

Jussi Huhta-Koivisto

Locostin ajodynamiikka ja alustageometria

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Tekniikan yksikkö

Auto- ja työkonetekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan Yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Jussi Huhta-Koivisto

Työn nimi: Locostin ajodynamiikka ja alustageometria

Ohjaaja: Ari Saunamäki

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 44

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän työn tavoitteena on toimia ohjeena ja oppaana Locost-auton rakentamisessa opiskelijoille sekä lajia harrastaville. Työssä on käsitelty auton alustan rakennetta ja sen toimivuutta sekä säätömahdollisuuksia.

Työssä tutkimuksen kohteena käytettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun Auto- ja työkonetekniikan opiskelijoiden rakentamaa Locost-luokan kilpa-ajoneuvoa. Locost-luokan kilpa-ajoneuvoja Suomessa rekisteröi ja seuraa Locost Finland Ry. Säännöt ovat kaikkien nähtävillä ja auton voi rakentaa kuka tahansa. Näin Locost-luokassa päästään sen tavoitteeseen eli se on matalakustanteinen kilpa-autoluokka.

Työ oli ajankohtainen ensimmäisen auton ollessa lähes valmis, sekä uuden auton rakentamisen aloittamisen läheneminen. Näin alustan rakenteen toiminnan ymmärtäminen on tässä vaiheessa ratkaisevaa uutta autoa ajatellen. Myös muut harrastajat voivat saada tästä työstä tarvitsemiaan tietoja auton rakentamiseen.

Työssä alustan rakenteen mallintamiseen käytettiin WinGeo3-ohjelmaa. Ohjelman avulla päästään tutkimaan alustan rakennetta sekä käyttäytymistä eri ajotilanteissa. Tämä ohjelma on kaupallinen, mutta hintaa ohjelman parhaalle versiolle kertyy n. 2000 dollaria joten varsinkin harrastajille se on iso summa.

Avainsanat: Locost, Kilpa-auto, Alustageometria, WinGeo3

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Jussi Huhta-Koivisto

Title of thesis: Locost dynamics and suspension geometry

Supervisor: Ari Saunamäki

Year: 2013

Number of pages: 44

Number of appendices: 0

This thesis is processing the Locost racing car suspension and driving dynamics. The driving dynamics is usually left unprocessed when we talk how the car is behaving at the corners or in the raceway. The type of the car suspension is also one reason how the car behaves. These two sectors are separate but both are effecting each other.

The goal of this thesis is that the reader will understand how these two different sectors are effecting in the Locost racing car. This should help the amateurs and hobbyists when they are building their own cars. The Locost racing car which is used for studying in the thesis is built by the Automotive Engineering students of School of Technology of Seinäjoki University of Applied Sciences. The racing car is part of project studies that students must do.

The thesis was current because the first car is almost complete and building the second car is starting. This is a good reason to familiarize how the suspension works and how it can be changed when building a new car. The program which is used to modelling the suspension is WinGeo3.

Keywords: racing car, suspension, Locost

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
1 Johdanto.....	7
2 Tutkimuksen kohde.....	8
2.1 Locostin juuret.....	8
2.2 Valmisteilla oleva ajoneuvo.....	9
2.3 Alustan rakenne Locostissa.....	10
3 Teoriaa alustan geometriasta.....	11
3.1 Camber-kulma.....	11
3.2 Caster-kulma.....	13
3.3 Aoraus ja haritus.....	14
3.4 KPI.....	16
3.5 Heilahduksen vaimentimet.....	16
3.6 Jouset ja jousijäykkyys.....	18
4 Teoriaa ajodynamiikasta.....	20
4.1 Painopiste.....	20
4.2 Jousitettu ja jousittamaton massa.....	22
4.3 Kallistelu eli kaarrekallistuma.....	22
4.4 Renkaan kuormituksen muuttuminen kaarteessa.....	24
5 Alustan geometria SeAMK:n Locostissa.....	25
5.1 WinGeo3.....	25
5.2 Etugeometria Locostissa.....	25
5.2.1 Caster-kulma ja sen muutos.....	26
5.2.2 Camber-kulma ja sen muutos.....	28
5.2.3 Etugeometria kallistuskeskiö ja sen muutos.....	33
5.3 Takageometria.....	36

5.3.1 Panhard-tangon kiinnityspisteen muutoksen vaikutus jousen liikkeeseen.	37
5.3.2 Panhard-tangon kiinnityspisteen muutos kallistuskeskiön paikkaan.	39
5.4 Kallistuskeskiöt ja kallistusakseli	41
6 Pohdintaa.....	42
LÄHTEET.....	45

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Camber-kulma (Laine 1985, 124).	12
Kuvio 2. Caster-kulma (Laine, 1985, 136).....	13
Kuvio 3. Auras (Mauno 1991, 23).	14
Kuvio 4. Kaartoharitus (Laine 1985, 132).....	15
Kuvio 5. KPI-kulma (Laine 1985, 135).	16
Kuvio 6. Kaksiputkinen heilahduksen vaimennin sisään- ja ulosjoustossa (Mauno 1991, 71).....	17
Kuvio 7. Ajoneuvon painopiste ja painopisteen pitkittäinen akseli (Smith 1978, 29).21	
Kuvio 8. Kallistusakseli ja painopiste (Mauno 1991, 33).	23
Kuvio 9. Etugeometria takaa katsottuna.	26
Kuvio 10. Alkuperäinen Caster-kulma.....	27
Kuvio 11. Caster-kulma siirtämällä ainoastaan yläpalloniveltä.....	27
Kuvio 12. Caster-kulma muuttuu mutta jättämä pysyy vakiona.....	28
Kuvio 13. Camber-kulman muutos käännettäessä.....	29
Kuvio 14. Camber-kulman muutos, kääntöä 10 astetta, kiertoa 3 astetta.	30
Kuvio 15. Staattinen Camber-kulma -2 astetta, kääntökulma 10 ja kiertymä 3 astetta.	31
Kuvio 16. Camber-kulman muutos. Runko kiertyy 3 astetta, pyörät käännettynä 10 astetta, runko liikkuu 10 millimetriä ylös ja alaspäin, Caster-kulma 2,9.....	32
Kuvio 17. Camberin muutos rungon korkeuden muuttuessa maahan nähden. Caster-kulma muutettu 6 asteeseen ja Caster-jättämä 12 millimetriin.	32
Kuvio 18. Kallistuskeskiön pysty- ja vaakasuuntainen muutos ajoneuvon korkeuden pysyessä vakiona maanpintaan nähden.	34
Kuvio 19. Camber -2, Caster vakio, kierto 3 astetta, kääntö 10 astetta, ajokorkeuden muutos 10 millia ylös- ja alaspäin.....	35
Kuvio 20. Caster-kulman muutoksen vaikutus kallistuskeskiön muutokseen kaarreaajossa.	36
Kuvio 21. Takageometria.	37
Kuvio 22. Panhard-tanko alimmassa kiinnityspisteessä.....	38
Kuvio 23. Panhard-tanko ylimmässä kiinnityspisteessä.....	38

Kuvio 24. Kallistuskeskiön muutos suhteessa Panhard-tangon kiinnityspisteen muutokseen.	40
--	----

1 Johdanto

Työssä tullaan käsittelemään ajoneuvon alustageometriaan liittyviä alustan säätöjen ja rakenteiden teoriaa. Osa-alueet on jaettu otsikoilla, mutta ei saa unohtaa että jokainen tässä työssä mainittu asia vaikuttaa myös jollain tavalla, enemmän tai vähemmän, johonkin muuhunkin osa-alueeseen. Toisessa luvussa käsitellään tutkimuksen kohteena oleva ajoneuvo. Kolmannessa luvussa käsitellään alustageometriaan liittyvää teoriaa ja Neljännen luvun aiheena on teoria ajodynamiikasta. Viidennessä luvussa perehdytään tutkimuskohteen alustarakenteen toimivuuteen ja muutoksiin tarkemmin. Viimeisessä kuudennessa luvussa tiivistetään saadut tulokset yhteen sekä pohditaan mahdollisten toimenpiteiden tarve.

Seinäjoen ammattikorkeakoulun Auto- ja Työkonetekniikan opiskelijat ovat rakentaneet Locost-luokan kilpa-autoa syksystä 2010 lähtien. Tässä työssä tullaan keskittymään tekeillä olevan Locost kilpa-auton ajodynamiikkaan ja alustan geometriaan.

Tämän työn on tarkoituksena toimia eräänlaisena oppaana auton säätöjä haettaessa sekä uuden auton rakentamista helpottaen. Työstä on apua myös lajin harrastajille, sillä monella ei riitä aikaa tai osaamista perehtyä tällaisiin asioihin autoa rakennettaessa. Tässä työssä tullaan keskittymään ainoastaan Seinäjoen Ammattikorkeakoulussa rakenteilla olevan Locost luokan kilpa-autoon ja sen alustan rakenteeseen. Auto on rakennettu sääntöjen mukaiseksi alustan osalta, joten tässä työssä ei käsitellä muita kuin sääntöjen mukaisia alustaratkaisuja.

2 Tutkimuksen kohde

Locost on kilpasarja, jossa ajetaan putkirunkoisilla autoilla, joissa tekniikkana käytetään joko moottoripyörän tai auton moottoria. Kilpailuja käydään vuoden aikana neljänä eri viikonloppuna ja jokaisena viikonloppuna ajetaan 2 osakilpailua. Suomessa on tällä hetkellä noin 40 Locost Finland Ry:n rekisteröimää Locost-autoa. Sarjan suosio kasvaa vuosi vuodelta. Sarjan säännöt ovat yhtäläisiä muiden pohjoismaiden vastaaviin sarjoihin, jolloin samalla autolla voi kisata myös Ruotsissa, Norjassa sekä Tanskassa. (Locost Finland Ry 2005.).

2.1 Locostin juuret

Locost-auton juuret juontavat Englannista, jossa autoja on valmistettu sekä radalle että maantielle. Englannissa auton valmistus kotioloissa maksoi 250 puntaa vuonna 1996. Tämä oli erittäin pieni hinta omasta urheiluautosta. Locost-auton rakentamisesta on kirjoitettu kirja, Ron Champion: Build your own sports car for as little as 250£ - and race it. Kirjassa kerrotaan yksiselitteisesti, miten rakentaa Locost-auto. Nykyään kirjan mukaan tehtyä autoa ei saa rakennettua 250 punnalla, vaan rahaa kuluu huomattavasti enemmän, vaikka osia saisikin ilmaiseksi. Suomessa jo pelkkien turvavarusteiden hankkiminen maksaa useita satoja euroja. Suomessa rakennettavien autojen rakennuskustannukset pyörivät 5000-15000 euron välissä.

Suomessa Locostien valmistusta ja kilpasarjaa valvoo Locost Finland Ry. Locost Finland Ry on perustettu vuonna 2005. Sarjan tavoitteena on olla mahdollisimman kustannustehokas kilpasarja, sillä nykyään autourheilun kustannukset ovat nousseet huomattavasti. Kun autot rakennetaan sääntöjen mukaan, on kalusto tasaväkiä ja kustannukset pysyvät alhaisina, jolloin kynnyks aloittaa autourheilu madaltuu. Säännöt määräävät muun muassa auton minimipainon, moottorin viritystasteen, alustan rakenteen ja käytettävät renkaat. Kuka tahansa saa itse rakentaa auton, ja autolla saa kilpailla, mikäli se läpäisee Locost Finland Ry:n katsastuksen. (Locost Finland Ry 2005; Locost Finland Ry 2012.).

2.2 Valmisteilla oleva ajoneuvo

Seinäjoen ammattikorkeakoulussa rakenteilla oleva ajoneuvo on ollut ja tulee olemaan osa monen opiskelijan projektipajaopintoja. Projektipajaopinnot ovat toisella ja kolmannella vuosikurssilla tehtäviä insinöörimäisiä opintoja, joko yrityksille tai kuten tässä tapauksessa Tekniikan yksikön projektin ympärillä. Auton rakentaminen on jaettu pieniin, 1-4 hengen, ryhmiin jotka kukin keskittyvät omalle osa-alueelleen. Osa-alueita ovat mm. moottori, alusta, voimansiirto, katteet, runko ja moottorin ohjaus. Auton rakentamiseen on osallistunut tähän mennessä Auto09-, Auto10- sekä Auto11-vuosikurssilaiset sekä yksittäisiä opiskelijoita myös muun muassa muotoilun, liiketalouden, tietotekniikan, sekä kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmista.

Auto vastaa alustan ja rungon osaltaan täysin Locost Finland Ry:n sääntöjä. Ainoastaan auton moottoreissa on pieniä muunnelmia sääntöihin. Näihin muutostöihin on anottu erillinen lupa Locost Finland Ry:ltä. Bensiinikäyttöisessä moottorissa on säännöistä poiketen säädettävä moottorinohjaus. Tämä on opiskelijakäytössä parempi, sillä näin voidaan analysoida moottoria ja sen toimintaa tarkemmin erilaisissa olosuhteissa ja opetella moottorin säätämistä kilpa-ajoneuvoon. Toisena erikoisuutena on myös etanolilla käyvän moottorin käyttö autossa. Säännöt sallivat ainoastaan bensiinikäyttöiset moottorit, mutta erikoisluvalla autossa saadaan käyttää myös etanolilla toimivaa moottoria.

Auto oli jo alun perinkin tarkoitus rakentaa yhteistyökumppaneiden tukemana ja sponsoroimana siten, että omaa rahaa projektiin käytettäisiin mahdollisimman vähän. Tämä onkin onnistunut melko hyvin, sillä suurin osa tarvittavista osista on saatu lahjoituksena alueen yrityksiltä. Myös rahallista tukea on saatu jonkin verran paikallisilta yrityksiltä ja yhdistyksiltä. Näillä saaduilla rahalahjoituksilla on kustannettu osia muun muassa ulkomailta. Opiskelijat ovat itse etsineet yhteistyökumppaneita tähän projektiin. Opiskelijoille on ollut varattuna (projektipajaopintoihin) viikossa yksi koulupäivä, kahden jakson aikana. Monet ovat kuitenkin tehneet sitä myös omalla vapaa-ajallaan.

2.3 Alustan rakenne Locostissa

Kyseisessä autossa on alustan rakenne määräytynyt sääntöjen mukaan. Edessä on päällekkäiset kolmiotukivarret. Tämä on niin sanottu kaksoisheiluriakselisto. Heilahduksenvaimennuksesta vastaa sääntöjen määräämät joko AVOn tai GAZin valmistamat tuotteet. Jouset ovat vapaavalintaiset. Molemmilta valmistajilta on lisäksi kahta eri heilahduksen vaimentimen mallia. Heilahduksenvaimentimet voi siis valita 4 erilaisesta. Kallistuksen vaimentimen käyttö edessä on sallittua, mutta silloin ajoneuvon massaa lisätään 3 prosentilla. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 687; Locost Finland Ry 2012.)

Takapään tuenta on vieläkin yksinkertaisempi. Takana on päällekkäiset pitkittäis-tuet jäykälle taka-akselille ja Panhard-tuki. Jouset ja heilahduksen vaimentimet ovat myös takana säännöissä määrätyt samojen valmistajien valmistamat kuin edessäkin. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 686; Locost Finland Ry 2012.)

Tässä työssä tullaan keskittymään vain näihin alustarakenteisiin ja ratkaisuihin, jotka ovat sallittuja tässä kilpasarjassa. Tässä työssä käsitellään vain niitä rakenteita ja ratkaisuja, joita tässä rakenteilla olevassa ajoneuvossa on.

3 Teoriaa alustan geometriasta

Ajodynamiikka jätetään yleensä käsittelemättä puhuttaessa ajoneuvon käyttäytymisestä. Käsitteenä se on kuitenkin erittäin laaja. Ajodynamiikkaa on vaikea kiteyttää mihinkään tiettyyn asiaan, mutta parhaiten sitä voisi kuvata voimat ajoneuvon ja ajettavan alustan välillä. Ajodynamiikalla pyritään kuvaamaan autossa vaikuttavia voimia erilaisissa tilanteissa. Voimat voidaan jakaa melko yksinkertaisesti x -, y -, z -koordinaatiston mukaisesti pitkittäisiin, poikittäisiin ja pystysuuntaisiin voimiin, mutta asia ei ole näin yksinkertainen. Ajoneuvossa jokainen rakenteellinen osa tuottaa tietyn voiman. Tämä voima jaettuna komponentteihin on suhteellisen helposti tarkasteltavissa, mutta kun nämä voimat liitetään yhteen, on tarkastelu vaikeampaa. Voidaankin siis todeta että jokainen osa-alue vaikuttaa myös kaikkiin muihin osa-alueisiin jollain tavalla. Tämä tekee ajodynamiikan tarkastelusta haastavaa, sillä pienikin muutos jossain osa-alueessa vaikuttaa toisessa kenties paljonkin. (Tuononen; Koisaari 2010, 56.)

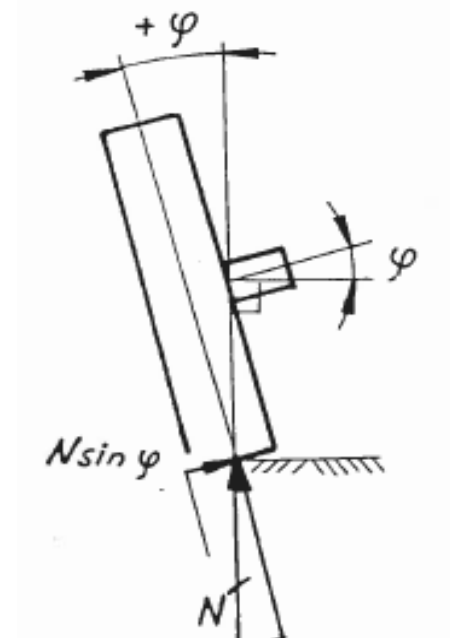
Tässä luvussa käsitellään pyörän kulmiin liittyviä asioita. Kulmalla tarkoitetaan yleensä pyörän pystysuoran ja tien välistä kulmaa katsottuna tietystä suunnasta. Toisaalta myös pyörien välistä kulmaa voidaan tutkia (esim. auras) tai pyörän kulmaa koriin nähden.

3.1 Camber-kulma

Ajoneuvon alustassa Camber-kulmalla tarkoitetaan ajoneuvon renkaan kallistumaa sivuttain, katsottaessa rengasta edestä tai takaa. Camber on kulma, joka ilmaisee renkaan sivuttaiskallistumaa pystysuoraan nähden. Mikäli ajoneuvon samalla akselilla olevat renkaat ovat yläreunoistaan lähempänä toisiaan kuin alareunasta, on Camber tällöin negatiivinen. Mikäli tilanne on päinvastainen, on Camber positiivinen. Camber liittyy olennaisena osana auton suuntavakauteen. Rengashan pyörii eri säteellä sisä- ja ulkoreunassa. Mikäli Camber on negatiivinen, pyörii renkaan sisäreuna pienemmällä säteellä kuin ulkoreuna. Rengas pyrkii kääntymään jatkuvasti sisäänpäin eli sille puolelle jolla on pienempi pyörimissäde. Molempien samalla akselilla olevien renkaiden Camberin tulisi siis olla sama. Muuten auto

puolta eli ohjaus vetää sinne suuntaan missä Camber on positiivisempi. Mutkassa auton käyttäytymisen kannalta määräävämpi pyörä on aina ulompi, sillä siihen kohdistuu suurempi kuormitus. (Mauno 1991, 6-14; Laine 1985, 125.)

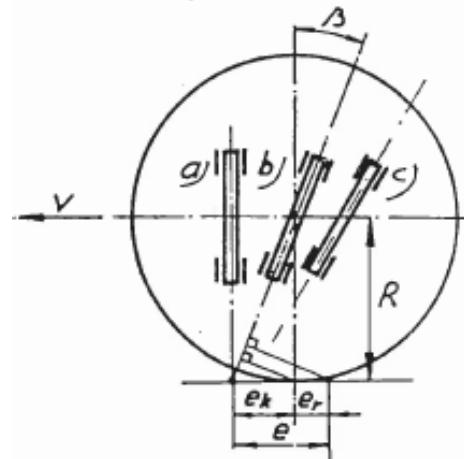
Kilpa-ajoneuvoissa voidaan toisinaan käyttää erisuuruisia Camber-kulmia, mikäli kuljettaja näin haluaa johtuen esimerkiksi rataprofiilista, mutta tämä on erittäin harvinaista. Kuitenkin on huomioitava, että suuri ero kulmissa johtaa suoralla puoltamiseen mikä pahenee nopeuden noustessa. Toinen negatiivinen puoli on renkaiden epätasainen kuluminen. Usein kuitenkin kilpa-ajoneuvoissakin Camber säädetään samaksi molemmille puolille, juuri kahden edellä mainitun seikan vuoksi. Renkaat kuluvat joka tapauksessa enemmän kilpa-ajoneuvoissa kuin normaaleissa henkilöautoissa. Tämä johtuu suuremmista Camber-kulmista. Normaalissa henkilöautossa Camber-kulma on yleensä lähellä nolaa, mutta kilpa-autossa se usein on huomattavan negatiivinen. Negatiivisella Camber-kulmalla haetaan nopeutta kaarteisiin, sillä kaarteeseen ajettaessa ja ajoneuvon alustan joutaessa nousee ulompi rengas positiivisempaan suuntaan. Renkaan maksimaalinen pito saavutetaan lähellä sitä pistettä, jolloin rengas on täysin pystyssä. Näin oikeaa Camber-kulmaa haettaessa on otettava huomioon alustan joustavuus. Camber-kulma on esitetty kuviossa 1. (Mauno 1991, 6-14.)



Kuvio 1. Camber-kulma (Laine 1985, 124).

3.2 Caster-kulma

Caster-kulmalla tarkoitetaan päällekkäisessä kolmiotukituennassa ylä- ja alapallonivelen välille piirretyn viivan kallistumaa sivulta katsottuna. Caster-kulma voi olla joko positiivinen tai negatiivinen. Kulma on positiivinen, mikäli yläpallonivel on alapalloniveltä taaempana. Caster-kulma on tärkeimpiä vaikuttavia tekijöitä ajoneuvon suuntavakauteen. Yksinkertainen esimerkki Caster-kulmasta puhuttaessa on ostoskärryn rengas. Ostoskärryssä renkaat pyrkivät olemaan aina kulkusuun-



Kuvio 2. Caster-kulma (Laine, 1985, 136).

taan koska niiden kiinnitys ja kääntymispiste ei ole suoraan renkaan päällä vaan hiukan sen edellä. Positiivisen Caster-kulman avulla rengas siis pyrkii suoristumaan. Tämä helpottaa ajamista, sillä mutkasta ulos tultaessa ei tarvitse käyttää niin paljon voimaa ajoneuvon renkaiden kääntämiseksi suoraan. Mitä enemmän Caster-kulmaa on, sitä enemmän pyörät pyrkivät kääntymään suoraan. (Mauno 1991, 14-18; Rowley 2011, 6/23.)

Positiivisessa Caster-kulmassa on etuna myös hyvä suuntavakaus suorilla. Haittapuolena positiivisessa Caster-kulmassa on kääntämiseen tarvittava voima. Voiman määrä kasvaa kulman kasvaessa. Negatiivisessa Caster-kulmassa renkaita on taas kevyempi kääntää, mutta auton suuntavakaus suorilla kärsii. Näiden hyviä ominaisuuksia voidaan yhdistellä käyttämällä taaksepäin siirrettyä olkalinjaa, tällöin ylä- ja alapallonivelen välinen suora on taaempana kuin renkaan pyörimiskeskistö (kuviossa 2, vaihtoehto C). Kuviossa 2 vaihtoehto b on yleisin eli olkalinja kulkee pyörän pyörimiskeskistön kautta. (Mauno 1991, 14-18; Rowley 2011, 6/23.)

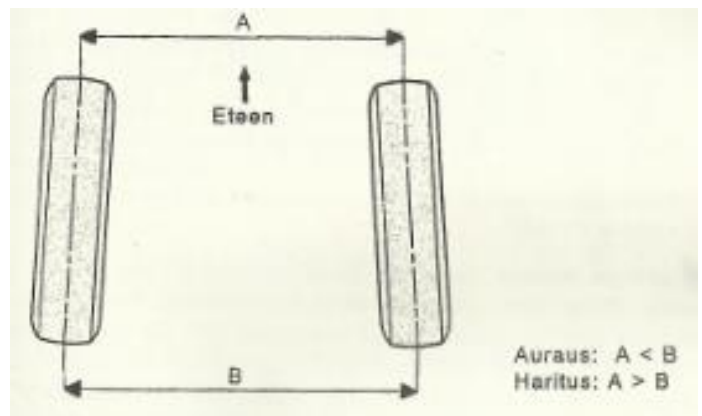
Caster-kulmat voidaan asettaa kilpa-autoissa erisuuruiseksi, mikäli kuljettaja näin haluaa. Tällöin ajoneuvo hakee automaattisesti negatiivisemmän Caster-kulman suuntaan. Mikäli esimerkiksi radassa on enemmän oikealle kääntyviä mutkia, voi-

daan Caster-kulma säätää siten että oikean puoleisessa renkaassa on pienempi eli negatiivisempi kulma kuin vasemmassa renkaassa. Caster-kulma on harvoin säädettävissä erikseen, mutta kilpa-ajoneuvoissa näin usein on. Usein Caster-kulma säätyy samalla Camber-kulmaa säädettäessä, jolloin on tyydyttävä kompromissiin näiden kahden kulman välillä. (Mauno 1991, 14-18.)

On myös syytä muistaa, että mitä suurempi Caster-kulma on sitä enemmän sisempi pyörä ja koko jousitus nousee käännettäessä ylöspäin. Tämä lisää heilahduksen vaimentimiin ja jousiin kohdistuvia voimia. Kilpa-autoilussa on muistettava että kaarrenopeudet ovat varsin suuria jolloin, sisemmän pyörän vaikutus on varsin vähäistä. Caster-kulma vaikuttaakin enemmän vähentäen sortokulmaa ja täten aliohjautuvuutta. (Laine 1985, 137.)

3.3 Auraus ja haritus

Puhuttaessa renkaiden aurauksesta (tai harituksesta) tarkoitetaan sillä samalla akselilla olevien renkaiden etu- ja takareunojen etäisyyttä toisiinsa ylhäältä katsottaessa. Aurauksesta puhutaan, mikäli ajoneuvon renkaat ovat etureunastaan lähempänä toisiaan kuin takareunasta. Harituksesta puhutaan puolestaan, mikäli renkaan taka-



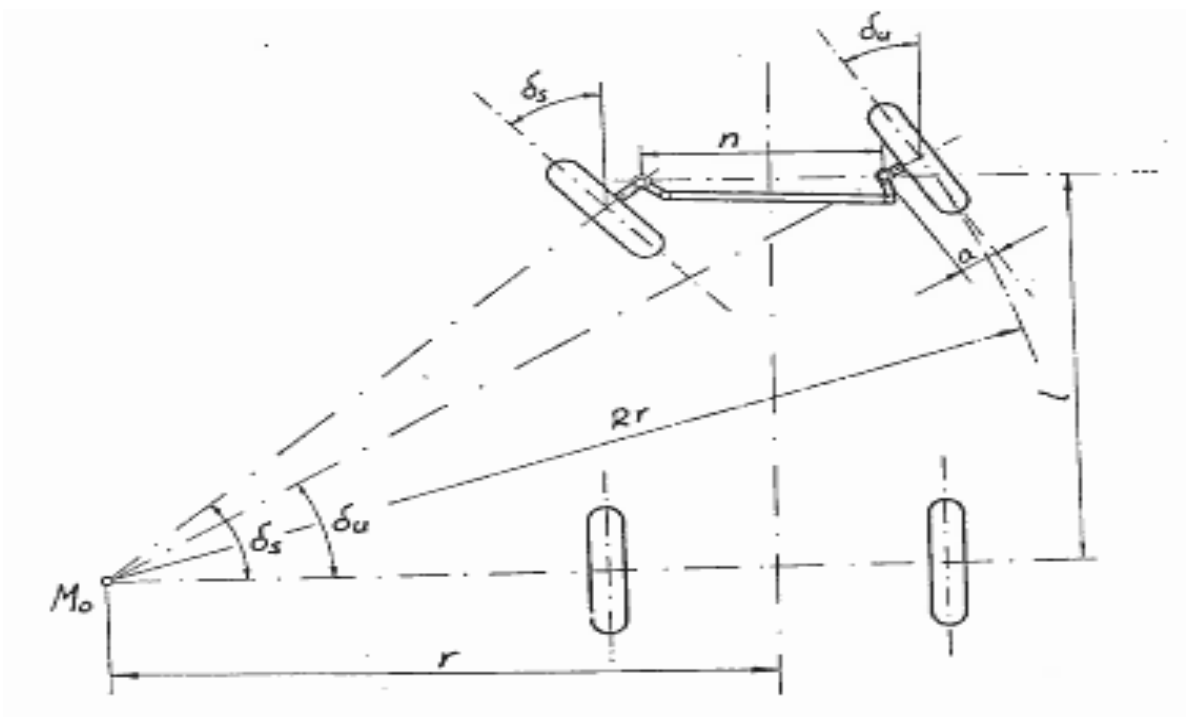
Kuvio 3. Auraus (Mauno 1991, 23).

reunat ovat lähempänä toisiaan kuin etureunat. Asiaa voidaan käsitellä myös siten että verrataan renkaan kulmaa auton pituusakseliin nähden. Auraus ja haritus on nähtävillä selkeästi kuviossa 3. (Mauno 1991, 20-23.)

Aurauksen (tai harituksen) pääasiallinen tarkoitus on kumota vierinvastuksesta, vetovoimasta ja Camber-kulman aiheuttamasta sivuttaisvoimista johtuvaa vaikutusta ajoneuvon alustaan. Aurauksen (tai harituksen) säätöön vaikuttaa olennaisesti myös pyörän kääntövierinsäde eli set off tai olkapoikkeama. Esimerkkinä täs-

tä, mikäli ajoneuvossa on negatiivinen Camber-kulma sekä negatiivinen pyörän kääntövierinsäde, pyrkivät renkaat kääntymään auralaavaan suuntaan. Siksi on säädettävä ohjaukseen haritusta. Lisäksi auton vetotapa vaikuttaa auruksen (tai harituksen) säätöön. Mikäli ajoneuvo on takavetoinen, tulee ohjaukseen säätää haritusta jos ajoneuvossa on negatiivinen renkaan kääntövierinsäde. Tämä johtuu vetämättömiin pyöriin vaikuttavasta vierinvastuksesta, jonka vaikutus pyrkii kääntämään renkaita suurempaan. Pyörän joustoliikkeen aikana kaarteessa auruuskulman muutos ei suinkaan ole merkityksetön, vaan sen merkitys kasvaa. Tässä tilanteessa on aina kuitenkin muistettava, että ulompi pyörä on merkitsevämpi kaarteessa ajettaessa. (Mauno 1991, 20-23; Laine 1985, 125,130.)

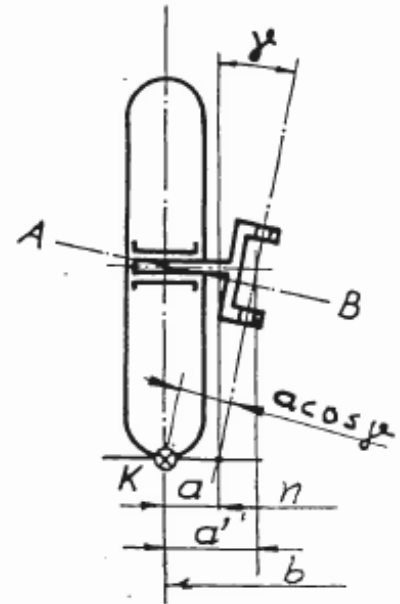
Kaarteessa ajettaessa auraus muuttuu, jolloin sitä kutsutaan kaartoharitukseksi. Tämä tarkoittaa yksinkertaisesti sitä että käännettävät pyörät kääntyvät erisuures- sa kulmassa (kuvio 4). Yleensä tätä kulmaa vertaillaan mittaamalla sisemmän pyörän kääntymää ulomman pyörän kääntyessä 20 astetta. (Laine 1985,132.)



Kuvio 4. Kaartoharitus (Laine 1985, 132).

3.4 KPI

KPI-kulmalla kuvataan päällekkäisessä kolmiotukituennassa ylä- ja alapallonivelen välistä sivukalistumaa edestä tai takaa katsottuna. Mikäli ylä- ja alapallonivelen välille piirtää suoran viivan ja katsoo tätä viivaa auton edestä tai takaa, kuvaa KPI tämän viivan kallistumaa pystysuoraan verrattuna. Kulma on aina positiivinen eli ylempi piste on lähempänä auton koria. (Mauno 1991, 18-20.)



Pyörän kääntövierinsäde (set off) määräytyy KPI-kulman perusteella. Kääntövierinsäde katsotaan kääntöakselin ja maan kosketuspisteen sekä renkaan ja tien välisen kontaktipinnan keskipisteen välistä. Mitä suurempi näiden kahden pisteen ero on, sitä suurempi on pyörän kääntövierinsäde.

Toisin sanoen mitä suurempi kääntösäde on, sitä pienempi on KPI-kulma. Suurempi kääntövierinsäde vaatii enemmän voimaa ajoneuvon ohjaamiseen. Tämä ei myöskään ole hyvä tien epätasaisuuksia ajatellen, sillä epätasaisuudet tuntuvat sitä enemmän mitä suurempi kääntövierinsäde on. Tämä vaikeuttaa varsinkin kilpa-ajoneuvon hallittavuutta suurilla nopeuksilla. Samoin suuri kääntövierinsäde aiheuttaa jarrutuksissa levottomuutta, joka ei kilpaajoneuvossa ole kovinkaan suotavaa. Hyvä jarrutus on tärkeimpiä tekijöitä nopean ajon takaamiseksi. Usein KPI-kulmaksi määräytyy vain se arvo mikä tulee kun

Camber- ja Caster-kulmat on säädetty sopiviksi. Jos auto suunnitellaan alusta loppuun asti, voidaan KPI-kulmaan vaikuttaa mutta merkitys kilpaajoneuvoissa on pienehkö. Kuviossa 5 KPI-kulman ja kääntövierinsäteen määrittäminen. Kuviossa 5 on myös set off (a-mitta). (Mauno 1991, 18-20; Laine 1985, 125.)

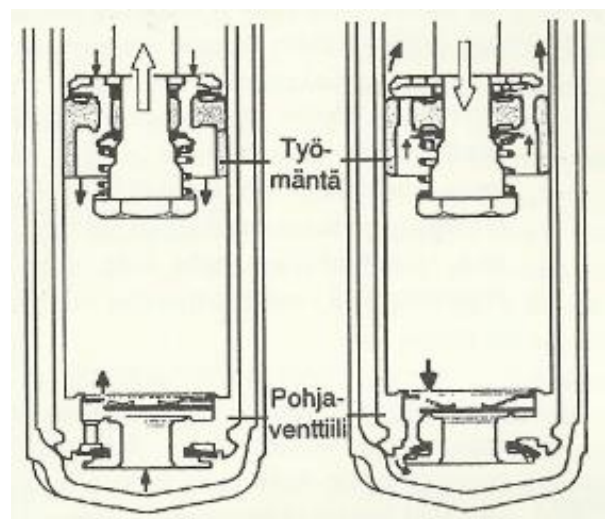
3.5 Heilahduksen vaimentimet

Heilahduksen vaimentimen, josta käytetään myös sanaa iskunvaimennin, tehtävänä on rauhoittaa jousen liike alustan jousaessa. Ilman heilahduksen vaimentimia

ajoneuvo jäisi vaappumaan edes takaisin jousien varaan. Heilahduksen vaimentimen on toimittava molempiin suuntiin eli sisään- ja ulosjoustossa. Vaimennusvoima on tärkeää, sillä mikäli vaimennin on liian jäykkä, tulee sisäänjoustossa teräviä nykäyksiä koriin. Ulosjoustossa taas rengas ei pysy tien pinnassa, jos ulosjoustonopeus on liian hidas. Nämä arvot täytyy mitoittaa oikeiksi, jotta ajoneuvon renkaat seuraisivat tien pintaa mahdollisimman tarkasti. Siviili ajoneuvoissa ulosjouston voima on yleensä suurempi kuin sisäänjouston voima. Kilpa-ajoneuvoissa tilanne on lähempänä tasaa tai jopa päinvastoin eli, että sisäänjouston voima on suurempi kuin ulosjouston. Siviili-ajoneuvoissa heilahduksenvaimentimien voimat ovat tehtaalla asetettu mutta kilpa-ajoneuvoissa voidaan usein säätää heilahduksen vaimentimen voimaa sisään- ja ulosjoustoissa. Näin voidaan hakea jokaiselle kilparadalle oikeat säädöt heilahduksen vaimentimiin. (Mauno 1991, 69-74.)

Heilahduksen vaimentimen toiminta perustuu nesteen tai kaasun virtaukseen ja sen rajoittamiseen. On olemassa pelkkiä nesteellä täytettyjä ja kaasulla sekä nesteellä täytettyjä heilahduksen vaimentimia. Rakenteellisesti heilahduksen vaimentimet ovat joko yksi- tai kaksiputkisia. Yksiputkisessa rakenteessa on vain siis nimensä mukaisesti yksi putki ja mäntä. Männässä on aukot, joissa on virtausventtiilit. Neste (tai kaasu) virtaa toisesta venttiilistä männän päälle ja toisesta sen alle. Venttiileitä vaihtamalla voidaan vaikuttaa vaimentimen tehoon. (Mauno 1991, 69-74.)

Kaksiputkisessa vaimentimessa on sisäkkäin kaksi putkea ja sisemmässä on mäntä. Tämän tyyppisessä vaimentimessa sisäänjoustossa mäntä liikkuu alaspäin, jolloin putkessa tai putkissa oleva neste tai kaasu puristuu sekä männän päälle että vaimentimen pohjassa olevan venttiilin kautta ulompaan putkeen. Ulompi putki ei ole nestettä täynnä, vaan siellä on myös kaasua. Venttiileitä on siis sekä männässä että sisemmän ja ulomman putken välissä.



Kuvio 6. Kaksiputkisen heilahduksen vaimennin sisään- ja ulosjoustossa (Mauno 1991, 71).

Kaksiputkisen vaimentimen edut yksiputkiseen nähden ovat lähinnä vaimentimen tehon kasvaminen ja jäähdytyksen parantuminen neste- tai kaasumäärän kasvaessa. Kaksiputkisen vaimentimeen liittyy kuitenkin ongelma, varsinkin kovassa käytössä, jolloin neste ja kaasu sekoittuvat ja vaimentimen teho alenee. (Mauno 1991, 69-74.)

On myös olemassa yksiputkisia vaimentimia, joissa on sekä nestettä että kaasua. Neste ja kaasu erotetaan toisistaan erillisellä männällä tai kalvolla. Kaasu voi olla joko paineistettua tai ei. Mikäli kaasu on paineistettua, toimii heilahduksen vaimentimen kaasu-osa samalla eräänlaisena jousena. Rata-autoilussa käytetään usein kaksiputkisia vaimentimia niiden laajan säädettävyyden vuoksi. Kuviossa 6 nähdään työmäntä ja pohjaventtiili. Kuviossa on nuolilla osoitettu nesteen/kaasun virtauskanavat. Näitä virtauskanavia voidaan säätää, jolloin heilahduksenvaimentimen ominaisuudet muuttuvat. (Mauno 1991, 69-74.)

3.6 Jouset ja jousijäykkyys

Ajoneuvoissa on oikeastaan enemmän jousia kuin yleisesti ajatellaan. Ajoneuvon renkaan voidaan olettaa olevan myös eräänlainen jousi sillä se joustaa tienpinnan ja ajoneuvon välillä. Varsinainen jousi ajoneuvon korin ja pyöränripustuksen välillä on kuitenkin niin sanottu pääjousi. Jousen tärkeimmäksi tehtäväksi voidaan lukea renkaan pitäminen tien pinnassa. Yleisin käytössä oleva jousityyppi on kierrejousi, jollaiset ovat myös opinnäytetyön käsittelemässä Locostissa. (Mauno 1991, 50, 56-60.)

Jousen jäykkyys valitaan usein jo ajoneuvoa suunniteltaessa. Siviiliajoneuvoissa tämä on tasapainoilua ajomukavuuden ja turvallisuuden välillä. Ajomukavuutta lisää pehmeä jousi, mutta liian pehmeä jousi ei toimi ajoneuvon korin ja tien välillä sillä pehmeää joustaa on vaikea pitää tien pinnassa suurilla nopeuksilla. Jousen jäykkyyttä kuvataan jäykkyyškertoimella, jonka yksikkönä on yleensä N/mm. Jos jousen jäykkyydeksi ilmoitetaan esimerkiksi 50 N/mm, tarvitaan 50 Newtonin voima että jousi muuttaisi pituuttaan yhden millimetrin. Jäykkyyškertoimen osoittamiseen on käytössä myös yhdysvaltalaisien suosima yksikkö lbs/tuuma eli paunaa/tuuma. Esimerkiksi 500 lbs/tuuma on 88 N/mm. Joissain ajoneuvoissa käyte-

tään progressiivisia, jousia joiden jäykkyyserroin kasvaa jousen puristuessa kasaan. (Mauno 1991, 50, 56-60.)

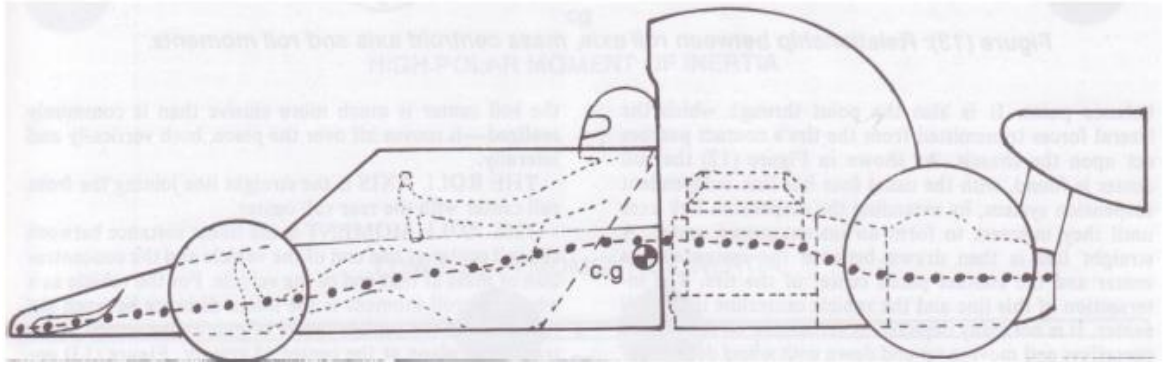
4 Teoriaa ajodynamiikasta

Tässä luvussa käsitellään ajoneuvon dynamiikkaan liittyviä seikkoja. Joihinkin ajoneuvon dynamiikkaan vaikuttaviin tekijöihin on lähes mahdoton vaikuttaa, mutta niiden ja vaikutuksesta ajoneuvon on silti hyvä tietää. Tässä luvussa käsitellään vain joitain ajodynamiikkaan vaikuttavia tekijöitä. Käsiteltävät asiat ovat tärkeitä ajoneuvon käytöksen kannalta.

4.1 Painopiste

Painopisteen merkitys kilpa-ajoneuvoissa on erittäin tärkeä. Painopiste on se piste, mistä tuettuna ajoneuvo pysyy joka suunnassa tasapainotilassa. Painopisteen paikka vaikuttaa suuresti auton käyttäytymiseen kiihdytyksissä, jarrutuksissa ja varsinkin kaarteissa. Painopisteen muutoksella voidaan kaarteissa hallita yli- tai aliohjautuvuutta, sekä kiihdytyksissä ja jarrutuksissa ajoneuvon korin nyökkäystä ja niausta. Painopistettä voidaan tarkkailla pitkittäin ja pystysuuntaisesti (x- ja y-akseli). Pystysuuntaisesti painopisteen tulisi sijaita aina mahdollisimman matalalla. Mitä lähempänä maata ajoneuvon painopiste sijaitsee, sitä vähemmän kori kallistele kaarteissa. Pitkittäin katsoen painopisteen siirrolla voidaan vaikuttaa enemmän akseleiden pitoon. Pitkittäin katsottuna painopisteen oikea paikka riippuu ajoneuvon käyttötarkoituksesta. Kiihtyvyyttä voidaan parantaa siirtämällä painopistettä lähemmäs auton vetäviä pyöriä, mutta esimerkiksi takavetoisessa autossa tämä tarkoittaa että etupää kevenee, jolloin pito eturenkailla vähenee ja mutkissa esiintyy aliohjautuvuutta. (Mauno 1991, 28-30.)

Ajoneuvon painopiste voidaan jakaa useaan pienempään osaan, ja jokaiselle osalle voidaan määrittää oma painopisteensä. Näin saadaan tarkempi kuvaus ajoneuvon painopisteessä eri kohdissa. Näiden pisteiden avulla voidaan ajoneuvolle määrittellä painopisteen pituussuuntainen akseli (Kuvio 7). (Smith 1978, 29.)



Kuvio 7. Ajoneuvon painopiste ja painopisteen pitkittäinen akseli (Smith 1978, 29).

Painopisteen muuttaminen ei ole yksinkertaista. Siviiliajoneuvossa painopisteen muutokseen ei voi juurikaan vaikuttaa. Kilpa-ajoneuvoissa saattavat säännöt rajata tiettyjä, tehokkaimpia painopisteen muuttamiseen vaikuttavia keinoja. Siviiliajoneuvossa oikeastaan korin madaltaminen eli ajoneuvon ajokorkeuden muuttaminen pienemmäksi on ainoa keino madaltaa painopistettä. Pitkittäisesti painopisteeseen voi siviiliajoneuvossa vaikuttaa lähinnä siirtämällä akkua ja muita raskaita komponentteja sopivampaan paikkaan. Kilpa-ajoneuvossa mahdollisuuksia on paljon enemmän. Mikäli ajoneuvo suunnitellaan alusta loppuun asti, voidaan kaikki painavat osat (moottori, vaihteisto) sijoittaa mahdollisimman matalalle. Pitkittäistä painopistettä voidaan myös muuttaa esimerkiksi siirtämällä moottoria joko eteen tai taaksepäin tai sijoittamalla vaihteisto taka-akselin yhteyteen (takavetoinen ajoneuvo). Myös kilpa-ajoneuvossa, kuten siviiliajoneuvoissakin, akun siirtäminen on yksi helpoimmista tavoista, jolla voi vaikuttaa painopisteen muutokseen. Kilpa-ajoneuvoissa voidaan myös sijoittaa esimerkiksi polttoainesäiliö mahdollisimman matalalle, siten että se sijoittuu ajoneuvon pitkittäisakselilla oikeaan kohtaan. (Mauno 1991, 28-30.)

Suuri merkitys painopisteeseen on myös kuljettajalla (ja toisella kuljettajalla). Kuljettajan ja toisen kuljettajan paino voi ajovarusteista ja ruumiinrakenteesta riippuen olla jopa sata kiloa henkilöltä, siksi kuljettajan sekä toisen kuljettajan sijoittamisella ajoneuvon on merkityksensä. Kuljettaja ja toinen kuljettaja olisi saatava istumaan mahdollisimman alhaalla ja keskellä ajoneuvoa. Istumapaikkaan vaikuttaa myös hallintalaitteiden käyttö ja ajoneuvon muoto. Kuljettajan on kuitenkin nähtävä ajoneuvosta esteettömästi ulos, joten istuimen sijoituksessa on otettava huomioon tämäkin seikka. (Mauno 1991, 28-30.)

4.2 Jousitettu ja jousittamaton massa

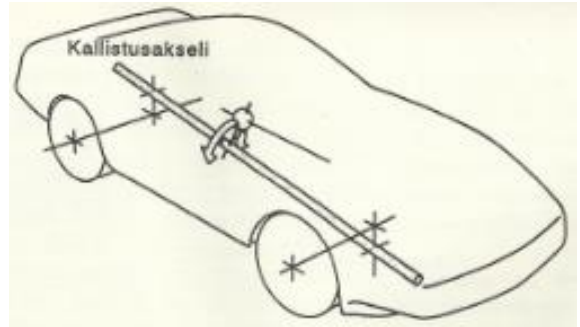
Jousitetulla ja jousittamattomalla massalla on oma vaikutuksensa ajoneuvon käyttäytymiseen. Varsinkin jousittamattoman massan määrä olisi saatava mahdollisimman pieneksi. Jousitetuksi massaksi luetaan kaikki massa, joka sijaitsee josten ja pyöräntuennan päällä eli ajoneuvon kori, moottori, vaihteisto jne. Jousittamattomaksi massaksi luetaan kaikki mikä on ennen jousitusta eli jarrut, renkaat, vanteet. Osittain jousitetuiksi voidaan lukea pyörän tuenta ja jouset sekä heilautuksenvaimentimet, sillä nämä ovat toisesta päästään jousitettuja ja toisesta päästään jousittamattomia. Jousittamaton massa olisikin saatava mahdollisimman pieneksi. Tähän on erittäin vaikea puuttua, mikäli auton säännöt määräävät esimerkiksi vanteet, renkaat ja jarrut. Nämä sijaitsevat ajoneuvon rungosta katsottuna kauimpana ja vaikuttavat jousittamattomaan massaan enemmän suuremman massansa vuoksi. (Mauno 1991, 30-31; Smith 1978, 29.)

Näiden kahden eri massan suhdeluku toisiinsa nähden on ratkaisevaa. Eron olisi oltava mahdollisimman suuri. Mitä suurempi ero jousittamattomalla ja jousitetulla massalla on, sitä paremmin renkaat pysyvät tien pinnassa. Jousitettu massa yrittää kumota jousittamattoman massan liikkeitä. Suhdetta parantamalla eli eroa kasvattamalla voidaan vaikuttaa auton renkaiden tiessä pysymiseen ja samalla korin heilahteluihin. Suhdetta kasvatetaan joko lisäämällä jousitettua massaa tai pienentämällä jousittamatonta massaa. Ristiriitana asiassa on kokonaismassan kasvaminen, mikä pyritään pitämään mahdollisimman matalana. Ainoaksi järkeväksi vaihtoehdoksi jää jousittamattoman massan vähentäminen. (Mauno 1991, 30-31; Smith 1978, 29.)

4.3 Kallistelu eli kaarrekalistuma

Kallistelu kaarteissa on massasta johtuva fysiikan lakeihin perustuva ilmiö. Mitä enemmän kallistelua esiintyy, sitä enemmän siitä on haittaa. Siksi kallistelu on saatava kuriin. Kaarrekalistumiseen voidaan vaikuttaa muuttamalla ajoneuvon painopistettä matalammaksi ja saada ajoneuvon kallistusakselia alemmaksi. Kallistusakseli on se suora, joka on vedetty akseleiden kallistuskeskiöiden väliin. Korin kallistelu kasvaa mitä edempänä kallistusakseli on ajoneuvon painopisteen

alapuolella. Kuviossa 8 on esitetty kallistusakseli ja painopiste. (Mauno 1991, 32-38.)



Kuvio 8. Kallistusakseli ja painopiste (Mauno 1991, 33).

Kallistusakselin määrittäminen on erityäin tärkeä haettaessa ajoneuvoon hyviä ominaisuuksia. Usein kallistuskeskiöt akseleilla eivät ole samalla korkeudella. Jos etukallistuskeskiö on alempana kuin takakallistuskeskiö, pyrkii etupää kallistumaan suurempaan kulmaan kuin takapää. Tätä liikettä kuitenkin vastustaa ajoneuvon kori tai runko. Tämä vaikuttaa kaarrepitoon radikaalisti, mitä enemmän etu- ja takapään kallistuskeskiöt eroavat toisistaan sitä suurempi on niiden eron tuottama momentti. Tämä johtaa takana suurempaan painon siirtymiseen sisemmältä takapyörältä ulommalle ja ajoneuvo pyrkii kääntymään enemmän kuin olisi tarve eli yliohtautumaan. Muita tärkeitä kallistumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat ajoneuvon massan vähentäminen ja varsinkin korin tai rungon jäykkyyden lisääminen yhdessä jousten ja heilahdusten vaimentimien kanssa. Jäykemmät jouset ja iskunvaimentimet takaavat myös etteivät ajoneuvon ulommat jousituksen osat pohjaa mutkassa ja johda pidon äkilliseen romahtamiseen ja ajoneuvon hallinnan menettämiseen. Vastaavasti taas sisemmät jousituksen osat eivät saa ulosjoustossa saavuttaa maksimiaan, muuten käy samoin kuin jousituksen pohjaamisessa ja pito häviää äkillisesti. Jousien ja iskunvaimentimien jäykistäminen ei kuitenkaan aina ole mahdollista tai järkevää. (Mauno 1991, 32-38.)

Kallistusta voidaan rajoittaa myös asentamalla ajoneuvoon kallistuksen vaimennin. Kallistuksenvaimennin on yleensä kiinnitetty päistään alatukivarsiin ja keskeltä ajoneuvon koriin tai runkoon. Tanko pyrkii tasaamaan pyörien liikettä. Kun kaarteissa ulompi pyörä joustaa sisäänpäin, nostaa kallistuksenvaimennin myös sisempää pyörää samaan suuntaan. Kori pyrkii pysymään mahdollisimman suorassa. Tosin sisäkaarten puoleinen pyörä pyrkii pysymään kosketuksissa maahan, jolloin kallistuksenvaimennin välittää samansuuntaisen voiman myös ulkokaarten puoleiselle pyörälle, lisäten sen kosketusvoimaa maan pintaan. Kosketusvoima jakaantuu epätasaisemmin saman akselin pyörien kesken. Kallistuksenvaimenti-

Kallistusta voidaan rajoittaa myös asentamalla ajoneuvoon kallistuksen vaimennin. Kallistuksenvaimennin on yleensä kiinnitetty päistään alatukivarsiin ja keskeltä ajoneuvon koriin tai runkoon. Tanko pyrkii tasaamaan pyörien liikettä. Kun kaarteissa ulompi pyörä joustaa sisäänpäin, nostaa kallistuksenvaimennin myös sisempää pyörää samaan suuntaan. Kori pyrkii pysymään mahdollisimman suorassa. Tosin sisäkaarten puoleinen pyörä pyrkii pysymään kosketuksissa maahan, jolloin kallistuksenvaimennin välittää samansuuntaisen voiman myös ulkokaarten puoleiselle pyörälle, lisäten sen kosketusvoimaa maan pintaan. Kosketusvoima jakaantuu epätasaisemmin saman akselin pyörien kesken. Kallistuksenvaimenti-

men jäykkyydestä riippuu miten lujasti se yrittää vastustaa kallistusliikettä. (Mauno 1991, 32-38.)

4.4 Renkaan kuormituksen muuttuminen kaarteessa

Kaarteessa ajoneuvon ulompiin pyöriin kohdistuu voimia paljon enemmän kuin sisempiin. Tämä johtuu keskipakovoiman vaikutuksesta. Tätä tapahtumaa ei saisi tapahtua sillä pito vähenee tietyn rajan jälkeen huomattavasti. Jyrkissä kaarteissa voi ulommille renkaille kohdistua kaikki sivuttaispitoon vaikuttavat voimat. Seurauksena voi olla sisemmät pyörän tai molempien irtoaminen tien pinnasta. Tämä hidastaa ajoneuvoa kaarteissa pidon vähyyden vuoksi. Parempi vaihtoehto olisi jos kaikki neljä rengasta ottaisivat tien pintaan mahdollisimman kovalla voimalla, että ne voisivat välittää voimia auton ja tien välillä jatkuvasti. (Mauno 1991, 39-41.)

Jos vain ulommat renkaat tuottavat kaiken sivuttaispidon, lisää tämä niiden kulu- tusta huomattavasti. Kilparadoilla on harvoin yhtä monta mutkaa molempiin suun- tiin. Siksi toisen puolen renkaat voivat kulua jopa huomattavasti enemmän. Ren- kaiden kuormitus vaikuttaa myös muun muassa renkaan lämpötilaan ja sitä kautta renkaan ilmanpaineeseen. Jos ilmanpaine renkaassa muuttuu paljon voi se aihe- uttaa esimerkiksi epävakautta suorilla ajettaessa. Tähän asiaan voidaan vaikuttaa parhaiten korin kallistelun vähentämällä. On syytä kuitenkin muistaa että kallis- tuksenvaimennin lisää ulomman pyörän kuormitusta kaarteessa vaikka sen tehtä- vä on vähentää korin kallistelua. Siksi kallistuksen vaimennin ei ole paras mahdol- linen vaihtoehto kilpa-auton kallistelun vähentämiseen. Siviili liikenteeseen tarkoite- tussa ajoneuvossa kallistuksen vaimennin toimii paremmin, sillä välitettävät voimat ovat pienempiä. (Mauno 1991, 39-41.)

5 Alustan geometria SeAMK:n Locostissa

Ajoneuvon alusta on rakennettu sääntöjen mukaan ja kukin opiskelijaryhmä on työstänyt omaa osa-alueitaan parhaaksi näkemällään tavalla. Ajoneuvon alustan geometrian tutkimiseen käytettiin apuna WinGeo3-alustaohjelmaa, johon tehtiin tarkat jäljennökset valmisteilla olevasta ajoneuvosta. Saatujen kuvien avulla tarkastellaan alustan toimintaa tarkemmin. Ohjelmaan syötettyjen mittojen arvot otettiin kolmesta eri paikasta: säännöistä, Ron Championin (2000, 63-84) kirjasta sekä mittaamalla suoraan valmisteilla olevasta ajoneuvosta. Auto on kuitenkin käsin tehty joten nämä mitat pätevät vain tähän ajoneuvoon. Ohjelmassa mitat annetaan kolmella akselilla x,y,z . Ajoneuvon mitat otettiin vasemmalta puolelta ja kopioitiin siitä oikealle puolelle.

5.1 WinGeo3.

WinGeo3-ohjelma on tarkoitettu varsinkin kilpa-ajoneuvojen alustan tarkasteluun ja suunnitteluun. Ohjelmasta saa (versiosta riippuen) ulos tietoa, jota voi hyödyntää ajoneuvon paremman hallittavuuden ja nopeuden nostamiseksi radalla. Ohjelman on luonut amerikkalainen Bill Mitchell. Hän on matemaatikko, joka on kiinnostunut kilpa-autoilusta. Kun IBM toi markkinoille kotitietokoneen, päätti Mitchell tehdä sen avulla ohjelman, jolla voisi laskea Camber-kulmia. Ensimmäisen ohjelma on myyty vuonna 1985. (Mitchell [29.3.2013].)

Ohjelman ulkoasu on nykyään vallitsevien tarkkaresoluutioisten näyttöjen aikakaudella karkea, mutta myös selkeyttää ohjelman käyttöä sekä tekee ohjelmasta nopean. Ohjelma suorittaa useita laskutoimituksia sekunnin murto-osassa, joten se säästää valtavasti aikaa ja vaivaa.

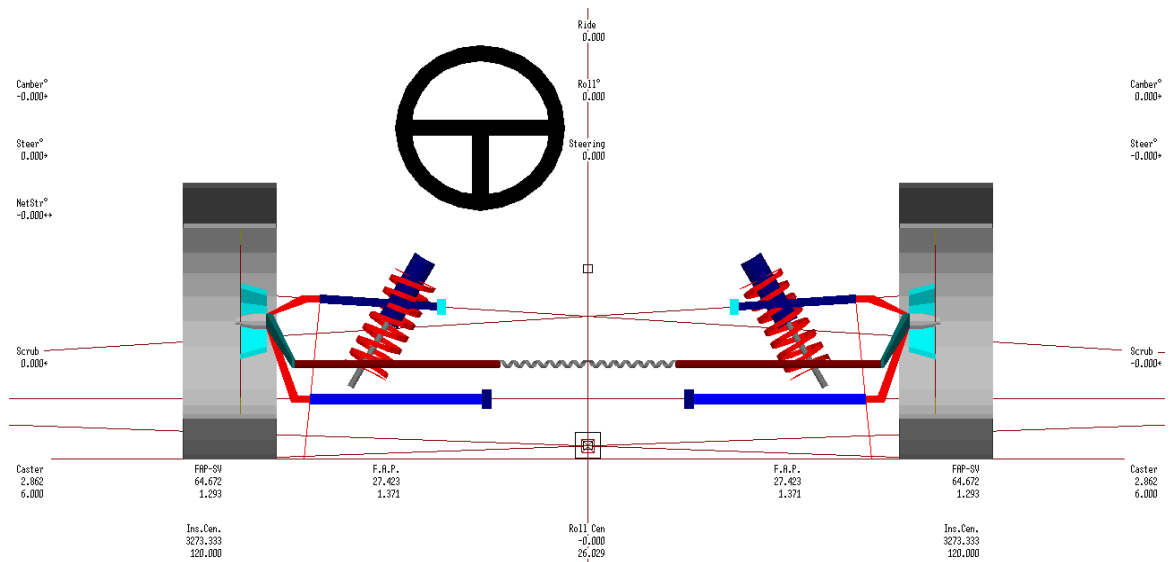
5.2 Etugeometria Locostissa.

Etuakseliston geometriaa piirtäessä aloitettiin mittojen syöttäminen ensiksi tukivarvien sisemmistä kiinnityspisteistä. Nämä pisteet on laskettu Championin kirjan (2000, 63-84) sekä Locost Finland Ry:n sääntöjen mukaisista mitoista. Mitoituk-

sessä on käytetty aina kyseisen nivelen keskikohtaa. Sisempien kiinnityspisteiden määrittämisen jälkeen mitoitettiin ylä- ja alapallonnivelet oikeille paikoilleen.

Tukivarsien mitoituksen jälkeen lisättiin alustaan heilahduksen vaimentimet sekä jouset oikeisiin kohtiin. Jousien jäykkyys on näissä mittauksissa 350 lbs/tuuma. Myös raidevälin sekä renkaan mitat muutettiin vastaamaan valmisteilla olevaa ajoneuvoa.

Viimeisenä mitoitettiin piirustukseen ohjauksen osat. Hammastangon paikka sekä raidetankojen mitat tuli mitoittaa tarkasti, sillä niissä muutoksia tapahtuu ajon aikana paljon. Etugeometrian mallinnos on kuviossa 9.



Kuvio 9. Etugeometria takaa katsottuna.

5.2.1 Caster-kulma ja sen muutos.

Kaikkien mittojen ollessa ohjelmassa voidaan geometriaa tarkastella tarkemmin. Kuvio 10 nähdään että kirjan mitoilla tehdyillä tukivarsilla Caster-kulma jää varsin pieneksi. Caster-kulma on vain 2,9 astetta, joka olisi varsin normaali vanhemmassa siviilihenkilöautossa, mutta kilpakäytössä suurempi kulma olisi parempi paremman suuntavakauden saavuttamiseksi suorilla. Kilpa-ajoneuvon nopeudet ovat yleensä paljon suurempia suorilla kuin normaalin henkilöauton, joten suuntavakaus on syytä olla hyvä, jotta auton nopeudesta voidaan hyödyntää kaikki. Jos ajoneuvo ei suoralla kulje luonnostaan suoraan, on sen ajaminen työläästä ja nope-

utta on laskettava auton radalla pitämiseksi. Henkilöautoissa on ohjaustehostimet, jotka keventävät ohjausta, jolloin Caster-kulma voi olla suurempi ja ohjaus silti kevyt. Kilpa-ajoneuvoissa tehostimia on harvoin sillä se lisää painoa ja vähentää ohjauksen tunnokkuutta. Sen vuoksi Caster-kulman muutoksen kanssa on syytä olla varovainen, ettei ohjauksesta tule liian raskasta. Henkilöautoissa normaalisti käytetyt Caster-kulmat ovat 2 ja 6 asteen väliltä. On olemassa myös poikkeuksia joissa on käytetty yli 10 asteen Caster-kulmaa. (Mauno 1991, 16.)

Both sides	Chassis coords	X fore-aft	Y width	Z vertical	Check distance	Kingpin axis	5.711 deg3275.532 original
Lower A-arm forward	A	-153.500	210.000	120.000	A to B= 373.045	Scrub radius	148.000
Lower ball joint	B	0.000	550.000	120.000	C to B= 373.045	Caster	2.862 degrees
Lower A-arm rearward	C	153.500	210.000	120.000	A to C= 307.000	Caster trail	6.000
Upper A-arm forward	D	-102.000	298.000	305.000	D to E= 258.056	Caster angle	2.862 2.862 original
Upper ball joint	E	10.000	530.000	320.000	F to E= 243.977	Caster trail	6.000 6.000 original
Upper A-arm rearward	F	84.000	298.000	305.000	D to F= 186.000	Implement	Cancel

Kuvio 10. Alkuperäinen Caster-kulma.

Caster-kulman olisi syytä olla paljon suurempi, sillä ajoneuvossa on käytössä Legends-luokan autoissa käytetty lyhyt ja nopeavälityksinen hammastanko. Tämä vaikuttaa suurelta osaltaan auton käyttäytymiseen suorilla, sillä pienikin ohjausliike kääntää pyöriä suhteellisen paljon, jos verrataan esimerkiksi henkilöauton ohjaukseen joka ei ole niin nopeavälityksinen. Paremman suuntavakauden saavuttamiseksi Caster-kulmaa voisi kasvattaa 5 – 7 asteen välille. Tämä kasvattaa pyörien kääntämiseen tarvittavaa voimaa, mutta mielestäni suuntavakavuus on tärkeämpi ajo-ominaisuuksien kannalta kuin kevyt ohjaus. Kuuden (6) asteen Caster-kulma vaatisi yläpallonivelen siirtoa 11 millimetriä taaksepäin (kuvio 11).

Both sides	Chassis coords	X fore-aft	Y width	Z vertical	Check distance	Kingpin axis	5.711 deg3275.532 original
Lower A-arm forward	A	-153.500	210.000	120.000	A to B= 373.045	Scrub radius	148.000
Lower ball joint	B	0.000	550.000	120.000	C to B= 373.045	Caster	6.012 degrees
Lower A-arm rearward	C	153.500	210.000	120.000	A to C= 307.000	Caster trail	12.637
Upper A-arm forward	D	-102.000	298.000	305.000	D to E= 263.046	Caster angle	6.000 2.862 original
Upper ball joint	E	21.062	530.000	320.000	F to E= 240.853	Caster trail	12.637 6.000 original
Upper A-arm rearward	F	84.000	298.000	305.000	D to F= 186.000	Implement	Cancel

Kuvio 11. Caster-kulma siirtämällä ainoastaan yläpalloniveltä.

Caster-jättämä kasvaa tässä tapauksessa 12,6 millimetriin. On parempi, jos alapalloniveltä voitaisiin siirtää taaksepäin. Caster-kulma kasvaisi haluttuun 6 asteen

seen, mutta silti Caster-jättämä jäisi pienemmäksi. Kallistetuissa kaarteissa ja huonossa kelissä ilmenevät ohjaukseen vaikuttavat häiriötekijät jäisivät vähemmälle. Ohjaus ei myöskään muuttuisi niin raskaaksi, kuin jos muutetaan pelkästään yläpallonivelen paikkaa. Alkuperäisessä Caster-jättämä on 6 millimetriä, joten jos halutaan pitää jättämä 6 millimetrissä, mutta kasvattaa Caster-kulman 6 asteeseen tulee pallonivelten paikkaa siirtää 6,6 millimetriä taaksepäin alkuperäisestä paikastaan ja yläpalloniveltä 17,6 millimetriä taaksepäin alkuperäisestä paikastaan (kuvio 12). Alapallonivelen paikan vaihtaminen vaatisi kuitenkin pyörän navan vaihdon.

Both sides	Chassis coords	X fore-aft	Y width	Z vertical	Check distance	Kingpin axis	5.711 deg3275.532 original
Lower A-arm forward	A	-153.500	210.000	120.000	A to B= 375.814	Scrub radius	148.000
Lower ball joint	B	6.612	550.000	120.000	C to B= 370.373	Caster	6.000 degrees
Lower A-arm rearward	C	153.500	210.000	120.000	A to C= 307.000	Caster trail	6.000
Upper A-arm forward	D	-102.000	298.000	305.000	D to E= 266.183	Caster angle	6.000 2.862 original
Upper ball joint	E	27.632	530.000	320.000	F to E= 239.220	Caster trail	6.000 6.000 original
Upper A-arm rearward	F	84.000	298.000	305.000	D to F= 186.000	Implement	Cancel

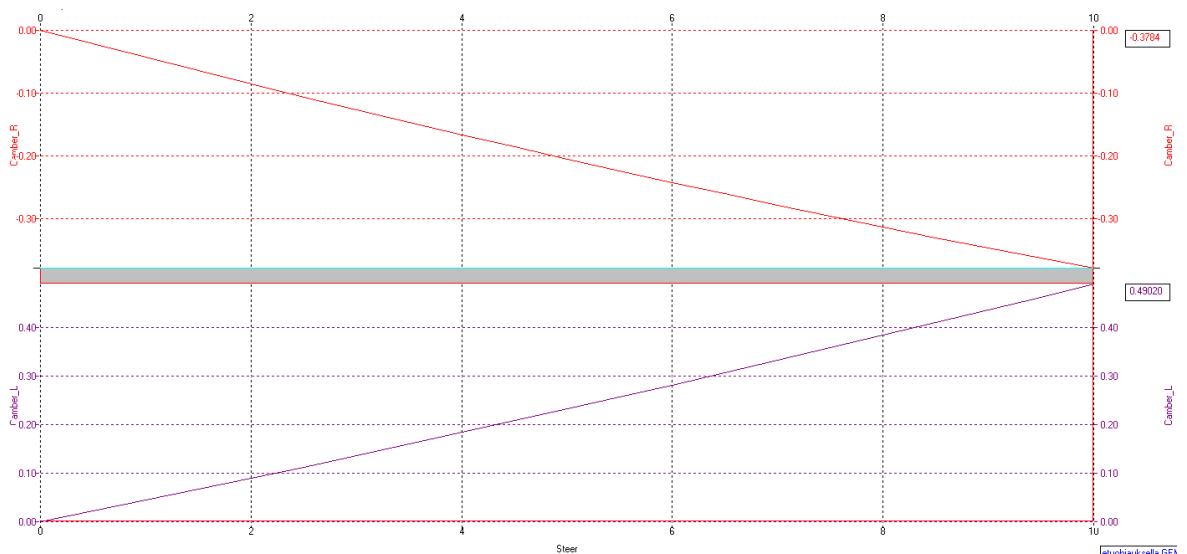
Kuvio 12. Caster-kulma muuttuu mutta jättämä pysyy vakiona.

5.2.2 Camber-kulma ja sen muutos.

Camber-kulma on tällä hetkellä rakenteilla olevassa ajoneuvossa 0 astetta, sillä säätöjä ei ole vielä voitu tehdä. Lähtökohtana Camber-kulmalle tulisi kilpa-autossa olla, että kaarteessa ulompi pyörä on Camber-kulmassa 0 astetta kun kuormitus pyörälle on maksimaalinen. Renkaasta riippuen voi paras Camber-kulma kaarteessa olla kuitenkin jopa hiukan negatiivisen puolella. Tätä on tutkittava erikseen, sillä erilaisilla renkailla on eri ominaisuutensa. Ulomman renkaan tulisi koskettaa maata koko alaltaan, antaen näin kaiken mahdollisen sivuttaispito-ominaisuutensa käyttöön. Varmuuden vuoksi Camber-kulma kannattaa säätää siten että ulomman pyörän Camber-kulma ei muutu missään tilanteessa positiiviseksi. Siksi Camber-kulma on muutettava jokaiselle kilpa-radalleen erikseen ja huomioitava kaarre jossa kori kallistaa eniten.

Camber-kulmaa voidaan tutkia myös WinGeo3-ohjelman avulla. Ohjelmalla pystytään simuloimaan alustan käyttäytymistä käännettäessä, ajettaessa kuoppaan tai töyssyyn ja kallistettaessa koria tietty määrä. Näin voidaan tutkia Camber-kulman muutosta eri ajotilanteissa.

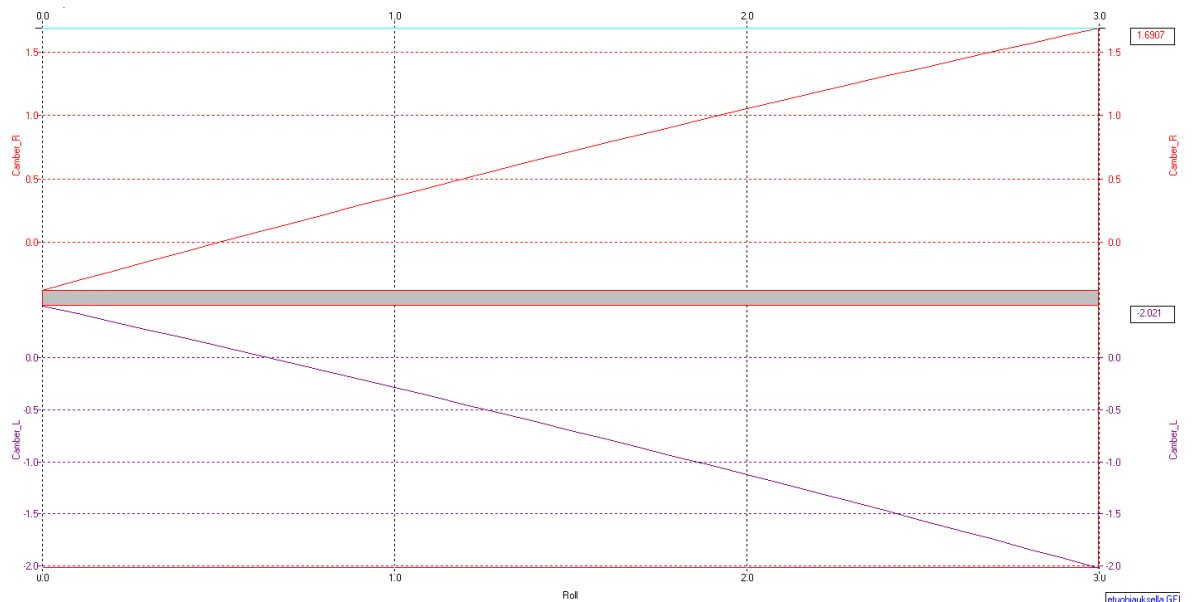
Kuviosta 9 voidaan lukea, että ajoneuvo on tällä hetkellä perustilassaan, Camber-kulma on 0 astetta. Käännettäessä pyöriä 10 astetta on niiden todellinen kääntymä hiukan pienempi. Myös Camber-kulma muuttuu vähän pelkästään käännettäessä. Tässä tilanteessa ei kori nyökkää, vaan ainoastaan pyörien kääntämisestä vaikuttavat voimat saavat aikaan tämän tilanteen (kuvio 13). Camber-kulma muuttuu vasemmalle käännettäessä siten että sisemmän pyörän Camber muuttuu 0 asteesta 0,5 asteeseen ja ulomman pyörän Camber 0 asteesta -0,4 asteeseen. Näin voidaan yksinkertaisesti todeta pyörien Camber-muutokset käännettäessä.



Kuvio 13. Camber-kulman muutos käännettäessä.

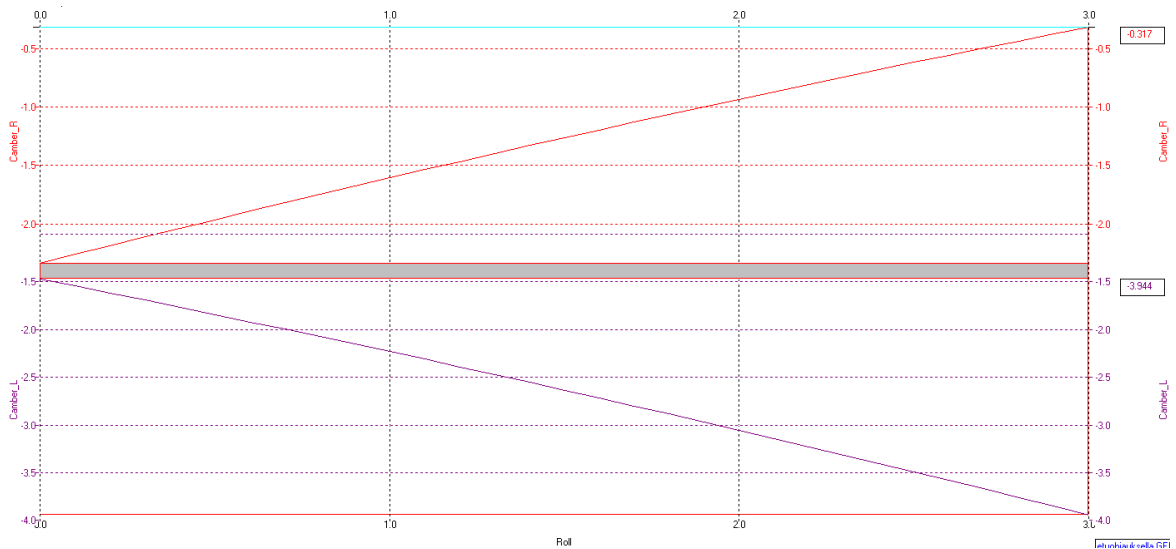
Kuitenkin kaarteeseen/kaarteessa ajettaessa kori tai runko pyrkii kiertymään. Camber-kulman muutos on oikeasti paljon suurempi kaarteessa ja juuri päinvas-tainen äskeiseen tilanteeseen verrattuna. Kun pidetään kääntökulma samana, mutta kierretään koria 3 astetta oikealle, voidaan todeta että sisemmän pyörän Camber-kulma muuttuu negatiiviseksi ja ulomman pyörän positiiviseksi. Mitä enemmän painonsiirtoa/ korin kallistumaa tapahtuu, sitä enemmän Camber-kulma muuttuu. Esimerkissä käytetään 3 astetta kiertymälle sillä, Locostin jousitus on suhteellisen pehmeä. Lisäksi rakenteilla olevassa Locostissa on auton moottori, joka on suhteellisen painava verrattuna esimerkiksi moottoripyörän moottoriin, jota tässä sarjassa ovat myös sallittuja. Rakenteilla olevassa ajoneuvossa on painon siirtymä kaarteissa suurempaa. Kuviosta 14 voidaan lukea Camber-kulman

muutos korin kiertyessä 3 astetta ja pyörien asennon ollessa 10 astetta kääntyneenä.



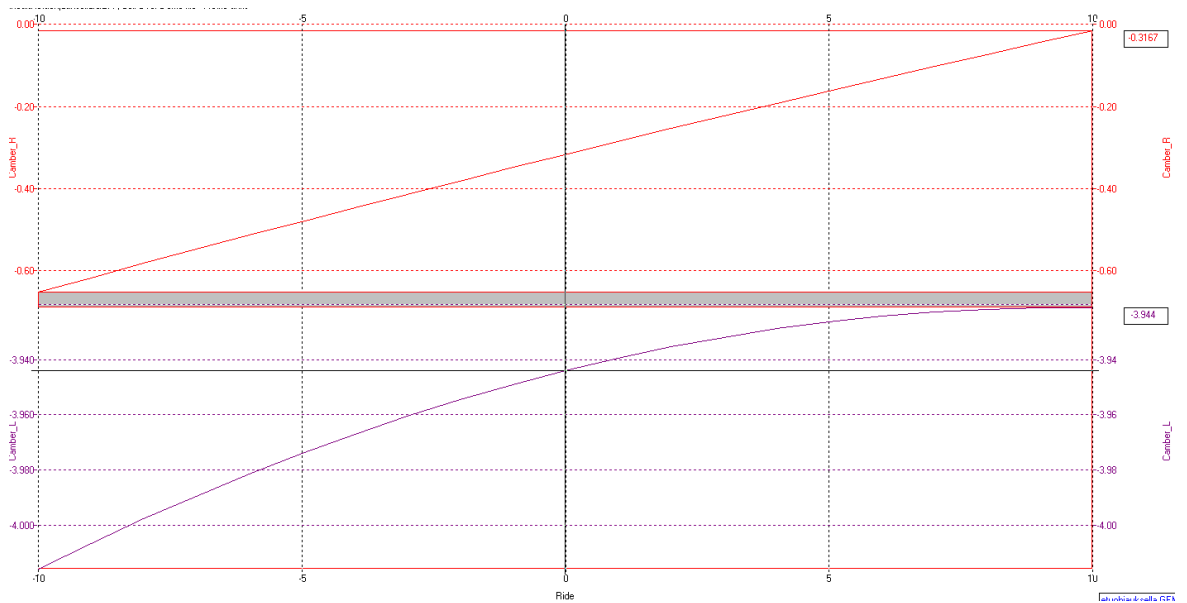
Kuvio 14. Camber-kulman muutos, kääntöä 10 astetta, kiertoa 3 astetta.

Alkuperäisen tilanteen staattista Camber-kulmaa voidaan muuttaa ja todeta tarvittavan kulman suuruus tähän ajoneuvoon. Ainakin lähtökohtana haettaessa ajoneuvon alustan säätöjä, voidaan käyttää saatuja arvoja. Kuvasta voidaan todeta, että mikäli korin kiertymä vastaa todellisuutta, on staattisen Camber-kulman oltava -2 astetta. Kaarteessa ulomman pyörän Camber-kulma on -0.3 astetta korin kiertymällä 3 astetta ja käännettäessä pyöriä 10 astetta. Tämä toteuttaisi hyvin teoriaa jolloin ulomman pyörän Camber-kulma kaarteessa olisi lähellä 0 astetta tai hiukan negatiivinen (kuvio 15). Tämä tilanne pätee kuitenkin vain, jos runko ei liiku ylös- tai alaspäin maanpintaan nähden eli jos kaarre ajetaan vakionopeudella.



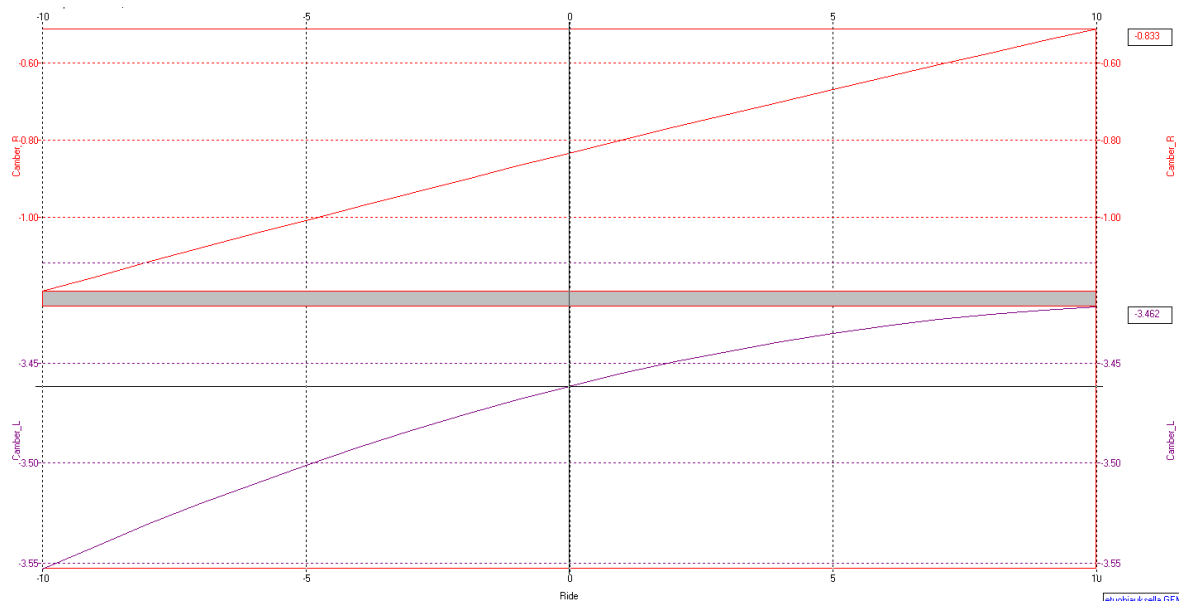
Kuvio 15. Staattinen Camber-kulma -2 astetta, kääntökulma 10 ja kiertymä 3 astetta.

Kaarteeseen ajettaessa usein kuitenkin jarrutetaan tai kiihdytetään samanaikaisesti. Siksi on myös syytä tutkia Camber-kulman muutosta, mikäli ajoneuvon runko liikkuu kaarteessa ylös- tai alaspäin. Kuviossa 16 nähdään Camber-kulman muutos rungon liikkua 10 millimetriä alas ja ylöspäin maanpintaan nähden. Kuvioista voidaan tulkita sisemmän ja ulomman pyörän Camber-kulman muutoksen erilaisuus. Sisemmän pyörän Camber-kulma muutuskäyrä on paraabeli ja vastaavasti ulomman pyörän lineaarinen. Sisemmän pyörän Camber-kulman muutos pysyy varsin maltillisena, mutta ulommassa pyörässä tapahtuu enemmän muutoksia. Sisäänjoustossa eli rungon liikkua lähemmäs maan pintaa muuttuu ulomman pyörän Camber-kulma negatiivisemmäksi ja vastaavasti ulosjoustossa positiivisemmäksi. Muutos on lähes 0,3 astetta suuntaansa.



Kuvio 16. Camber-kulman muutos. Runko kiertyy 3 astetta, pyörät käännettynä 10 astetta, runko liikkuu 10 millimetriä ylös ja alaspäin, Caster-kulma 2,9.

Camber-kulman muutoksen suuruus tällaisessa tilanteessa muuttuu negatiivisempaan suuntaan, mikäli Caster-kulmaa kasvatetaan. Jo aiemmin todettiin että 6 asteen Caster-kulma voisi olla parempi tälle ajoneuvolle. Kuvioista 17 voidaan päätellä Caster-kulman vaikutus Camber-kulman muutokseen. Kuviossa 17 on käytetty muutoin samoja mitta-arvoja kuin kuviossa 16, mutta Caster-kulmaa kasvatettiin.



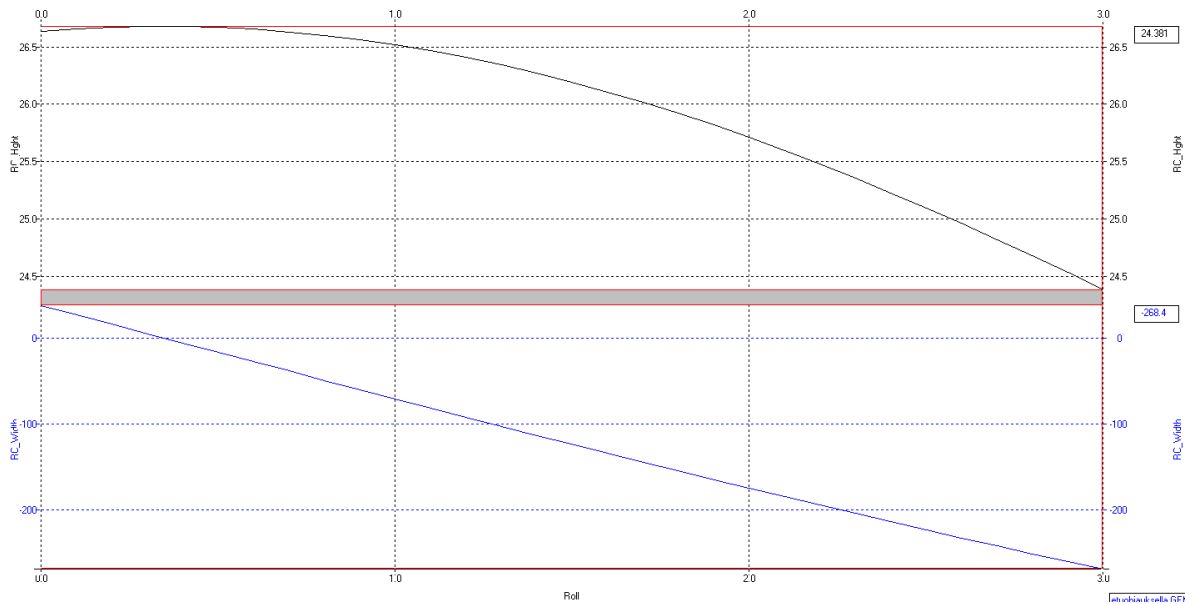
Kuvio 17. Camberin muutos rungon korkeuden muuttuessa maahan nähden. Caster-kulma muutettu 6 asteeseen ja Caster-jättämä 12 millimetriin.

Vertailemalla kuvioita 16 ja 17 voidaan todeta Caster-kulman vaikutus Camber-kulman muutokseen kaarreaajossa. Camber- ja Caster-kulman yhteisvaikutusta toisiinsa ei sovi unohtaa. Kaikki vaikuttaa siis kaikkeen. Kulmien yhteisvaikutus on otettava huomioon. Jos Caster-kulmaa muuttaa, muuttuu myös Camber-kulman muutos käännettäessä ja päinvastoin.

5.2.3 Etugeometria kallistuskeskiö ja sen muutos.

Etugeometrian kallistuskeskiö on auton ollessa tasaisella pinnalla 26 millimetriä maanpinnan yläpuolella Camber-kulman ollessa 0 astetta. Pelkästään Camber-kulman muutos -2 asteeseen siirtää kallistuskeskiön paikkaa 1,1 millimetriä ylöspäin kohtaan 27,2 millimetriä maanpinnan yläpuolella. Kuormitettaessa ajoneuvo samalla tavalla kuin aiemmissa simuloinneissa eli kiertämällä koria 3 astetta ja kääntämällä pyöriä 10 astetta, muuttuu kallistuskeskiön paikka kohtaan 24,4 millimetriä maanpinnan yläpuolella. Kuvioista 18 nähdään että kallistuskeskiön pystysuuntainen muutos ei ole lineaarinen suora vaan paraabeli.

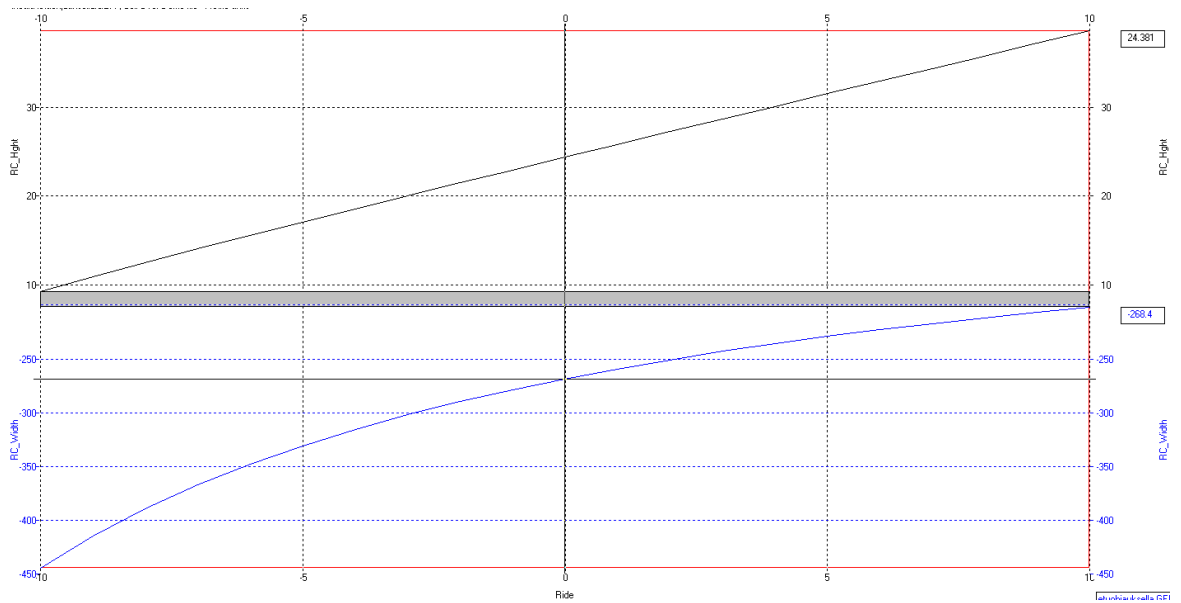
Toisena tietona saadaan kallistuskeskiön paikan muutos vaakatasossa. Kallistuskeskiö siirtyy kuvaajassa ensin hiukan oikealle (positiiviseksi), koska pyöriä käännetään vasemmalle 10 astetta. Lähes välittömästi, kun runko aloittaa kiertymisen, siirtyy kallistuskeskiö negatiiviseksi eli tässä tapauksessa vasemmalle kohti sisäkaarten puoleista pyörää. Pystysuoran muutoksen ollessa 2,8 millimetriä kierron aikana muuttuu vaakasuora etäisyys kallistuskeskiön alkupisteestä 268,4 millimetriä. Kuviossa 18 on esitetty sekä kallistuskeskiön pysty- että vaakasuora liike.



Kuvio 18. Kallistuskeskiön pysty- ja vaakasuuntainen muutos ajoneuvon korkeuden pysyessä vakiona maanpintaan nähden.

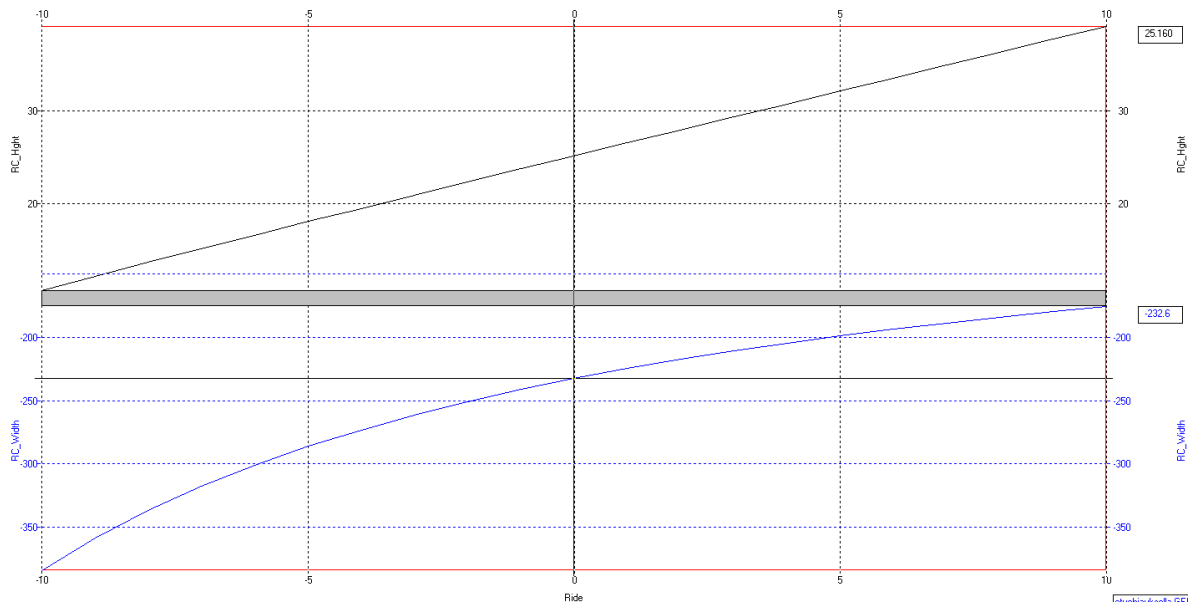
Staattisen Camber-kulman ollessa -2 astetta saadut tulokset pätevät, mikäli ajoneuvon kori ei nyökkää kaarteessa yhtään. Tämä ei tosin toteudu muulloin kuin ajettaessa kaarre vakionopeudella. Jos kaarteessa jarrutetaan, nyökkää keula kohti maata. Tämä vaikuttaa myös kallistuskeskiön paikkaan. 10 millimetrin nyökkäys alaspäin vaikuttaa kallistuskeskiön sijaintiin merkittävästi. Caster-kulma tässä mittauksessa on vakio eli 2,862 astetta. Kallistuskeskiön paikka muuttuu paljon ajoneuvon rungon noustessa tai laskiessa. Kuviossa 19 nähdään kallistuskeskiön pysty- ja vaakasuuntainen liike ajoneuvon korkeuden muuttuessa 10 millimetriä ylös- ja alaspäin.

Kallistuskeskiö siirtyy aiempiin mittauksiin verrattuna siten, että vaakasuunnassa paikka siirtyy 175,9 millimetriä sisäkaarten puolelle ja pystysuunnassa 15,1 millimetriä alaspäin ajoneuvoa jarrutettaessa eli runko lähempänä maanpintaa. Toisaalta mikäli ajoneuvoa kiihdytetään mutkassa ja runko liikkuu 10 millimetriä ylöspäin, liikkuu kallistuskeskiö 66,4 millimetriä vähemmän sisäkaarten suuntaan. Vastaavasti pystysuunnassa kallistuskeskiö nousee 14,2 millimetriä ylöspäin verrattaessa mittauksiin, jossa rungon korkeus maanpintaan nähden pysyi vakiona.



Kuvio 19. Camber -2, Caster vakio, kierto 3 astetta, kääntö 10 astetta, ajokorkeuden muutos 10 millia ylös- ja alaspäin.

Tässäkin tilanteessa on huomioitava jokaisen kulman yhteisvaikutus saatuihin arvoihin. Kuviossa 19 Caster-kulma on vakio eli 2,862 astetta. Jos Caster-kulmaa muutetaan 6 asteeseen ja Caster-jättämä 12 millimetriin, muuttuu myös kallistuskeskiön liike. Kallistuskeskiön korkeus pysyy noin 1,5 millimetriä korkeammalla kun Caster-kulma on muutettu 6 asteeseen, mutta sen vaakasuuntainen liike vähenee huomattavasti. Rungon liikkuessa 10 millimetriä lähemmäs maan pintaa, pienenee kallistuskeskiön vaakasuuntainen siirtymä 36 millimetriä edelliseen tilanteeseen nähden. Caster-kulman muutoksen vaikutus kallistuskeskiön siirtymään on vertailtavissa kuvioissa 19 ja 20. Nousee esiin sanonta, kaikki vaikuttaa kaikkeen.



Kuvio 20. Caster-kulman muutoksen vaikutus kallistuskeskiön muutokseen kaareajossa.

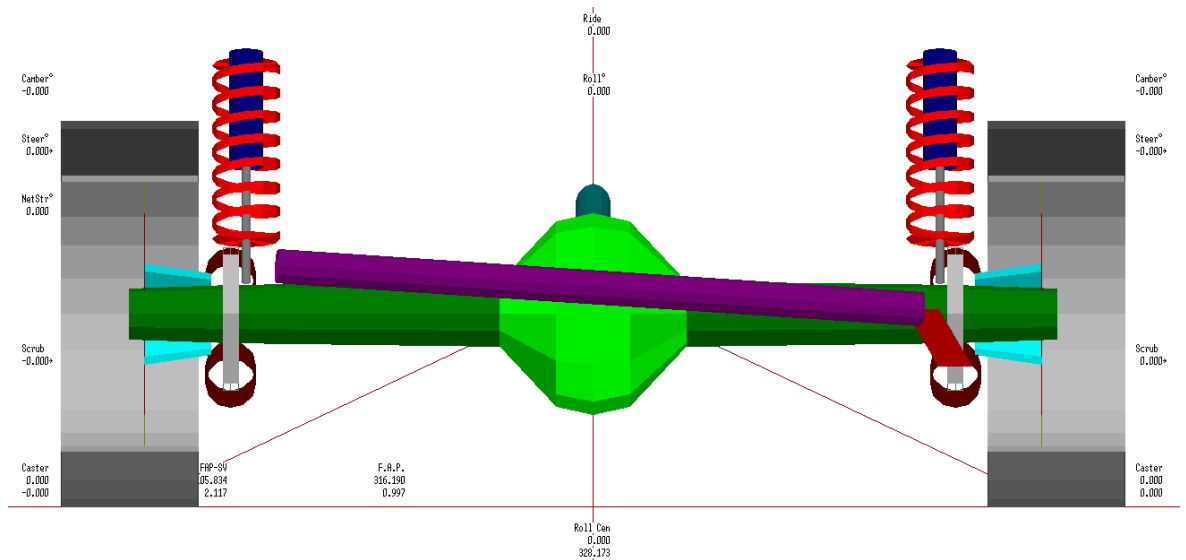
5.3 Takageometria.

Takageometrian mallinnus oli osittain erilainen kuin etugeometrian. Tämä johtui pyörän tuennan erilaisuudesta. Takana käytössä oleva jäykkä akseli on helpompi mitoittaa paikoilleen, sillä siinä on vähemmän muuttujia ja kiinnityspisteitä. Taka-akseli on tuettu pitkittäisillä tukivarsilla, joiden kiinnityspisteiden korkeuserot ovat samat sekä akselissa että ajoneuvon rungossa. Pitkittäiset tukivarret ovat kaikki samanmittaisia, mutta säädettäviä pituussuunnassa, jolloin akseliväli voidaan muuttaa helposti. On ainoastaan otettava huomioon kardaniakselin pituus.

Takapään heilahduksen vaimentimien ja jousien lisäys sujui helpommin kuin etugeometrian osalta, sillä takana nämä ovat suuremmissa kulmissa kuin edessä. Tällöin jousen paikan mitoittaminen helpottuu. Mittauksissa jousen jäykkyytenä on käytetty 150 lbs/tuumaa.

Panhard-tangon mitoitus tapahtui viimeisenä. Sen rungon pään korkeutta on vaikea mitoittaa tarkasta, sillä se on säädettävä kuuteen eri kohtaan. Peruskuvaan tangon pää mitoitettiin keskimmäiseen säätökohtaan. Tällöin voin, tarkastellessani takageometrian käytöstä siirtää Panhard-tangon päätä sekä ylös- että alaspäin. Panhard-tangon kiinnityspisteet runkoon ovat noin 20 millimetrin välein.

Myös taka-akselin raideleveys sekä renkaiden koko piti mitoittaa piirustukseen. Akseliväli muokattiin myös oikeaksi. Tämän jälkeen ohjelma piirsi takajousituksen rakenteen (kuvio 21).



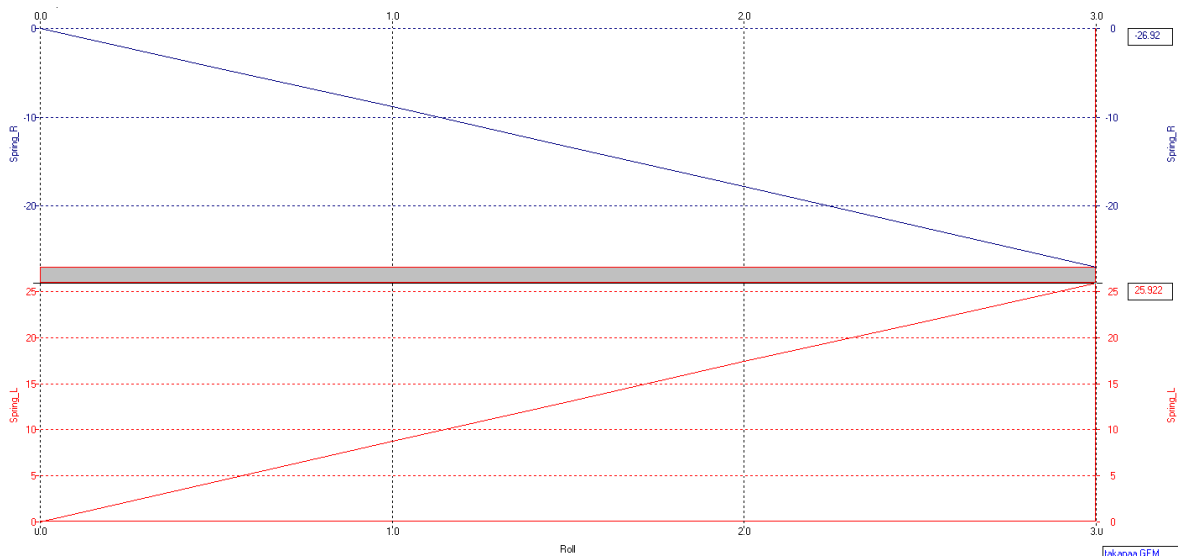
Kuvio 21. Takageometria.

Takageometrian tarkastelu jäänee varsin vähäiseksi, sillä varsinaisesti takana ei muutu kuin kallistuskeskiön paikka sekä josten ja heilahduksen vaimentimien asento ja liike. Jäykän taka-akseliston säätövarat ovat sen verran vähäiset. Siksi takageometrian osalta tutkittiin vain Panhard-tangon kiinnityspisteen korkeuden muutoksen vaikutusta jousituksen käyttäytymiseen. Mittauksissa käytettiin vain ylintä ja alinta kiinnityspistettä Panhard-tangolle, sillä muutosten oletettiin olevan pieniä. Ajoneuvoa tullaan kuormittamaan näissä mittauksissa samoilla arvoilla, joita käytettiin jo etugeometrian tutkimisessa eli korin kiertymällä 3 astetta. Kääntymää ei oteta lainkaan huomioon, sillä etupyörien kääntäminen ei vaikuta takageometrian käyttäytymiseen.

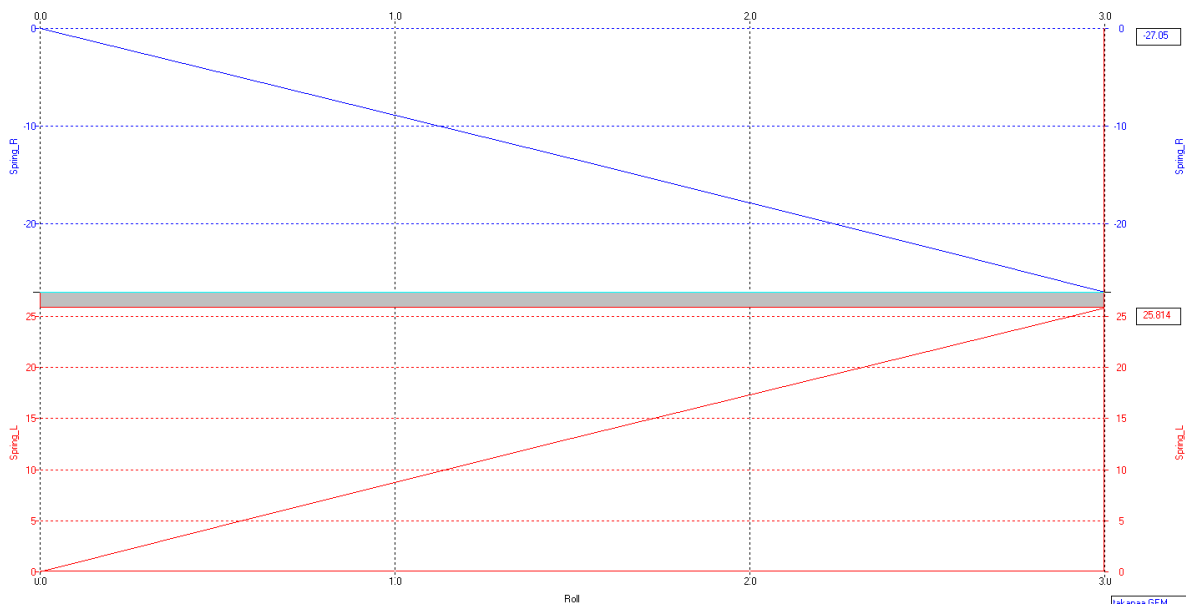
5.3.1 Panhard-tangon kiinnityspisteen muutoksen vaikutus jousen liikkeeseen.

Kuvioissa 22 ja 23 voidaan tulkita jousen painuma/ pidentymä korin kiertyessä. Kuviossa 22 Panhard-tanko on kiinni rungon alimmassa kiinnityspisteessä ja kuvi-

ossa 23 Panhard-tanko on rungon ylimmässä kiinnityspisteessä. Näiden pisteiden ero siis 100 millimetriä.



Kuvio 22. Panhard-tanko alimmassa kiinnityspisteessä.



Kuvio 23. Panhard-tanko ylimmässä kiinnityspisteessä.

Kuvioista voidaan todeta jousen liikkuma varsin pieneksi, joten Panhard-tangon paikalla jousen liikkeen pituuteen ei ole juuri merkitystä. Panhard-tangon ollessa alimmassa kiinnityspisteessään puristuu ulkokaarten puoleinen jousi 26,9 millimetriä ja vastaavasti sisäkaarten puoleinen jousi pidentyy 25,9 millimetriä. Vastaavasti Panhard-tangon ollessa ylimmässä kiinnityspisteessään ulompi jousi pu-

ristuu 27,1 millimetriä ja sisempi pidentyy 25,8 millimetriä. Eroa on siis vain puristuvassa jousessa 0,1 millimetriä ja pidentyvässä jousessa 0,1 millimetriä. Koska puristuman tai pidentymän ero on millimetrin kymmenyksen ero se ei ole merkittävä.

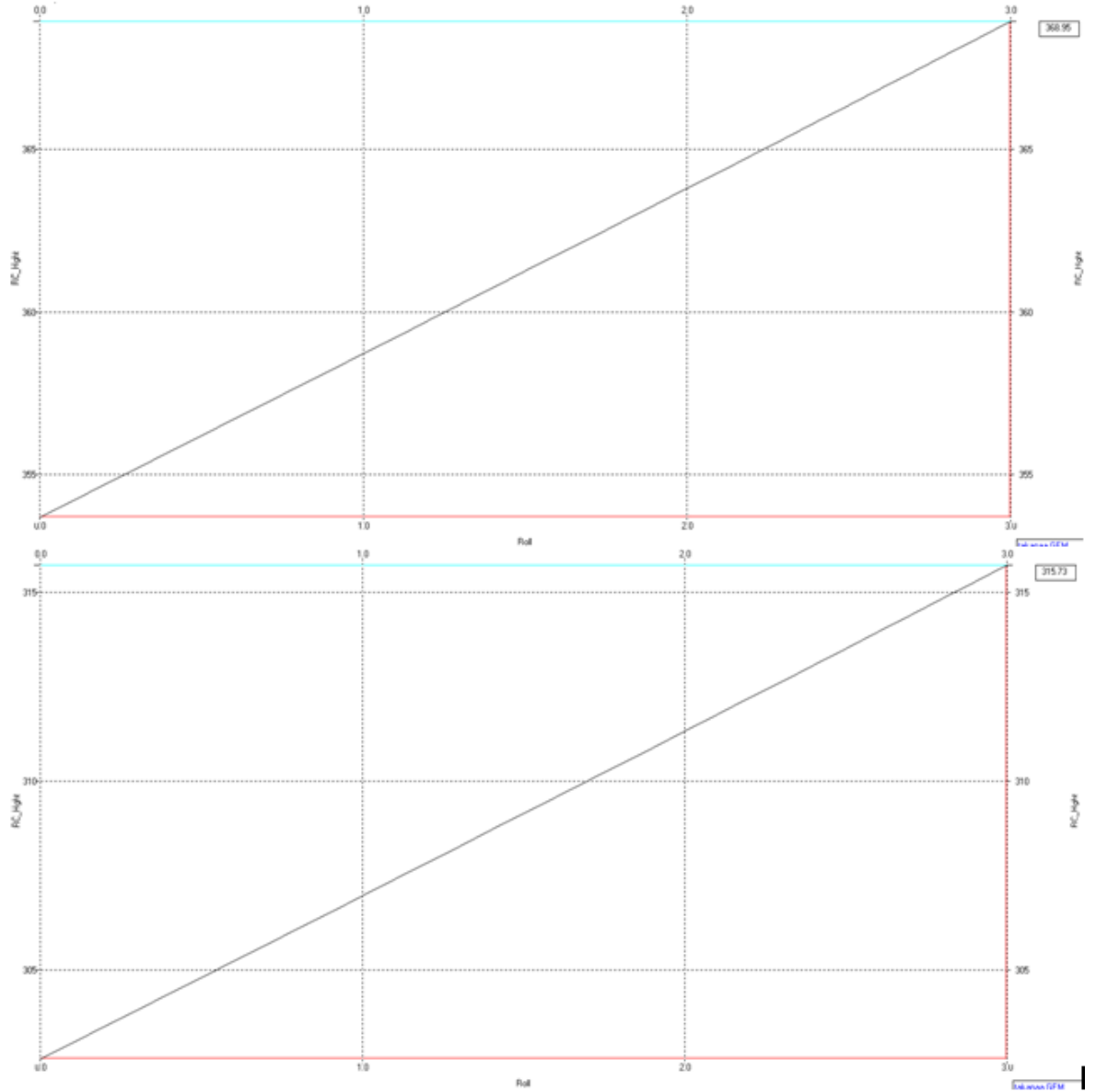
5.3.2 Panhard-tangon kiinnityspisteen muutos kallistuskeskiön paikkaan.

Takageometrian kallistuskeskiö on 353,7 millimetriä maanpinnan yläpuolella Panhard-tangon ollessa ylimmässä kiinnityspisteessään. Jos käytössä olisi samantyyppinen rakenne kuin edessä on, voitaisiin kallistuskeskiön korkeutta laskea lähelle samaa tasoa kuin se on edessä. Säännöt kuitenkin kieltävät tämän. Tämän vuoksi ainoa mahdollisuus kallistuskeskiön laskemiseen on muuttaa Panhard-tangon paikkaa. Kallistuskeskiön korkeus kuitenkin muuttuu jonkin verran korin kiertyessä. Kierrettäessä koria 3 astetta nousee kallistuskeskiö. 3 asteen kierrossa kallistuskeskiön korkeus on 369 millimetriä maanpinnasta. Kallistuskeskiö nousee 15,3 millimetriä ylöspäin. Tämä ei ole hyvä asia sillä kallistuskeskiö saisi olla lähempänä maanpintaa. Kallistuskeskiön korkeus lisää taka-akseliston pyrkimystä kiertyä akselinsa ympäri.

Panhard-tangon ollessa alimmassa kiinnityspisteessä, on kallistuskeskiön korkeuden muutos huomattava verrattuna ylimpään kiinnityspisteeseen. Ollessaan suoralla pinnalla on takageometrian kallistuskeskiö 302,7 millimetriä maanpinnan yläpuolella. Korin kiertyessä 3 astetta kallistuskeskiön paikka liikkuu kohtaan 315,7 millimetriä maanpinnan yläpuolella. Kallistuskeskiön muutos on 13 millimetriä eli jokseenkin pienempi kuin edellisillä asetuksilla. Kaikkein tärkein tieto on kuitenkin kallistuskeskiön korkeuden ero sillä se on varsin suuri. Kuormittamattomassa tilassa kallistuskeskiön korkeus muuttuu 51 millimetriä ja kierretyssä tilanteessa 53,3 millimetriä lähemmäs maanpintaa. Tämä vaikuttaa huomattavasti taka-akselin pyrkimykseen kiertyä pitkäakselin ympäri vähentäen ulomman renkaan kuormitusta kaarteessa.

Panhard-tanko on siis parhaassa asennossaan mahdollisimman alhaisessa kiinnityspisteessä, koska vaikutus jousten liikkeisiin on lähes mitätön. Muutos kallistus-

keskiön korkeuteen on erittäin merkittävä. Kuvioista 24 nähdään muutoksen olevan lineaarinen kierretässä koria.



Kuvio 24. Kallistuskeskiön muutos suhteessa Panhard-tangon kiinnityspisteen muutokseen.

5.4 Kallistuskeskiöt ja kallistusakseli

Saaduista mittaustuloksista voidaan piirtää ja laskea auton kallistusakselin sijainti. Kallistusakseli on kallistuskeskiöiden välille piirretty jana. Koska etu- ja takakallistuskeskiöiden korkeuksilla on varsin suuri ero, tulee etugeometria kiertymään vähemmän kuin se haluaisi kiertyä. Toisaalta takageometria tulee vastaavasti kiertymään enemmän kuin se haluaisi, joten ulomman pyörän kuormitus kaarteessa lisääntyy. Ajoneuvon käyttäytyminen muuttuu yliohtautuvampaan suuntaan. Tässä tapauksessa kallistuskeskiöiden säädöt rajoittuvat Panhard-tangon kiinnityspisteen muuttamiseen. Etugeometriassa kallistuskeskiön korkeuden muuttaminen vaatisi tukivarsien kiinnityspisteiden muutosta tai tukivarsien ulompien päiden nostoa eli yksinkertaisemmin ajoneuvon korkeuden laskua. Tukivarsien kiinnityspisteiden muutos ei kuitenkaan ole säännöissä sallittua. Panhard-tangon kiinnityspisteen nosto tai lasku muuttaa kallistuskeskiön korkeutta huomattavan paljon. Säädön helppouden ansiosta tämä on varteenotettava vaihtoehto haettaessa auton käytöksen muutosta ali- tai yliohtautuvampaan suuntaan.

Koska ajoneuvo on vielä rakennusvaiheessa, ei ajoneuvon painopistettä voi laskea. Kallistusakselin etäisyyttä ajoneuvon painopisteestä ei voida laskea. Kallistelum välttämiseksi kallistusakselin tulisi kulkea painopisteen kautta. Mitä etäämpänä kallistusakseli kulkee painopisteestä, sitä enemmän ajoneuvo pyrkii kallistumaan kaarteissa.

6 Pohdintaa

Locost-kilpa-auto on tutkimuksen kohteena varsin mielenkiintoinen. Mielenkiintoisen siitä tekee se, että jokainen voi rakentaa oman autonsa vaikka autotallissaan. Auton rakentaminen ei vaadi paljoa erikoistaitoja. Riittää jos osaa hitsata ja tallista löytyvät perustyökalut. Luokan säännöt kieltävät liialliset viritykset ja muutokset alustan rakenteeseen. Tämä tekee luokan autoista tasaväkisempiä ja kynnyksalostaa auton rakennus ja autoharrastus madaltuu huomattavasti. Auton rakentamisen kustannuksetkin pysyvät hyvin kurissa, jos käyttää halpoja osia muun muassa moottorin ja voimansiirron suhteen. Suurimmat kiinteät kulut auton rakentamisessa syntyvät välttämättömistä ostoksista kuten turvavarusteet ja renkaat. Myös rungon materiaaleihin kuluu rahaa verrattain paljon.

Locostin alustan tutkiminen oli mielenkiintoinen tehtävä. Tavoitteena oli suorittaa ajoneuvolle enemmän laskelmia ajodynamiikan puolella. Tämä ei valitettavasti toteutunut sillä ajoneuvo oli vielä niin kesken tämän työn tekohetkellä. Mittaamatta jäi muun muassa ajoneuvon paino, jonka avulla olisi voitu määrittellä painopisteen paikka. Tämä olisi tuonut lisää tietoa ajoneuvon käytöksessä ajettaessa kaarteissa.

Kuitenkin mitatuilla tiedoilla saatiin varsin hyviä tuloksia. Tuloksista saatiin selvitettyä ajoneuvon pyöränkulmia ja niiden säätömahdollisuuksia sekä mahdollisia muutoksia tukivarsiin haettaessa parempaa ajettavuutta. Tehdyissä tutkimuksissa on käytetty esimerkkinä tiettyjä arvoja ja rakenteilla olevaa ajoneuvoa, joten nämä eivät välttämättä päde jokaiseen Locost-autoon. Muun muassa tukivarsien mitat ovat vapaat tässä sarjassa, näillä tukivarsilla tehdyillä laskelmilla ei voi yleistää saatuja tuloksia sopiviksi jokaiseen Locost-autoon.

Saatujen tietojen perusteella sopiviksi pyöränkulmiksi etugeometriassa osoittautui staattisen Camberin osalta -2 astetta. Tätä voidaan pitää lähtökohtana haettaessa oikeaa Camber-kulmaa. On otettava huomioon radan kaarteiden ominaisuudet ja ajoneuvon jousituksen jäykkyys. Myös kallistuksen vaimentimen käyttö muuttaa ajoneuvon ominaisuuksia siten että saatuja tuloksia ei voida yleistää tällaiseen ajoneuvoon. Staattista Camber-kulmaa asetettaessa on otettava huomioon myös radan kaarteiden määrä ja tyyppi eri suuntiin. Jos kaarteita on toiseen suuntaan

huomattavasti eri määrä, voidaan staattinen Camber-kulma asettaa erisuuriksi samalle akselille, jolloin sisemmän renkaan Camber-kulma ei muutu liian negatiiviseksi antaen paremman pidon.

Caster-kulman muutosta Championin kirjan (2000) mittoihin pitäisin tarkempaan miettimisen kohteena. Caster-kulman muutos vaikuttaa ohjauksen tunnokkuuteen ja raskauteen, joten riippuen käytössä olevista osista kannattaako Camber-kulmaa suurentaa. Tässä ajoneuvossa voisi olla hyvä, että muutettaessa Caster-kulmaa, muutettaisiin sekä ylä- että alapallonivelen paikkaa. Näin Caster-jättämä jäisi pieneksi, mutta Caster-kulma kasvaisi. Tosin tällainen operaatio vaatii myös pyörän navan vaihdon joten se vaikeuttaa toteuttamista huomattavan paljon. On helpompi muokata ainoastaan ylätukivartta. Ylätukivarren muokkaamisessa on kuitenkin muistettava Caster-jättämä, jonka ei tule kasvaa kovin suureksi. Mikäli Caster-kulmaa muutetaan, on tämä syytä ottaa huomioon myös Camber-kulmien suuruudessa. Saaduista tuloksista käy selkeästi ilmi Caster-kulman muutoksen vaikutus Camber-kulmaan kaarreajon aikana. Caster-kulmaa kasvatetaan, voidaan autossa käyttää hiukan pienempää Camber-kulmaa. Caster-kulman muutos on helpoin toteuttaa muokkaamalla ylätukivartta.

Kallistuskeskiön suhteen takageometrian osalta ovat vaikutusmahdollisuudet paljon pienemmät. Jäykkä taka-akselin rakenne estää geometriassa suuret muutokset, mutta kallistuskeskiön korkeuteen voidaan vaikuttaa Panhard-tangon kiinnityspisteen korkeudella. Saatujen tulosten perusteella Panhard-tangon kiinnityspisteen 100 millimetrin korkeuden muutoksella saadaan yli 50 millimetrin muutos kallistuskeskiön korkeuteen. Tämä on erittäin merkittävä muutos. Voidaankin todeta Panhard-tangon parhaan asennon löytyvän alimmasta kiinnityspisteestään. Yleisesti voidaan todeta, että paras paikka kiinnittää Panhard-tanko on mahdollisimman alhaalla eli tanko mahdollisimman vaakatasossa.

Tulosten tarkkuus riippuu aina mitatuista mitoista. Tätä autoa on tehty käsityönä monen kymmenen opiskelijan voimin, joten ajoneuvon mitat eivät välttämättä ole samat vasemmalla ja oikealla puolella. Mitat on otettu ajoneuvon vasemmalta puolelta. Nivelpisteiden ja varsinkin pallonivelten keskipisteiden mitoittaminen on vaikeaa, sillä pallonivelen nivelpiste on hiukan sivussa nivelen keskikohtaan verrattuna. Kuitenkin nämä mitat on otettu nivelen keskikohtaan. Tästä johtuen mittausten

tarkkuus kärsii vähän. Tarkkuuden heikentyminen tuskin vaikuttaa oleellisesti saattuihin tuloksiin.

Loppupäätelmänä voi todeta työn onnistuneen hyvin. Ajodynamiikan osuuden vähiin jäänti on sääli, sillä juuri tästä osuudesta olisi ollut suuri apu niin harrastajille kuin opiskelijoillekin uutta autoa suunniteltaessa. Toivottavasti tästä työstä on apua ja ideanlähteitä kaikille, jotka työn lukevat ja ovat aiheesta kiinnostuneita. Tutkimuksia voi soveltaa myös muihin vastaaviin tilanteisiin.

LÄHTEET

- Autoteknillinen taskukirja. 2003. Suomentaja: Autoalan Koulutuskeskus Oy. 6. painos. Jyväskylä: Gummerus Oy.
- Laine, O. 1985. Autotekniikka 1. osa Ajo-ominaisuudet. Autoalan keskus Oy.
- LocostFinland Ry 2005. [Verkkosivu] Viitattu: 28.3.2013 Saatavana: <http://www.locostfinland.com>
- LocostFinland Ry 2012. [Verkkosivu] säännöt. Viitattu: 28.3.2013 Saatavana: <http://www.locostfinland.com/saannot.html>
- Mauno, E. 1991 Virittäjän käsikirja 2, Alusta. 1. painos. Helsinki: Alfamer Oy
- Mitchell Bill, [Verkkosivu] Viitattu: 29.3.2013 Saatavana: http://www.mitchellsoftware.com/new_page_10.html
- Rowley, W. 2011. An introduction to race car engineering: The basics of vehicle dynamics. 3. painos. Rowley Race Dynamics.
- Smith, Carroll. 1978. Tune to win: The art and science of race car development and tuning. California: Carroll Smith Consulting Incorporated
- Tuononen, A. & Koisaari, T. 2010. Ajoneuvojen dynamiikka. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.
- Champion, Ron. 2000. Build your own sports car for as little as £250 – and race it!. Sparkford: Haynes Publishing