneuvo ei enää käännä, vaan se puskee suoraan vaikka ohjauskulmaa lisättäisiin. Koska aliohjautumisen tapahtuessa ajoneuvon kulkusuunta ei muutu äkillisesti, kokemattomien kuljettajien voi olla hankala huomata aliohjautumista tai sitä, missä kohtaa kaarretta se alkoi. Ajoneuvon ohjauskulman lisääminen on luonnollinen reaktio kuljettajalta, kun aliohjautuminen tapahtuu. Tämä ei tosin paranna aliohjautumista, vaan pahentaa sitä renkaiden luiston lisääntyessä. Ohjauskulman pienentäminen sen sijaan voi parantaa eturenkaiden pitoa aliohjauksen aikana. Myös kaasuläpän asennon pienentäminen voi parantaa ajoneuvon eturenkaiden pitoa dynaamisen painonsiirron tapahtuessa ajoneuvon etupyörille. (8, s. 114 - 123.)

Ajoneuvon aliohjautuminen on hankalampaa löytää tiedonkeruulta, kuin ylio-
hjautuminen. Jotta aliohjautuminen voidaan löytää tiedonkeruulta, tulee tarkkailla ajoneuvon nopeutta, sivuttaiskiihtyvyyttä sekä ohjauskulmaa. Näitä kaikkia kolmea arvoa yhdistää kaava 3. (8, s. 114 - 123.)

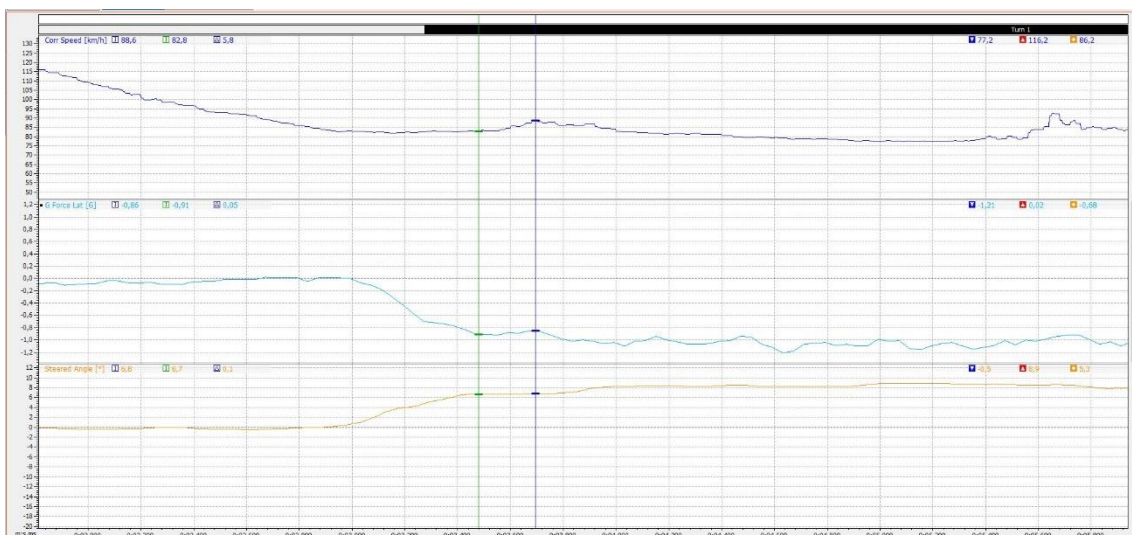
$$Sivuttaiskiihtyvyys = Nopeus^2 * \left(\frac{\tan \text{renkaiden ohjauskulma}}{-1 * \text{Ajoneuvon akseliväli}} \right) \quad \text{KAAVA 3}$$

Kaavan 3 mukaan ajoneuvon nopeuden noustessa myös ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyyden täytyy nousta, ellei ohjauskulma pienene. Kaavasta käy ilmi myös se, että ajoneuvon ohjauskulman noustessa sivuttaiskiihtyvyydenkin täytyy nousta, ellei ajoneuvon nopeus pienene. Jos ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys ja nopeus pysyvät vakiona, mutta ohjauskulma lisääntyy, ajoneuvo silloin aliohjautuu. (8, s. 114 - 123.)

Aliohjautumisen aikana ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys pysyy tasaisena tai alkaa laskea riippuen ajoneuvon renkaiden ominaisuuksista. Se, missä kohtaa kaarretta aliohjautuminen alkaa, on tärkeää löytää, sillä sen avulla voidaan määrittää syy aliohjautumiselle. Koska kallistetut kaarteet vaikuttavat ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyyssanturiin, kallistetuissa kaarteissa tapahtuneen aliohjautumisen analysoiminen on paljon hankalampaa. (8, s. 114 - 123.)

Aliohjautuminen voidaan löytää tarkkailemalla ajoneuvon ohjauskulmaa sekä sivuttaiskiihtyvyyttä. Jos löydetään tilanne, jossa ohjauskulma on suurentunut ja sivuttaiskiihtyvyys on pysynyt samana tai laskenut, tulee tarkastaa ajoneuvon nopeus ja onko siinä ollut muutosta. Mikäli nopeus ei ole pienentynyt, aliohjautuminen on löydetty. (8, s. 114 - 123.)

Kuvassa 24 ylimmän kuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus, keskimmäisen kuvaajan y-akselilla ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys ja alimmaisen kuvaajan y-akselilla on ajoneuvon ohjauskulma kaarteessa. X-akselilla on aika. Kursorien väliä tarkastellessa huomataan, että ajoneuvon nopeus on noussut ja sivuttaiskiihtyvyys on hieman laskenut ohjauskulman pysyessä samana. Koska nopeus on kasvanut, mutta sivuttaiskiihtyvyys ei ohjauskulman pysyessä samana, on ajoneuvo aliohjautunut kaarteessa.



KUVA 24. Ajoneuvon tiedonkeruulta löydetty ajoneuvon aliohjautuminen kaarteessa

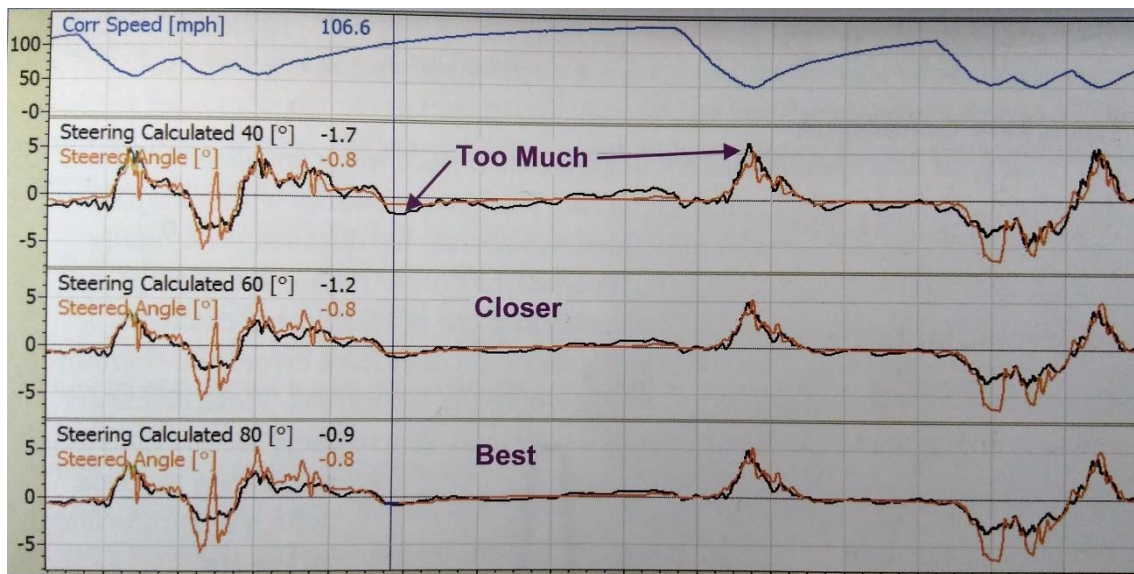
Toinen tapa aliohjautumisen löytämiselle on ajaa ajoneuvolla oikeaa ajolinjaa, mutta noin 20 prosenttia pienemmällä nopeudella, kuin kilpaa ajettaessa, jolloin renkaiden luistoa ja ali- tai ylioaljautumista ei esiinny. Tätä kierrosta voidaan sanoa ohjauksen referenssikierrokseksi. Kun kuljettaja ajaa nopeampaa, voidaan verrata nopeiden kierrosten sekä referenssikierroksen eroa ohjauskulman

osalta. Mikäli ajoneuvon ohjauskulma ollut isompi nopeammilla kierroksilla, tällöin aliohjautumista on voinut tapahtua. (8, s. 114 - 123.)

Hitaammin ajettu referenssikierros voi olla ongelmallinen, jos kuljettaja ajaa referenssikierroksen liian hitaasti. Tällöin ajoneuvon ohjauskulma voi olla referenssikierroksen aikana suurempi, kuin nopealla kierroksella on tarpeellista. Tällöin aliohjautuminen voi olla löytymättä referenssikierrosta käyttämällä. Ajoneuvon tarvittava ohjauskulma voidaan laskea myös ajoneuvon sivuttaiskiirtyvyyden, nopeuden sekä akselivälin avulla. Tarvittava ohjauskulma voidaan laskea kaavalla 4 (8, s. 114 - 123.)

$$\text{Tarvittava ohjauskulma} = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Sivuttaiskiirtvyys} * \text{Akseliväli}}{\text{Nopeus}^2} \right) \quad \text{KAAVA 4}$$

Kun kuljettaja ajaa lähellä pidon rajaa, ajoneuvon renkaiden ja tien välissä tapahtuu pientä luistoa. Tämän takia kaavaan 4 joudutaan tekemään pientä säätöä. Säätö tehdään siten, että kaavan 4 lopputulos kerrotaan ajoneuvon nopeudella, joka on jaettu arvolla x, jos ajoneuvon nopeus on suurempi, kuin arvo x. Mikäli ajoneuvon nopeus on pienempi, ei kerrointa silloin tarvita. x:n arvo on välillä 60-130 km/h. Oikea x:n arvo voidaan löytää vain kokeilemalla ja vertailemalla. Tämä korjaus parantaa laskettavan ohjauskulman paikkaansa pitävyyttä suuremmissa nopeuksissa. Kuvassa 25 on käytetty x:n arvona 40, 60 ja 80 mailia tunnissa ja vertailtu saatuja tuloksia. 80 mailia tunnissa on ollut paras vaihtoehto tässä tapauksessa. (8, s. 114 - 123.)



KUVA 25. Eri arvoilla lasketun ajoneuvon ohjauskulman vertailu (8, s.123)

4.6.3 Kaasupolkimen käyttö kaarteessa

Kun ajoneuvo alkaa jarruttaa, tapahtuu dynaamista painonsiirtoa ajoneuvon etu-akselille. Ajoneuvon taka-akselille tapahtuu painonsiirtoa, kun ajoneuvo kiihdyttää. Jotta ajoneuvo olisi kaarteeseen aikana mahdollisimman hyvin tasapainossa, tulee kaasupolkimen käyttö olla jouhevaa ja silloin myös kaasupolkimen asentokuvaajasta tulee jouheva. Painonsiirtoa kiihdytyksessä tapahtuu sitä enemmän, mitä pienempi vaihde on kytkettynä. (8, s. 82 - 87.)

Mikäli ajoneuvolla käännetään samaan aikaan, kun dynaaminen painonsiirto taka-akselille tapahtuu, on vaarana, että ajoneuvo aliohjaa. Liian aggressiivinen kiihdytys kaarteessa voi johtaa puolestaan ajoneuvon yliohtautumiseen. (8, s. 80 - 87.)

Kaasuläpän asennon muutos kaarteessa voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen, jotka ovat tasapainotettu kaasuläpän asento, alustava kaasuläpän avaaminen, kaasuläpän asennon muutos kaarteeseen ulostulon keskellä sekä kaasuläpän asennon muutos kaarteeseen ulostulon lopussa. Näiden vaiheiden pituus sekä kaasuläpän asento vaiheiden sisällä riippuu ajettavasta kaarteesta sekä sen ominaisuuksista. (8, s. 83 - 87.)

Tasapainotettu kaasuläpän asento

Tasapainotetulla kaasuläpän asennolla tarkoitetaan sellaista kaasuläpän asentoa, jossa ajoneuvon nopeus on vakio, jolloin ajoneuvo ei kiihdytä eikä hidasta. Kitkaympyrän mukaan tällöin saavutetaan ajoneuvon maksimi sivuttaiskiiktyvyys. Kaasuläpän asento on yleensä tässä vaiheessa n. 3-10 prosenttia. (8, s. 83 - 87.)

Tasapainotettu kaasuläpän asento on tarpeellinen, kun ajoneuvolla ajetaan kaarteen keskiosaa. Kaarteen keskiosassa on pienin kaartein säde ja näin ollen myös suurimmat sivuttaiskiiktyvyudet ja pienin nopeus. Kaartein keskiosa ei välttämättä sijaitse fyysisesti keskellä kaarretta, vaan se riippuu ajettavasta ajolinjasta. Mikäli ajettava ajolinja on oppikirja-ajolinja, tasapainotettu kaasuläpän asento on juuri apeksin kohdalla, kun taas hitaasti sisään ja nopeasti ulos -ajolinjalla tasapainotettu kaasuläpän asento on juuri ennen apeksia. Hitaasti sisään ja nopeasti ulos -ajolinjalla tasapainotettua kaasuläpän asentoa käytetään myös ajallisesti vähän. (8, s. 83 - 87.)

Kuljettajan pitäisi olla aina joko kaasulla tai jarrulla, kun on kyse kilpa-ajosta. Jos kuljettaja ei ole kummallakaan, kutsutaan sitä termillä "cruisailu". Cruisailun aikana ajoneuvo hidastaa vauhtiaan ilmanvastus- ja vierintävastusvoimien takia, joka käyttää osan renkaan ja tien välisestä kitkasta. Kun käytetään tasapainotettua kaasuläpän asentoa, tämäkin kitka on käytettävissä ajoneuvon ohjaamiseen. (8, s. 82 - 87.)

Alustava kaasuläpän avaaminen

Vaihe, jossa ajoneuvoa aletaan kiihdyttämään ulos kaarteesta, kutsutaan alustavaksi kaasuläpän avaamiseksi. Tässä vaiheessa jouhevuus on erittäin tärkeää, sillä liiallinen kaasuläpän avaaminen voi johtaa ajoneuvon aliohjautumiseen. Kaasuläpän asentokuvaajan muoto tässä vaiheessa riippuu paljon kaasupolkimen ja -läpän välisestä yhteydestä. Jos kuljettaja valittaa ajoneuvon aliohjaavan kaartein keskiosassa, tulee tarkastaa, alkaako aliohjaus tasapainotetun kaasuläpän asennon vaiheessa vai alustavassa kaasuläpän avaamisvaiheessa, sillä aliohjaus näissä vaiheissa hoidetaan pois eri tavalla toisiinsa verrattaessa.

Mikäli kuljettaja menee kaasulle liian äkkinäisesti, on mahdollista että hän on jättänyt tasapainotetun kaasuläpän asentovaiheen kokonaan pois välistä. Liian äkkinäisen kaasuläpän asennon muutoksen takia tapahtuvaa aliohjautumista ei välttämättä huomata kuin myöhemmin kaarteessa. (8, s. 82 - 87.)

Myös liian hidas kaasuläpän asennon muuttaminen ei ole hyvästä, sillä se voi olla merkki siitä, että kuljettaja epäröi kaasulle menemistä. Kuljettajan tulee ajaa lähellä ajoneuvon rajoja löytääkseen missä ne ovat, mutta kuitenkin omien taitojensa mukaisesti. (8, s. 82 - 87.)

Kaasuläpän asennon muutos kaarteeseen ulostulon keskellä

Tässä vaiheessa kaasuläpän asennon tulee muuttua tasaisesti ajan myötä. Nopeissa mutkissa kaasuläpän asento voi muuttua nopeammin, sillä isommalla vaihteella ajettaessa ajoneuvon pyörillä on vähemmän vääntömomenttia. Hitaammassa mutkissa tilanne on toinen, sillä pienemmällä vaihteella ajettaessa ajoneuvon pyörillä on vääntömomenttia. Tästä syystä hitaammassa mutkissa kaasuläpän asento muuttuu hitaammin. Ajallisesti tämä vaihe on kaikista neljästä eri vaiheesta pisin. (8, s. 82 - 87.)

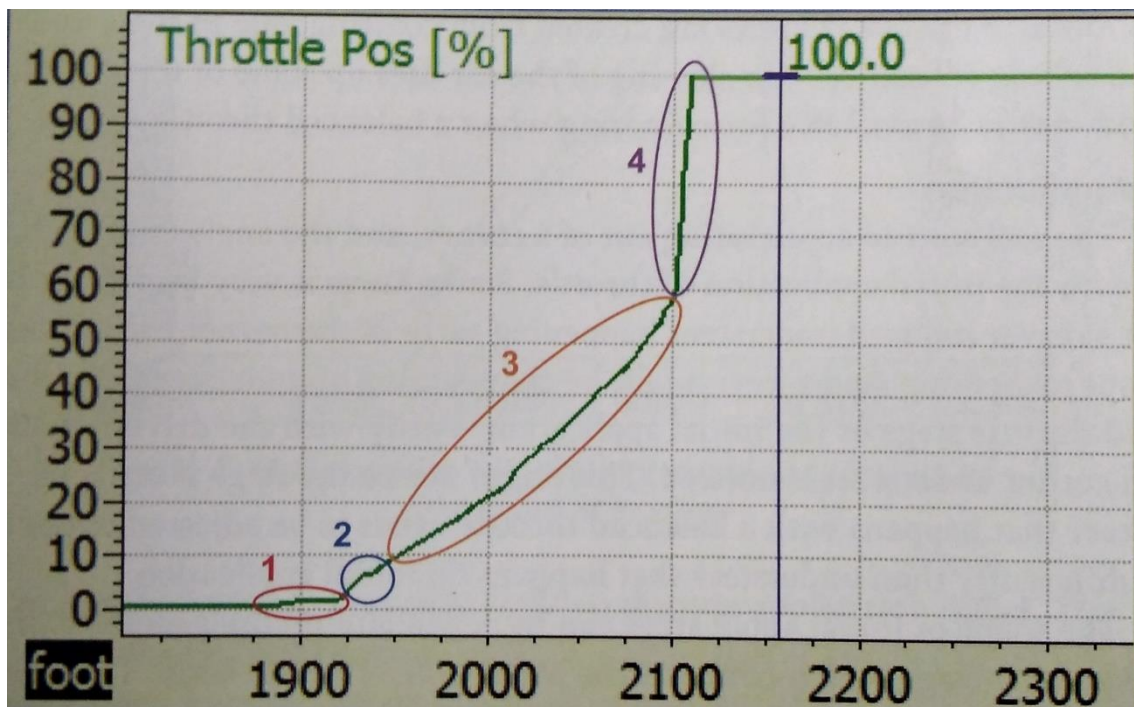
Kaasuläpän asennon muutos kaarteeseen ulostulon keskellä riippuu siitä, kuinka paljon ajoneuvon kiihdyttämiselle on jäljellä kitkaa. Tämä voidaan nähdä ajoneuvon kitkaympyrästä. Kaarteeseen keskellä kaikki renkaiden ja tien välissä oleva kitka käytetään ajoneuvon kääntämiseen, kun taas tässä vaiheessa siirrytään ajoneuvon kiihdyttämiseen sekä kääntämiseen. (8, s. 82 - 87.)

Kaasuläpän asennon muutos kaarteeseen ulostulon lopussa

Tässä vaiheessa kaasuläpän asentokuvaajan muotoon vaikuttaa ajoneuvon kaasuläpän geometria sekä teho suhteessa renkaan ja pyörän välissä vallitsevaan kitkaan. Riippuen näistä kahdesta tekijästä, on olemassa piste, jossa kuljettaja voi painaa kaasun täysin pohjaan kerralla. (8, s. 82 - 87.)

Kaarteeseen ulostulon lopussa kuljettaja kääntää ajoneuvoa vähemmän, joka lisää kiihdyttämiselle käytettävissä olevaa kitkaa. Kun kiihdyttämiseen käytettävissä

oleva kitka lisääntyy tarpeeksi, ei moottorissa oleva teho riitä enää aiheuttamaan vetäville pyörille pito-ongelmia. Sitä pistettä, jossa näin käy, kutsutaan kaarteeseen ulostulon lopuksi. Tällöin kuljettaja voi painaa kaasupolkimen pohjaan ilman pelkoa pito-ongelmista. Mikäli kuljettajalla on väärä ajolinja kaarteessa tai hän ei ole tehnyt aiemmin kaarteessa tarvittavia toimia aliohjaamisen poistamiseksi, voi hän joutua nostamaan kaasupoljinta tässä vaiheessa näiden virheiden korjaamiseksi. (8, s. 82 - 87.) Kuvassa 26 on kaasuläpän ideaali asentokuvaaja, jossa on numeroitu kaasuläpän asennon muutoksen eri vaiheet. Numerolla yksi on merkitty tasapainotettu kaasuläpän asento, numerolla kaksi on merkitty kaasuläpän alustava avaaminen, numerolla kolme on merkitty kaasuläpän asennon muutos kaarteeseen ulostulon keskellä ja numerolla neljä on merkitty kaasuläpän asennon muutos kaarteeseen ulostulon lopussa. (10, s. 85.)



KUVA 26. Kaasuläpän ideaali asentokuvaaja kaarteessa (8, s. 85)

Kaasupolkimen käyttö pitkissä kaarteissa

Pitkissä kaarteissa kuljettaja voi käyttää kaasupoljinta eri tavalla, joka johtaa erilaisiin kaasuläpän asentokuvaajiin. Tähän vaikuttavat kaarteiden ominaisuudet sekä ajoneuvon ajolinja. Mikäli ajoneuvossa on tehoa niin paljon, ettei kaarretta

voida ajaa nostamatta kaasua, mutta kuitenkin jarrua käyttämättä, on kaarre mahdollista ajaa tekemällä useampi kaasupolkimen nosto tai ajaa kaarre pienemmällä, mutta tasaisemmalla kaasupolkimen asennolla. (8, s. 79.)

Tasaisemmalla, mutta pienemmällä, kaasuläpän asennolla tulisi ajaa sellaiset kaarteet, joiden säde pysyy samana koko kaarteen ajan. Tällöin ajoneuvo kulkee kaarteeseen paljon tasaisemmin ja näin myös kontaktipinta renkaan ja tien välissä pysyy tasaisempana. Jos pitkän kaarteeseen säde muuttuu sen aikana, tai kaarre on kallistettu, silloin useammalla kaasupolkimen nostolla voidaan päästä kaarre nopeampaa. Molempiin tyyliin sopii kuitenkin se, että pieni kaasupolkimen nosto apeksin lähellä voi auttaa ajoneuvoa kääntymään paremmin ja ehkäistä aliohjautumista. (8, s. 79.)

5 AJONEUVODATAN AUTOMAATTINEN ANALYSOINTI

Ajoneuvon tiedonkeruujärjestelmän tulee olla oikein asennettu, jotta ajoneuvodatan automaattinen analysointi on mahdollista. Ajoneuvossa voi olla kokonaan jälkiasenteinen johtosarja moottoriohjain- ja tiedonkeruulaitteineen tai tarvittavat tiedot voidaan kerätä myös ajoneuvon CAN-väylästä, mikäli ne siellä liikkuvat. Jotta kuljettajan analysointi olisi mahdollista, tarvitaan ajoneuvosta sen etu- ja takajarrupiirin jarrupaineet, ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyys, kaasupolkimen ja ohjauspyörän asento sekä ajoneuvon GPS-sijainti.

Kuljettajan ajotavan analysoinnin perustana on määrittää ohjelmaan, jolla automaattinen analysointi tapahtuu, milloin kuljettaja kiihdyttää tai hidastaa ajoneuvon nopeutta sekä milloin ajoneuvo kääntyy oikealle tai vasemmalle. Näiden tilasuureiden perusteella nähdään automaattisesti, minkälaisessa liikkeessä ajoneuvo on, jotta voidaan analysoida tarpeellisia asioita. Esimerkiksi ajoneuvon jarrutusta ei pidä analysoida silloin, kun kuljettaja kiihdyttää ajoneuvon nopeutta. Tässä opinnäytetyössä on automaattisten analysointimallien toteuttamiseen ja tutkimiseen on käytetty Motec i2 Pro -analysointiohjelmaa.

5.1 Ajoneuvon tilasuureet

Kilpa-autoilussa kuljettajan ei tulisi ajaa missään vaiheessa vakionopeudella vaan hänen pitäisi kiihdyttää, hidastaa tai kääntää ajoneuvoa. Kuljettaja voi myös tehdä osaa näistä yhtä aikaisesti, esimerkiksi kiihdyttää ja kääntää ajoneuvoa samanaikaisesti. Jotta nähdään automaattisesti, mitä kuljettaja tekee, täytyy näille eri tilasuureille tehdä automaattisen analysoinnin kaava.

Ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyyden avulla voidaan määrittää, milloin ajoneuvo kiihdyttää tai hidastaa nopeuttaan. Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla ajoneuvon kiihdytys- eli accelerating -tilasuure voidaan määrittää kaavalla 5.

Accelerating = choose(smooth('ECU Acceleration Z' [G],25) >= 0.1,1,0)

KAAVA 5

Motec i2 Pro -analysointiohjelman "smooth" -komento keskiarvoistaa valittua kanavaa joko ajan tai mittapisteiden suhteen. Analysointiohjelman "choose" -komento toimii siten, että mikäli määritetty ehto täyttyy, laskettu kanava saa silloin arvon X, ja mikäli ehto ei täyty, kanava saa arvon Y.

Kaavassa 5 ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyystiето on nimellä "ECU Acceleration Z", jota on keskiarvoistettu 25 mittapisteen mukaan. Ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyyden tiedonkeruutaajuus on 50 hertsiä, eli pitkittäiskiihtyvyyden arvo kerätään talteen 50 kertaa sekunnissa. Kun keskiarvoistettu pitkittäiskiihtyvyyden arvo on yhtä suuri tai suurempi, kuin 0,1 G:tä, ajoneuvon accelerating -tilasuure saa arvon yksi. Mikäli tämä ehto ei täyty, tilasuureen arvo on silloin nolla.

Ajoneuvon hidastuvuus- eli deaccelerating -tilasuure voidaan määrittää Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla kaavalla 6. Tämä kaava toimii samoin kuin kaava 5, mutta kun ajoneuvon 25 mittapisteen mukaan keskiarvoistettu pitkittäiskiihtyvyyden arvo on -0,1 G:tä tai siitä pienempi, deaccelerating-tilasuure saa arvon yksi, muutoin se on nolla.

$$Deaccelerating = choose(smooth('ECU Acceleration Z' [G],25) \leq -0.1,1,0)$$

KAAVA 6

Kuljettajan on sallittua ajaa vakionopeutta silloin, kun hän haluaa hyödyntää kaiken käytettävissä olevan renkaan ja tien välisen kitkan ajoneuvon kääntämiseen. Tällöin ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyyden arvo on lähellä nollaa, mutta käytännössä ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyyden arvo on hieman nollan molemmin puolin. Tästä syystä kaavoissa 5 ja 6 käytetään raja-arvoina 0,1 ja -0,1 G:tä. Tällöin on helpompi analysoida kuljettajan kaasupolkimen käyttöä kaarteiden aikana.

Ajoneuvon oikealle kääntyminen eli turning right -tilasuure voidaan määrittää Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla kaavalla 7. Ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyyden tieto on nimellä "ECU Acceleration Y". Kun ajoneuvon 25 mittapisteen mukaan keskiarvoistettu sivuttaiskiihtyvyyden arvo on yhtä suuri tai suurempi kuin 0,2 G:tä, on turning right -tilasuure arvoltaan yksi, muuten se on arvoltaan nolla. Motec i2 Pro -analysointiohjelmassa kaavalla 8 voidaan määrittää ajoneuvon

kääntyminen vasemmalle. Kaava 8 on muuten sama, kuin kaava 7, mutta turning left -tilasuure saa arvon yksi, ajoneuvon keskiarvoistettu sivuttaiskiihtyvyys on yhtä pieni tai pienempi kuin -0,2 G:tä. Kaavoissa 7 ja 8 oletetaan, että ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys on arvoltaan positiivinen ajoneuvon kääntyessä oikealle ja negatiivinen vasemmalle kääntyessä.

Turning right = choose(smooth('ECU Acceleration Y' [G],25) >= 0.2,1,0)

KAAVA 7

Turning left = choose(smooth('ECU Acceleration Y' [G],25) <= -0.2,1,0)

KAAVA 8

Kaavoissa 5 - 7 esitetyt eri tilasuureet voidaan yhdistää yhdeksi kaavaksi, motion status -tilasuureeksi, joka näyttää, mikä tilasuure on voimassa juuri sillä hetkellä ja mikäli kahta eri tilasuuretta on voimassa samaan aikaan, esimerkiksi kiihdytystä ja kääntymistä, nähdään sekin motion status -tilasuureen avulla. Tämä voidaan tehdä Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla kaavalla 9.

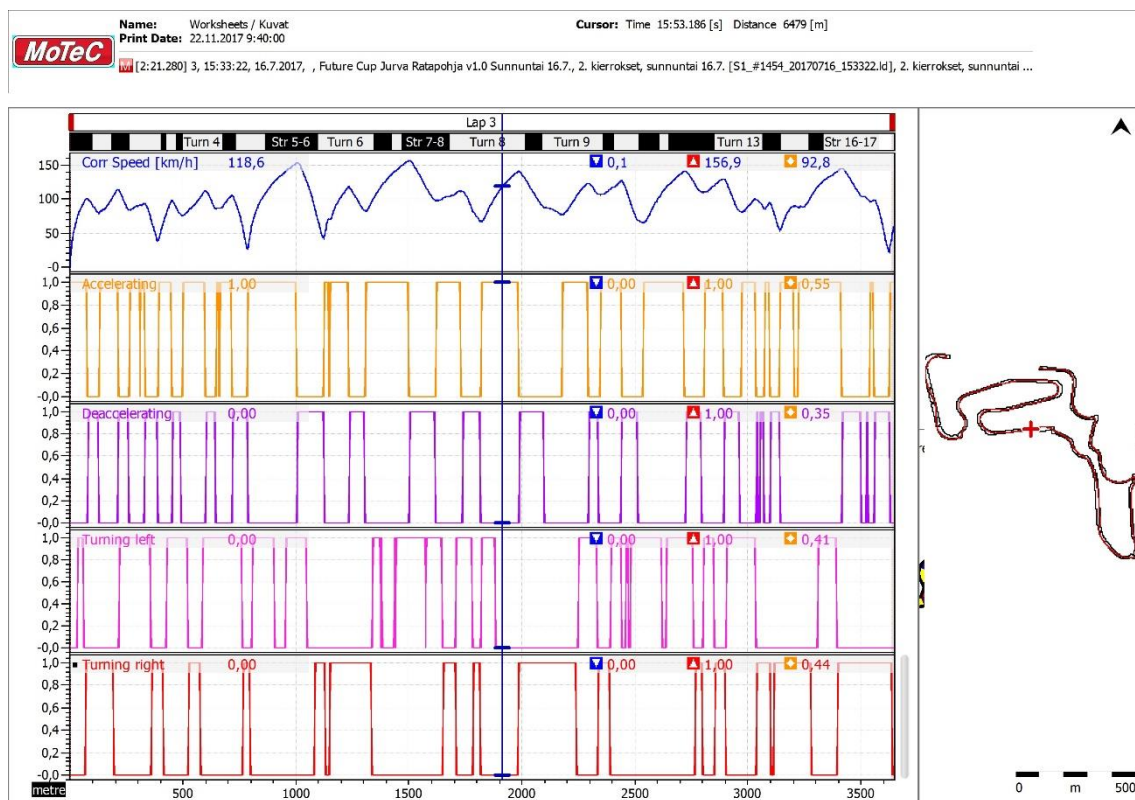
Motion status = choose('Deaccelerating' > 0 AND 'Accelerating' == 0 AND 'Turning left' == 0 AND 'Turning right' == 0,1, choose('Deaccelerating' > 0 AND 'Accelerating' == 0 AND 'Turning right' > 0 OR 'Deaccelerating' > 0 AND 'Accelerating' == 0 AND 'Turning left' > 0,2, choose('Accelerating' == 0 AND 'Deaccelerating' == 0 AND 'Turning right' > 0 OR 'Accelerating' == 0 AND 'Deaccelerating' == 0 AND 'Turning left' > 0,3, choose('Accelerating' > 0 AND 'Deaccelerating' == 0 AND 'Turning right' > 0 OR 'Accelerating' > 0 AND 'Deaccelerating' == 0 AND 'Turning left' > 0,4, choose('Accelerating' > 0 AND 'Deaccelerating' == 0 AND 'Turning left' == 0 AND 'Turning right' == 0,5,0))))))

KAAVA 9

Motion status -tilasuure on arvoltaan yksi silloin, kun ajoneuvo ainoastaan hidastaa nopeuttaan ja arvon kaksi se saa silloin, kun ajoneuvo hidastaa nopeuttaan ja kääntyy samaan aikaan joko oikealle tai vasemmalle. Arvon 3 motion

status -tilasuure saa silloin, kun ajoneuvo kääntyy ja se ei kiihdytä tai hidasta nopeuttaan. Mikäli ajoneuvo kiihdyttää nopeuttaan ja kääntyy samaan aikaan, on motion status -tilasuure arvoltaan 4 ja ajoneuvon kiihdyttäessä ilman kääntymistä, tilasuureen arvo on silloin 5.

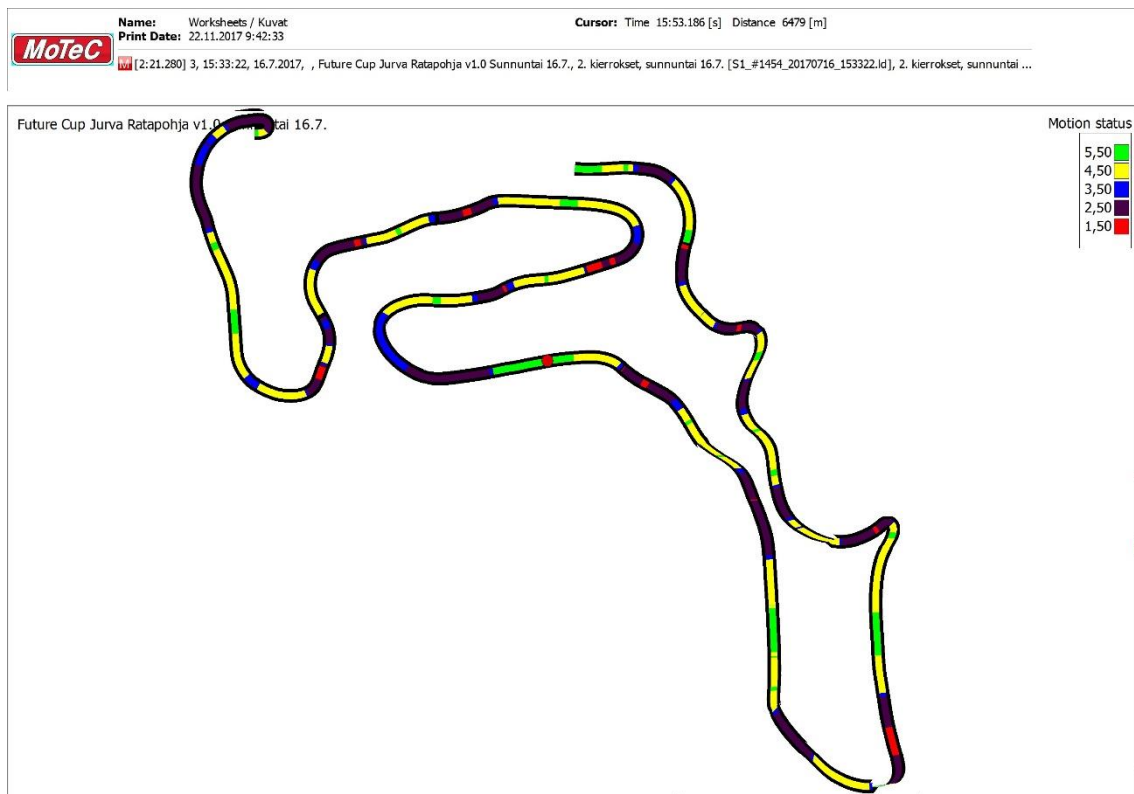
Kuvassa 27 on esitetty accelerating, deaccelerating, turning right ja turning left -tilasuureet sekä ajoneuvon nopeus. Kaikkien kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka kierroksen alusta ja nopeuskuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa. Kuvassa 27 analysoitu data on kerätty kesällä 2017 Future Cup -rallisprintsarjan 6:sta osakilpailusta Jurvan Botniaring -moottoriradalta, jota on hieman muutettu rallisprinttiin sopivammaksi.



KUVA 27. Ajoneuvon automaattisen analysointiin luodut tilasuureet

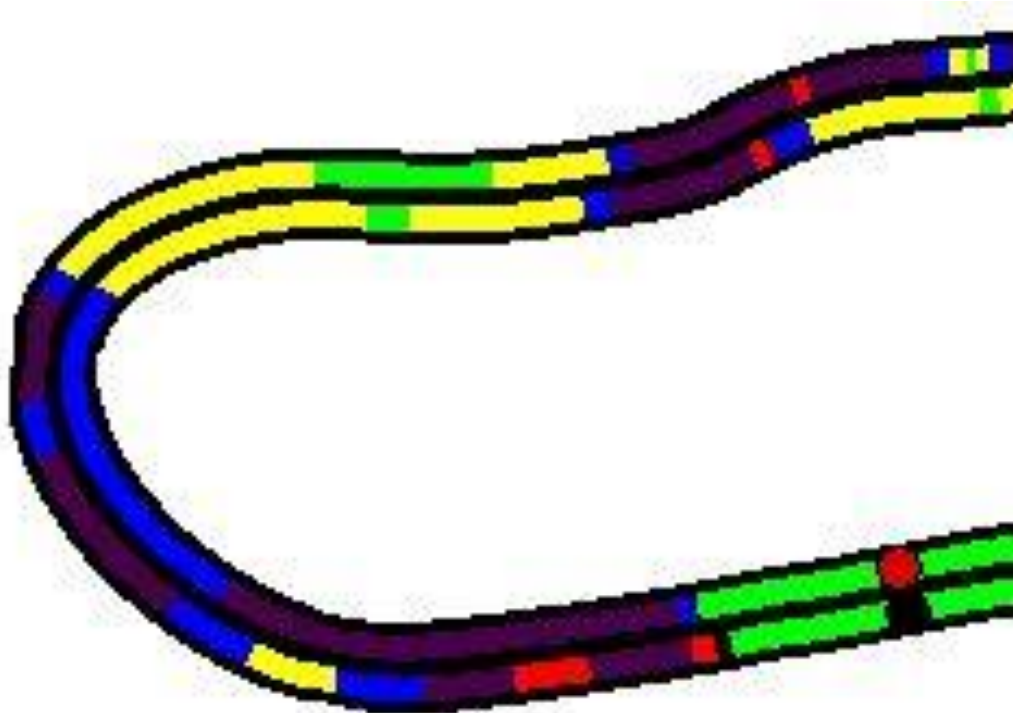
Kuvassa 27 tilasuureiden analysointi on hieman hankalaa, mutta motion status -tilasuureen avulla Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla voidaan luoda ”Rainbow track” -niminen esitys, jossa rataprofiiliin on merkitty eri väreillä, mikä motion status -tilasuureen tiloista vallitsee milläkin hetkellä. Tämä on esitetty kuvassa

28. Punaisella värillä on merkitty motion status -tilasuureen arvo yksi, eli ajoneuvon nopeuden hidastus ilman kääntymistä. Lilalla värillä on esitetty tilasuureen arvo 2, jolloin ajoneuvo hidastaa vauhtiaan ja kääntyy samaan aikaan joko oikealle tai vasemmalle. Sinisellä värillä on esitetty tilasuureen arvo 3, jolloin ajoneuvo ainoastaan kääntyy kulkiessaan vakionopeudella. Keltaisella värillä on merkitty tilasuureen arvo 4, eli ajoneuvon nopeus kasvaa ja samanaikaisesti ajoneuvolla myös käännetään. Vihreällä värillä on esitetty tilasuureen arvo 5, eli ajoneuvon nopeus kasvaa ilman kääntymistä.



KUVA 28. Motion status -tilasuure esitettynä Motec i2 Pro -analysointiohjelman "Rainbow track" -toiminnolla

"Rainbow track" -toiminnon avulla voidaan nähdä visuaalisesti, miten kuljettaja on toiminut eri osissa rataa. Kuvassa 29 on vertailtu kahden eri kuljettajan käyttäytymistä samassa kaarteessa. Molemmat kuljettajat ajoivat samalla ajoneuvolla.



KUVA 29. Kahden eri kuljettajan vertailu samassa kaarteessa motion status tilasuureen avulla

Kuvan 29 perusteella voidaan sanoa vasemman puoleisen kuljettajan ajaneen pitkän oikealle kääntyvän kaarteeseen huonommin kuin oikeanpuolinen kuljettaja. Oikeanpuoleinen kuljettaja on jarruttanut kaarteeseen samalla, kun kääntänyt ajoneuvoa kaarteeseen sisään. Sen jälkeen hän on käyttänyt renkaiden ja tien välistä kitkaa ainoastaan ajoneuvon kääntämiseen sinisellä alueella, koska tällöin ajoneuvo on kulkenut vakionopeudella. Tämän jälkeen keltaiselle alueelle siirryttäessä hän on kiihdyttänyt ajoneuvoa samalla, kun hän kääntänyt ajoneuvoa.

Vasemman puoleinen kuljettaja on aluksi jarruttanut vuorotellen suoraan ja samaan aikaan kääntäen, josta hän on siirtynyt kääntämään ajoneuvoa nopeuden

pysyessä vakiona. Seuraavaksi hän on kääntäessään ajoneuvoa vuorotellen kiihdyttänyt, ajanut vakionopeudella sekä hidastanut ajoneuvon nopeutta. Oikean puoleisen kuljettajan toimet ovat olleet johdonmukaisia, kun taas vasemman puoleinen kuljettaja ei ole pystynyt ajamaan kaarretta johdonmukaisesti, vaan hän on siirtynyt tilasuureista toiseen vuorotellen eli kiihdyttänyt ja hidastanut nopeuttaan kaarteiden aikana, eikä näin ollen käyttänyt renkaan ja tien välissä olevaa kitkaa ainoastaan ajoneuvon ohjaamiseen.

5.2 Ajoneuvon automaattinen jarrutuksen analysointi

Edellä mainittujen tilasuureiden lisäksi automaattisen analysointiin tarvitaan tieto, jolloin kuljettaja painaa ajoneuvon jarrupoljinta. Jarrutus eli braking-tilasuure on arvoltaan yksi, kun ajoneuvon jarrujärjestelmän etujarrupiirin paine, jota on keskiarvoistettu 13 mittapisteen mukaan, on yhtä suuri tai suurempi kuin 0,5 baaria. Ajoneuvon etujarrupiirin painetiedon tiedonkeruutaajuus on 50 hertsiä. Kaavassa 10 on esitetty Motec i2 Pro -analysointiohjelman kaavana braking-tilasuure.

$$\text{Braking} = \text{choose}(\text{smooth}('Brake Pressure Front' [bar],13) \geq 0.5,1,0)$$

KAAVA 10

Motec i2 Pro-analysointiohjelma laskee automaattisesti ajoneuvon kulkeman matkan kierroksen alusta ohjelman cursorin kohdalla. Kun ajoneuvon hidastuvuustieto on saatu deaccelerating-tilasuureen avulla, saadaan ajoneuvon jarrutuspaikka selville tarkastelemalla ajoneuvon kulkemaa matkaa ennen deaccelerating-tilasuureen arvon nousemista arvosta 0. Motec i2 Pro -analysointiohjelmassa jarrutuspaikka jokaiselle jarrutukselle saadaan laskettua kaavalla 11.

$$\text{Braking point [m]} = \text{stat_start}('Corr Lap Dist' [m], 'Deaccelerating' > 0, 'Deaccelerating' == 0)$$

KAAVA 11

Kaavassa 11 nähtävä "stat_start"-komento poimii valitusta kanavasta ensimmäisen arvon, kun määritetty ehto toteutuu. Tähän komentoon voidaan myös aset-

taa ehto, jolloin "stat_start"-komento nollautuu. Kaavassa 11 "stat_start"-komento poimii ensimmäisen kierroksen pituuden eli "Corr lap dist" -kanavan arvon, kun deaccelerating-tilasuure on suurempi kuin 0 eli ajoneuvon nopeus hidastuu. Komento nollautuu, kun deaccelerating-tilasuure on yhtä kuin nolla.

Kaavan 11 tuloksena on kierroksen pituus metreinä, milloin ajoneuvon nopeus on alkanut hidastua. Heti kun ajoneuvon deaccelerating-tilasuure on muuttunut arvoon 0, eli ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyys on suurempi kuin $-0,1 \text{ G}$:tä, "Braking point" -kanavan arvona on seuraavan paikan sijainti, jossa ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyys on ollut yhtä suuri tai pienempi, kuin $-0,1 \text{ G}$:tä. Tämä on esitetty kuvassa 30, jossa kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka metreinä kierroksen alusta. Nopeuskuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa, jarrutuspaikan y-akselilla on jarrutuspaikan etäisyys kierroksen lähdöstä metrein, jarrupainekuvaajien y-akselilla on jarrupiirin paine baareina ja kaasupolkimen asentokuvaajan y-akselilla on kaasupolkimen asento prosentteina. Ajoneuvon deaccelerating-tilasuureella ei ole yksikköä.



KUVA 30. Ajoneuvon jarrupaikan automaattinen analysointi deaccelerating-tilasuureen avulla

Kuvasta 30 voidaan huomata, että ajoneuvon deaccelerating -tilasuure on arvoltaan yksi, vaikka ajoneuvon etu- ja takajarrupiirin jarrupaineet ovat arvoltaan nolla. Tämä johtuu siitä, että deaccelerating -tilasuure on sidottu ajoneuvon pitkittäiskiiktyvyyteen jarrupiirien paineen sijasta. Tästä syystä kaava 11 toimii jo silloin, kun ajoneuvon jarrupiirien paine on nollassa, koska jarrutuspaikan sijainti on sidottu deaccelerating -tilasuureen arvoon ja sen muutokseen. Kuvassa 30 kursorin kohdalla kaasupolkimen asento on 0,8 prosenttia ja tämän jälkisestä jarrupaineen noususta voidaan olettaa, että kuljettaja on juuri kursorin kohdalla siirtämässä jalkaansa kaasupolkimelta jarrupolkimelle ja ajoneuvon nopeus hidastuu muun muassa vierintä- ja ilmanvastusvoimien vaikutuksesta ja deaccelerating -tilasuure saa arvon yksi. Tästä syystä kaava 11 antaa jarrutuspaikan sijainniksi noin 1 008,8 metriä kierroksen alusta, vaikka jarrupoljinta ei ole vielä painettu.

Kuljettajan ajaessa erilaisilla ajolinjoilla ajoneuvo voi kulkea eri kierroksen aikana erisuuruisen matkan samalla radalla. Tästä syystä on mahdollista, että jarrutuspaikat eriävät toisistaan tiedonkeruun perusteella, vaikka todellisuudessa kuljettaja on jarrutanut täysin samassa pisteessä. Tämän takia jarrutuspaikan laskennassa on sama mahdollisuus edellä mainittuun virheeseen kuin on manuaalisestikin analysoitaessa.

Jarrutusmatkan laskentaan tarvitaan jarrutuspaikan lisäksi paikka, jossa ajoneuvon deaccelerating-tilasuure on arvoltaan nolla nopeuden hidastumisen jälkeen. Se voidaan laskea kaavalla 12 Motec i2 Pro -analysointiohjelmassa. Hidastuvuuden lopetus- ja aloituspaikkojen erotus on ajoneuvon jarrutusmatka. Motec i2 Pro -analysointiohjelmassa jarrutusmatka voidaan laskea kaavalla 13. Kaavassa 12 nähtävä "stat_end" -komento toimii samoin, kuin "stat_start" -komento, mutta "stat_end" -komento poimii valitun kanavan viimeisen arvon, kun määrättyt ehdot täyttyvät.

$$\text{Brake release point [m]} = \text{stat_end}('Corr Lap Dist' [m], 'Deaccelerating' > 0, 'Deaccelerating' == 0)$$

KAAVA 12

$$\text{Braking distance [m]} = 'Brake release point' [m] - 'Braking point' [m]$$

KAAVA 13

Käyttämällä kaavaa 14 jarrutusmatka voidaan muuttaa jarrutusalueeksi, jolloin jarrutusalueen pituus näytetään vain silloin, kun ajoneuvon nopeus hidastuu. Muulloin jarrutusmatkan arvoksi tulee nolla. Tämä voi selkeyttää jarrutusalueen analysointia. Kuvassa 31 on esitetty ajoneuvon jarrutusmatka kaavalla 13 ja jarrutusalue kaavalla 14. Kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka kierroksen alusta, nopeuskuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa, jarrutusalueen ja -matkan y-akselilla on jarrutuspaikan etäisyys metreinä kierroksen alusta ja jarrupainekuvaajien y-akselilla on jarrupiirin painebaareina.

$$\text{Brakingzone [m]} = \text{choose}('Deaccelerating' > 0, 'Braking distance' [m], 0)$$

KAAVA 14



KUVA 31. Vaikutus ajoneuvon jarrituksen analysointiin, kun jarrutusmatka muutetaan jarrutusalueeksi

Jarrutusaika saadaan laskemalla jarrituksen aloitus- ja lopetuspuoleisten aikojen erotus. Se onnistuu Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla kaavan 15 avulla. Kaavassa 15 jarrutusaika tulee siltä ajalta, kun braking-tilasuure on ollut arvoltaan suurempi kuin 0. Tämä tarkoittaa sitä, että ajoneuvon jarrutusmatka voi olla pitempi, kuin jarrutusajan aikana kuljettu matka. Tämä johtuu siitä, että jarrutusmatkan laskentaan on käytetty deaccelerating-tilasuuretta, joka on sidottu ajoneuvon pitkittäiskiirtyvyyteen, kun braking-tilasuureen laskentaan käytetään ajoneuvon etujarrupiirin jarrupainetta.

$$\text{Braking time [s]} = \text{choose}('Braking' > 0, \text{stat_end}('GPS\ Time', 'Braking' > 0) - \text{stat_start}('GPS\ Time', 'Braking' > 0), 0)$$

KAAVA 15

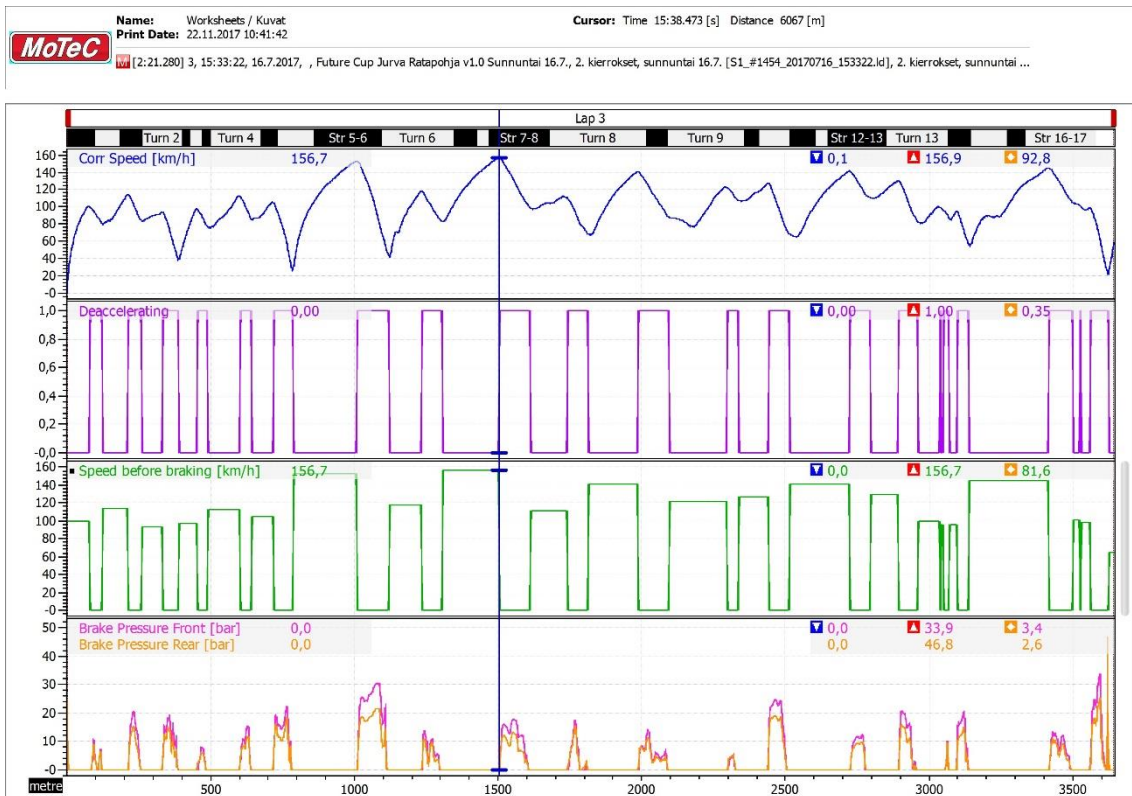
Ajoneuvon nopeutta ennen seuraavan jarrituksen aloittamista voidaan käyttää edellisen karteen ajolinjan ja kaasupolkimen käytön analysointiin kuin myös

seuraavan kaarteen ajolinjan analysointiin. Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla nopeus ennen jarrutusta saadaan automaattisesti kaavalla 16. "Speed before braking" -kanavan arvo näkyy vain silloin, kun deaccelerating-tilasuureen arvo on nolla, eli ajoneuvon nopeus ei hidastu. Tämä helpottaa analysointia, kun "Speed before braking" -kanavan arvo käy nollassa ennen seuraavaa jarrutusta. Kaava 16 arvo on ajoneuvon viimeinen nopeus kilometreinä tunnissa, kun deaccelerating-tilasuure on arvoltaan yhtä suuri kuin nolla, eli ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyys on suurempi kuin -0,1 G:tä.

$$\text{Speed before braking} \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right) = \text{choose}('Deaccelerating' == 0, \text{stat_end}('Corr Speed' [\text{km/h}], 'Deaccelerating' == 0, 'Deaccelerating' > 0), 0)$$

KAAVA 16

Kuvassa 30 on esitetty ajoneuvon nopeus ennen kaarretta kaavan 16 mukaan, kuin myös ajoneuvon nopeus, deaccelerating-tilasuureen arvo ja ajoneuvon etu- ja takajarrupiirin paine. Kuvassa 30 kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka metreinä kierroksen alusta, jarrupainekuvaajien y-akselilla on jarrupiirin paine baareina ja ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa on nopeuskuvaajan y-akselilla sekä "Speed before braking" -kanavan y-akselilla.



KUVA 32. Ajoneuvon nopeus ennen deaccelering-tilasuuren arvon muuttamista

Kuljettajan tulisi aloittaa jarrutus mahdollisimman aggressiivisesti ja tämän auto-maattisen analysointiin voidaan käyttää ajoneuvon etujarrupiirin jarrupainetta. Ajoneuvon etujarrupiirin suurin jarrupaine pitäisi olla heti jarrutuksen alussa, jotta jarrutus olisi mahdollisimman tehokas. Tämä johtuu siitä, että jarrutuksen alussa kuljettaja joutuu hidastamaan kaikkia ajoneuvon pyöriviä massoja, joita ovat esimerkiksi renkaat, vanteet, jarrulevyt, vaihdelaatikon rattaat sekä akselit ja muut pyörivät osat. Kun kuljettaja saa nämä pyörivät massat hidastettua, hän voi pienentää ajoneuvon jarruvoimaa.

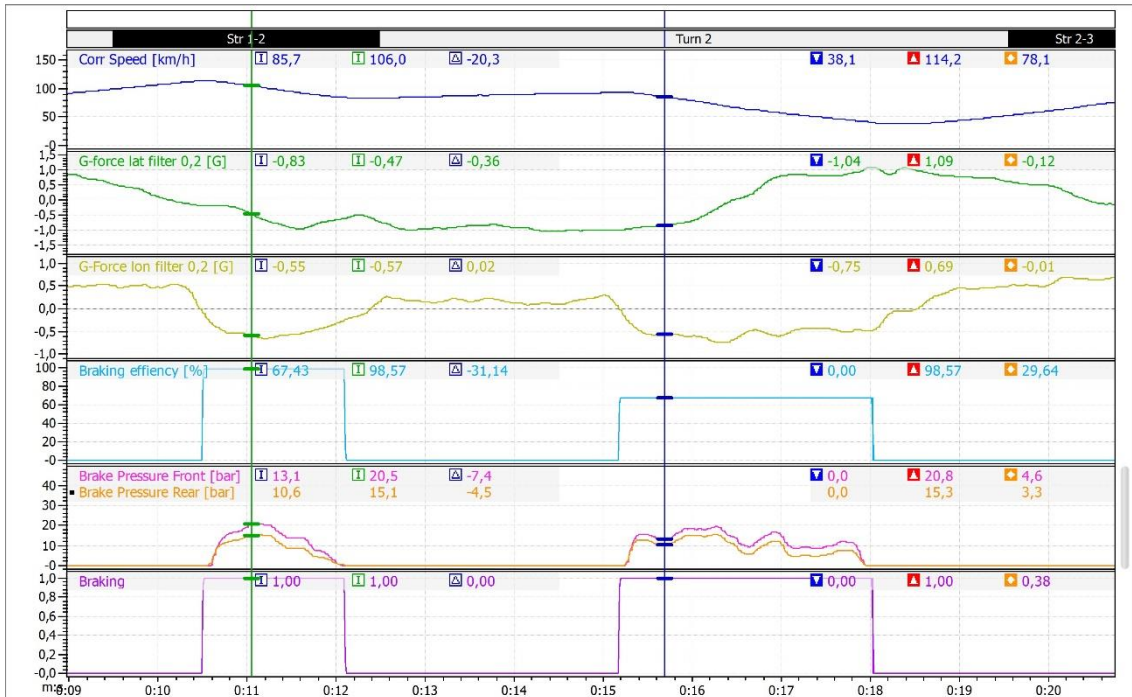
Kaavan 17 avulla voidaan nähdä, kuinka paljon 0,5 sekunnin päästä jarrutuksen aloittamisesta etujarrupiirin paine on jarrutuksen suurimmasta jarrupaineesta prosentteina. Jos kuljettaja on jarruttanut oikein, kaavan 17 tulos on lähellä 100 prosenttia. Kaavassa 17 nähtävä "stat_max"-komento toimii samalla tavalla,

kuin "stat_start" ja "stat_end" -komennot, paitsi sillä erolla, että "stat_max"-komento poimii valitusta kanavasta suurimman arvon, kun määrättyt ehdot täyttyvät.

$$\text{Braking efficiency [\%]} = \text{choose}('Braking' > 0, ((\text{choose}('Braking' > 0, \text{stat_max}(\text{choose}('GPS Time' == (\text{stat_start}('GPS Time', 'Braking' > 0, 'Braking' == 0) + 0.5), 'Brake Pressure Front' [bar], 0), 'Braking' > 0, 'Braking' == 0), 0) / \text{choose}('Braking' > 0, \text{stat_max}('Brake Pressure Front' [bar], 'Braking' > 0, 'Braking' == 0), 0)) * 100), 0)$$

KAAVA 17

Kuvassa 33 on esitetty ajoneuvon nopeus, sivuttais- ja pitkittäiskiikityvydet, ajoneuvon etu- ja takajarrupiirin jarrupaine ja kaavan 17 laskettu jarrutuksen tehokkuus. Kaikkien kuvassa 33 olevien kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka metreinä kierroksen alusta. Nopeuskuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa, sivuttais- ja pitkittäiskiikityvyksien y-akselilla on ajoneuvon kiihtyvyydet suhteutettuna maan vetovoimakiikityvyyteen, etu- ja takajarrupiirin jarrupainekuvaajien y-akselilla on paine baareina ja braking efficiency -kuvaajan y-akselilla on prosentit. Braking-tilasuureen kuvaajalla ei ole yksikköä.



KUVA 33. Ajoneuvon jarrutustehokkuuden automaattinen analysointi ajoneuvon etujarrupiirin jarrupaineen avulla

Tarkastelemalla kuvassa 33 olevaa etu- ja takajarrupiirin painekuvaajaa ja sen muodosta huomataan ajoneuvon ensimmäisen jarrutuksen olleen parempi, kuin seuraavan jarrutuksen. Ensimmäisessä jarrutuksessa kuljettaja on nostanut jarrupiirin jarrupaineen lähes suoraan maksimiarvoonsa, jonka jälkeen hän on laskenut jarrupainetta. Toisessa jarrutuksessa hän ei ole nostanut jarrupainetta tarpeeksi korkealle heti jarrutuksen alussa, vaan jarrutuksen keskivaiheilla. Ensimmäisen jarrutuksen kohdalla ”braking efficiency” -kanavan arvo on ollut noin 98,6 %, kun toisessa jarrutuksessa saman kanavan arvo on ollut noin 67,4 %.

5.3 Ajoneuvon automaattinen kaarreajon analysointi

Turning left ja turning right -tilasuureiden avulla on määritetty, mihin suuntaan ajoneuvo kääntyy. Tämän lisäksi on tärkeää määrittää myös se, mihin suuntaan kuljettaja ohjaa ajoneuvoa. Kuten ajoneuvon kääntymisen tilasuureissa, täytyy

ohjaamisen tilasuureiden kaavat tehdä erikseen vasemmalle ja oikealle ohjaamiseen, koska ohjauspyörän kulma on yleensä negatiivinen vasemmalle ohjattaessa ja positiivinen oikealle ohjattaessa. Tämä voidaan Motec i2 Pro -analysointiohjelmassa kaavoilla 18 ja 19. Kaavasta 18 käy ilmi, että mikäli kuljettaja ohjaa ajoneuvoa esimerkiksi vasemmalle, jolloin steering left -tilasuure saa arvon yksi, ja ajoneuvon ohjauspyörän asento käy suurempana kuin – 30 astetta alle 0,25 sekuntia, ei steering left -tilasuure käy nollassa tässä. Sama pätee myös oikealle ohjattaessa, paitsi silloin steering right -tilasuuren raja-arvona on 30 astetta.

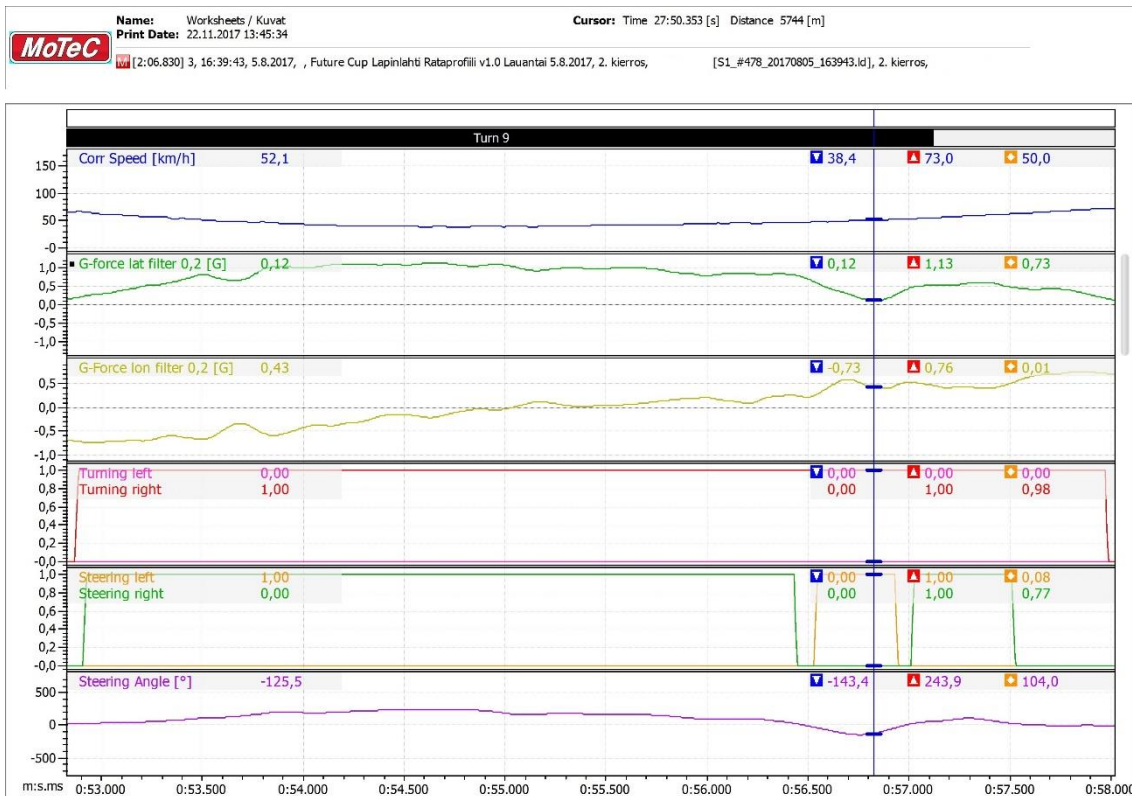
Steering left = choose('Steering Angle' [deg] < –30 OR choose('Steering Angle' [deg] > –30, stat_end('GPS Time', 'Steering Angle' [deg] > –30, 'Steering Angle' [deg] < –30) – stat_start('GPS Time', 'Steering Angle' [deg] > –30, 'Steering Angle' [deg] < –30), 0) < 0.25, 1, 0)

KAAVA 18

Steering right = choose('Steering Angle' [deg] > 30 OR choose('Steering Angle' [deg] < 30, stat_end('GPS Time', 'Steering Angle' [deg] < 30, 'Steering Angle' [deg] > 30) – stat_start('GPS Time', 'Steering Angle' [deg] < 30, 'Steering Angle' [deg] > 30), 0) < 0.25, 1, 0)

KAAVA 19

Kuvassa 34 on vertailtu ajoneuvon turning left ja turning right -tilasuureita steering left ja steering right -tilasuureisiin. Kuvassa on esitetty myös ajoneuvon nopeus, pitkittäis- ja sivuttaiskiihtyvyydet sekä ohjauspyörän asento. Kaikkien kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka metreinä kierroksen alusta, nopeuskuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa, sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien y-akselilla on ajoneuvon kiihtyvyydet suhteutettuna maan vetovoimakiihtyvyyteen ja ajoneuvon ohjauspyörän asentokuvaajan y-akselilla on ohjauspyörän asento asteina.



KUVA 34. Ajoneuvon turning left ja steering right -tilasuureiden avulla analysoitu ajoneuvon kuljettajan suuri vastaohjausliike ajoneuvon ylioheamaisen kontrolloimiseksi

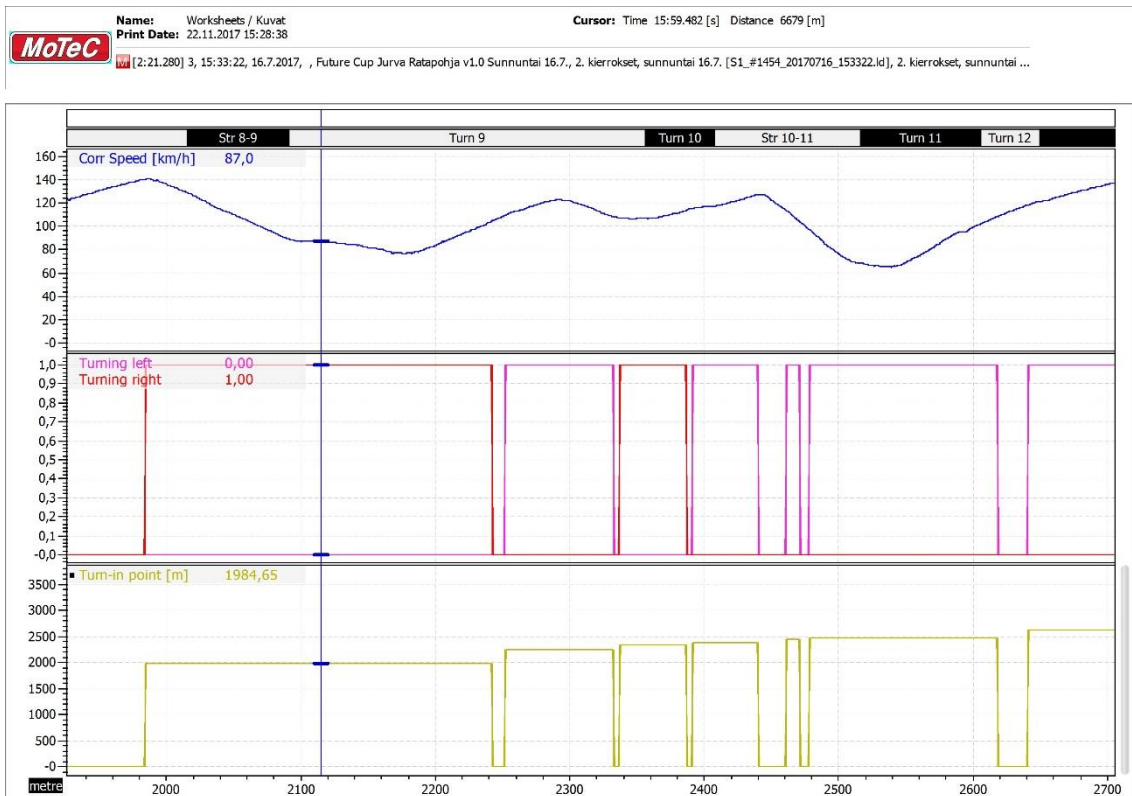
Kuvassa 34 Motec i2 Pro -analysointiohjelman kursorin kohdalla huomataan, että ajoneuvon kuljettaja ohjaa ajoneuvoa vasemmalle, sillä steering left -tilasuureen arvo on yksi. Turning right -tilasuureen arvo myös on yksi, josta tiedetään, että ajoneuvo kääntyy oikealle. Jos tarkastellaan ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyyttä, huomataan sen laskevan hetkellisesti, jonka jälkeen se nousee takaisin lähelle samaa tasoa, jossa se oli ennen laskemistaan. Ajoneuvon ohjauspyörä on ollut käännettynä oikealle päin, mutta samaan aikaan sivuttaiskiihtyvyyden laskemisen kanssa ohjauspyörä on käynyt käännettynä vasemmalle päin suurimmillaan 143,4 astetta, ennen ohjauspyörän kääntymistä takaisin oikealle. Tästä voidaan päätellä ajoneuvon ylioheavan sillä kuljettaja joutui tekemään suuren vastaohjausliikkeen ylioheajauksen kontrolloimiseksi. Ajoneuvon ylioheaminen voidaan huomata myös tarkastelemalla ainoastaan turning left, turning

right, steering left ja steering right -tilasuureita. Ajoneuvon yliojauksen automaattista analysointia käsitellään enemmän luvussa 5.5.

Kuljettajien sisäänkäntöpistettä kaarteessa voidaan käyttää erilaisten ajolinjojen tunnistamiseen. Helpoiten erilaiset ajolinjat voidaan tunnistaa GPS-sijainnin perusteella tehdyistä ajolinjoista, mutta niiden automaattinen analysointi on hankalampaa. Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla sisäänkäntöpisteen etäisyys metreinä kierroksen alusta saadaan kaavalla 20.

$$\text{Turn - in - point [m]} = \text{choose}('Turning left' > 0 \text{ OR } 'Turning right' > 0, \text{stat_start}('Corr Lap Dist' [m], 'Turning left' > 0 \text{ OR } 'Turning right' > 0, 'Turning left' == 0 \text{ AND } 'Turning right' == 0), 0) \quad \text{KAAVA 20}$$

Kuvassa 35 on esitetty sisäänkäntöpisteen etäisyys kierroksen alusta. Kuvassa 35 kaikkien kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka metreinä kierroksen alusta, nopeuskuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa ja sisäänkäntöpisteen y-akselilla on ajoneuvon kulkema matka metreinä kierroksen alusta eri sisäänkäntöpisteisiin mennessä.



KUVA 35. Eri kaarteiden sisäänkäätö pisteiden etäisyys metreinä kierroksen alusta

Kuvassa 35 ensimmäisen kaarteiden sisäänkäätö pisteiden etäisyys kierroksen alusta on 1984,65 metriä. Samoin kuin jarrutuspaikkojen analysoinnissa, sisäänkäätö pisteiden analysoinnissa on mahdollisuus virheelliseen analysointiin. Kuljettaja voi ajaa samaa rataa erilaisella ajolinjalla, jolloin ajoneuvon kulkema matka samaan kaarteeseen voi olla eri. Siten on mahdollista, että kuljettaja kääntyy molemmilla kierroksilla samassa kohdassa sisään kaarteeseen, mutta jos hänen ajolinjansa ovat olleet paljon erilaiset ennen tätä kaarretta, on mahdollista, että sisäänkäätö pisteiden etäisyys kierroksen alusta ovat erisuuret. Mahdollisuus tähän virheeseen on myös silloin, kun analysoidaan sisäänkäätö pisteitä manuaalisesti.

Kuljettajan ajolinjan ja kaarreajon analysoinnissa voidaan käyttää myös ajoneuvon nopeutta sisäänkäätö pisteessä kuin myös ajoneuvon nopeutta kaarteiden ulostulossa. Näiden lisäksi on tärkeää kiinnittää huomiota myös siihen, mikä on

kuljettajan pienin nopeus kaartein aikana. Motec i2 Pro -analysointiohjelmassa ajoneuvon nopeus sisäänkäyntipisteessä voidaan määrittää kaavalla 21 ja kaartein pienin nopeus kaavalla 22. Ajoneuvon ulostulonopeus kaarteesta voidaan määrittää kaavalla 23.

$$\begin{aligned} \text{Speed at turn - in - point } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right] &= \text{choose}('Turning left' > 0 \text{ OR } 'Turning right' > 0, \text{stat_start}('Corr Speed' [\text{km/h}], 'Turning left' > 0 \text{ OR } 'Turning right' > 0, 'Turning left' == 0 \text{ AND } 'Turning right' == 0), 0) \\ &\text{KAAVA 21} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Min speed in corner } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right] &= \text{choose}('Turning left' > 0 \text{ OR } 'Turning right' > 0, \text{stat_min}('Corr Speed' [\text{km/h}], 'Turning left' > 0 \text{ OR } 'Turning right' > 0, 'Turning left' == 0 \text{ AND } 'Turning right' == 0), 0) \\ &\text{KAAVA 22} \end{aligned}$$

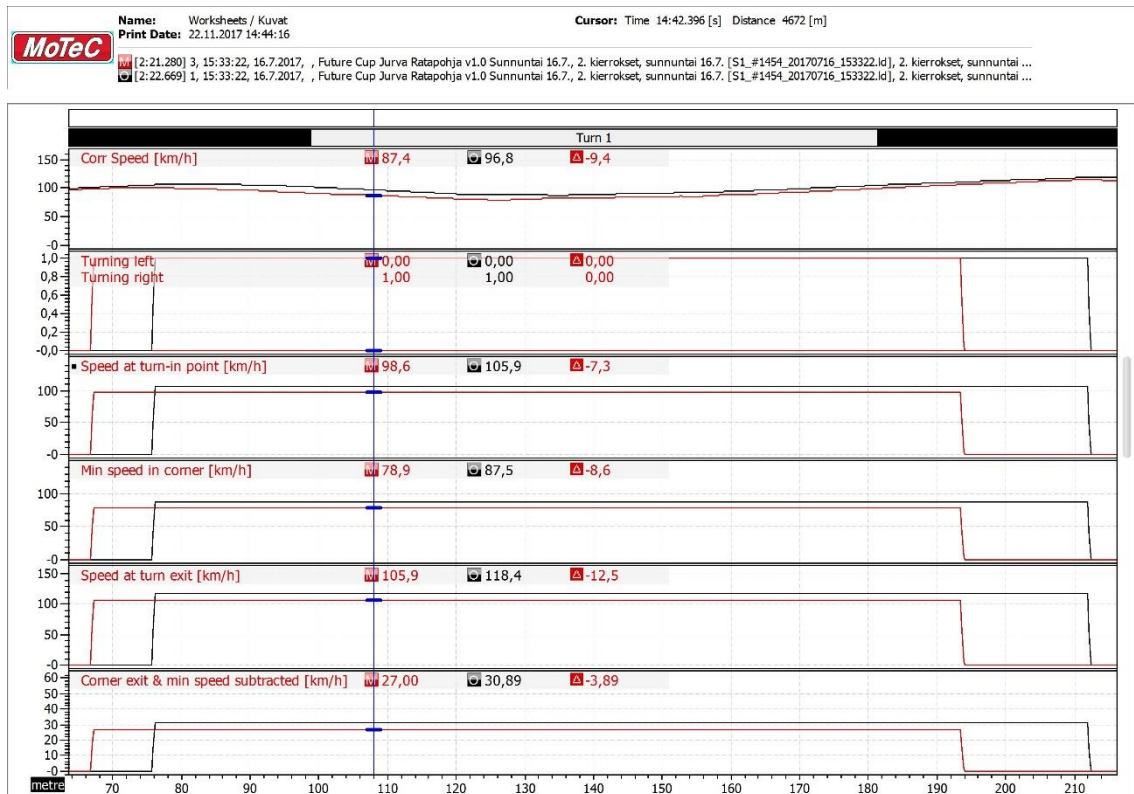
$$\begin{aligned} \text{Speed at turn exit } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right] &= \text{choose}('Turning left' == 0 \text{ AND } 'Turning right' == 0, \text{stat_start}('Corr Speed' [\text{km/h}], 'Turning left' == 0 \text{ AND } 'Turning right' == 0, 'Turning left' > 0 \text{ OR } 'Turning right' > 0), 0) \\ &\text{KAAVA 23} \end{aligned}$$

Kaavat 21, 22 ja 23 saavat muun arvon kuin nolla ainoastaan silloin, kun turning left tai turning right -tilasuureen arvo on suurempi kuin nolla eli ajoneuvo kääntyy vasemmalle tai oikealle. Kaavassa 22 nähtävä "stat_min"-komento toimii samalla tavalla, kuin "stat_max"-komento, paitsi sillä erolla, että "stat_min"-komento poimii valitusta kanavasta pienimmän arvon, kun määrätty ehdot täyttyvät.

Saman kuljettajan eri kierrosten tai kahden eri kuljettajan kaarreajon ja ajolinjan analysointiin voidaan hyödyntää myös tietoa siitä, kuinka paljon kuljettaja nostaa nopeuttaan kaartein pienimmästä nopeudesta kaartein ulostuloon mennessä. Tämä voidaan laskea automaattisesti Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla kaavan 24 avulla.

$$\begin{aligned} \text{Corner exit \& min speed subtracted } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right] &= 'Speed at turn exit' [\text{km/h}] - 'Min speed in corner' [\text{km/h}] \\ &\text{KAAVA 24} \end{aligned}$$

Kuvassa 36 on esitetty kaavojen 21, 22, 23 ja 24 kuvaajat kahden eri kuljettajan ajamina samassa kaarteessa, ajoneuvon nopeus sekä turning left ja turning right -tilasuureet. Kaikkien kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka metreinä kierroksen alusta ja kaikkien muiden kuvaajien, paitsi turning left ja turning right -tilasuureiden kuvaajien y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa.



KUVA 36. Kahden eri kuljettajan vertailu kaarteeseen eri nopeuksien perusteella

Kuvasta 36 nähdään, että samassa kaarteessa ajoneuvon nopeus on ollut toisella kuljettajalla mutkan sisäänkäyntipisteessä 105,9 kilometriä tunnissa, mikä on 7,3 kilometriä tunnissa enemmän kuin toisella kuljettajalla. Suuremmalla nopeudella mutkaan kääntyneen kuljettajan pienin nopeus kaarteeseen tullen on ollut 87,5 kilometriä tunnissa ja toisen kuljettajan pienin nopeus on ollut kaarteeseen tullen 78,9 kilometriä tunnissa. Suuremmalla nopeudella kaarteeseen tulleen kuljettajan ulostulonopeus kaarteesta on 12,5 kilometriä tunnissa suurempi, kuin toisen kuljettajan ja suuremmalla nopeudella mutkaan tullut kuljettaja on myös

saavuttanut 3,89 kilometriä tunnissa suuremman nopeuseron kaarteeseen pienimmästä nopeudesta kaarteeseen ulostuloon mennessä. Toinen kuljettaja on ajanut tämän kaarteeseen kokonaisvaltaisesti lujempaa verrattuna hitaammin ajaneeseen kuljettajaan.

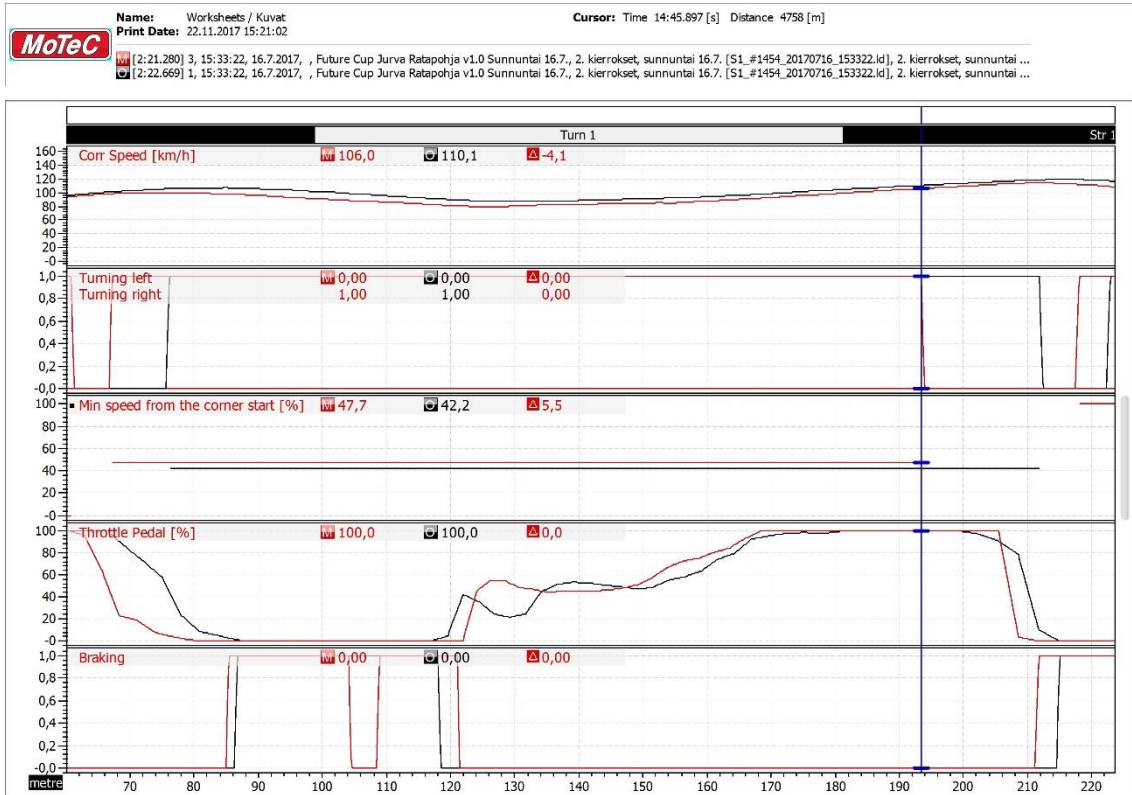
Ajoneuvon pienimmän nopeuden sijaintia kaarteessa voidaan hyödyntää ajolinjan ja eri kuljettajien tai kierrosten analysoinnissa. Mikäli toisen kuljettajan pienimmän kaarrenepeuden sijainti on aikaisemmin kaarteessa, hän todennäköisesti pystyy kiihdyttämään kaarteesta ulos aiemmin ja saavuttaa suuremman nopeuden kaarteeseen jälkeisellä suoralla. Ajoneuvon pienimmän nopeuden sijainti kaarteessa voidaan laskea kaavalla 25.

$$\begin{aligned} \text{Min speed from the corner start [\%]} = & (\text{choose}('Turning left' > \\ & 0 \text{ OR } 'Turning right' > 0, \text{stat_end}('Corr Lap Dist' [m], 'Corr Speed' [km/h] == \\ & 'Min speed in corner' [km/h], 'Turning left' == 0 \text{ AND } 'Turning right' == 0) - \\ & \text{stat_start}('Corr Lap Dist' [m], 'Turning left' > 0 \text{ OR } 'Turning right' > \\ & 0, 'Turning left' == 0 \text{ AND } 'Turning right' == 0), 0) / \text{choose}('Turning left' > \\ & 0 \text{ OR } 'Turning right' > 0, \text{stat_end}('Corr Lap Dist' [m], 'Turning left' > \\ & 0 \text{ OR } 'Turning right' > 0, 'Turning left' == 0 \text{ AND } 'Turning right' == 0) - \\ & \text{stat_start}('Corr Lap Dist' [m], 'Turning left' > 0 \text{ OR } 'Turning right' > \\ & 0, 'Turning left' == 0 \text{ AND } 'Turning right' == 0), 0)) * 100 \quad \text{KAAVA 25} \end{aligned}$$

Kaavassa 25 lasketaan kuinka paljon ajoneuvon pienimmän nopeuden sijainti on kaarteeseen alusta prosentteina. Jos kaavan 25 tulos on 100 prosenttia, on ajoneuvon pienin nopeus ollut aivan kaarteeseen lopussa. Jos tulos on nolla prosenttia, on pienin nopeus ollut aivan kaarteeseen alussa. Kaava 25 toimii ainoastaan silloin, kun ajoneuvo kääntyy joko oikealle tai vasemmalle, toisin sanoen kun turning left tai turning right -tilasuure on suurempi kuin nolla.

Kuvassa 37 on esitetty ajoneuvon nopeus, turning left, turning right ja braking -tilasuureet, kaasupolkimen asento sekä ajoneuvon pienimmän nopeuden etäisyys prosentteina kaarteeseen alusta. Kaikkien kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon

kulkema matka metreinä kierroksen alusta. Nopeuskuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa, kaasupolkimen asentokuvaajan y-akselilla on kaasupolkimen asento prosentteina ja kaarteeseen pienimmän nopeuden sijaintikuvaajan y-akselilla on pienimmän nopeuden etäisyys kaarteeseen alusta prosentteina.



KUVA 37. Ajoneuvon pienimmän kaarrenopeuden sijainnin analysointi

Kuvasta 37 huomataan, että toisen kuljettajan pienimmän nopeuden sijainti kaarteessa on 5,5 prosenttia aikaisemmin, kuin toisen kuljettajan. Kuvasta 37 huomataan myös, että tämä kuljettaja, jonka pienimmän nopeuden sijainti on ollut aikaisemmin kaarteessa, alkaa painaa kaasupoljinta aikaisemmin saavuttaen noin 4 kilometriä tunnissa suuremman nopeuden ennen seuraavaa jarrutusta.

Kuljettajan hyödyntämää kitkaa ajoneuvon renkaan ja tien välissä voidaan tarkastella ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäskiihtyvyyksien resultantin avulla. Ajoneuvo pystyy teoriassa kääntymään ja jarruttamaan samalla kiihtyvyydellä lu-

vussa 4.6.1 käsitellyn tiedon perusteella. Näin ollen ajoneuvon pitkittäis- ja sivuttaiskiihtyvyyksien resultantti voi olla yhtä suuri jarrutuksen, kääntymisen tai näiden yhdistelmän aikana. Ajoneuvon pitkittäis- ja sivuttaiskiihtyvyyksien resultantti voidaan laskea kaavalla 26. Kaavassa 26 ajoneuvon pitkittäis- ja poikittaiskiihtyvyydet ovat suhteutettu maan vetovoimakiihtyvyyteen ja niitä on keskiarvoistettu Motec i2 Pro -analysointiohjelman "smooth"-komennolla 0,2 sekunnin mukaan ja "sqrt"-komento tarkoittaa neliöjuurta ja "sqr"-komento tarkoittaa toista potenssia.

$$G - Force\ resultant[G] = \sqrt{\sqrt{\text{smooth}(ECU\ Acceleration\ Y'[G], 0.200)} + \sqrt{\text{smooth}(ECU\ Acceleration\ Z'[G], 0.200)}} \quad \text{KAAVA 26}$$

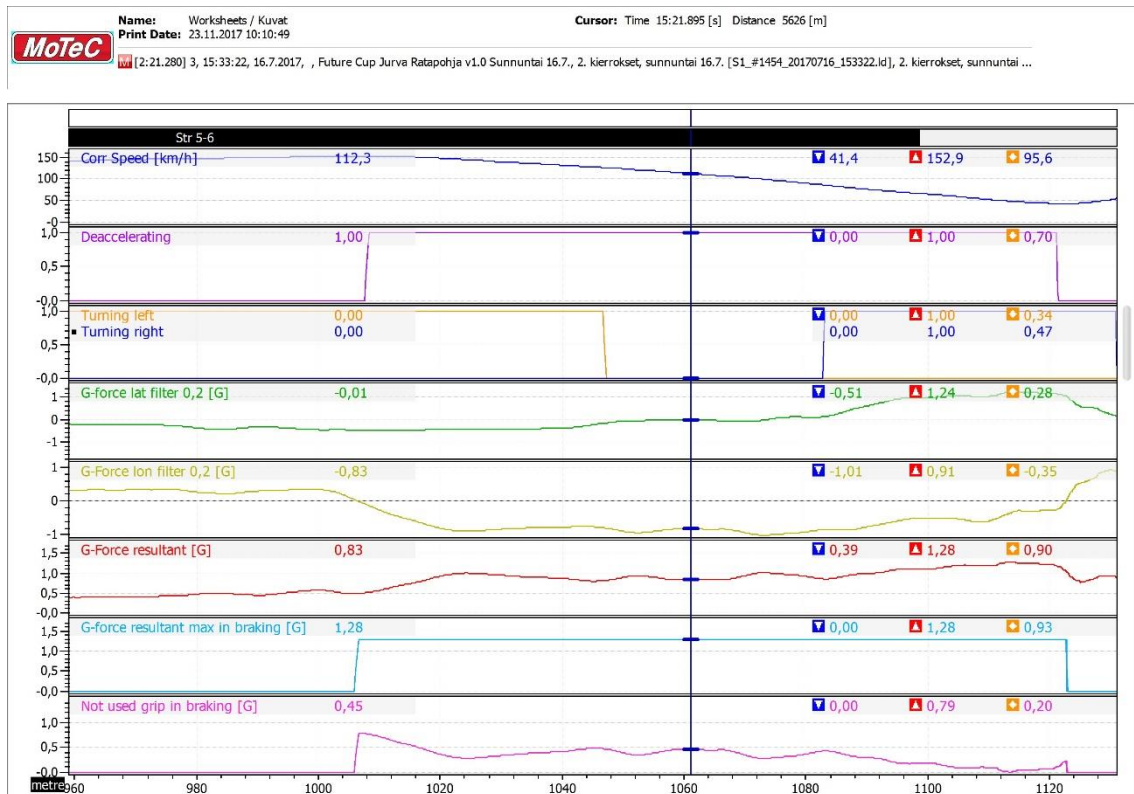
Kaavalla 27 saadaan laskettua ajoneuvon pitkittäis- ja sivuttaiskiihtyvyyksien resultantin suurin arvo, kun ajoneuvo hidastaa vauhtiaan eli deaccelerating-tila suure on suurempi kuin nolla. Kiihtyvyydet ovat kaavassa 27 suhteutettu maan vetovoimakiihtyvyyteen.

$$G - force\ resultant\ max\ in\ braking[G] = \text{choose}(\text{smooth}(ECU\ Acceleration\ Z'[G], 0.200) < 0, \text{stat_max}(G - Force\ resultant'[G], \text{smooth}(ECU\ Acceleration\ Z'[G], 0.200)) < 0, \text{smooth}(ECU\ Acceleration\ Z'[G], 0.200) > 0, 0) \quad \text{KAAVA 27}$$

Kun verrataan tätä ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien resultantin suurinta arvoa juuri sillä hetkellä vallitsevaan sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien resultantin arvoon, voidaan nähdä, kuinka paljon suuremmalla kiihtyvyydellä kuljettaja voisi sen kohdan ajaa. Tämä saadaan laskettua kaavalla 28.

$$Not\ used\ grip\ in\ braking\ \&\ turning[G] = \text{choose}(G - force\ resultant\ max\ in\ braking'[G] > 0, G - force\ resultant\ max\ in\ braking'[G] - G - Force\ resultant'[G], 0) \quad \text{KAAVA 28.}$$

Kuvassa 38 on esitetty ajoneuvon nopeus, sivuttais- ja pitkittäiskiitetyvydet ja niiden resultantti, turning left, turning right ja deaccelerating -tilasuureet sekä kaavojen 27 ja 28 kuvaajat. Kaikkien kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kuluma matka metreinä kierroksen alusta, nopeuskuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa ja kaikkien muiden kuvaajien y-akselilla on ajoneuvon kiihtyvyys suhteutettuna vetovoimakiitetyvyteen.



KUVA 38. Ajoneuvon jarrutuksen ja kaarreajon automaattinen analysointi ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiitetyvyyden resultantin arvon vertailun avulla

Kuvassa 38 on kuljettajan tekemä jarrutus 152,9 kilometrin nopeudesta jyrkkään kaarteeseen, jossa ajoneuvon pienin nopeus on ollut 41,4 kilometriä tunnissa. Tämän jarrutuksen aikana ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiitetyvyyksien resultantin arvo on ollut suurimmillaan 1,28 G:tä. Kuvassa 38 alin kuvaaja, nimeltään "not used grip in braking", kertoo ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiitetyvyyksien resultantin suurimman arvon ja juuri sillä hetkellä vallitsevan resultantin arvon

erotuksen jarrutuksen aikana. Motec i2 Pro -analysointiohjelman kursorin kohdalla näiden resultanttien erotus on 0,45 G:tä. Alimman kuvaajan muodosta jarrutuksen aikana huomataan, että resultanttien pienin erotus on ollut jarrutuksen loppupuolella, kun ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyys on lähtenyt nousuun, eli kuvaaja, jonka nimi on kuvassa 38 "G-force lat filter 0,2". Kuljettaja on tällöin hidastanut ajoneuvon nopeutta sekä samalla kääntänyt ajoneuvoa kaarteeseen. Ajoneuvon kääntyminen huomataan myös turning right -tilasuureen muutoksessa kursorin oikealla puolella.

Kuljettaja olisi voinut jarruttaa kaarteeseen paljon aggressiivisemmin, koska ajoneuvolla voidaan päästä 1,28 G:n kokonaiskiihtyvyyksien jarrutettaessa ja kaartaessa, joten ajoneuvolla pitäisi olla mahdollista myös ainoastaan jarruttaa 1,28 G:n kokonaiskiihtyvyydellä. Tällöin kuljettaja saavuttaisi lyhemmän jarrutusmatkan ja suuremman nopeuden ennen jarrutusta. Tämän avulla voitaisiin saavuttaa pienempi kierrosaika.

5.4 Ajoneuvon automaattinen kiihdytyksen analysointi

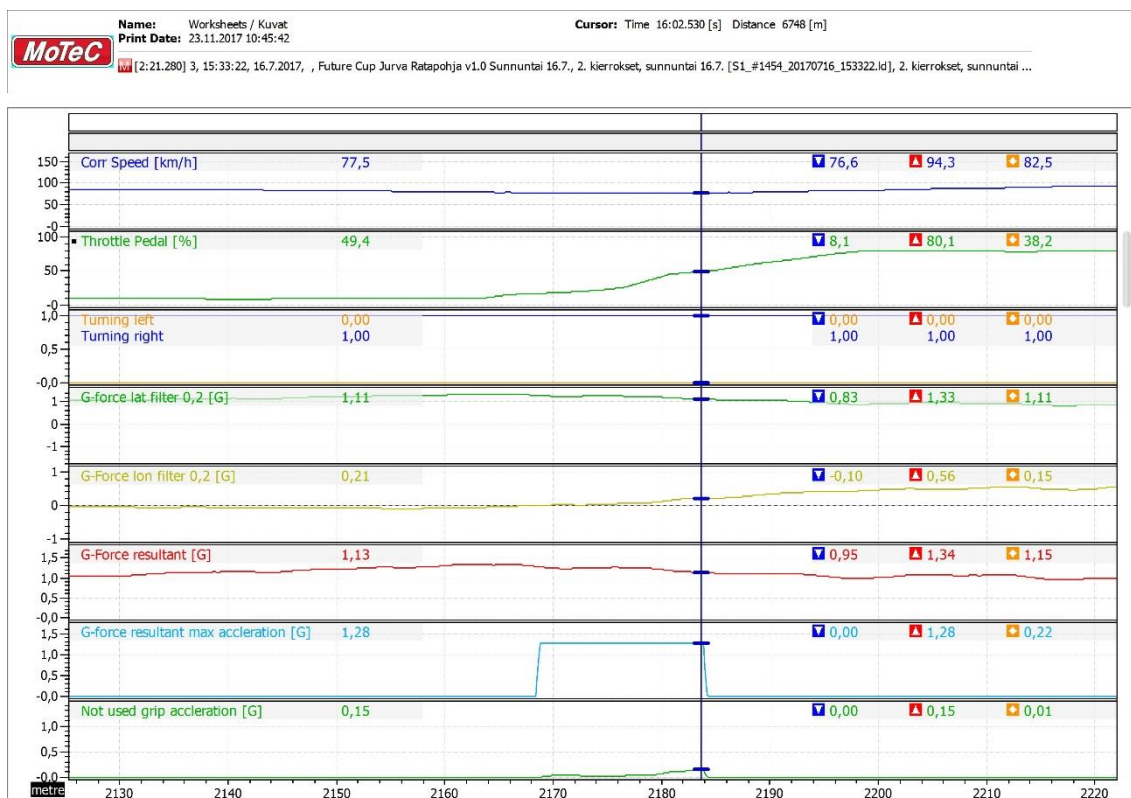
Kaavat 27 ja 28 toimivat ainoastaan silloin, kuin deaccelerating-tilasuure on suurempi kuin nolla, eli ajoneuvo hidastaa vauhtiaan. Tämän vuoksi tarvitaan toinen kaava, jolla voidaan analysoida automaattisesti kuljettajan käyttämää kitkaa kaarteesta ulos kiihdytettäessä. Ajoneuvon nopeutta ei voida suurentaa yhtä suurella kiihtyvyydellä, kuin sitä voidaan hidastaa, koska ajoneuvo voi olla joko etu- tai takavetoinen, jolloin vain kaksi rengasta tekevät työtä ajoneuvon nopeuden suurentamiseksi. Mikäli ajoneuvo on nelivetoinen, pystyy ajoneuvo tällöin suurentamaan nopeuttaan suuremmalla kiihtyvyydellä, kuin kaksivetoinen ajoneuvo, mutta muun muassa ilman- ja vierintävastusvoimien vaikutuksesta ei kaksi- tai nelivetoisten ajoneuvon nopeutta voida nostaa samalla kiihtyvyydellä kuin sitä voidaan hidastaa. Tämän takia ei ole järkevää analysoida kaarteesta ulos kiihdytystä enää sen jälkeen, kun kaasupolkimen asento suurempi kuin 50 prosenttia. Suurin kaarteesta ulos kiihdytettäessä ollut ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien resultantti saadaan kaavalla 29. Kaavalla 29

laskettua ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien resultantin suurinta arvoa voidaan verrata juuri sillä hetkellä vallitsevaan ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien resultanttiin kaavalla 30. Kaava 29 toimii silloin, kun ajoneuvon kaasupolkimen asento on pienempi kuin 50 prosenttia ja ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien resultantin arvon laskemista jarrutuksessa ei tapahdu eli ajoneuvon pitkittäiskiihtyvyyden täytyy siis olla suurempi kuin nolla, jotta kaava 29 toimii.

G – force resultant max accleration [G] = choose('Throttle Pedal' [%] < 50 AND 'G – force resultant max in braking' [G] == 0, stat_max('G – Force resultant' [G], 'G – (smooth('ECU Acceleration Z' [G], 0.200)) > 0, 'G – (smooth('ECU Acceleration Z' [G], 0.200)) < 0), 0) KAAVA 29

Not used grip accleration [G] = choose('G – force resultant max accleration' [G] > 0, 'G – force resultant max accleration' [G] – 'G – Force resultant' [G], 0) KAAVA 30

Kuvassa 39 on esitetty ajoneuvon nopeus, sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyydet ja niiden resultantti, kaasupolkimen asentokuvaaja sekä kaavojen 29 ja 30 kuvaajat. Nopeuskuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa ja kaikkien muiden kuvaajien y-akselilla on ajoneuvon kiihtyvyys suhteutettuna maan vetovoimakiihtyvyyteen, paitsi ajoneuvon kaasupolkimen asentokuvaajan, jonka y-akselilla kaasupolkimen asento prosentteina. Kaikkien kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka metreinä kierroksen alusta.



KUVA 39. Kuljettajan käyttämän kitkan automaattinen analysointi kaarteen ulos-
 tulossa

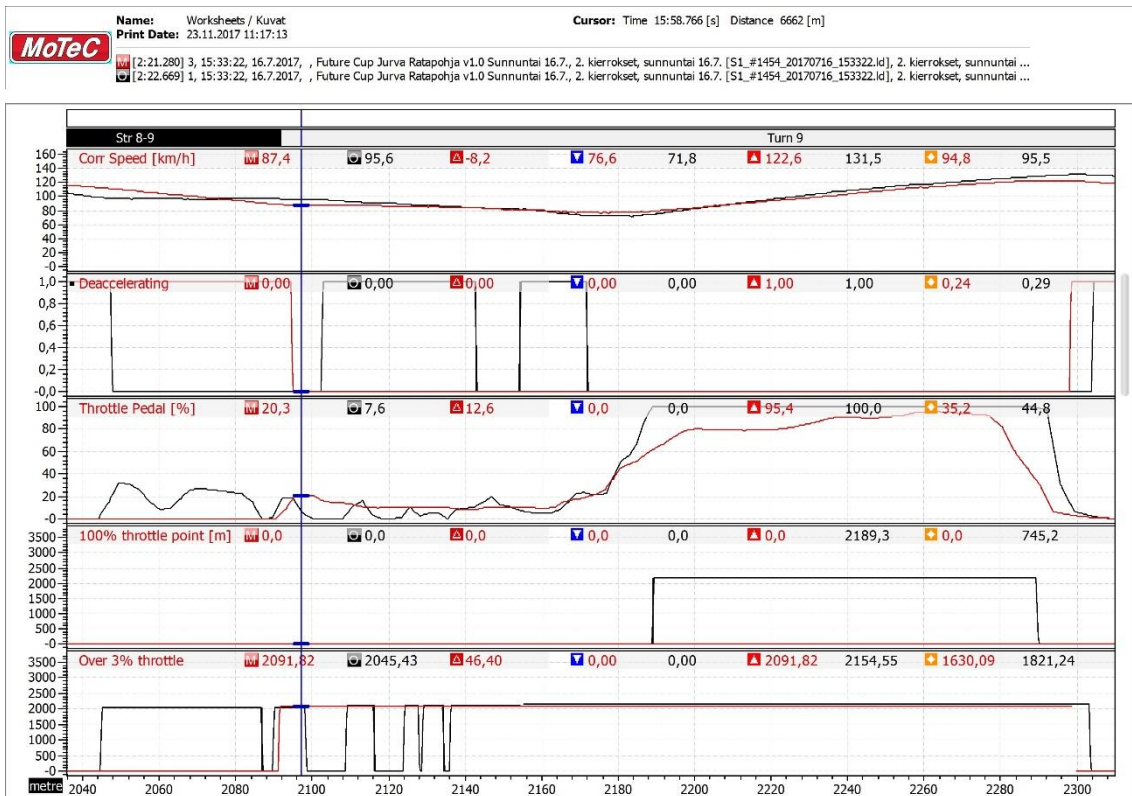
Kuvassa 39 ajoneuvo on kursorin kohdalla kiihdyttämässä ulos oikealle kääntyvästä kaarteesta. Ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien resultantin suurin arvo ulos kiihdytyksen aikana on 1,28 G:tä, joka nähdään toiseksi alimman kuvaajan, joka on nimeltään "G-force resultant max acceleration", arvosta. Alimman kuvaajan arvo kertoo, kuinka paljon on suurimman ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien resultantin arvo juuri sillä hetkellä vallitsevasta resultantin arvosta. Motec i2 Pro -analysointiohjelman kursorin kohdalla tämän kuvaajan arvo on 0,15 G:tä. Ajoneuvon kaasupolkimen asentokuvaajasta voidaan huomata, että kuljettaja ei ole käyttänyt kaasupoljinta pohjassa kursorin vasemmalla puolella. Kuljettaja olisi voinut painaa kursorin vasemmalla puolella kaasupoljinta enemmän, jotta ajoneuvon sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien resultanti olisi ollut kursorin kohdalla 0,15 G:tä suurempi, jolloin ajoneuvo olisi kulkenut suuremmalla nopeudella saavuttaen pienemmän kierrosajan. Kuljettaja on siis teoriassa jättänyt renkaan ja tien välisestä kitkasta osan hyödyntämättä.

Kuljettajan kaarteesta ulos kiihdytyksen automaattisessa analysoinnissa voidaan käyttää hyödyksi sitä pistettä, jolloin kuljettaja alkaa painaa kaasupoljinta. Toinen tärkeä piste kaarteesta ulos kiihdytyksen analysointiin on se piste, milloin kuljettaja on painanut kaasupolkimen pohjaan. Näitä kahta pistettä voidaan käyttää myös kuljettajan ajolinjan analysointiin. Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla sen pisteen etäisyys metreinä lähdöstä, jossa kaasupoljinta on alettu painaa, saadaan kaavalla 31 ja kaavalla 32 saadaan sen pisteen etäisyys metreinä lähdöstä, jolloin kuljettaja on painanut kaasupolkimen pohjaan.

Over 3% throttle [%] = choose('Throttle Pedal' [%] >= 3, stat_start('Corr Lap Dist' [m], 'Throttle Pedal' [%] >= 3, 'Deaccelerating' > 0), 0) KAAVA 31

100% throttle – point [m] = choose('Throttle Pedal' [%] >= 99, stat_start('Corr Lap Dist' [m], 'Throttle Pedal' [%] >= 99, 'Deaccelerating' > 0), 0) KAAVA 32

Kuvassa 40 on esitetty ajoneuvon nopeuskuvaaja, kaasupolkimen asentokuvaaja, deaccelerating-tilasuure sekä kaavojen 31 ja 32 kuvaajat. Kaikkien kuvaajien x-akselilla on ajoneuvon kulkema matka metreinä kierroksen alusta. Nopeuskuvaajan y-akselilla on ajoneuvon nopeus kilometreinä tunnissa ja muiden kuvaajien y-akselilla on ajoneuvon kulkema matka metreinä kierroksen alusta, paitsi kaasupolkimen asentokuvaaja, jonka y-akselilla on ajoneuvon kaasupolkimen asento prosentteina. Deaccelerating-tilasuureen y-akselilla ei ole yksikköä.



KUVA 40. Kuljettajan kaasupolkimen käytön automaattinen analysointi kaarteen ulostulossa

Kuvassa 40 on päällekkäin kahden eri kuljettajan ajama sama kaarre. Toinen kuljettajista on ajanut kaartein tasaisemmin, sillä hänen punaisella värillä olevasta kaasupolkimen asentokuvaajasta voidaan huomata kaasupolkimen asennon muuttuneen rauhallisesti, kun toinen kuljettaja on käyttänyt kaasupoljinta välillä nollassa prosentissa. Koska deaccelerating-tilasuure, joka on mustalla värillä, on ollut nollassa sen matkan ajan, jolloin "over 3% throttle" -kanavan kuvaaja on suurempi kuin nolla, kursorin kohdalla oleva "over 3% throttle" -kanavan arvo, kuljettajalle, jonka kuvaajat ovat väriltään mustia, on sama, kuin kursorin vasemmalla puolella oleva arvo tälle kuljettajalle. Täten voidaan todeta, että toinen kuljettajista on alkanut painaa kaasupoljinta 46,4 metriä aikaisemmin, kuin toinen kuljettaja. "100% throttle point" -kuvaajan arvosta huomataan, että toisen kuljettajan arvo on koko kuvassa 40 näkyvällä osalla 0, joka tarkoittaa, että hän ei ole painanut kaasupoljinta pohjaan koko aikana. Sama voidaan huomata myös kaasupolkimen asentokuvaajasta.

5.5 Kuljettajan tekemät virheet

Kerätystä ajoneuvodatasta voidaan analysoida kuljettajien tekemiä virheitä ilman eri kierrosten tai kuljettajien vertailua. Yleinen kuljettajien tekemä virhe on niin sanottu "cruisailu", jolloin kuljettaja ei paina kaasua eikä jarrua. Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla kuljettajan moottorijarruttaminen eli "cruisailu" voidaan löytää automaattisesti kaavalla 33.

```
Cruising = choose('Braking' == 0 AND 'Throttle Pedal' [%] < 3 AND (stat_end('GPS Time', 'Braking' == 0 AND 'Throttle Pedal' [%] < 3, 'Braking' > 0 OR 'Throttle Pedal' [%] > 3) - stat_start('GPS Time', 'Braking' == 0 AND 'Throttle Pedal' [%] < 3, 'Braking' > 0 OR 'Throttle Pedal' [%] > 3) > 0.3), 1, 0) KAAVA 33
```

Mikäli kuljettaja käyttää oikeaa jalkaansa sekä kaasua että jarrupolkimen käyttöön, tapahtuu tässä tapauksessa aina hieman "cruisailua" johtuen kuljettajan oikean jalan siirtämiseen kaasupolkimelta jarrupolkimelle kuluvan ajan vuoksi. Tämä on otettu kaavassa 33 huomioon siten, että mikäli kuljettajalla kestää yli 0,3 sekuntia siirtää jalkansa kaasupolkimelta jarrupolkimelle, antaa kaava 33 vasta silloin virheen "cruisailusta", jolloin "cruising"-kanava muuttuu arvoon yksi.

Kuljettaja voi myös joissain tilanteissa käyttää niin sanottua vasemman jalan jarrutusta, jolloin hän käyttää kaasupoljinta oikealla jalallaan ja jarrupoljinta vasemalla jalallaan. Nopealla jarrupolkimen painamisella kuljettaja saa aikaan dynaamista painonsiirtoa ajoneuvon etuakselille, joka voi auttaa esimerkiksi aliohjaamisen poistamisessa. Jos kuljettaja kuitenkin painaa sekä jarrua että kaasupoljinta yhtäaikaisesti paljon, luetaan se silloin virheeksi. Tämä voidaan analysoida automaattisesti Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla kaavan 34 avulla, mutta tämä kaava antaa virheen myös silloin, jos kuljettaja käyttää jarrupoljinta yhtä aikaa kaasupolkimen ollessa painettuna esimerkiksi aliohjauksen poistamiseksi. Tämän vuoksi on syytä tarkistaa manuaalisesti syy tälle kaasua ja jarrupolkimen yhtä aikaiselle painamiselle joko tiedonkeruulta tai kysymällä kuljettajalta.

Both pedals = choose('Braking' > 0 AND 'Throttle Position' [%] > 3,1,0)

KAAVA 34

Mikäli kuljettaja ei paina kaasupoljinta kaarteeseen aikana ollenkaan tai jarruttaa ollessaan pitkällä kaarteessa, voidaan se lukea virheeksi. Tämän automaattinen analysointi on siitä hankalaa, koska riippuu hyvin paljon kaarteesta, milloin ollaan liian pitkällä kaarteessa, jolloin jarrutusta ei saa enää tapahtua. Kuljettajan on sen sijaan sallittua jarruttaa kääntäessään kaarteeseen, josta käytetään englanninkielistä termiä "trail braking". Se, onko kuljettaja käyttänyt kaasua ollenkaan kaarteessa, voidaan laskea kaavalla 35. Kaavaan 35 on lisätty sama aikamääre kuljettajan jalan siirtämiselle, mikä on myös kaavassa 33. Mikäli kuljettaja jarruttaa kaarteeseen aikana, saadaan se laskettua kaavalla 36 automaattisesti. Mikäli kaava 36 näyttää, että kuljettaja on jarruttanut kaarteeseen aikana, tulee tarkastaa, onko tässä tapahtunut virhettä vai ei. Tämä voidaan suorittaa tarkastelemalla jarrutuksen sijaintia kaarteessa.

No throttle in corner = choose(('Turning left' > 0 OR 'Turning right' > 0) AND 'Throttle Pedal' [%] == 0 AND 'Braking' == 0 AND (stat_end('GPS Time', 'Braking' == 0 AND 'Throttle Pedal' [%] < 3, 'Braking' > 0 OR 'Throttle Pedal' [%] > 3) – stat_start('GPS Time', 'Braking' == 0 AND 'Throttle Pedal' [%] < 3, 'Braking' > 0 OR 'Throttle Pedal' [%] > 3) > 0.3),1,0) **KAAVA 35**

Braking in turn = choose('Braking' > 0 AND ('Turning left' > 0 OR 'Turning right' > 0),1,0)

KAAVA 36

Mikäli kuljettaja päästää ajoneuvon etujarrupiiriin jarrupaineen pois, eli nostaa jalkansa jarrupolkimelta, ja jatkaa jarrutusta vielä sen jälkeen uudestaan, on kuljettaja tehnyt silloin virheen. Jalan nostaminen jarrupolkimelta voi johtua liian aikaisesta jarrutuspaikasta tai yhden tai useamman renkaan lukkiutumisesta. Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla epä johdonmukainen jarrutus voidaan automaattisesti analysoida kaavalla 37. Kaavassa 37 "inconsistent braking" –kanava

on arvoltaan yksi, kun kahden eri jarrutuksen välissä on kulunut aika maksimissaan 2 sekuntia.

Inconsistent braking =

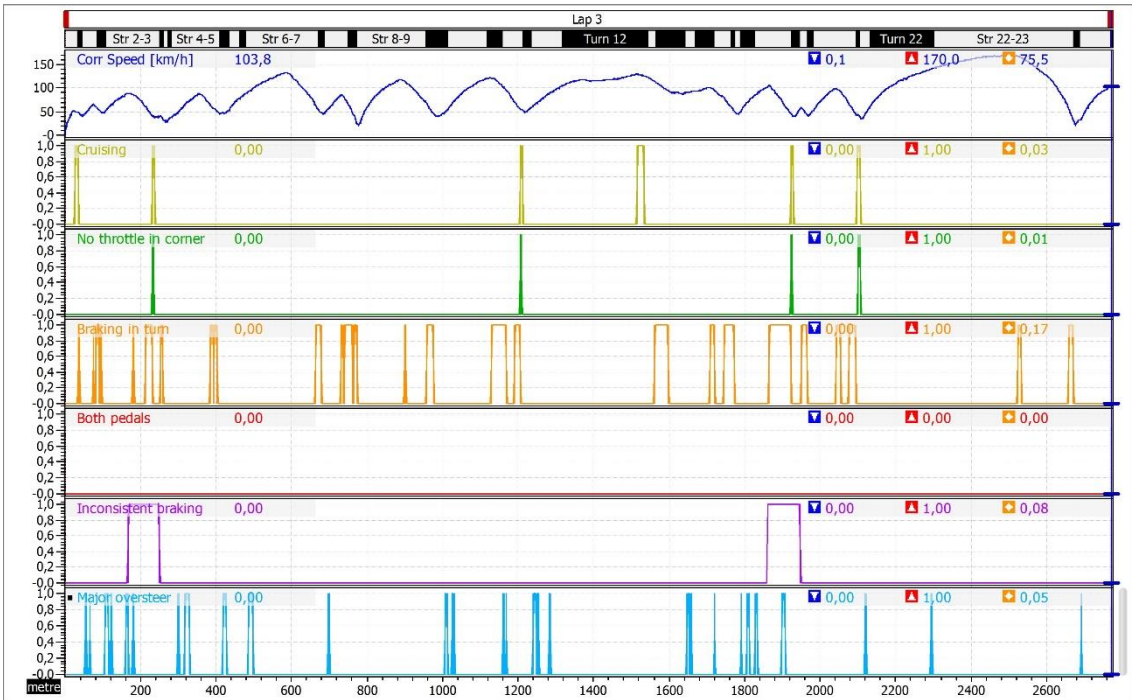
choose((stat_end('GPS Time'[s], smooth('Brake Pressure Front' [bar],25) == 0, smooth('Brake Pressure Front' [bar],25) > 0) – stat_start('GPS Time', smooth('Brake Pressure Front' [bar],25) == 0, smooth('Brake Pressure Front' [bar],25) > 0) <= 2),1,0) KAAVA 37

Aikaisemmin määritettyjen turning left ja turning right tilasuureiden sekä ohjauspyörän asennon avulla on mahdollista määrittää automaattisesti, milloin ajoneuvo on yliohjautunut. Mikäli ajoneuvo kääntyy vasemmalle, mutta ohjauspyörä on ollut suorassa tai kääntyneenä oikealle päin, on ajoneuvo silloin yliohjannut reilusti. Sama pätee myös käänteisesti ajoneuvon kääntyessä oikealle. Tämä voidaan analysoida automaattisesti Motec i2 Pro -analysointiohjelmalla kaavan 38 avulla.

Major oversteer = choose('Turning left' > 0 AND 'Steering Angle' [deg] >= 0 OR 'Turning right' > 0 AND 'Steering Angle' [deg] <= 0,1,0)

KAAVA 38

Kuvassa 41 on kaikki yhden kuljettajan tekemät virheet yhden kierroksen aikana määritettynä kaavoilla 33 - 38. Kaikissa paikoissa, joissa kuljettaja on tehnyt virheen, tulee määrittää syy, miksi näin on käynyt.



KUVA 41. Kuljettajan tekemät virheet yhden kierroksen aikana

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli ajoneuvon kilpajohdettajan ajokäyttäytymisen analysoinnin automatisointi. Moottoriurheilussa kuljettajien käyttäytymistä joko kisassa tai harjoituksissa analysoidaan, jotta kuljettaja voisi suoriutua paremmin seuraavalla kerralla tai ajoneuvoa saadaan säädettyä paremmaksi. Tiedot kuljettajan toimista voidaan kerätä talteen jälkiasenteisella tiedonkeruuyksiköllä. Työn tilaajana oli Oulun ammattikorkeakoulun Ultra-hanke.

Työn tavoitteena oli perehtyä ajoneuvon tiedonkeruujärjestelmien rakenteeseen, selvittää ajoneuvon ja kuljettajan analysointiin soveltuvat menetelmät sekä tuottaa valmiita ja testattuja analysointimalleja, joilla kuljettajan ja ajoneuvon analysointia voidaan tehdä automaattisesti. Työssä perehdyttiin myös tiedonkeräämiseen ajoneuvosta, jossa on käytössä alkuperäiset anturoinnit.

Työssä tutustuttiin yleisimpiin ajoneuvoissa käytettäviin antureihin sekä niiden toimintaan. Myös mittalaitteiden toimintaa ja roolia tiedonkeruujärjestelmissä esitettiin. CAN-väylän toimintaan perehdyttiin, jotta voidaan määrittää, kuinka CAN-väylällä varustettuihin ajoneuvoihin voidaan asentaa tiedonkeruuyksikkö ja käyttää ajoneuvon alkuperäistä anturointia.

Automaattisten analysointimallien tuottaminen aloitettiin perehtymällä, miten kuljettajan analysointia voidaan tehdä manuaalisesti ja mihin asioihin silloin kiinnitetään huomiota analysointia tehtäessä. Työssä huomattiin, että ajoneuvosta tarvittavat tiedot, jotta kuljettajan ja ajoneuvon käyttäytymistä voidaan analysoida, ovat ajoneuvon pitkittäis- ja sivuttaiskiihtyvyydet, kaasupolkimen ja ohjauspyörän asento, ajoneuvon etu- ja takajarrupiirin jarrupaine, ajoneuvon nopeus ja GPS-sijainti. Muita tarpeellisia tietoja, jotta ajoneuvon ja kuljettajan automaattista analysointia voitaisiin kehittää, ovat ajoneuvon jokaisen pyörän pyörintänopeus, ajoneuvon akseliväli sekä etupyörien kääntökulma suhteessa ajoneuvon ohjauspyörään.

Motec i2 Pro -analysointiohjelmaa käytettiin analysointimallien testaamisessa ja tuottamisessa sen vuoksi, koska sitä käytetään kuljettajien ja ajoneuvojen tiedonkeruun tarkastelussa yleisesti. Tällä ohjelmalla on myös helppo tuottaa erilaisia matemaattisia kaavoja ja niiden muokkaaminen jälkikäteen on myös helppoa.

Analyysimalleissa määritettiin ajoneuvolle eri tilasuureet, joiden avulla voidaan nähdä, onko ajoneuvo kiihtyvässä vai hidastuvassa liikkeessä ja käännytäänkö sillä oikealle tai vasemmalle. Kun nämä tilasuureet yhdistettiin ajoneuvolla ajettun rataprofiiliin eri väreillä, saatiin ajoneuvon ja kuljettajan toimista hyvä visuaalinen malli, josta voidaan nähdä nopeasti, miten kuljettaja on toiminut.

Tilasuureiden sisällä tapahtuviin asioihin luotiin automaattisen analysoinnin malleja, joita ovat esimerkiksi kuljettajan jarrutusten tehokkuuden, jarrutuspaikkojen ja -matkojen sekä kaarreajossa käytetyn renkaan ja tienvälisen kitkan hyödyntämisen automaattinen analysointi. Osa näistä malleista voidaan käyttää heti ensimmäisen kierroksen tai ajon perusteella, jolloin sitä voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi ralliautoilussa, jossa samaa kohtaa ei välttämättä ajeta useammin kuin kerran. Osa automaattisen analysoinnin malleista tarvitsee vertailukohdan, jotta voidaan määrittää, onko kyseessä oleva tapahtuma ollut hyvä vai huono. Tällainen vertailun tarvitseva analysointimalli on esimerkiksi jarrutuspaikan sijainti. Yhteensä 34 erilaista automaattisen analysoinnin kaavaa tuotettiin tässä työssä.

Analysointimalleissa käytettävät raja-arvot ovat valittu tutkimalla yhden ajoneuvon ajoneuvodataa, jota on ajanut kaksi eri kuljettajaa. Koska ajoneuvoja on monenlaisia, ei kaikkia raja-arvoja voida välttämättä käyttää suoraan toisen ajoneuvon automaattisen analysointiin niiden mahdollisten eroavaisuuksien vuoksi. Tällainen automaattisessa analysointimallissa oleva raja-arvo on esimerkiksi ajoneuvon ohjauspyörän asentokulma, koska ilman toiseen ajoneuvoon perehtymistä ei voida tietää, kääntyykö toinen ajoneuvo enemmän samalla ohjauspyörän asentokulmalla.

Ajoneuvosta kerätyn ajoneuvodatan tulee olla hyvälaatuista, jotta ajoneuvon automaattinen analysointi näitä malleja käyttäen on mahdollista. Myös ajettavan rataprofiilin mallintaminen täytyy suorittaa hyvin, koska tätä rataprofiilia voitaisiin tulevaisuudessa käyttää mahdollisesti eri analysointimalleissa esimerkiksi eri komentoja tai toimintoja nollaavana arvona. Tällöin voitaisiin mahdollistaa eri analyysien lopettaminen, aloittaminen tai vaihtaminen toiseen analyysimalliin ajoneuvon sijainnin perusteella rataprofiiliin nähden. Myös kallistettujen kaarteiden tai ylä- ja alamäkien vaikutus ajoneuvon sivuttais- tai pitkittäiskiivetyyksiin voitaisiin laskea pois saaden parempia lopputuloksia eri automaattisen analysoinnin malleista.

Tämän työn lopputuloksena saadut analysointimallit eivät ole täysin aukottomia ja niitä täytyy tulevaisuudessa vielä kehittää. Toisaalta tässä työssä saadut automaattisen analysoinnin mallit ovat hyvä pohja, jonka perusteella automaattista kuljettajan ja ajoneuvon analysointia voidaan lähteä kehittämään eteenpäin. Opinnäytetyö oli kiinnostava ja innostava, sillä automaattisia analysointimalleja ei moottoriurheilussa käytetä. Kuljettajan ja ajoneuvon automaattinen analysointi on aiheena laaja, minkä vuoksi työn tuloksia täytyy kehittää tulevaisuudessa paremmiksi.

LÄHTEET

1. Ultra-hanke – Uutta liiketoimintaa innovatiivisista järjestelmätason tuote- ja palveluratkaisuista. Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/fi/tutkimus-ja-kehitys/hankkeet/ultra/>. Hakupäivä 27.7.2017
2. Mitä on tiedonkeruu? National Instruments Corporation. Saatavissa: <http://finland.ni.com/tiedonkeruu/mita-on>. Hakupäivä 13.3.2017.
3. Tranter, A. 1995. Auton sähkövarusteet. Suom. Kari Kuurna. 4. painos. Helsinki: Alfamer/Tarusto Oy.
4. Dietsche, Karl-Heinz – Konrad, Reif 2014. Automotive Handbook. 9. painos. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.
5. Santos, Rodrigo 2014. Data acquisition: 6 reasons to use and the fundamentals you must know. Saatavissa: <http://racingcardynamics.com/data-acquisition-fundamentals/>. Hakupäivä 13.3.2017
6. Juhala, Matti – Lehtinen, Arto – Suominen, Matti – Tammi, Kari 2005, Moottorialan sähköoppi. 8. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
7. Lehtonen, Arto 2015. T330203 Autoelektroniikka 1 3op. Opintojakson oppimateriaali 2015. Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
8. Brown, Christopher 2011. Making Sense of Squiggly Lines. California USA: Christopher Brown Racing.
9. Alanen, Jarmo 2000. CAN – ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä. VTT. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~eero/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet_AlasenMateriaalia.pdf. Hakupäivä 2.4.2017
10. Milliken, William F. – Milliken, Douglas L. 1995. Race car vehicle dynamics. United States of America.

11. Niskanen, Perttu 2015. T331106 Autotekniikka 1 5op. Opintojakson oppimateriaali 2015. Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
12. Pahkinen, Erkki 2007. Ralliajon perusteet – Ajotekniikalla tuloksiin. Helsinki: Alfamer Kustannus Oy.