

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Käyttöpainotteinen auto- ja kuljetustekniikka

2013

Toni Nieminen 0801375

CROSSKART-AJONEUVON ETUJOUSITUSGEOMETRIAN SUUNNITTELU JA MUUTOSTYÖ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Toni Nieminen 0801375

CROSSKART-AJONEUVON ETUJOUSITUSGEOMETRIAN SUUNNITTELU JA MUUTOSTYÖ

Tässä työssä tutkitaan Crosskart-ajoneuvon vanhaa etujousitusgeometriaa ja suunnitellaan täysin uusi etujousitusgeometria luettuun kirjallisuuteen perustuen. Ensiksi esitellään tutkimuksen kohteena oleva ajoneuvo, tämän jälkeen kerrotaan yleisistä alustageometriaan liittyvistä suureista ja niiden raja-arvoista kirjallisuuden perusteella. Seuraavaksi suunnitellaan täysin uusi ja erilainen etujousitusgeometria jo olemassa olevaan runkoon. Viimeiseksi verrataan vanhaa ja uutta mallia toisiinsa. Tavoitteena oli poistaa vanhassa kokoonpanossa ilmenneet ongelmat ja suunnitella vahvempi ja säätöjä omaavampi rakenne.

Tutkimuksen kohteena on omavalmisteinen Crosskart-ajoneuvo, joka on nelipyöräinen putkirunkoinen omaan virkistyskäyttöön rakennettu ajoneuvo. Ajoneuvossa on kevyt ja tehokas 600-kuutioinen moottoripyörän moottori.

Ajoneuvolla ei voi osallistua näihin ajoneuvoihin tarkoitettuihin kisoihin, koska se ei täytä minkään olemassa olevan kilpa-autoluokan sääntöjä. Tämän vuoksi muutoksia voitiin toteuttaa täysin vapaasti.

Camber-muutoksen todettiin vanhassa kokoonpanossa muuttuvan positiiviseen suuntaan sisäänjouston aikana. Kirjallisuuteen pohjautuen suunta on väärä, joten uuteen kokoonpanoon tämä muutettiin päin vastaisesti toimivaksi. Vanhassa kokoonpanossa aurasikulmamuuutos on hyvin suuri, joten uuteen kokoonpanoon tämä pitäisi saada mahdollisimman pieneksi.

ASIASANAT:

Jousitus, jousitusgeometria, pyörien asentokulmat

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering | Practically Oriented

2013| 31

Kalevi Vesterinen

Toni Nieminen 0801375

NEW FRONT SUSPENSION GEOMETRY DESIGN AND MODIFICATION TO CROSSCART VEHICLE

This thesis was about design and modification new front suspension geometry to a Crosscart vehicle. First the vehicle is introduced and then suspension geometry terms are discussed based on literature about chassis design. Next was design completely new and different front suspension geometry to an existing frame. Finally compare the old and the new model to each other. The goal was to remove the old front suspension geometry problems and build stronger and more adjustable structure.

The Crosscart examined in this thesis is made of a tubular chassis with an engine of a motorcycle for entertainment purposes only. The vehicle has lightweight and powerful 600cc motorbike engine. This vehicle can't participate in any of the competition, because it does not meet any of the existing race car class rules. Therefore, changes can be done without any regulations.

Camber angle was found in the old configuration to be positive some times, ie based on literature it is the wrong direction, so this angle must stay negative at the new configuration. In the old configuration toe change is very large, and the new configuration, this should be as small as possible.

KEYWORDS:

Suspension, suspension geometry, wheel position angles

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 CROSSKART	7
3 PYÖRÄN ASENTOKULMAT	10
3.1 Camber	10
3.2 Caster	12
3.3 KPI	13
3.4 Auraus ja haritus	14
3.5 Yli ja aliohjautuvuus	14
3.6 Ominaisohjaus	15
3.7 Painopiste	15
4 UUDEN ETUJOUSITUSGEOMETRIAN SUUNNITTELU VANHAN POHJALTA	17
4.1 Vanhan alustageometrian mittaus ja ongelmat	17
4.2 Tavoitteet uudelle alustageometrialle	18
4.3 Uuden alustageometrian asentokulmien määrittäminen	19
4.4 Uuden alustageometrian mallinnus 3d:nä	19
4.5 Uuden alustageometrian ominaisuudet	25
5 VANHAN JA UUDEN ETUJOUSITUSGEOMETRIAN VERTAILU	26
LÄHTEET	30

KUVAT

Kuva 1. Speedcar EXTREM.	7
Kuva 2. Omavalmiste Crosskart.	9
Kuva 3. Vasemmalla pos. Camber oikealla neg. Camber.	10
Kuva 4. Caster-kulma runkoon nähden.	20
Kuva 5. Camber-kulma maksimi sisäänjoustossa.	21
Kuva 6. Camber-kulma maksimi ulosjoustossa.	22
Kuva 7. Ohjausvaihteen sijainti.	22
Kuva 8. Etunapa jarruineen ja jousituksen säätömahdollisuus.	24
Kuva 11. Kääntyvyys rajoittuu vinotukeen.	27
Kuva 12. Uudessa alustageometriassa ei vinotukea.	27
Kuva 14. Vanha Crosskart.	29

Kuva 13. Uusi Crosskart valmiina.

29

KUVIOT

Kuvio 1. Cambermuutos joustoliikkeen funktiona ajoalustaan nähden.

25

Kuvio 2. Aorauskulman muutos joustoliikkeen funktiona.

26

TAULUKOT

Taulukko 1. Speedcar XTREM 600cc tekniset tiedot.

8

Taulukko 2. Omavalmiste Crosskart:in tekniset tiedot.

8

Taulukko 3. Uuden Crosskart:in ohjauskulma-arvot.

23

Taulukko 4. Vanhan Crosskart:in ohjauskulma-arvot.

23

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella jo olemassa olevaan omavalmisteiseen Crosskart-autoon uusi etuakseliston alustageometria. Idea kyseiseen muutokseen lähti omista ajokokemuksesta kyseisellä ajoneuvolla. Nykyinen etuakselisto on tehty olemassa olleista osista yhdistellen auton ja mönkijän osia omavalmisteisiin osiin, ja nykyinen alustageometria ei ole kaikista parhain ratkaisu. Tehtävänä oli perehtyä alustageometriaan, koska siitä ei ole ennestään juurikaan kokemusta.

Ensimmäiseksi esitellään tutkimuksen kohteena oleva ajoneuvo. Ajoneuvon esittelyn jälkeen kerrotaan kirjallisuuden perusteella selvitetystä alustageometriaan liittyvistä suureista ja näiden raja-arvoista.

Seuraavaksi etuakselisto mallinnetaan pelkistetyksi uusien alustageometriakokeilujen mahdollistamiseksi ja samalla myös huomaisi heti, jos idea ei toimisi käytännössä ilman, että uusi etuakselistorakenne olisi rakennettu oikeasti käsi-työnä. Pääideana oli suunnitella toimiva vaihtoehto etupään alustageometriasta 3d:nä ennen kuin se toteutetaan olemassa olevan ajoneuvoon.

Lopuksi verrataan uutta ja vanhaa kokoonpanoa kuvineen ja taulukkoineen toisiinsa.

2 CROSSKART

Crosskart on kokonaan putkirunkoinen ajoneuvo pitkällä joustovaroilla ja voimanlähteenä on usein kevyt ja tehokas moottori esimerkiksi moottoripyörästä. Tehdasvalmisteisille Crosskarteille on Suomessa jo oma sarjansa, jonka toiminta on jatkuvasti kasvamassa. Tehdasvalmisteisessa ajoneuvossa on konevaihtoehtoina 600cc- ja 750cc-autot, jotka viralliselta nimeltään ovat Speedcar XTREM.(Kuva 1.) Autot tehdään Espanjassa käsityönä ja toimitetaan tilaajalle Suomen maahantuojaan kautta täysin valmiina. Laji on erittäin suosittu Keski-Euroopassa.



Kuva 1. Speedcar EXTREM.

Tehdasvalmisteinen ajoneuvo eroaa jonkin verran tutkimuksen kohteena olevasta ajoneuvosta. Erityisesti ajoneuvot eroavat toisistaan hinnan ja painon perusteella. (Taulukko 1&2.)

Taulukko 1. Speedcar XTREM 600cc tekniset tiedot.

Moottori	Suzuki 600 GSXR vm2007
Teho	125hv
Vääntö	63,8Nm
Pituus	2600mm
Leveys	1600mm
Korkeus	1200mm
Paino	312kg
Teho-paino suhde	2,6kg/hv
Runkomateriaali	Kromi-molybdeeni putki 40x2 mm ja 30x2 mm
Hinta	19900€(alv0%) + toimituskulut

Taulukko 2. Omavalmiste Crosskart:in tekniset tiedot.

Moottori	Kawasaki 600 Zx6r vm1998
Teho	108,0hv 12000rpm
Vääntö	65,7Nm 10000rpm
Paino	n.400kg
Teho-paino suhde	3,7kg/hv
Runkomateriaali	Teräsputki 50x2 mm
Pituus	2100mm
Leveys	1500mm
Korkeus	1400mm
Maavara	270mm
Raideväli	Edessä: 1400mm Takana: 1700mm
Akseliväli	1900mm
Hinta	3000€(arvio)

Työssä tutkittavana oleva omavalmisteinen Crosskart kuuluu neljän kappaleen piensarjaan, jotka on rakennettu samoihin rakennusohjeisiin pohjautuen. Etuakselisto on koottu sekä tehdastekoisista että omavalmiste osista. Tehdastekoisia ovat alatukivarret, jotka ovat lähtöisin Ford Escort mk3:sta ja täydelliset etunavat, etuheilahduksenvaimentimet jousineen ovat Yamaha Yzf 450 -mönkijästä. Ylätukivarret ja tukivarsien vinotuet ovat omavalmisteiset. Taka-akselisto on myös rakennettu tehdas- ja omavalmisteosista. Takanavat ja vetoakselit ovat BMW e34 -autosta. Takatukivarret ovat omavalmisteiset 30x2 mm teräsputkesta ja ketjuvälitteisesti nopeutettu raidetanko-ohjaus ja takaheilahduksenvaimentimet jousineen Ford Fiesta mk3:sta. Runko on valmistettu 50x2 mm teräsputkesta ja pohjalevy alumiinia, niin sanottua turkkilevyä. Moottori on Kawasaki Zx6r –moottoripyörästä vuosimallia 1998. (Kuva 2.) (Taulukko 2, 8.)

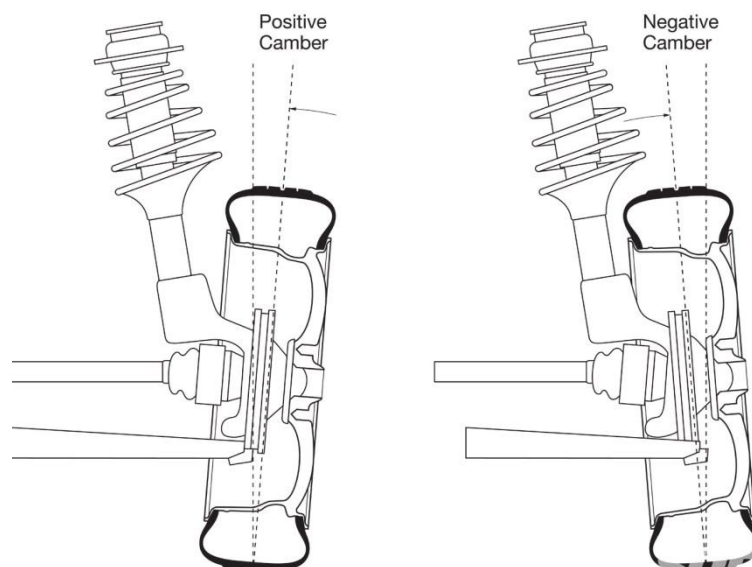


Kuva 2. Omavalmiste Crosskart.

3 PYÖRÄN ASENTOKULMAT

3.1 Camber

Camber-kulma kuuluu tärkeimpiin kaarrepitoon vaikuttaviin tekijöihin. Camber-kulma tarkoittaa pyörän sivukallistumaa eli pyörän keskiviivan ja pystysuoran pinnan välistä kulmaa ajoneuvon etu- tai takapuolelta katsottuna. Camber-kulmat voivat olla joko negatiivisia tai positiivisia. Negatiivinen camber-kulma on helppo tunnistaa siitä, että vasemman ja oikean pyörän yläreunat ovat lähempänä ajoneuvon pitkittäistä keskilinjaa kuin pyörien alareunat. (Kuva 3.) Positiivisen Camber-kulma on helppo havaita, kun pyörien alareunat ovat lähempänä ajoneuvon pitkittäistä keskilinjaa verrattuna pyörien yläreunoihin. (Mauno 1991, 6.)



Kuva 3. Vasemmalla pos. Camber oikealla neg. Camber.

Camber-kulmaa tutkiessa dynaamisessa tilanteessa voidaan camber-kulmaa verrata kahteen kulmaan joko ajoneuvon tai maanpinnan kohtisuoruuteen. Oetaan esimerkiksi tilanne, jossa saman akselin molemmat pyörät suorittavat saman joustomatkan eli kori ei kallistu, voidaan kumpaankin kulmaan verrata, koska ne ovat käytännössä samat. Kun jousto rajoittuu vain toiselle puolelle, toisin sanoen kori alkaa kallistua mukana, kulma saattaa muuttua positiiviseksi, kun sitä verrataan ajoneuvon kohtisuoruuteen. (Mauno 1991, 7.) Kaarrepidon kannalta camber-kulmaa pitäisi aina verrata maanpinnan kohtisuoruuteen nähdessä eikä ajoneuvon koriin nähden.

Negatiivisesti tai positiivisesti kallistetussa pyörässä toinen sivu pyörii pienemmällä vierintäsäteellä kuin toinen. Pyörään kohdistuu poikittais-suuntainen voimakomponentti ja pyörä pyrkii kääntymään pienemmällä vierintäsäteellä olevan reunan suuntaan. Camber-kulman ollessa negatiivinen pyörä pyrkii kääntymään sisäänpäin ja positiivisessa taas ulospäin. Kulmien ollessa erilaiset ajoneuvon eri puolilla, pyrkii auto puoltamaan positiivisemmän kulman puolelle. Saman akselin samantyyppiset camber-arvot kumoavat toistensa vaikutukset, ja erityisesti negatiivinen kulma vakauttaa ajoa suoraan ajettaessa, mutta pyrkii myös vastustamaan ohjausliikettä ja palauttamaan ohjaus takaisin keskiasentoon. (Mauno 1991, 7-8.)

Pyöräntuennan geometrialla on suuri merkitys siihen, millainen muutos camber-kulmalle tapahtuu sisäänjoustossa. Nykyisissä sarjatuotantoautoissa camber kääntyy negatiiviseen suuntaan sisäänjoustossa, jolloin staattiseksi kulmaksi määrätään hieman positiivinen camber-kulma. Parhaimman sivuttaispidon saamiseksi kaarteessa tulee ulkokaarteisen pyörän olla täysin pystyssä eli camber-kulman olla mahdollisimman lähellä nollaa astetta maanpintaan nähden. Korin kallistuessa ulkokaarteisen pyörän pyöränkuorma lisääntyy voimakkaasti, jolloin on otettava huomioon auton kallistusjäykkyys. Pyöränkuorman lisääntyessä rengas pitäisi saada siihen asentoon, jossa se omaa parhaan mahdollisen kitkan tienpintaan. (Mauno 1991, 8-9.)

3.2 Caster

Caster-kulmalla tarkoitettiin ennen vanhaan olkatapin etu- ja takakallistumaa eli olkatappilinjan ja pystysuoran välistä kulmaa ajoneuvon sivulta katsottuna. Nykyisissä ajoneuvoissa varsinaista olkatappia ei enää ole. Nykyään olkatapilla tarkoitetaan pyörän kuvitteellista kääntöakselilinjaa, jonka ympäri pyörä kääntyy ohjausliikkeen aikana. Kahdella kolmiotukivarrella varustetulla eturipustuksella kääntöakselilinja kulkee ylä- ja alapallonivelen läpi. MacPherson-tuennassa kääntöakselilinja kulkee alapallonivelen ja joustintuen yläpään läpi. Caster-kulman ollessa positiivinen kääntöakselilinja on kallistuneena taaksepäin eli esimerkiksi kahdella kolmiotukivarrella varustetussa eturipustuksessa alapallonivel on yläpalloniveltä edempänä. Kääntöakselilinjan ollessa kallistuneena eteenpäin eli yläpallonivel on edempänä kuin alapallonivel, on caster-kulma negatiivinen. Yleensä pyritään käyttämään positiivista caster-kulmaa, mutta myös negatiivista caster-kulmaa on käytetty joissain ajoneuvoissa, tosin se on hyvin harvinaista. (Mauno 1991, 14.)

Hyviä puolia positiivisessa caster-kulmassa on se että pyörät asettuvat itsestään painopisteen kulkusuuntaan, antaen ajoneuvolle hyvän suuntavakauden vähäisin ohjausliikkein ja ohjaus on usein itsestään palautuva. Usein myös ohjauksessa on hyvä ohjaustuntuma ja pyörien vipotustaipumus vähenee, mitä enemmän on positiivista caster-kulmaa. Se myös pienentää kaarteissa tapahtuvaa kaarten ulkoreunan puoleisen pyörän sortoa. Haittavaikutuksena positiivinen caster-kulma lisää tarvittavaa ohjausvoimaa, jolloin ajoneuvo tarvitsee esimerkiksi ohjaustehostimen. Myös sivutuulen tai kaltevan tien aiheuttama etupyörien kääntyminen voidaan lukea haitaksi tietyissä tapauksissa. Nykyään käytetään niin sanottua taakse vedettyä olkatappia eli kääntöakselilinjan suora kulkee pyörän keskipisteen takapuolelta. Tällä on saatu vähennettyä ohjausvoimaa ja sivutuuliherkkyyttä.

Nykyisissä ajoneuvoissa caster-kulmat ovat yleisesti välillä -1° ... 5° , mutta myös yli 10° positiivisia castereita on käytössä. Negatiivinen caster-kulma vähentää ohjausvoiman tarvetta, mutta suuntavakavuus kärsii huomattavasti ja vipotustaipumuksen riski on suurempi. (Mauno 1991, 16.) Caster-kulmaan liittyy olennaisena osana caster-jättämä, jolla tarkoitetaan etäisyyttä kääntöakselilinjan ja maan välisestä kuvitteellisesta kosketuspisteestä renkaan ja maan kosketuskohdan keskipisteeseen.

3.3 KPI

King Pin Inclination (jäljempänä KPI) tarkoittaa olkatappilinjan sivukallistumaa, eli ajo-neuvoa taka- tai etupuolelta katsoessa olkatappilinjan suoran ja renkaan keskipisteen kautta kulkevan maanpinnan kohtisuoran välistä kulmaa. KPI-kulma määrää renkaan kääntösäteen suuruuden ja vaikuttaa muun muassa iskuihin, jotka välittyvät tiestä tai ajotilanteesta ohjauspyörään.

Kääntösäde on pyörän kääntöakselin suoran ja pyörän keskilinjan maanpinnan leikkaavien pisteiden välimatka. Positiivinen kääntösäde tarkoittaa sitä, että kääntöakselin suoran leikkauskohta maanpinnan kanssa pysyy ajoneuvon keskilinjan puolella. Negatiivinen kääntösäde vallitsee silloin, kun leikkauskohta on ulompana ajoneuvon keskilinjasta kuin renkaan keskilinja. Näiden pisteiden välimatka on erittäin lyhyt, momenttivarsi renkaan ja kääntöakselin välillä on pieni. Tässä tapauksessa ohjauspyörään ei välity pyöriin vaikuttavat voimat niin voimakkaasti.

KPI-kulmalla on suuntavakauteen suuri merkitys. Olkatappilinjan ollessa sisäänpäin kallellaan ajoneuvon keula pyrkii nousta renkaiden kääntyessä. Tässä tilanteessa ajoneuvon massa pyrkii suoristamaan renkaat ja tämä voi tuntua raskaana ohjauksena. (Mauno 1991, 18–20.)

3.4 Auraus ja haritus

Pyörien aurauksella ja harituksella tarkoitetaan pyörien kulmapoikkeamaa ajoneuvon keskilinjasta. Pyörien etureunojen ollessa lähempänä ajoneuvon keskilinjaa kuin takareunat, silloin kyseessä on auraus. Etureunat ollessa taas kauempana kuin takareunat, on kyseessä haritus. Aurauskulma tehtävänä on kumota camber-kulmasta, vierintävastuksesta ja vetovoimasta aiheutuvat voimat, jotka pyrkivät kääntämään pyörää ajo-vakaudelle epäedulliseen suuntaan. Vaikka vallitsevat voimat saataisiinkin kumottua, se ei kuitenkaan tarkoita sitä että renkaan pinnassa olevat voimat häviäisivät. Esimerkiksi suurella negatiivisella camber-kulmalla varustetun ajoneuvon renkaan sisäreunan kulumista ei aurauskulmia muuttamalla saa loppumaan. (Mauno 1991, 20–23.)

Dynaamisissa tilanteissa aurauskulmaan vaikuttavat pyöräntuennan joustavuus ja sitä voidaan vähentää esimerkiksi vaihtamalla tukivarsien kumiholkkit jäykempiin tai jopa umpikumisiin. Yleisenä ohjeena voidaan pitää, että aurauksen lisääminen tuo ajoneuvolle suuntavakautta suoraan ajettaessa suuremmilla nopeuksilla, mutta samalla auton kaarreajo-ominaisuudet muuttuvat aliohjautuvammaksi. Aurauksen vähentäminen lisää yliohjautuvuutta kaarteissa ja suoraan ajaminen muuttuu vaeltelevämmäksi. Aurauksen määrä ilmoitetaan kahdella erilaisella tavalla. Yleisesti käytössä on millimetrit sekä asteet, joista tarkempi on astemittaus. (Mauno 1991, 20–23.)

3.5 Yli ja aliohjautuvuus

Renkaiden elastisuudesta johtuen auto ei kaarteissa noudata ohjausgeometri-an mukaista liikerataa, vaan liikerata määräytyy renkaiden hetkellisten sortokulmien perusteella. Sortokulman suuruus määrää auton kaarekäyttäytymistä ja tarvittavat ohjauskorjaukset. Ajoneuvo voi olla joko yli- tai aliohjautuva. Aliohjautuvan ajoneuvon kaartosäde pyrkii suurenemaan ajonopeuden kasvaessa. Nopeuden noustessa sortokulmaa on lisättävä eli ohjauspyörää käännettävä kaarteeseen suuntaan niin kauan kunnes tulee se piste että ajoneuvo puskee ulos

radaltaan. Yliohjautuva ajoneuvo pyrkii pienentämään kaartosädettä nopeuden kasvaessa ja kääntökulmaa on pienennettävä ajoneuvon pitämiseksi radallaan. Ääritilanteessa ajoneuvon peräpää lähtee luistoon ja korjausliike vastakkaiseen suuntaan estää pyörähtämisen.

Ajoneuvo voi myös olla neutraali ohjattavuudeltaan eli ajoneuvo säilyttää kaartosäteensä ilman korjausliikkeitä nopeudesta riippumatta. Tämä olisi ajoneuvon käytökselle ja kaarreajo-ominaisuuksille ihanteellinen ratkaisu, mutta se ei ole valitettavasti mahdollista. (Mauno 1991, 42–44.)

3.6 Ominaisohjaus

Ominaisohjauksella tarkoitetaan pyörien aurasukulmamuuutoksia sisään ja ulosjouston aikana. Raidetangon ulkopään ollessa kiinnitettynä pyöräntuentaan ja sisäpään ollessa kiinteästi paikoillaan ohjausvaihteessa, aiheuttavat pystysuuntaiset liikkeet pyörän kääntymistä. Pyörien kääntyminen ilman kuljettajan antamaa käskyä ei ole suotavaa ja se pyritään minimoimaan. Ominaisohjauksen ollessa merkittävä on sitä syytä vähentää. Käytännössä se onnistuu kahdella eri tavalla, jotka ovat ohjausvaihteen paikan siirtäminen tai olkavarsien uudelleenmuotoilu. Ominaisohjausta ei saada täysin minimoitua, mutta mitä pienemmäksi se saadaan sen parempi. (Mauno 1991, 80–82.)

3.7 Painopiste

Jokaisella kappaleella on oma painopisteensä, johon koko kappaleen paino voidaan kuvitella keskittyneen. Ajoneuvon painopisteen löytää siitä kohtaa missä ajoneuvo pysyy nostettuna asennosta riippumattomana täysin tasapainossa. Painopisteen sijainnilla on suuri merkitys auton käyttäytymiseen. Sääntönä voidaan pitää sitä että painopiste pyritään saamaan mahdollisimman alas. Painopisteen alentamiskeinoista tehokkain on koko korin madaltaminen, mutta tästä seuraa myös maavaran pieneminen. Suuria muutostöitä vaativat ajoneuvon moottorin ja vaihteiston laskeminen mahdollisimman alas, mitä ei normaalitapa-

uksessa sovelleta. Painopisteen alentamiseksi on syytä sijoittaa kaikki mahdolliset irrotettavat osat mahdollisimman alas. Painopisteen siirtäminen auton pituussuunnassa voi vaikuttaa ajoneuvon yli- tai aliohjautuvuuteen merkittävästi. (Mauno 1991, 28–30.)

4 UUDEN ETUJOUSITUSGEOMETRIAN SUUNNITTELU VANHAN POHJALTA

4.1 Vanhan alustageometrian mittaus ja ongelmat

Ajoneuvo kytkettiin nelipyöräsuuntauslaitteeseen, ja seuraavaksi otettiin arvot nykyisestä alustageometriasta, jotta voitaisiin miettiä, miten nykyistä kokoonpanoa pitäisi muuttaa. Mittauksessa käytettiin Stenhöj-nelipilarinosturia ja sen kevennintä ajoneuvon nostamiseen ylöspäin ja alaspäin vedettäessä vetoliinaa ja räikkäkieristintä. Tarkat mitta-arvot Camber- ja aurauskulmista saatiin Hoffman Geoliner 550 PRISM -nelipyöräsuuntauslaitteella, ajoneuvo ajovalmiina ilman kuljettajaa. Caster-kulmaa ei voitu mitata, koska mittauslaitteessa ei ollut tätä toimintoa käytettävissä. Suuntauslaitteella otettiin vain etuakseliston arvot huomioon, koska taka-akseliston muuttamiseen ei olisi ollut riittävästi aikaa. Etuakselistoa nostettiin ja laskettiin maksimi- ja minimijoustoihin asti.

Saaduista arvoista näki erittäin selvästi, että aurauskulmat muuttuvat liikaa joustoliikkeen aikana. Ajoneuvon ollessa normaalissa ajoasennossa aurauskulma on melkein 5° . Varsinaisessa koeajotilanteessa havaittiin voimakasta vetelyä puolelta toiselle suoraan ajettaessa, mikä tukee sitä ajatusta, että aurausta on liikaa.

Camber-kulma oli toinen mittauksista saaduista arvoista, jossa pyörät nousivat pystympään sisäänjoustossa kuin alkutilanteessa. Normaalissa ajoasennossa pyörissä on negatiivista camberia 3° , joka olisi lähellä oikeaa arvoa, jos se pysyisi muuttumattomana koko joustoliikkeen ajan. Nämä edellä mainitut arvot ovat peräisin Iiro Niemisen tekemästä opinnäytetyöstä: CROSSKART-AJONEUVON ETUJOUSITUSGEOMETRIAN TUTKIMINEN. Iiron työ on tehty samasta ajoneuvosta ja hänen työnsä keskittyi ajoneuvon pyörien asentokulmien mittaamiseen ja tulosten tulkitsemiseen. (Taulukko 4, 23.)

Näistä tuloksista käy ilmi, että aorauskulmamuuutoksia on saatava huomattavasti pienemmäksi. Camber-kulma pitäisi saada pysymään noin 3° negatiivisena ja erityisesti sisäänjoustossa kääntymään lisää negatiiviseen päin enemmän kuin positiiviseen.

Ylä- ja alatukivarsista puuttui säätömahdollisuudet kokonaan ja ainoastaan austrausta pystyi säätämään. Raidetangon ollessa virheellisesti sijoitettu, säätämällä ei saada aorauskulmamuuutoksia tarpeeksi vähennettyä. Molemmat tukivarret oli tuettu taaksepäin vinotuennalla, joka huomattavasti pienensi renkaiden kääntyvyyttä ja hankasi renkaan reunaan täyskäännöksessä. Vinotuennasta on päästävä eroon, jotta ajoneuvo olisi ketterämpi käännöksissä.

4.2 Tavoitteet uudelle alustageometrialle

Tavoitteena oli rakentaa kestävä ja yksinkertainen rakenne. Säätömahdollisuuksia pitäisi saada parannettua caster ja camber-kulman osalta, koska kyseiset säädöt puuttuivat vanhasta kokoonpanosta kokonaan. Pyörien kääntyvyyttä pitää saada lisättyä, koska kääntösäde on liian suuri kyseiselle ajoneuvolle. Aorauskulmien muutokset pitää saada minimoitua vetelyn ja arvaamattomien liikkeiden poistamiseksi joustoliikkeen aikana. Jousitusta pitää pystyä säätämään monipuolisemmin kuin vain jousijäykkyyttä säätämällä. Joustovara täytyy saada suuremmaksi, koska vanha jousitus pohjaa helposti epätasaisessa maastossa.

4.3 Uuden alustageometrian asentokulmien määrittäminen

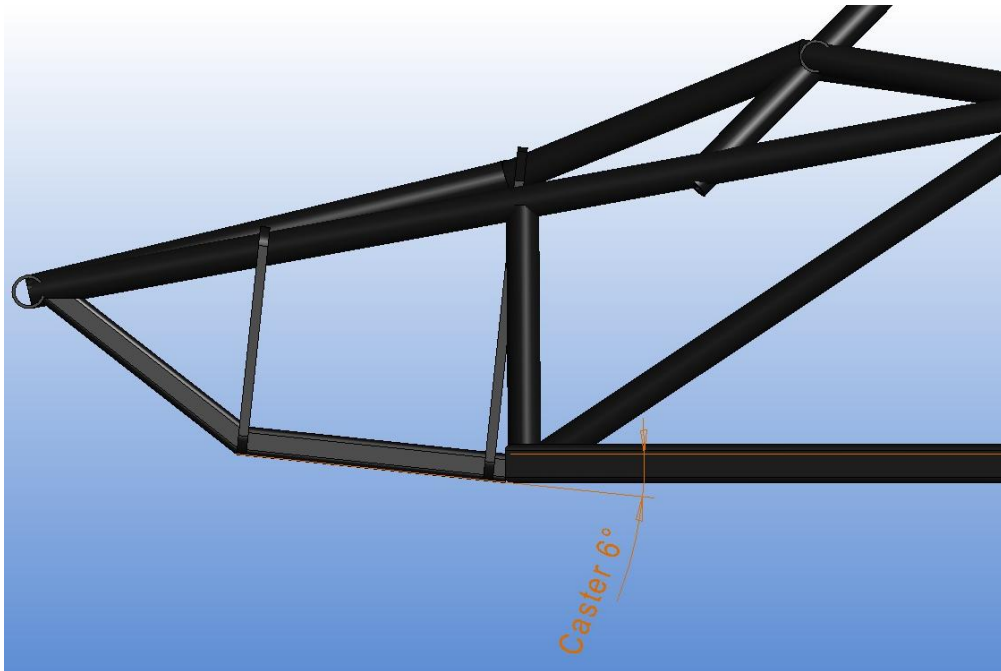
Lähdin liikkeelle vanhan alustageometrian ongelmista ja suunnittelin uuden alustageometrian asentokulmat perustuen lukemaani kirjallisuuteen. Päätin camber-kulmien olevan noin $-2...3^{\circ}$ astetta ajoasennossa, koska ajoneuvossa pitää olla hyvät kaarreajo-ominaisuudet. Kokonaisuudessaan asetettiin noin 4° asteen ajoasennossa, antaen suuntavakautta ilman hakemista. Caster-kulma olikin haastava määriteltävä, koska renkaiden kääntäminen ei saa olla liian raskasta kuljettajalle. Ohjauksen ollessa raskas käytettävä, kuljettaja väsy nopeasti ja tästä seuraa helposti suurempi onnettomuusriski. Halusin ajoneuvoon palauttavan ohjauksen helpottamaan ajamista suoraan, joten valitsin caster-kulmaksi noin 6° positiiviselle puolelle.

4.4 Uuden alustageometrian mallinnus 3d:nä

Onneksi minulla oli jo hieman kokemusta 3d mallintamisesta aikaisemmista projekteistani, joten ihan kaikkea ei tarvinnut opetella alusta asti. Käytin mallintamiseen suomalaista Vertex G4 -ohjelmaa, koska sillä oli helppo tehdä mallinnukset hyvien ohjeiden ja suomenkielisyys ansiosta.

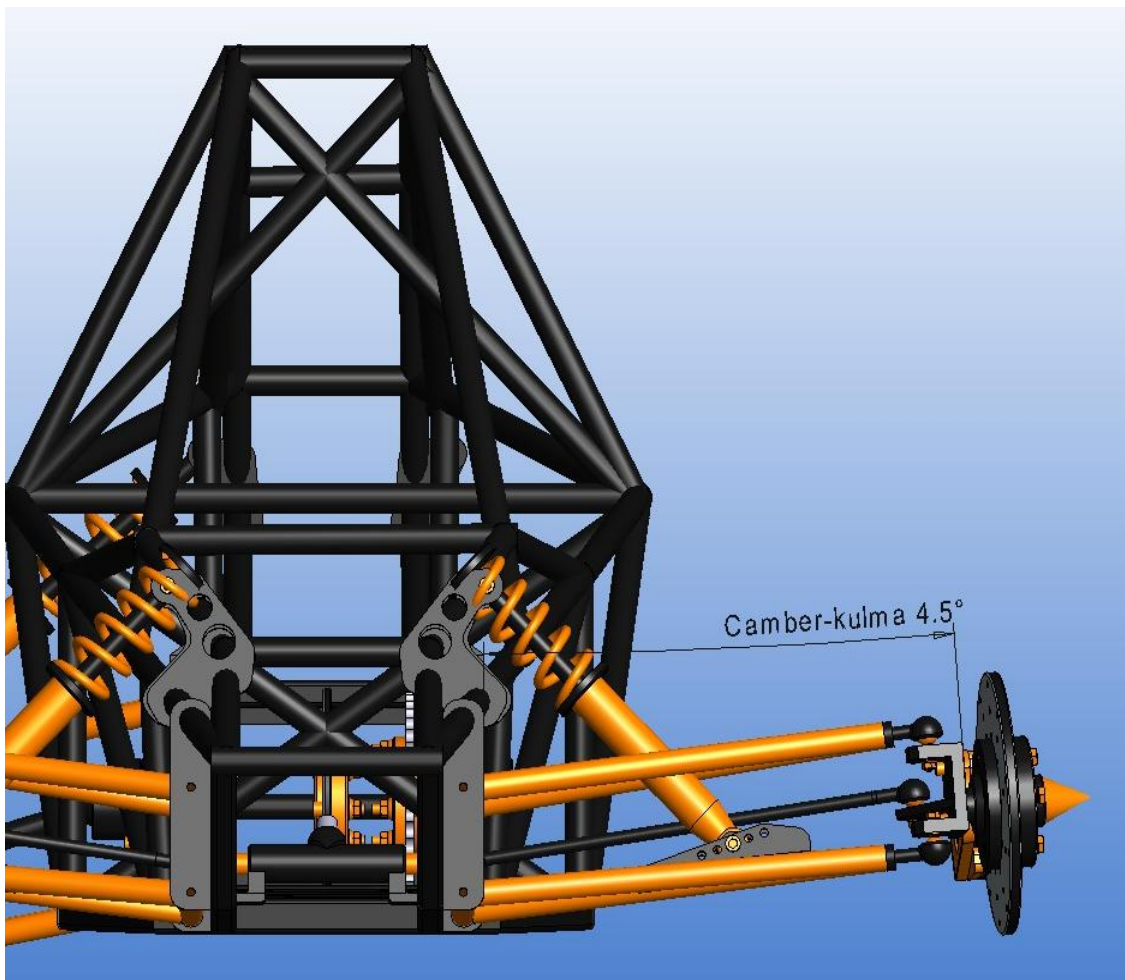
Aivan aluksi yritin mallintaa aivan samanlaista etupään putkirunkoa kuin tutkimuksen kohteena olevassa ajoneuvossa oli, mutta se osoittautui mahdottomaksi tehtäväksi tällä kokemuksella. Tästä viisastuneena aloin mallintaa huomattavasti yksinkertaisempaa etupään putkirunkoa ja se alkoi sujua lopuksi ihan hyvin.

Sain etupään putkirungon valmiiksi, ja seuraavaksi aloin suunnitella ylä- ja alaturvavarsien mittoja ja säätömahdollisuuksia. Molempiin turvavarsien ulommaisiin niveliin tuli camber-kulman säätömahdollisuus ja ajatuksena oli myös tehdä caster-kulman säätö, mutta se oli liian vaikea toteuttaa järkevästi, joten sille ei ole tässä kokoonpanossa säätömahdollisuutta. Caster-kulman toteutin kääntämällä turvavarsien kiinnityskohdan 6° taaksepäin runkoon nähden. (Kuva 4.)

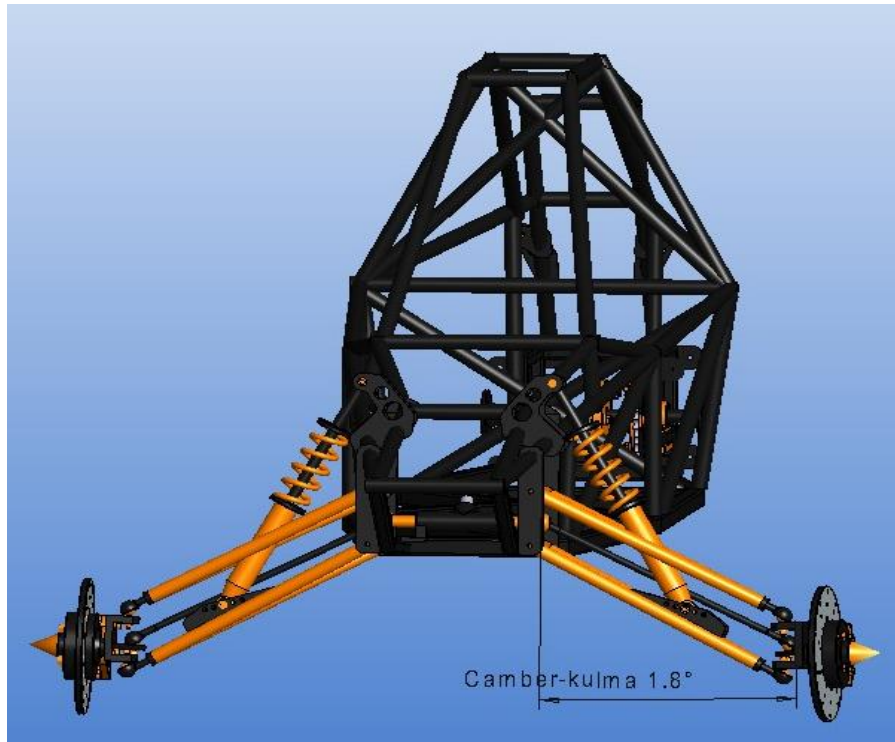


Kuva 4. Caster-kulma runkoon nähden.

Molemmista tukivarsista tuli samanlaiset ja mittaiset, joten ne ovat helppo valmistaa. Samanpituisilla tukivarsilla camber-kulmien pitäisi pysyä käytännössä muuttumattomina jouston aikana, mutta jos camber-kulmaa muutetaan tukivarren pituutta muuttamalla, kulma muuttuu sisäänjoustossa jonkun verran lisää jompaankumpaan suuntaan. Jousituksen ala-asennossa camber-kulma asettui ala-asennossa $-1,8$ asteeseen ja yläasennossa lisääntyy aina -4.5 asteeseen asti. (Kuvat 5-6.) Camber-arvot nähtävissä taulukossa 3 & 4. Ylä- ja alatukivarsien ylä- ja alakiinnityskohdat ovat hieman lyhyemmällä kuin ulommat, joten tällä ratkaisulla saatiin camber-kulma lisääntymään negatiiviseen suuntaan sisäänjoustossa. Vanhan ja uuden crosskart:in camber-kulmien muutokset joustoliikkeen funktiona nähtävissä kuviossa 1.

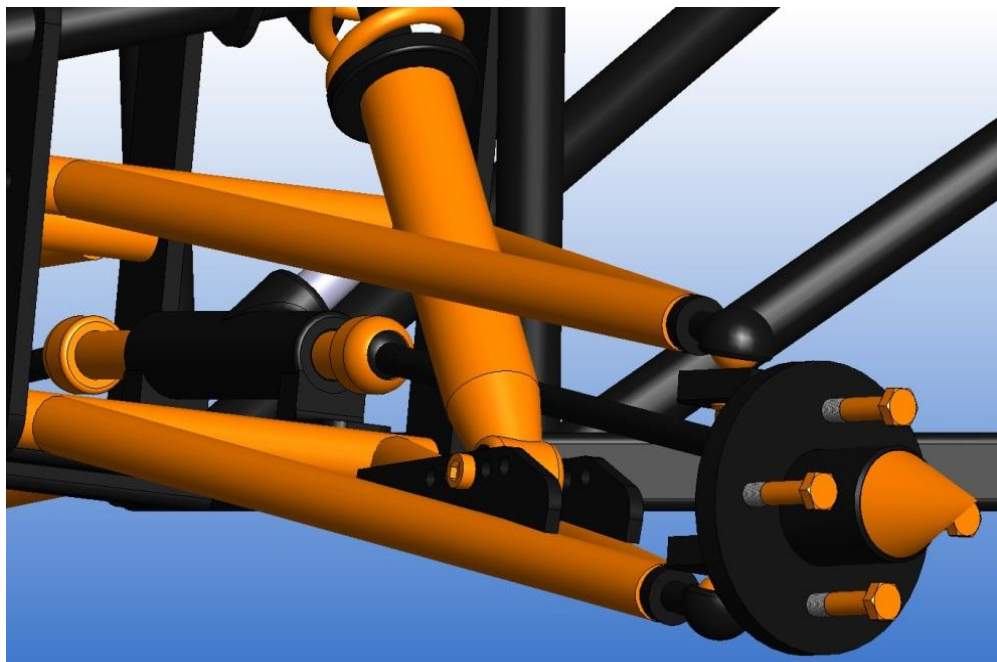


Kuva 5. Camber-kulma maksimi sisäänjoustossa.



Kuva 6. Camber-kulma maksimi ulosjoustossa.

Seuraava toimenpide oli vanhassa mallissa olevan ohjausvaihteen siirtäminen aivan tukivarsien edestä mahdollisimman taakse ja alas saaden lähes saman kulman ja nivelpisteen tukivarsien ja raidetangon välille. (Kuva 7.)



Kuva 7. Ohjausvaihteen sijainti.

Tällä ratkaisulla sain aurasikulmien muutokset huomattavasti pienemmäksi jouston aikana. Kokonaisaurauskulma muuttuu maksimi- ja minimijouston aikana vain noin 5° edellisen mallin 12°:n sijaan. Vanhat ja uudet arvot nähtävissä taulukoissa 3 & 4. Aurasikulmamutokset joustoliikkeen funktiona on nähtävissä kuviossa 2 sivulla 26.

Taulukko 3. Uuden Crosskart:in ohjauskulma-arvot.

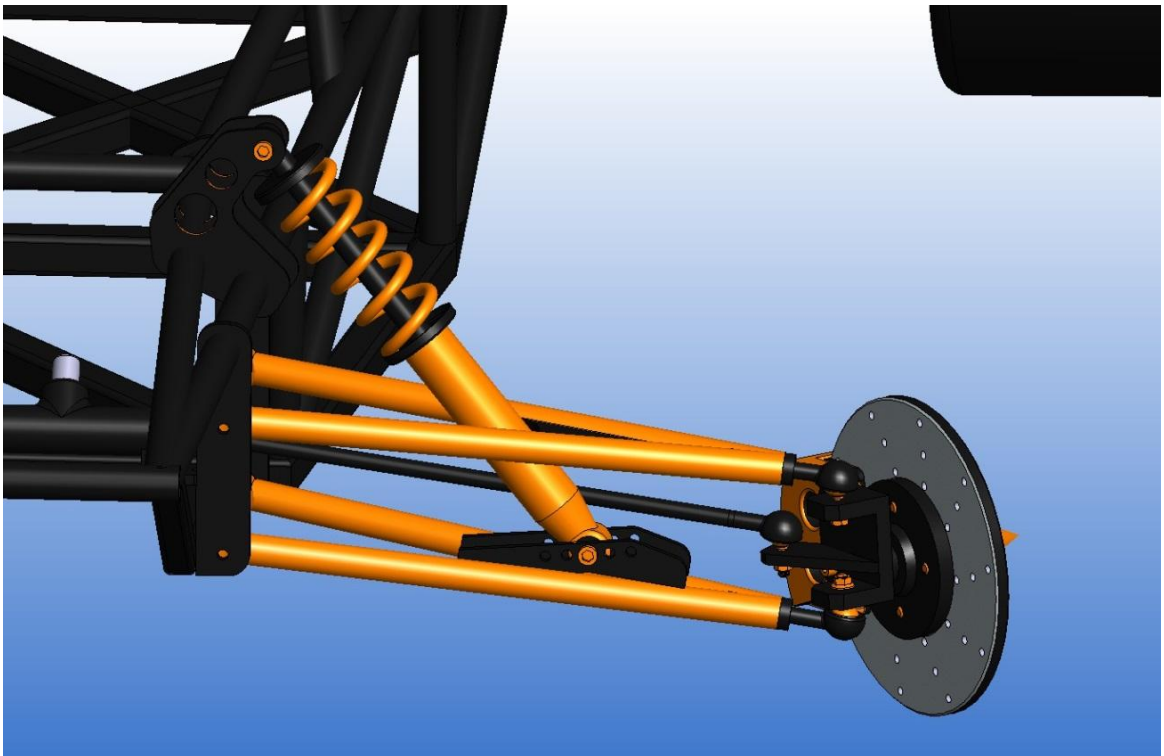
Uusi Crosskart						
		Camber		Aurus(asteina)15" vanteella		
Ajokorkeus (cm)	Muutos (cm)	Camber Vas	Camber Oik	kok.ast.	vas.ast.	oik.ast.
20	-10,0	-4,5	-4,5	1,3	0,65	0,65
25,0	-5,0	-3,7	-3,7	2,7	1,35	1,35
30	0,0	-2,9	-2,9	4,2	2,2	2,2
35,0	5,0	-2,3	-2,3	5,6	2,8	2,8
40	10,0	-1,8	-1,8	6,8	3,4	3,4

Taulukko 4. Vanhan Crosskart:in ohjauskulma-arvot.

Vanha Crosskart						
		Camber		Aurus(asteina)15" vanteella		
Ajokorkeus (cm)	Muutos (cm)	Camber Vas	Camber Oik	kok.ast.	vas.ast.	oik.ast.
19,5	-5,0	-1,42	-1,89	11,57	6,58	5,09
22,0	-2,5	-2,28	-2,37	7,86	4,53	3,33
24,5	0,0	-3,03	-2,8	4,89	2,76	1,83
27,0	2,5	-3,73	-3,47	1,5	0,84	0,66
29,5	5,0	-4,02	-3,65	-0,66	-0,48	-0,21

Taulukoista näkee helposti, että uudessa kokoonpanossa aurasikulmamutokset on saatu hyvin minimoitua. Camber-kulma muuttuu sisäänjoustossa lisää negatiiviseen suuntaan uudessa kokoonpanossa, kun taas vanhassa tämä kulma muuttuu lisää positiiviseen suuntaan.

Etunavan jarruineen suunnittelin osaksi omiin kokemuksiin perustuen ja tietysti jo olemassa olevaan kirjallisuuteen perustuen. Seuraavaksi oli vuorossa jousituksen suunnittelu ja säätömahdollisuuksien kartoitus. Mallinsin yksinkertaisen niin sanotun jousitolpan heilahduksenvaimentimiseen ja tein alatukivarteen sarjan reikiä leveyssuunnassa, jolla voidaan säätää jousitolpan kulmaa putkirunkoon nähden. Jousitolpan kulmaa muuttamalla saadaan jousitukseen jäykkyyttä ja löysyyttä tarpeen mukaan. (Kuva 8.)

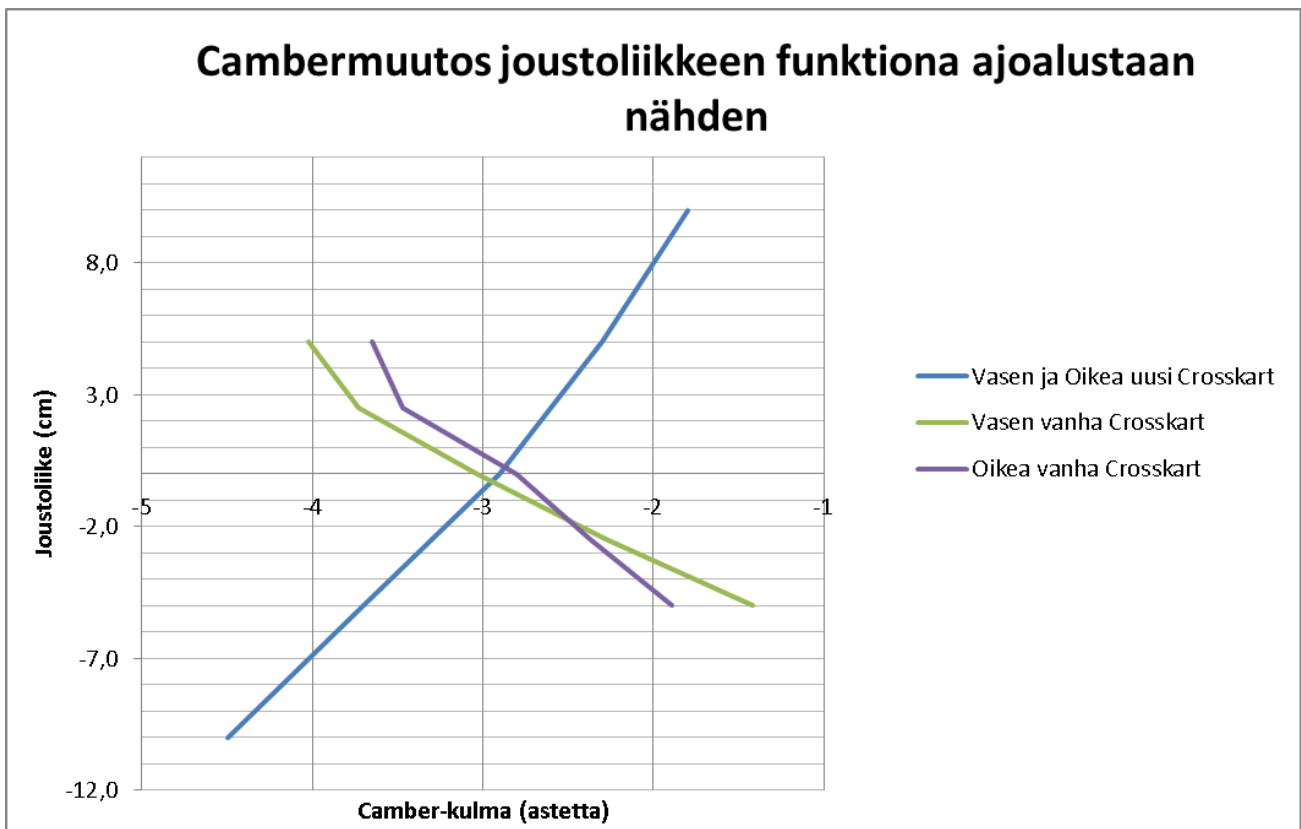


Kuva 8. Etunapa jarruineen ja jousituksen säätömahdollisuus.

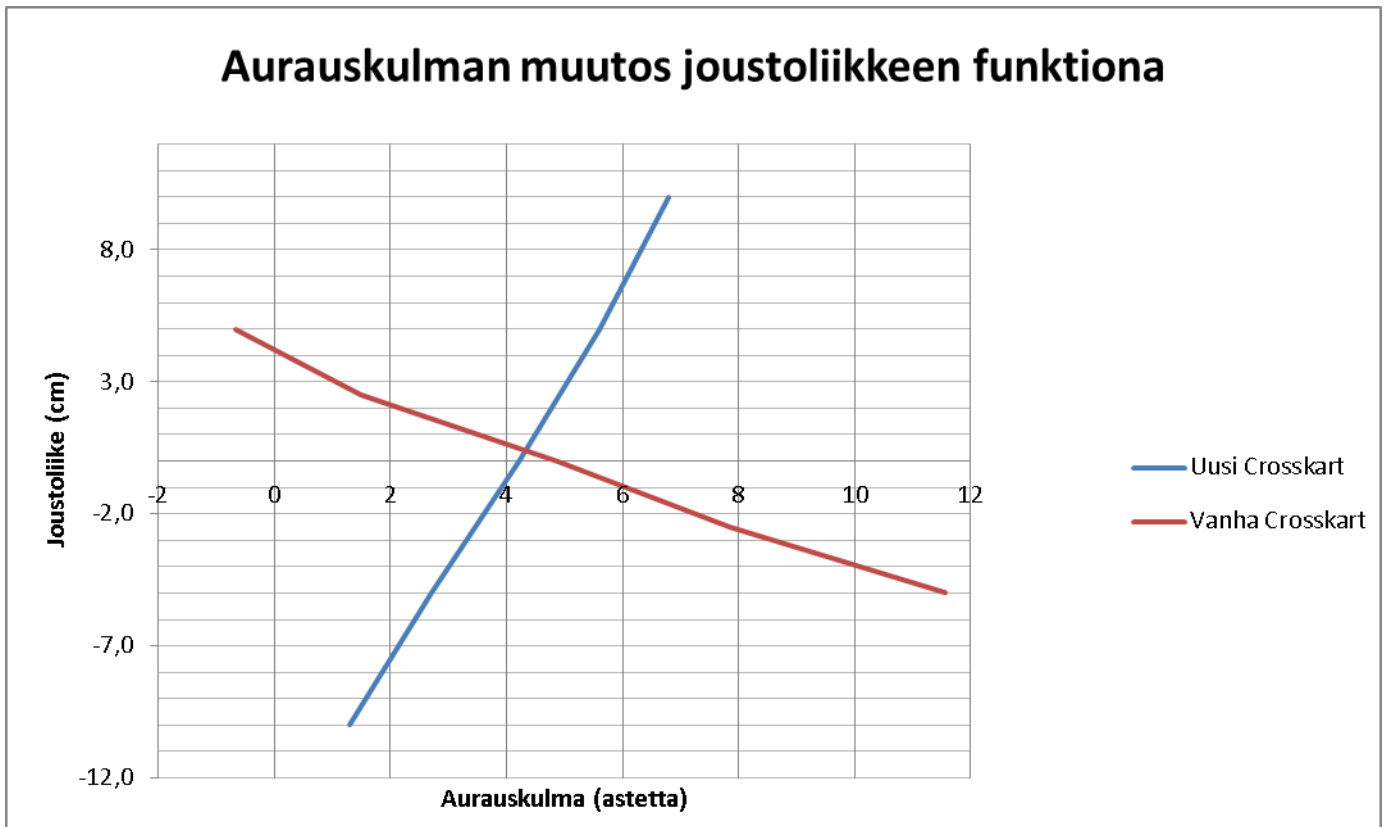
Etupään mallinnus saatiin valmiiksi, joten mallinsin vielä koko ajoneuvon omilla arvoilla ja mitoilla. Koko ajoneuvon mallinnus auttoi huomattavasti käsittämään osat kokonaisuutena ja että ovatko ne oikeassa mittakaavassa kyseiseen ajoneuvoon. Mallintaessa usein meni mittasuhteen pahasti pieleen, koska osat täytyy käytännössä mitoittaa ja suunnitella tyhjästä. Rullamitan ja millimetrimitan kanssa arvioin osien mittasuhteet sopiviksi ja aloin mallintamaan näillä lähtötiedoilla uutta osaa tai osakokonaisuutta.

4.5 Uuden alustageometrian ominaisuudet

Uudessa alustageometriassa on aorauskulmamuutokset saatu puolitettua vanhaan alustageometriaan verrattaessa.(Kuvio 2.) Joustovara on lisääntynyt uudessa mallissa $\pm 15\text{cm}$ ajokorkeudesta vanhan mallin $\pm 5\text{cm}$ sijaan. Camberkulma muuttuu sisäänjoustossa lisää negatiiviseen suuntaan kun taas vanhassa ne muuttuivat päinvastoin.(Kuvio 1.) Jousitusta pystyy säätämään jousitolpan paikkaa muuttamalla alatukivarren kiinnityspisteestä, joka muuttaa jousitolpan kulmaa runkoon nähden. Tukivarsista tuli hieman pitemmät mikä auttaa pitämään kulmamuutokset vähäisempinä kuin lyhyemmillä tukivarsilla. Pyörien kääntyvyys ei rajoitu tukirakenteisiin vaan kääntyvät nyt huomattavasti enemmän.



Kuvio 1. Cambermuutos joustoliikkeen funktiona ajoalustaan nähden.



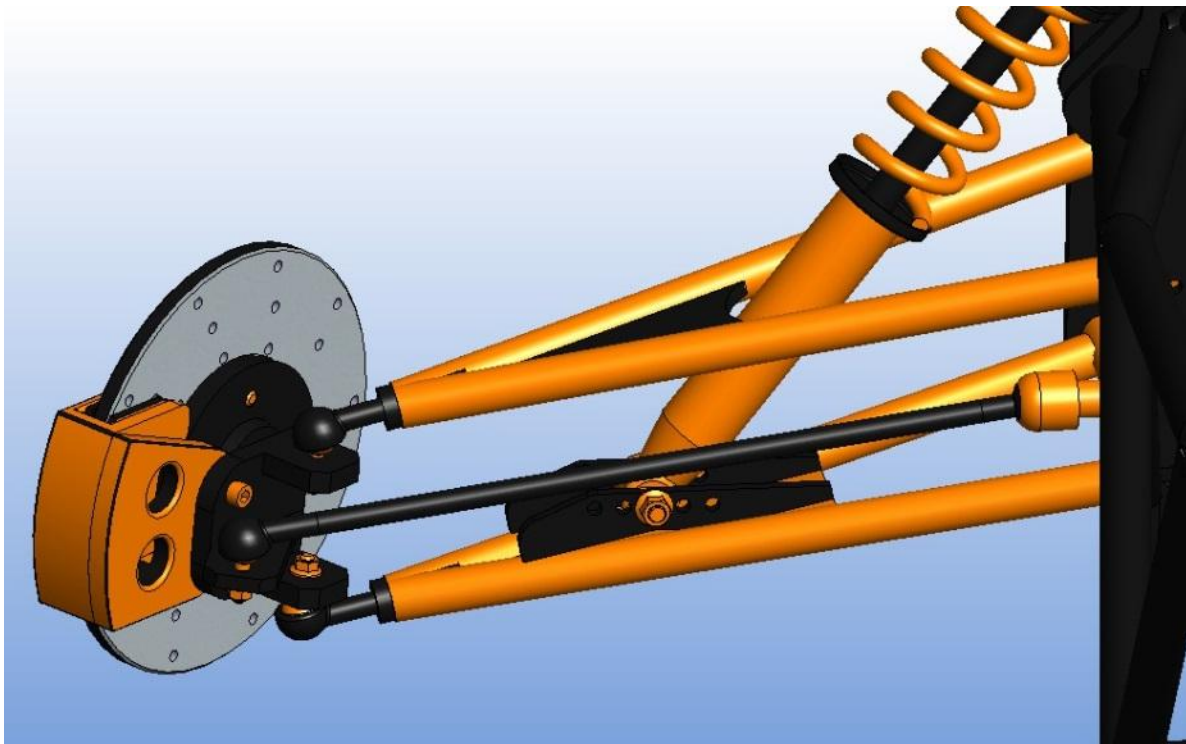
Kuvio 2. Aurauskulman muutos joustoliikkeen funktiona.

5 VANHAN JA UUDEN ETUJOUSITUSGEOMETRIAN VERTAILU

Asetin tavoitteita uudelle alustageometrialla että saisin säätömahdollisuudet caster- ja camber-kulmille, mutta onnistuin vain saamaan camber-kulmalle säädön. Caster-kulmalle en keksinyt mitään helposti ratkaistavaa säätöä, joten se jäi säädöttömäksi tässä kokoonpanossa. Aurauskulmamuutokset sain mielestäni hyvin minimoitua tällä joustovaralla ohjausvaihteen paikkaa muuttamalla. Pyörien kääntyvyys parani huomattavasti, kun muutin rakenteen kolmiotukivar-siksi ilman vinotentaa. (Kuva 11&12.)



Kuva 9. Kääntyvyys rajoittuu vinotukeen.



Kuva 10. Uudessa alustageometriassa ei vinotukea.

Uudessa ja vanhassa alustageometriassa on molemmissa hyviä ja huonoja puolia, mutta uuteen kokoonpanoon on pyritty nämä suurimmat ongelmat vanhasta kokoonpanosta poistamaan.

Uuden alustageometrian ongelmat ja plussat:

- + Säättömahdollisuudet camber-kulmalle ja auraukselle
- + Camber-kulma muuttuu hieman enemmän negatiiviseksi sisäänjoustossa
- + Aourauskulmamuuuokset ovat puolittuneet verrattuna vanhaan malliin
- + Kestävä rakenne kolmiotukivarsilla
- + Rakenne ei estä kääntyvyyttä
- + Joustoliike sopivan pitkä
- + Jousituksen säättömahdollisuus
- Kalliimpi toteuttaa
- Monimutkaisempi rakentaa
- Toistaiseksi ei caster-kulman säätöä

Vanhan alustageometrian ongelmat ja plussat:

- + Helppo toteuttaa
- + Halpa valmistaa
- + Voidaan käyttää jo olemassa olevia osia
- Ei säättömahdollisuuksia muille kuin auraukselle
- Camber-kulma muutos pystympään sisäänjoustossa
- Suuret aourauskulmamuuuokset sisään ja ulosjoustossa
- Kääntyvyys rajoittuu vinotukeen
- Joustoliike liian lyhyt

Uusi Crosskart on vanhaa mallia huomattavasti monimutkaisemman näköinen, mutta todellisuudessa paljon kestävämpi ja helpompi rakentaa. Mallinsin koko ajoneuvon havainnollistamaan sitä että millaisen ajoneuvosta itse tekisin. (Kuva 13&14.) Kaikki muutokset olemassa olevaan ajoneuvoon on mahdollista toteuttaa ilman kalliita työstökoneita.



Kuva 12. Uusi Crosskart valmiina.



Kuva 11. Vanha Crosskart.

LÄHTEET

<http://www.speedweekend.fi/speedcar.php>

http://www.motorbikes.be/en/Kawasaki_ZX-6R_Ninja_1998.aspx

<http://www2.vertex.fi/web/fi/g4>

Mauno, E. 1991. Virittäjän käsikirja 2 Alusta. Helsinki: Alfamer Oy.

Iiro Nieminen. 2013. CROSSKART-AJONEUVON ETUJOUSITUSGEOMETRIAN TUTKIMINEN