

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2021

Pekka Isomaa

ALUSTARAKENTEIDEN MERKITYS KILPA-AUTON SUUNNITTELUSSA

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Toukokuu 2021 | 34 sivua

Pekka Isomaa

ALUSTARAKENTEIDEN MERKITYS KILPA-AUTON SUUNNITTELUSSA

[Click here to enter text.](#)

Tämän työn tarkoitus on perehdyttää lukija auton alustarakenteisiin tehtäviin muutoksiin, kun kyseessä on tavallinen käyttöauto, josta on tarkoitus rakentaa kilpa-auto. Työ on kirjoitettu auttamaan aloittelevia kilpailijoita ymmärtämään alustarakenteiden perusteita kilpa-auton rakentamisessa.

Työssä käsitellään pyöränkulmiin liittyviä säännöksiä ja yleisiä turvallisuussääntöjä. Työssä käsitellään myös jousien ja vaimentimien säätöjä sekä niiden vaikutuksia.

ASIASANAT:

Ralliauto, jousitus, iskunvaimentimet, suunnittelu.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

May 2021 | 34 pages

Pekka Isomaa

THE EFFECT OF WHEEL ALIGNMENT AND SUSPENSION SETUP IN RACE CAR DESIGN

[Click here to enter text.](#)

The purpose on this thesis is to teach the basics of wheel alignment, suspension setup and their respective adjustments to the reader. The thesis is meant for people who have little or no knowledge of said adjustments, who wish to get into the race-car scene with a stock vehicle.

KEYWORDS:

Rally Car, Suspension, Shock Absorbers, Design

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 SÄÄNNÖT	7
2.1 Pyöränripustuksen sallitut muutokset	8
2.2 Turvallisuus	9
3 FORD ESCORT RS 2000 MK5	10
4 RENKAAT	13
4.1 Perusrakenne	13
4.2 Renkaan ilmanpaine	14
4.3 Kohdeauton renkaat	15
5 PYÖRÄNTUENNAN GEOMETRIA	16
5.1 Pyöränkulmat	16
5.2 Aorauskulma	17
5.3 Ominaisohjaus	18
5.4 Camber	19
5.5 Caster	20
5.6 Kääntöakselin sivukallistuma	21
5.7 Kääntövierintäsäde	22
5.8 Kallistuskeskiö ja kallistusakseli	23
6 JOUSET JA VAIMENTIMET	26
6.1 Jouset	26
6.2 Kallistuksenvakaaja	27
6.3 Vaimentimet	28
6.4 Vaimennusvoimien säätäminen	30
6.5 Kohdeauton jousituksen ja vaimentimien muutokset	31
7 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	33

KUVAT

Kuva 1. Ford Escort RS2000 Mk5a.	10
Kuva 2. Kohdeauton MacPherson-tuki.	11
Kuva 3. Uniball-nivel (Tarvikemotti 2021).	12
Kuva 4. Aorauskulma (1001Renkaat 2021).	17
Kuva 5. Ominaisohjauksen säätö (Fully Torqued Racing 2021).	18
Kuva 6. Camber-kulmat ja kaarreajon vaikutus renkaan kontaktipinta-alan kuormitusjakaamaan (Tirebuyer 2021).	19
Kuva 7. Camber-kulman muutos joustoliikkeen aikana (Suspension Secrets 2021a). ..	20
Kuva 8. Positiivinen caster-kulma (Suspension Secrets 2021b).	21
Kuva 9. KPI (Suspension Secrets 2021c).	22
Kuva 10. Kallistuskeskiön määrittäminen piirtämällä (Suspension Secrets 2021d).	23
Kuva 11. Säädetty joustintuen yläkiinnitys (Uniball 2021).	24
Kuva 12. Kallistuksenvakaaja kiinnitettynä. (CarThrottle 2021a).	27
Kuva 13. Teleskooppivaimennin (Modificars 2021).	28
Kuva 14. Yksiputkinen ja kaksiputkinen vaimennin (CarThrottle 2021b).	29
Kuva 15. Säädetty teleskooppivaimennin lisäsäiliöllä (mtp-racing24 2021).	30

TAULUKOT

Taulukko 1. Autojen vähimmäispainot kuutiolavuuden mukaan A-luokassa (AKK 2021, 374).	8
Taulukko 2. Kohdeauton pyöränkulmien tehdasasetukset (Jtechno 2021).	11

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoitus on esittää lukijalle mahdollisimman helposti tarvittavat muutokset joita auton alustarakenteisiin tulee tehdä, mikäli autolla on tarkoitus alkaa kilpailemaan Suomessa vallitsevissa olosuhteissa. Mitä muutoksia tulisi tehdä auton renkasiin, pyörängeometriaan, jousitukseen ja vaimennukseen? Alustarakenteisiin on perehdyttävä, mikäli on tavoitteena rakentaa suorituskykyinen kilpa-auto. Suorituskyvyllä on suuri merkitys menestymismahdollisuuksiin.

Työssä käsitellään teoriatasolla renkaat, pyöränkulmat, jouset, vaimentimet sekä niiden vaikutukset auton ajo-ominaisuuksiin. Työssä myös käsitellään mahdolliset tarvittavat muutokset liittyen käsiteltäviin aiheisiin kun suunnitellaan kilpa-autoa vakiomallisesta ajoneuvosta. Käsiteltäviä asioita tullaan peilaamaan työssä esitellyn kohdeauton kannalta. Työssä esitetään myös kilpa-autotekniikkaa rajoittavat säännöt ja säädökset, sekä esitellään kilpaluokkaa, jossa kohdeautolla tullaan ajamaan.

Tämä työ on tarkoitettu auttamaan ihmisiä perehtymään pinnallisesti alustarakenteisiin päästäkseen alkuun kilpa-auton alustarakenteiden suunnittelussa.

2 SÄÄNNÖT

Opinnäytetyössä esitetyllä esimerkkinä toimivalla kohdeautolla tullaan ajamaan F-ryhmässä kilpaa, tarkemmin sanottuna rallia, joten tulee auton olla rakennettu tarkasti autourheilun sääntöjä noudattaen Yleisesti sanottuna F-ryhmä on vain Suomessa toimiva ralliautoluokka kaksivetoisille, vapaasti hengittäville ralliautoille, joiden kansainvälinen luokitus on päättynyt seitsemän vuotta sen valmistumisen päättymisestä.

F-ryhmän rallikilpa-autoilussa AKK-Motorsport ry (aiemmin Autourheilun kansallinen keskusliitto) määrää tekniset säädökset, joiden mukaan auto on rakennettava. Tässä esitetään muutamia kohtia alueista, joita käsitellään tässä työssä. Autourheilun sääntökirjan lukeminen vaati harjoitusta. Ennen auton suunnittelua on siis tutustuttava huolellisesti sääntökirjaan ja selvitettävä minkälainen auto saa olla kyseessä ja millaisia muutoksia on sallittu tehdä.

Sääntökirjan kohdasta ”XIII Erytymääräykset ryhmälle F” löytyy määritelmä autotyypeistä, jotka soveltuvat ajettavaksi F-ryhmään. Vain ryhmiin 1, 2 tai A luokiteltua autoa on sallittua käyttää. A-ryhmällä on vielä lisäyksenä, että auton kansainvälinen luokitus on päättynyt vuonna 2007 tai aikaisemmin. Ryhmään sopivat automallit on merkattu sääntökirjassa olevaan luokituslistaan merkinnällä (f). Artiklat 251, 252 ja 253 ovat voimassa F-ryhmässä (AKK 2021, 478).

Autot jaetaan kahteen luokkaan, 1 ja 2, sylinteritilavuuden mukaan. Luokassa 1 se on alle 2200 cm³, ja luokassa 2 yli 2200 cm³. A-ryhmän autoksi luokitellaan matkailuauto, jota on valmistettu vähintään 2500 kpl 12 peräkkäisen kuukauden aikana. A-luokitellussa autossa auton on täytettävä kuutiotilavuuden mukaan seuraavat vähimmäispainot ilman ohjaajia ja heidän varusteitaan (Taulukko 1).

Taulukko 1. Autojen vähimmäispainot kuutiotilavuuden mukaan A-luokassa (AKK 2021, 374).

		rallit:	muut kilpailut:
enint.	1000 cm ³	720 kg	670 kg
enint.	1150 cm ³	790 kg	
enint.	1400 cm ³	840 kg	760 kg
enint.	1600 cm ³	920 kg	850 kg
enint.	2000 cm ³	1000 kg	930 kg
enint.	2500 cm ³	1080 kg	1030 kg
enint.	3000 cm ³	1150 kg	1110 kg
enint.	3500 cm ³	1230 kg	1200 kg
enint.	4000 cm ³	1310 kg	1280 kg
enint.	4500 cm ³	1400 kg	1370 kg
enint.	5000 cm ³	1500 kg	1470 kg
enint.	5500 cm ³	1590 kg	1560 kg
yli	5500 cm ³	1680 kg	1650 kg

Suunnitellessa ja rakentaessa autoa on ensiksi tutustuttava yleisiin määräyksiin, jonka jälkeen turvallisuusmääräyksiin. Tämän jälkeen on tutustuttava erityismääräyksiin koskien ryhmiä F ja A.

2.1 Pyöränripustuksen sallitut muutokset

Tukivarret saa vaihtaa, kunhan pyöränripustuksen tyyppi säilyy samana ja vain kyseisen automallin tehdasvalmisteisia osia on käytetty. Mikäli ei kuitenkaan käytetä alkuperäisiä tukivarsia, täytyy niistä olla todistus josta ilmenee valmistaja ja että osat ovat tehdasvalmisteisia ja tarkoitettu kyseiseen automalliin. Tehdasvalmisteisella tarkoitetaan osia, joiden valmistajan katsotaan olevan kyseisten tyyppisten osien asiantuntija.

Akseliväli ja pyörännapojen sijainti pituussuunnassa saa muuttua enintään 30 mm. Pyöränripustuksien osien kiinnityspaikat saa muuttaa ja lisätuentoja saa asentaa, mutta vain välttämättömät korimuutokset ovat sallittuja.

Kallistuksenvakaimet ovat vapaa. Ne saa poistaa, muuttaa, tai lisätä ilman rajoituksia, vaikka ne olisivat osa pyöränripustusta. Aktiivijousitus, sekä ajon aikana muuttuva jousitus on kielletty, muuten heilahtelunvaimennus ja jousitus on vapaa.

Ohjauksen välityssuhde on vapaa, mutta kotelon on oltava samasta automallista. Myös ohjaustehostimen pumpun toiminta on vapaa ja sähköinen ohjaustehostin on sallittu.

Pyörien on täytettävä ryhmän A ja kilpailusääntöjen mukaiset määräykset ja ne eivät saa olla puhkeamattomat. Vannekoon suurin sallittu halkaisija on 18 " pyörän suurin sallittu halkaisija on 650 mm. (AKK 2021, 479)

2.2 Turvallisuus

Turvasäännöt asettavat rakenteet jotka autossa tulee olla. Turvallisuussäännökset ovat erittäin kattavia ja tästä syystä niitä kaikkia ei tässä työssä käsitellä. Alla kohtia koskien turvallisuutta alustarakenteiden kohdalta.

Tuomaristo voi sulkea auton pois, mikäli jotain sen rakennetta voidaan pitää vaarallisena. Jos jokin laite on valinnainen, tulee se olla asennettuna sääntöjen edellyttämällä tavalla. Myös polttoaine-, öljy- ja jarrulinjat on suojattava korin sisäpuolelta tulta ja kulumista vastaan, sekä ulkopuolisia vahingon aiheuttajia vastaan (korroosio, murtuminen, iskut ym.)

Jarrujen toimintavarmuus tulee varmistaa samalla tavalla kuin tieliikennekäyttöisessä autossa. Jarrujen tulee siis toimia poljinta painaessa ainakin kahteen pyörään vian ilmaantuessa (AKK 2021, 346-347.)

3 FORD ESCORT RS 2000 MK5

Kohdeauto on etuvetoinen Ford Escort RS 2000, vuosimallia -96 (Kuva 1).



Kuva 1. Ford Escort RS2000 Mk5a.

Mallia valmistettiin vuodesta 1991 vuoteen 1996. Vuonna 1993 Ford päätti kasvojenkohotuksesta, jossa näkyviä muutoksia tehtiin konepeltiin, ajovaloihin, takaluokkuun ja spoileri asennettiin. Tätä kasvojenkohotusversiota kutsuttiin tunnuksella Mk5a.

Moottorina autossa on Ford Sierran 2,0 l:n 8-venttiilisestä moottorista muokattu 16-venttiilinen DOHC (Dual Over head Camshaft), jossa alkuperäistä tehoa on 110 kW (150 hv) @ 6000 rpm ja vääntömomenttia 190 Nm @ 4500 rpm. Moottorinohjaus toimii sähköisellä ohjaimella. Moottori on 4-sylinterinen rivimoottori, 1998 cm² iskutilavuudella.

Mitään vakavampia tyyppivikoja ei ole, kunhan huollot on suoritettu ajallaan. Moottorin jakopää on toteutettu ketjulla, mikä on vähäistä huoltoa vaativa. Vaikka ketju kestää huomattavasti jakopään hihnaa kauemmin, löystyy se myös ajan kanssa jolloin se vaatii vaihtoa. (Autowiki 2021)

Auton pyöränkulmat ovat tällä hetkellä tehdasasetuksissa (Taulukko 2), lukuun ottamatta pientä harituksen asettamista, mistä kerrotaan myöhemmin tässä työssä.

Taulukko 2. Kohdeauton pyöränkulmien tehdasasetukset (JL Techno 2021).

Parameter	MIN spec	Standard spec	MAX spec
Front Total Toe	0.16		0.5
FL Toe	0.08		0.25
FR Toe	0.08		0.25
FL Camber	-1.72		1.08
FR Camber	-1.72		1.08
Rear Total Toe	0		0.66
RL Toe	0		0.33
RR Toe	0		0.33
RL Camber	-2.5		-1
RR Camber	-2.5		-1
Left Caster	-0.13		2.53
Right Caster	-0.13		2.53
Left SAI	N/A		N/A
Right SAI	N/A		N/A

Akseliväli autossa on 2525 mm, raideleveys edessä 1439 mm ja takana 1462 mm. Auton pyöräntuenta on molemmilla akseleilla toteutettu MacPherson-tuennalla, eli joustintuki-jousituksella. MacPherson-tuenta on rakenteeltaan yksinkertainen (Kuva 2).



Kuva 2. Kohdeauton MacPherson-tuki.

Sen rakenne koostuu joustintuesta, joka toimii samalla vaimentimen runkona. Siihen kuuluu myös poikittainen alatukivarsi ja jousi, joka on sijoitettu yleisesti vaimentimen ympärille. Koriin joustintuki kiinnitetään yläpäästään kuminivelen ja vaimentimen välityksellä.

Pyöräntuennan tukivarsia on tarkoitus tulevaisuudessa vahvistaa. Puslat tullaan korvaamaan uniball-nivelillä (Kuva 3).



Kuva 3. Uniball-nivel (Tarvikemotti 2021).

Uniball-nivel on pallomainen teräs nivel jonka on mahdollista liikkua tarkasti moniin eri suuntiin. Niveltyyppi on vahva ja se kestää hyvin rällin olosuhteet. Uniball-nivel ei myöskään veny samalla kuin pusla. Nivel on kuitenkin myös alttiina erilaisille haittatekijöille, kuten hiekalle, suolalle ja kosteudelle. Näistä syistä uniball-niveltä voi joutua vaihtamaan useasti (Trail 4 Runner 2021).

4 RENKAAT

Auton kiihtyvyys, hidastuvuus ja kaarreajo-ominaisuudet riippuvat paljolti renkaan ja tien välisestä pidosta. Renkaan tehtävä on kannatella auton painoa ja synnyttää kuorman alla sivuvoimia, niin pitkittäis- kuin poikittaissuuntaankin.

Renkaan sivuvoiman kehitys, pitkittäis- ja poikittaissuuntaan määrää suoraan auton suorituskyvyn kaarreajossa, jarrutuksissa ja kiihdytyksissä. Mitä enemmän sivuvoimaa rengas pystyy tuottamaan, sitä paremmin auto pystyy suoriutumaan edellä mainituissa tilanteissa. Sivuvoiman kehitykseen renkaassa vaikuttaa suoraan pyöränkuorma, mutta tämä suhde ei ole lineaarinen. Yksinkertaisesti selitettynä kaksi rengasta joilla on molemmilla 1000 N pyöränkuorma, pystyvät kehittämään suuremman sivuvoiman kuin yksi rengas, millä on 2000 N pyöränkuorma.

Pyöränkuorman vaihtelua esimerkiksi painonsiirtymän muodossa kaarreajossa ei ole siis toivottu ilmiö ja sitä tulee pyrkiä aina kilpa-autossa vähentämään. Tähän ei ole muuta keinoa kuin madaltaa auton massakeskipistettä. Kaikilla muilla keinoilla vain pystytään vähentämään auton korin liikkeitä, mikä ei poista painonsiirtymää.

4.1 Perusrakenne

Kudosrunkoa voidaan pitää renkaan perusosana. Sen tehtävä on ottaa vastaan renkaan paineessa olevan ilman aikaansaavat jännitykset, pyöränkuormia vastaavat radiaalivoimat, sivuvoimien aiheuttamat kuormitukset, tienpinnan epätasaisuuksista aiheutuvat kuormitukset ja välittää kiihdytyksen sekä jarrutuksen voimat vanteesta renkaalle.

Kudosrunko muodostuu kudoslangoista, jotka ovat punottu ja koottu vierekkäin toisiinsa koskematta kumissa upotettuna. Kudoslankojen kulkusuunnan kulman perusteella renkaat voidaan jakaa joko ristikudos- tai vyörenkaisiin. Ristikudos- ja vyörenkaat eroavat toisistaan joustossa, nopeuskestävyydessä ja pidossa. Vyörenkaassa kulkevat kudolangat kohtisuorassa renkaan keskiviivaa nähden, kun ristikudosrenkaassa ne ovat 30-45 ° kulmassa keskiliinjaan nähden.

Vyörengas eroaa ristikudosrenkaasta myös pidon kannalta, sillä vyörenkaan kyljet ovat joustavammat, mikä aiheuttaa vähemmän muodonmuutosta kulutuspinna. Tämä aiheuttaa kulutuspinnan tasaisemman painumisen tienpintaa vasten, mikä taas parantaa

sivuttaispitoa. Tätä kyljen joustoa ei kuitenkaan ralliin tarkoitetuissa renkaissa usein näe, sillä joustavat kyljet ovat paljon alttiimmat vaurioitumiselle kivien aiheuttamista iskuista.

Vyörenkaan haittapuoleen kuuluu sen pidon äkillinenloppuminen. Rengas siis irtoaa ääriajoilla nopeammin luistoon kuin ristikudosrengas. Tämä pidon loppuminen ei ilmene suurilla nopeuksilla yhtä selvästi kuin ristikudosrenkaalla ajaessa, joten tämä vaatii varovaisuutta kokemattomalta kuljettajalta (Mauno 1991, 131-133).

Rallikäytössä renkaita on suunniteltu erilaisille olosuhteille ja ne eroavat toisistaan leveydeltään, seokseltaan ja kuvioinniltaan. Materiaalissa on myös eroavaisuuksia, jotka voidaan jakaa pehmeystensä mukaan. Renkaan pehmeyttä/kovuutta valittaessa on monia muuttujia, mutta helppo tapa ajatella asiaa on pidon ja kestävyuden kannalta. Mitä pehmeämpi rengas on, sitä parempi on pito, mutta rengas kuluu nopeammin. Kovemalla renkaalla toisinpäin. (DirtFish 2021.)

Talvikäyttöön suunnitelluissa renkaissa on noudatettu samantapaista suunnittelua kuin sorarenkaalla, mutta materiaali on erittäin pehmeää, ja renkaalla on leveä kuviointi. Jäiselle kelille suunnitellut renkaat ovat paljon kapeampia, kuin vastaavat lumelle, ja ne voivat olla nastoitettuja. Nastojen pituus ei vaikuta sallittuun pyörän enimmäishalkaisijaan (AKK 2021, 380).

4.2 Renkaan ilmanpaine

Renkaan pitokyky on riippuvainen sen paineesta. Jokaisella renkaalla on tietty paine, jolla pito on parhaimmillaan. Tämä optimaalinen paine riippuu renkaan koosta, rakenteesta ja vanteen leveydestä. Rengaspaineita säätäessä ja mitatessa on muistettava, että paine kasvaa lämpötilan kasvaessa jopa huomattavasti. Kun pidon kannalta paras rengaspaine on löydetty, tulisi sen arvo mitata lämpimänä sekä kylmänä.

Renkaiden paineella on myös vaikutus sortokulmien suuruuteen ja tätä käytetään myös yli- ja aliohjautuvuuden säädössä. Paineita joko lisäämällä tai vähentämällä, vaikutetaan siis etu- tai takarenkaiden pitoon. Jos auto aliohjautuu, on takarenkaiden sortokulmaa saatava suuremmaksi, eli painetta on joko nostettava eturenkailla tai laskettava takarenkailla. Yliohjautuvuudessa toisinpäin. Rengaspaineita muuttaessa on vältettävä liioittelua, sillä se vaikuttaa renkaan pitoon korkeilla paineilla ja renkaan muodonmuutoksiin ja kestävyteen alhaisilla paineilla (Mauno 1991, 140-142).

4.3 Kohdeauton renkaat

Kohdeautossa on tällä hetkellä asennettuna Pirellin Scorpion 185/70-15-sorarenkaat medium-seoksella. Renkaan ilmanpaineeksi laitetaan kylmälle renkaalle 1,8 bar, josta paine nousee 2,0 bar:in renkaan lämpötilan noustessa. Viileämmille lämpötiloille on hankittu samat renkaat soft-seoksella. Talvirenkaita ei ole vielä hankittu. Renkaassa on epäsymmetrinen kuviointi, mikä tekee siitä hyvän yleisrenkaan. Veto- ja jarrutuspidossa auttaa sisäreunan palat ja ulkoreunalla saavutetaan hyvä sivuttaispito sekä suuntavakaus (RTE Motorsport 2021).

5 PYÖRÄNTUENNAN GEOMETRIA

Auton tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu sen kaartamisen stabiliteetti ja reagointi kuljettajan antamiin ohjausimpulsseihin. Tätä hallintaa voidaan pitää takaisinkytkettynä systeeminä, johon kuljettaja antaa käskyjä hallintalaitteita käyttämällä, jotta haluttu liike saadaan aikaiseksi. Tässä työssä kuitenkin tarkastellaan suurimmaksi osaksi pelkän auton ominaisuuksia, eli takaisin kytkemättömänä järjestelmänä. Toisin sanoen tarkastelu rajoittuu vain miten auto reagoi yksittäisiin komentoihin.

Kilpa-auton alustan suunnittelussa on tärkeää pyrkiä vaikuttamaan auton ohjattavuuteen. Pidolla, ohjattavuudella ja suuntavakausominaisuuksilla on yhtä tärkeä osuus kilpamenestyksessä, kuin tehokkaalla moottorilla. Ajo-ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen on monia tekijöitä, joita tässä työssä tullaan tarkastelemaan ja pohtimaan niiden vaikutusta kilpa-autotarkoituksiin.

5.1 Pyöränkulmat

Olisi yksinkertaista ajatella, että rengas pyörisi ajorataan nähden aina kohtisuorassa. Erilaisissa ajotilanteissa tämä onkin haluttu ominaisuus, ja siihen pyritään pyöränkulmien muutoksilla. Pyöränkulmia ajatellessa onkin tärkeää erottaa staattinen ja dynaaminen tila.

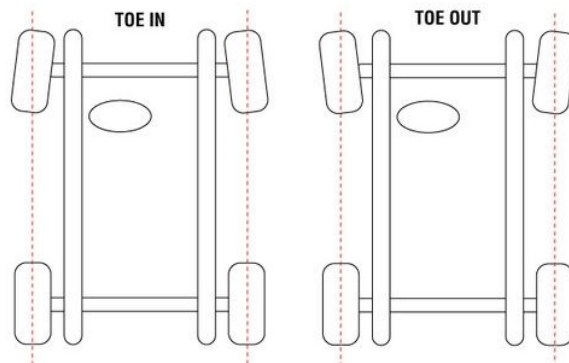
Staattisessa tilassa auto on siis paikallaan tasaisella alustalla, pyörät suorassa ja auto on kuormattuna.

Dynaaminen tila syntyy silloin, kun jousitus on poikkeutettu staattisesta tilasta auton ollessa liikkeessä. Pyöräntuenta muodostaa monimutkaisen geometrisen toiminnan liikkeessä, pyöränkulmat muuttuvat jousitusliikkeen aikana valitusta geometriasta riippuen jopa merkittävästi.

Muuttujia staattisen ja dynaamisen tilanteen myötä ovat auraus-, caster- ja camber-kulmat.

5.2 Aorauskulma

Aorauskulmalla tarkoitetaan pyörän suunta-poikkeamaa tarkastellessa autoa ylhäältäpäin. Toisin sanoen, aorauskulma on se kulma, missä pyörien etureunat ovat joko sisään- tai ulospäin kääntyneenä auton pituusakseliin nähden (Kuva 4).



Kuva 4. Aorauskulma (1001Renkaat 2021).

Aoraus ilmoitetaan joko kulma-asteina tai millimetreinä. Jos aoraus on ilmoitettuna pituusmittana, on tiedettävä mistä tämä mitta on mitattu. Yleisesti tämä ero vasemman ja oikean välillä mitataan vanteen reunasta, mutta tässä mittaustulos riippuu siis vanteen koosta. Jos pyörien etureunat ovat lähempänä toisiaan kuin takareunat, kyseessä on aoraus. Vastakkaisessa tilanteessa kyseessä on haritus. Molempien akselien aoraus/harituskulmia voidaan muuttaa, mutta suurempi vaikutus riippuu vetävästä akselista. Tässä työssä tarkastellaan vaikutuksia vain etu-akselilla, vaikka taka-akselin harituksella on myös vaikutusta.

Aurausta tai haritusta muuttamalla pystytään vaikuttamaan, miten auto käyttäytyy ajassa ja sillä on vaikutusta ralliajossa. Aouruksella/harituksella on positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia, jotka on hyvä ottaa huomioon.

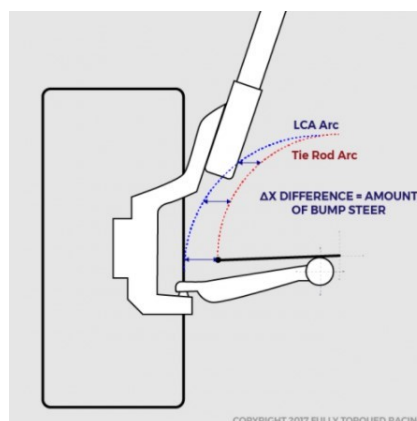
Tarkastellaan ensin aorauskulman vaikutuksia. Aorauskulmalla on iso vaikutus auton suuntavakavuuteen eli kuinka hyvin auto pysyy samalla suoralla ajolinjalla. Tämä on haluttu ominaisuus, jos ajaminen tapahtuu suurilla nopeuksilla radoilla, missä on paljon suoraa. Näissä kilpailuissa nopeudet ovat jatkuvasti suuria ja jyrkkiä käännöksiä ei tapahdu. Aorauskulma vaikuttaa siis auton ohjauksen reagointiin negatiivisesti, joka tuntuu ohjauksessa ”rauhoittavalta”.

Harituksella on vastakkainen vaikutus. Se vaikuttaa auton ohjauksen reagointiin positiivisesti, antaen paremman ohjaustuntuman uhraamalla suuntavakautta. Autosta tulee ”hermostunut” eli kuljettaja joutuu suurilla nopeuksilla suoraan ajaessa tekemään pieniä korjausliikkeitä pitääkseen ajolinjan halutussa suunnassa. Tämä on haluttu ominaisuus mutkikkailla teillä ajaessa. (Mauno 1991, 20-27.)

5.3 Ominaisohjaus

Ilman ohjauspyörän liikettä pyörän sisäänjoustossa tapahtuvaa aurasikulman muutosta kutsutaan ominaisohjaukseksi. Tämä ilmiö tunnetaan myös nimellä *Bump Steer*. Etuakselilla ominaisohjaus johtuu ohjauksen ja pyöräntuennan geometrioiden eroista. Takaakselilla pelkästään pyöräntuennan geometriasta. Ominaisohjaus ei välttämättä ole haluttu ominaisuus, mutta sillä on mahdollista vaikuttaa auton ajo-ominaisuuksiin myös positiivisesti.

Riippuen onko auto säädetty auraamaan tai harittamaan, pystytään vaikuttamaan sen ohjausherkkyyteen. Etu- ja taka-akselin kohdalla tulisi kuitenkin välttää suurta haritusta. Etupäässä suuri haritus aiheuttaa levotonta käyttäytymistä jarrutustilanteissa ja takapäässä se lisää kiihdytyksestä aiheutuvaa yliohtautumista. Ominaisohjautuvuus tulisi pitää mahdollisimman pienenä ja sitä pystyy vähentämään siirtämällä hammastankoa tai raidetangon ulompaa niveltä pituussuunnassa, kunnes joustoliikkeen aikana raidetangonpään piirtämä viiva on lähellä yhdensuuntaisuutta pyörän keskikohdan piirtämän viivan kanssa (Kuva 5).

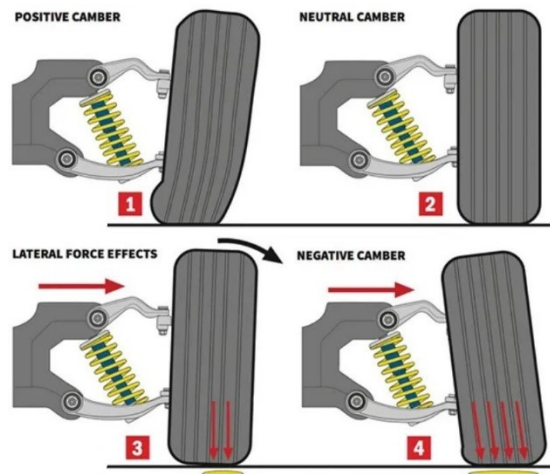


Kuva 5. Ominaisohjauksen säätö (Fully Torqued Racing 2021).

Ominaisohjaus syntyy valitun pyöräntuennan valitusta geometriasta, eikä sitä ole yleisesti mahdollista säätää muuten, kuin yllä mainituilla tavoilla. (Smith 1978, 62-63; Mauno 1991, 80-82.)

5.4 Camber

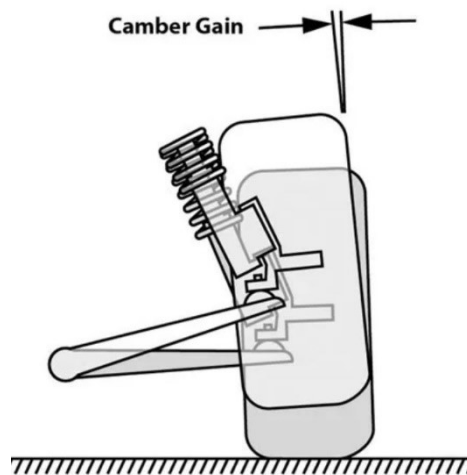
Camber-kulma on auton pyörän pystysuuntaisen keskilinjan ja maatasen normaalin välinen kulma tarkastellessa autoa edestä tai takaa. Pyörän yläreunan ollessa kauempana korista kuin alareuna, kutsutaan positiiviseksi camber-kulmaksi. Negatiivinen camber-kulma on tämän vastakohta. Pyörän ollessa pystysuorassa on camber-kulma 0° (Kuva 6).



Kuva 6. Camber-kulmat ja kaarreajon vaikutus renkaan kontaktipinta-alan kuormitusjakaumaan (Tirebuyer 2021).

Kaareajossa painonsiirtymä tapahtuu ulkokaarteeseen puoleiselle pyörälle, jolloin se on hallitsemampi kokonaissivuvoiman syntymisen kannalta. Sivuvoiman kannalta olisi hyvä saada ulkokaarteeseen pyörän camber-kulma hieman negatiiviseksi, jolloin renkaan kosketuspinnan kuormitus olisi jakautunut tasaisemmin tiehen. Kaarreajossa auto nimittäin yrittää kallistua niin sanotun kallistusakselin ympäri, joka muuttaa camber-kulmaa, joka taas puolestaan muuttaa kosketuspintaa tiehen nähden.

Auton pyöräntuennan geometria määrittää dynaamisen camber-kulman sisään- tai ulosjoustamisen aikana (Kuva 7).



Kuva 7. Camber-kulman muutos joustoliikkeen aikana (Suspension Secrets 2021a).

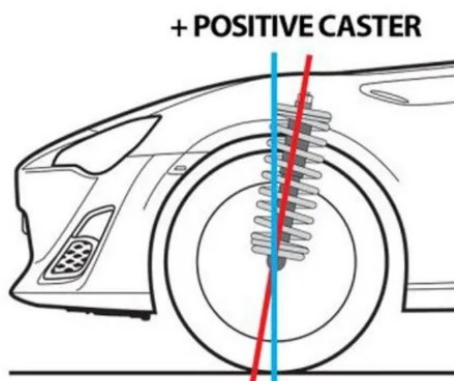
Camber-kulma siis muuttuu ajotilanteen mukaan. Tämä ilmiö tulee ottaa huomioon sopivan camber-kulman suunnittelussa. Vaikka onkin mahdollista suunnitella camber-käyttö, jossa camber-kulma pysyy samana kaarreajon aikana, joudutaan tällaisessa tilanteessa pyörägeometriaan, jossa akselin samanaikaisessa ja -suuntaisessa joustoliikkeessä saadaan aikaiseksi pidon menetys jarrutus- ja kiihdytystilanteissa. (Mauno 1991, 6-14)

Auton staattinen camber-kulma tulisi siis säätää negatiiviseksi, jotta pito kaareajossa säilyy. Sarjavalmisteisissa autoissa on kuitenkin camber-kulma säätäminen hyvin rajallista. Tieliikennekäyttöön suunnitellussa autossa on alkuperäisten camber-säätöjen säätämismäärä kilpailukäyttöön usein riittämätön.

5.5 Caster

Caster-kulma (myös *castor*) on kääntöakselin takakallistuma pyörää sivustapäin katsottuna (Kuva 8). Caster-kulma on siis kääntöakselin taka- tai etukallistuma. Tässä työssä käsitellyssä autossa on MacPherson-tuenta, jolloin kääntöakseli on joustintuen yläpäähän ja alapallonivelen välinen yhdysasu.

Kääntöakselin yläpäähän ollessa alapäätä taaempaan, puhutaan positiivisesta caster-kulmasta. Vastakkaisessa tapauksessa puhutaan negatiivisesta caster-kulmasta.



Kuva 8. Positiivinen caster-kulma (Suspension Secrets 2021b).

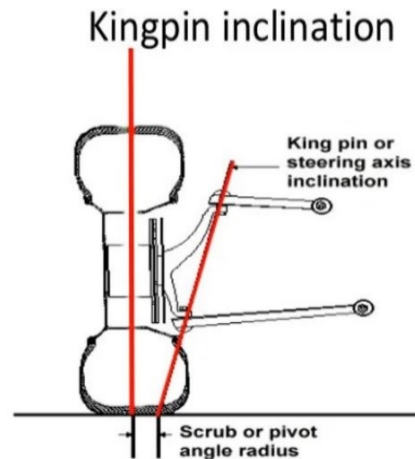
Kääntymispisteiden sijoitus on suunniteltu siten, että niiden läpi vedetty viiva kohtaa tien hieman ennen renkaan kosketuspintaa. Tällä on tarkoitus luoda ohjaukseen keskittävyyttä. Kilpa-autoissa käytetään erittäin suuria caster-kulmia. 10° kulma on vielä normaalia. Positiivinen caster-kulma saa pyörät asettumaan kulkusuunnan mukaan, sekä palauttaa ohjauksen nopeasti kaarteiden jälkeen. Suuria positiivisia caster-kulmia käytetään kilpa-autoissa myös auttamaan camber-käyttäytymistä kaarreajossa. (Mauno 1991, 14-18.)

Positiivisella caster-kulmalla on myös haittavaikutuksia jotka tulee ottaa huomioon. Näitä ilmiöitä ovat muun muassa ohjauksen jäykistyminen, ohjaustuntuman menetystä ja tienpinnan kaltevuuden aiheuttamaa kääntymispyrkimystä. Vaikka joitakin huonoja vaikutuksia pystytään neutralisoimaan, tulee suunnittelussa ottaa huomioon tasapaino ja kilpaluokkakohtaiset rajoitukset, joissa saatetaan kieltää pyöräntuennan koripisteiden muokkaaminen tai alkuperäisistä tieliikenneosista poikkeaminen.

Caster-kulman säätäminen on rajallista sarjavalmisteisessa autossa. Joitakin säätöjä on mahdollista tehdä, mutta ne vaikuttavat myös camber-kulmaan. Suhdetta camberin- ja casterin välillä on vaikeaa saada optimaaliseksi. Caster-säädön toteuttaa erillisellä reaktiotangolla, jos autoon on asennettu säädettävä alaturkivarsi. (Mauno 1991, 18.)

5.6 Kääntöakselin sivukallistuma

Kääntöakselin sivukallistuma, tunnettuna myös KPI (*kingpin inclination*), on pyörän kääntöakselin sivukallistuma edestä tai takaa katsottuna (Kuva 9).



Kuva 9. KPI (Suspension Secrets 2021c).

Negatiivista tai positiivista KPI:a ei tarvitse erotella, sillä kaikissa autoissa olkatappilinja on sisäänpäin kallistunut. KPI:n määrittää pyörän kääntövierintäsäteen. Kun ohjauspyörää käännetään, kiertyy pyörä kääntöakselinsa ympäri kääntövierintäsäteen määrittelemää kaarta pitkin. Tätä ei tule sekoittaa auton koko kääntöympyränsäteeseen.

5.7 Kääntövierintäsäde

Kääntövierintäsäde on kääntöakselin ja pyörän pyörimistason välinen etäisyys maanpinnassa. Se on vipuvarsi, jonka kautta pyörän kosketuspinnassa vaikuttavat voimat vaikuttavat pyöräntuennassa. Kääntövierintäsädettä kutsutaan myös nimellä *scrub radius*. Kääntövierintäsäteeseen vaikuttaa myös aikaisemmin käsitelty camber-kulma.

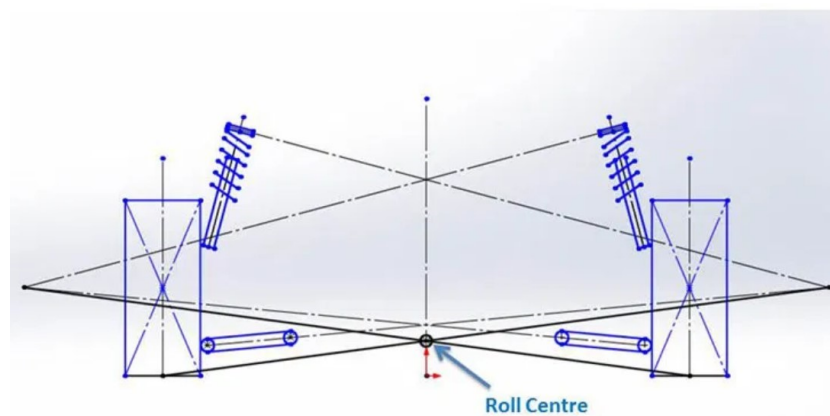
Kääntövierintäsäteen ollessa suuri, kasvaa pyörien kääntämiseen tarvittava voima, sekä pyöristä ohjauspyörään kulkeutuvat iskut tuntuvat voimakkaalta. Tämä vaikeuttaa hallittavuutta suurilla nopeuksilla kilpa-ajoneuvoissa. Suuri kääntövierintäsäde aiheuttaa jarrutuksissa myös levottomuutta

Kääntövierintäsäteen ollessa pieni, vähenee renkaan ja kääntöakselin välinen momenttivarsi, jolloin ohjauspyörässä tuntuvat vaikutukset (jarrutukset, tienpinnan epätasaisuudet), eivät tunnu voimakkailta. Pienellä kääntövierintäsäteellä, välittyy ohjauspyörään myös renkaan sortamisesta aiheutuva renkaan muodonmuutoksen voimat ja vääntömomentit. Nämä ovat tärkeitä hyvän ohjausjärjestelmän rakentamiseksi. Vanteen offsetin/insetin muuttaminen vaikuttaa suoraan kääntövierintäsäteeseen.

5.8 Kallistuskeskiö ja kallistusakseli

Auton korin liiallinen kallistuminen kaarreaajossa haittaa tehokasta etenemistä. Korin kallistumisen vaikutukset näkyvät kaarreaajossa voiman vaikuttaessa auton massakeskipisteeseen. Vaikutus on voimakkaampi, jos auton painopiste sijaitsee korkealla. Kaikilla pyöräntuentatyypeillä on geometrian perusteella määräytyvä kallistuskeskiö, jonka ympäri kaarreaajossa syntyvä sivuttaisvoima pyrkii kallistamaan autoa.

Kohdeautossa olevalla Macpherson-tuennalla kallistuskeskiön paikka on helppo määrittää esimerkiksi etupäässä piirtämällä (Kuva 10).



Kuva 10. Kallistuskeskiön määrittäminen piirtämällä (Suspension Secrets 2021d).

Piirretään tuennan yläpäästä männän liikkeeseen nähden kohtisuora viiva. Tämän jälkeen piirretään viiva alatukivarren linjan suuntaan kunnes viivat kohtaavat. Tämä kohtauspiste on hetkellinen nopeusnapa. Tästä pisteestä jatketaan piirtämällä suora viiva renkaan keskiviivalle tien ja renkaan kosketuskohtaan. Tältä suoralta, auton keskilinjan kohdalta, löytyy kallistuskeskiö.

Etu- ja takapyöräntuenteiden kallistuskeskiöiden välille piirretty kuvitteellinen yhdys-suora on auton kallistusakseli. Jos kallistusakseli on maan pinnan suuntainen, auton pyöräntuenteiden vaihtelu pysyy edessä ja takaa samassa suuruusluokassa.

Auton kallistuminen kaarteissa riippuu siitä, kuinka paljon kallistusakselin yläpuolella painopiste sijaitsee. Mitä ylempänä painopiste on, sitä voimakkaammin kori kallistuu. Jos painopiste sijaitsee kallistusakselilla, ei kori kallistuisi lainkaan. Painopisteen sijaitseminen kallistusakselia alempana taas aiheuttaa korin kallistumisen sisäkaarten puolelle.

Kallistuskeskiöiden korkeuden muuttaminen vaikuttaa auton ajo-ominaisuuksiin. Esimerkiksi etupään kallistuskeskiön ollessa alempana kuin takapään, pyrkii auton etupää kallistumaan enemmän. Pientä korin kiertymistä lukuun ottamatta, ei auton toinen pää voi kallistua enemmän, kuin toinen. Tämän vuoksi auton kori kallistuu tiettyyn keskiarvo-asentoon, eli auton etupää kallistuu vähemmän kuin kallistava momentti edellyttäisi ja takapää vastaavasti kallistuu enemmän. Tämä aiheuttaa entistä suuremman painonsiirtymän kaarteiden ulommalle takapyörälle ja aiheuttaa autoon ylioheutuvuutta. (Mauno 1991, 32-38.)

Kohdeauton pyörägeometrian muutokset

Kohdeautoon on säädetty 1,5 mm haritus mitattuna vanteilta, joiden halkaisija on 15". Säädettyyn haritukseen on päädytty kuljettajan palautteen perusteella. Autolla ajettiin ensin tehdasasetetulla kulmalla, jonka jälkeen haritusta lisättiin pienissä inkrementteissä ja testattiin uudestaan. Kulmien säätö tapahtuu raidetankojen pituuksia muuttamalla. Kyseisessä tapauksessa mittaus suoritettiin mittanauhalla ja tasaisella alustalla.

Kohdeautossa camber-kulman säätö on hyvin rajallista, sillä camber-kulmaa muuntaessa muuttuu myös kääntöakselikulma. Tämän ilmiön takia autoon tulisi asentaa säädettävät alatukivarret. Säädettävän alatukivarren etu ilmenee siinä että camber-kulma on tarkasti säädettävissä ilman muihin pyöränkulmiin vaikuttamista. Säädettävän alatukivarren heikkous ilmenee siinä, että säädön määrä on rajallinen johtuen joustintuen yläpään ja alapallonivelen etäisyyksistä toisiinsa. Autoon olisi tästä johtuen myös hyvä asentaa säädettävä joustintuen yläkiinnitys (Kuva 11).



Kuva 11. Säädettävä joustintuen yläkiinnitys (Uniball 2021).

Säädettävää alatukivartta voi yleensä käyttää vain hienosäädössä. On myös hyvä muistaa, että F-ryhmässä pyöräntuennan kiinnityskohtien paikkaa ei saa muuttaa. Kiinnityskohdan muutoksella geometrian suunnitteluun saisi enemmän vapauksia.

KPI:a ei tässä työssä käsiteltävässä autossa ei voi säätää camber-kulmasta erillään vaan hyväksytään se arvo mikä camber- ja caster-kulmien säädöissä syntyy. Tämä johtuu siitä, että suuntavakauden kannalta KPI:lla on samanlainen vaikutus kuin caster-kulmalla. Joissain tapauksissa kuitenkin käytetään suurempaa KPI:a korvaamaan pienen caster-kulman. (Mauno 1991, 18-20.)

6 JOUSET JA VAIMENTIMET

6.1 Jouset

Jousien vaatimukset riippuvat ajoneuvon nopeudesta ja ajoalustan tasaisuudesta. Renkaan toiminta jousena riittää vain pienillä nopeuksilla, esimerkiksi traktoreissa. Nopeuden kasvaessa pienimmätkin tien epätasaisuudet alkavat tuntua korissa, jolloin jousien tarpeellisuus tulee ilmi. Jokaisella jousi-massasysteemillä on oma määrätty ominaistajuutensa. Kun kyseisessä systeemissä massa poikkeaa tasapainotilasta, se alkaa heilahdella tietyllä taajuudella. Tämä taajuus riippuu jousen jäykkyydestä ja massan suuruudesta. Taajuus ilmoitetaan värähtelyn lukumääränä aikayksikössä, yksikkö on hertsi [Hz]. 1 Hz tarkoittaa yhtä värähdysliikettä sekunnissa. Systeemissä olevan jousen jäykkyyttä kuvataan jousikertoimella, jonka yksikkö on Newton per millimetri [N/mm].

Autoa voidaan pitää siis jokaisen kulmansa osalta jousi-massasysteeminä. Renkaan joustoa ei tässä työssä oteta huomioon, sillä sen merkitys pääjouseen on suhteellisen vähäinen. On myös otettava huomioon että auton etu- ja takapäässä on erijäykkyyksiset jouset. Tieliikennekäyttöisissä henkilöautoissa korin ominaistajuus vaihtelee välillä 0,8 - 1,4 Hz, mutta ralliautossa 1,7 - 2,3 Hz arvot ovat tavallisempia.

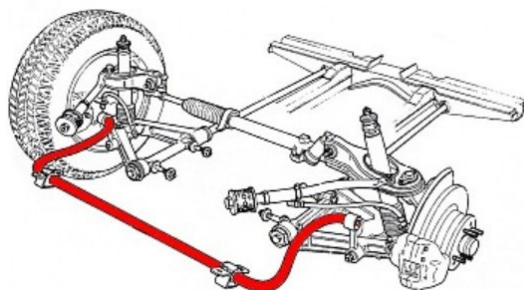
Kierrejousitus on yleisin nykyajan henkilöautoissa. Se on tilantarpeeltaan vähäinen ja valmistusmateriaali on käytetty tehokkaasti, joten kierrejousi on myös kevyt. Kierrejousen työkyky on suuri, koska vain jousilangan neutraaliakseli ei osallistu kuorman kantamiseen. Kierrejousia on myös mahdollista kytkeä toisiinsa rinnan tai sarjan. Rinnankytketyillä jousilla on sama jousto, kun taas sarjaankytketyillä jousilla on sama voima.

Progressiivisella jousituksella tarkoitetaan joustojäykkyyden jatkuvaa kasvua pyörän joustomatkan lisääntyessä. Progressiivisuus pystytään järjestämään pää-apujousi yhdistelmällä, jolloin ominaistajuus on kahdella kuormituksella sama. Apujousen ei ole pakko olla metallinen kierrejousi, vaan esimerkiksi joustoliikettä rajoittava pohjaanlyöntikumi.

Suunnitellessa jousitusta ralliautoon, on tärkeää mitoittaa jouset oikein. Tärkeänä ominaisuutena voidaan pitää riittävää ulosjoustoja, koska se mahdollistaa pyörän pysymisen tienpinnassa. Tähän ilmiöön vaikuttaa myös valitun vaimentimen säädöt, josta tässä työssä kerrotaan myöhemmin.

6.2 Kallistuksenvakaaja

Kaarreajon aikana keskeisvoima vaikuttaa korin massakeskipisteeseen aiheuttaen painonsiirtymää ulkokaarten puoleiselle pyörälle. Tämä painonsiirtymä välittyy ulkokaarten puoleisiin pyöriin jousien ja pyöräntuentojen kautta. Auton kallistelua pystyy vähentämään madaltamalla auton massakeskipistettä, vähentämällä auton massaa, jäykistämällä jousia tai raideleveyyttä kasvattamalla. Pyöräntuennan geometrian määräämällä kallistuskeskiön paikkaa muutamalla pystyy myös vaikuttamaan kallisteluun. Näillä keinoilla on kuitenkin rajansa, joten helpompi ratkaisu on turvautua kallistuksenvakaajaan (Kuva 12).



Kuva 12. Kallistuksenvakaaja kiinnitettynä (CarThrottle 2021a).

Kallistuksenvakaaja pyrkii oman jäykkyytensä määräämänä siirtämään ulkokaarten sisäänjoustoa sisäkaarten puolelle. Kun ulkokaarten jousen jousivoima kasvaa, välittää kallistuksenvakaaja tätä voimaa sisäkaarten jouselle, jolloin auton korin kallistuma pienenee. Kallistuksenvakaaja siis kytkee jouset rinnakkain toisiinsa. Teollisesti tuotetuissa autossa vakaaja on teräsakselista tehty tanko, jossa keskiosan kiertyminen määrittää sen jäykkyyden.

Vakaajan jäykkyyden muutoksilla on suuri vaikutus ohjattavuuteen. Mitä jäykempi kallistuksenvakaaja on, sitä enemmän se vähentää auton korin kallistumaa. Jos kallistuksenvakaaja on asennettuna auton molempiin akseleihin, ovat säätömahdollisuudet suuremmat. Kilpailukäyttöön on myös olemassa kolmiosaisia kallistuksenvakaajia, jotka koostuvat keskiosasta, eli pyöreästä tangosta, sekä tangon ja tukivarsien välisistä päätykappaleista. Kolmiosaisen kallistuksenvakaajan etu on siinä, että jäykkyyden muuttamiseksi ei tarvitse vaihtaa koko kallistuksenvakaajaa, vaan pelkästään päätykappaleet. Vakaaja toimii pääosin vääntöjousena, jossa vakaajan keskiosa joustotilanteessa kiertyy oman

keskiakselinsa ympäri. Vipumaiset päätyosat eivät siis kierry, vaan ne taipuvat. Kokonaisjäykkyys määräytyy päätyosista. (Mauno 1991, 38.)

6.3 Vaimentimet

Jos autossa ei olisi vaimentimia, jäisi se värähtelemään ominaistajuudellaan jokaisen tien epätasaisuuden jälkeen. Arkikielessä vaimentimia kutsutaan iskunvaimentimiksi, mutta tämä nimi on hieman harhaanjohtava. Iskun vaimentaa pääasiassa jousi ja vaimentimet tästä aiheutuvan värähtelyn. Alustan vaimentimien ominaisuudet vaikuttavat jousien kanssa ajoturvallisuuteen ja ajo-ominaisuuksiin. Vaimentimien toiminta-alueisiin kuuluu tien aiheuttama tärinä, korin liikkeet, akselien liikkeet ja mahdolliset pohjaanlyönnit.

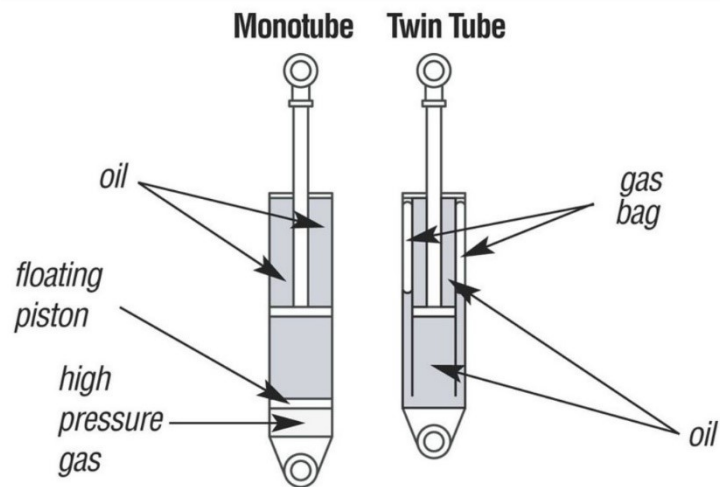
Nykyaikana harvemmin näkee muita kuin teleskooppivaimentimia (Kuva 13).



Kuva 13. Teleskooppivaimennin (Modificars 2021).

Teleskooppivaimentimissa on putkessa liikkuva mäntä, jossa on sisällä nestettä ja kuristettuja venttiileitä. Kuristuksien läpi virtaava neste vastustaa männän liikettä aiheuttaen virtaushäviöitä, jotka puolestaan muuttuvat lämmöksi. Tämä lämpö siirtyy vaimentimen ulkopinnan kautta ympäristöön. Vaimentimen toiminta perustuu siis jousen liike-energian muuttamiseen lämmöksi. Tällöin vaimentimen mitoituksella ja sijoituksella on merkitystä nopean lämmön haihtumiseksi. Vaimentimen sisällä olevan öljyn viskositeetti pienenee sen lämmitessä, alentaen vaimennusvoimaa. Tätä ilmiötä kutsutaan vaimentimien häipymiseksi, ja sen vähentämiseksi tuli valita riittävän suuret vaimentimet (Mauno 1991, 70)

Teleskooppivaimentimia on kahta eri tyyppiä: Yksiputkivaimentimia ja kaksiputkivaimentimia (Kuva 14).



Kuva 14. Yksiputkinen ja kaksiputkinen vaimennin (CarThrottle 2021b).

Kaksiputkisessa vaimentimessa on sisä- ja ulkoputki. Putkien välinen kammio on vain osaksi täytetty nesteellä. Sisäänjoustossa pohjaventtiilit aiheuttavat vaimennusvoiman, ja ulosjoustossa työmännän venttiilit. Tämä toteutus on tehty kavitaatiovaaran takia. kavitaatiossa neste alkaa kiehua paineen putoamisen johdosta. Kaksiputkinen vaimennin on asennettava mahdollisimman pystysuoraan.

Yksiputkisessa vaimentimessa tasataan männänvarren aiheuttamat tilavuudenmuutokset kaasujousella. Kaasu on erotettu nesteestä välimännällä tai kumikalvolla. Vaihtoehtoisesti kaasu voi olla nesteen seassa emulsiona. Yksiputkisessa vaimentimessa ei ole pohjaventtiileitä, vaan virtausta kuristetaan pelkästään männässä olevilla venttiileillä. Tämä rajoittaa yksiputkivaimentimen kestoikää verrattuna kaksiputkiseen vaimentimeen. Yksiputkisessa vaimentimessa on hyvä ottaa huomioon akselistorakennetta suunniteltaessa, että kaasu työntää mäntää ulospäin, toimien progressiivisena jousena.

Rallissa on myös yleistynyt säädettävien vaimentimien käyttö (Kuva 15). Näissä vaimentimissa on lisäsäiliö nesteelle, jolloin sisään- tai ulosjoustoa, tai molempia pystyy säätämään vaikuttaviin olotiloihin sopivaksi.



Kuva 15. Säädettävä teleskooppivaimennin lisäsäiliöllä (Mtp-racing24 2021).

Esko Maunon (1991, 74) mukaan, vaikka ensisijainen rahallinen sijoitus näihin on iso, niin olisi myös monen eri jäykkyyden omaavien vaimenninsarjojen hankkiminen. Hän jatkaa kertomalla, että vaimentimien merkitys auton ajettavuuteen on niin suuri, että niihin on järkevää sijoittaa rahaa ja välttää halvempien mallien hankkimista.

6.4 Vaimennusvoimien säätäminen

Vaimentimien säädöissä olisi teoriassa tärkeää pyrkiä kriittiseen vaimennukseen. Tämä on tilanne, jossa jousituksen värähtely palaa tasapainotilaan lyhimmissä ajassa. Vaimentaminen on käytännössä kuitenkin aina kompromissi, eikä täydellistä vaimennusta pystytä aina saamaan aikaseksi. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että jos autoon vaihdetaan jäykemmät jouset, tulisi vaimentimet myös vaihtaa jäykempiin.

Vaimentimien säätö sopivaksi kullekin kuljettajalle ja tienpinnalle sopivaksi on monimutkainen asia. Vaimennusvoimien ollessa joko sisään- tai ulosjoustossa väärä, aiheutuu siitä aina pyörän ja tienpinnan kosketuksen heikkeneminen. Ilmassa olevalta pyörältä ei saa pitoa. Mikäli vaimennusvoima on sisäänjoustossa liian suuri, se aiheuttaa auton korin voimakkaan nousun. Toisaalta, jos vaimennus on liian pieni, pyörä liikkuu liian helposti jousivoimaa vastaan, aiheuttaen nyökkimistä ja pohjaanpainumista. Ulosjoustoissa pyritään palauttamaan pyörä mahdollisimman nopeasti takaisin kosketukseen tienpinnan kanssa. Liiallinen vaimennus saa pyörän pysymään irti tiestä liian kauan, kun taas liian pieni vaimennus aiheuttaa pomppimista ja korin keinumista (Mauno 1991, 74).

Jos autossa on säädettävät vaimentimet, onnistuu oikeiden säätöjen löytäminen vain testaamalla. Mauno (1991, 75) ohjeistaa säätämään epätasaista tietä varten aluksi vaimentimien sisään- ja ulosjouston vaimennusvoiman mahdollisimman pieneksi. Tämän

jälkeen autoa testataan epätasaisella tiellä ja seurataan pyörien hyppimistä Tämän jälkeen sisäänjouston vaimennusvoimaa lisätään asteittain kunnes hyppiminen on minimissä. Ulosjouston osalta toimitaan samoin, paitsi tarkoitus on saada pyörä seuraamaan tienpintaa mahdollisimman tarkasti. Rallitiimi O'Neil ohjeistaa liukkaan radan (lumi tai sora) säätöjä seuraavasti: Hitaan nopeuden sisäänjouston vaimennusta tulisi pienentää, jotta enemmän painoa siirtyisi jarruttavalle akselille ja auto tuntuu tottelevaisemmalta. Ulosjoustossa vaimennusvoimaa tulisi myös pienentää. (Team O'Neil 2017.)

6.5 Kohdeauton jousituksen ja vaimentimien muutokset

Ralliautoon olisi hyvä asentaa löysä kallistuksenvakaaja, jos vakaaja on tarpeellista asentaa. Tämä on kuitenkin riippuvainen ajoalustasta sekä kuljettajasta. Epätasaisilla tien pinnoilla jousituksen on parempi toimia toisistaan riippumatta ottaakseen vastaan tien epätasaisuudet (Team O'Neil 2017). Tämä on kuitenkin vain yksi mahdollinen ratkaisu ja jokaisella tiimillä on omat ratkaisunsa. Kohdeautosta kallistuksenvakaaja on poistettu.

Kohdeautoon on hankittu vaimentimet, joissa sisäänjoustoa on mahdollista säätää, mutta vaimentimia ei ole vielä asennettu. Kun vaimentimet ovat asennettu, tullaan ne säätämään aikaisemmin mainittuja menetelmiä käyttämällä.

7 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli luoda mahdollisimman helposti ymmärrettävä ohje kilpa-auton alustarakenteiden suunnittelun perusasioista. Työ piti rajata perusasioihin, sillä alustarakenteet kokonaisuutena on erittäin laaja ja monimutkainen alue.

Vakiomalliseen autoon tehtävät tarvittavat muutokset eivät ole myöskään yksiselitteisiä asiota, sillä muuttujia autojen ja niiden kuljettajien välillä on erittäin paljon. Kuitenkin työssä esitetyllä teorialla ja esimerkeillä pääsee alkuun, kunnes tarvittavaa osaamista ja kokemusta on kertynyt tarpeeksi.

Valitettavana puutteena oli itse käytännön esimerkit liittyen kohdeautoon, mutta aika- ja taloudellisista syistä näitä ei pystynyt toteuttamaan. Kokonaisuutena tämä työ oli odotettua paljon haastavampi, mutta myös opettavainen ja mielenkiintoinen.

Työstä annetun palautteen perusteella lukijat saivat ymmäryksen alustarakenteiden vaikutuksesta auton ajo-ominaisuuksiin.

LÄHTEET

- 1001Renkaat 2021. Renkaiden ohjaukskulmien säätö, ohjausgeometria ja suuntaus. Viitattu 12.1.2021.
<https://www.1001renkaat.com/neuvoja-renkaat/renkaiden-ohjaukskulmat-geometria-suuntaus>
- AKK 2021. Autojen tekniset määräykset ja kuljettajien ajovarusteet, liite J. Viitattu 7.1.2021.
https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1930/12_akk_tekniset_2021.pdf
- Autowiki 2021. Ford Escort RS2000 Mk5/6. Viitattu 11.1.2021.
http://www.autowiki.fi/index.php/Ford_Escort_RS2000_Mk5/6
- CarThrottle 2021a. How do anti-roll bars actually work? Viitattu 16.3.2021.
<https://www.carthrottle.com/post/how-do-anti-roll-bars-actually-work/>
- CarThrottle 2021b. Monotube vs Twin-tube dampers: How do they work? Viitattu 12.3.2021.
<https://www.carthrottle.com/post/monotube-vs-twin-tube-dampers-how-do-they-work/>
- Dirtfish 2021. Rally tires. What makes them special? Viitattu 27.1.2021.
<https://dirtfish.com/tech/rally-tires-what-makes-them-special/>
- Fully Torqued Racing 2021. Bump steer explained. Viitattu 27.4.2021.
<http://blog.fullytorquedracing.com/bump-steer-explained/>
- JL Techno 2021. Aligment Data Lookup. Viitattu 4.3.2021.
[http://www.jltechno.com/en/alignment_specs.php?brand=FORD\(EUR\)&ModelName=Escort,RS%C2%A02000\(1995-1996\)&ModelID=100996](http://www.jltechno.com/en/alignment_specs.php?brand=FORD(EUR)&ModelName=Escort,RS%C2%A02000(1995-1996)&ModelID=100996)
- Mauno, E. 1991, Virittäjän käsikirja. 2, Alusta, Teekkarien autopalvelu [teekkarien autopalvelu], Helsinki.
- Modificars 2021. Iskunvaimentimet. Viitattu 22.1.2021.
<https://modificars.fi/alustanosat/iskunvaimentimet/koni-sport-special-fsd-strt-special-active-iskunvaimentimet>
- Mtp-racing24 2021. 360 mm full adjustable shocks. Viitattu 13.3.2021.
<https://mtp-racing24.com/360-mm-Full-Adjustable-Shocks-Shock-Absorber>
- RTE Motorsport 2021. Pirelli K 185/70-15. Viitattu 3.3.2021.
<https://shop.rtemotorsport.net/Pirelli-205/65-15-K4>
- Smith, C. 1978. Tune to win: The art and science of race car development and tuning. California: Carrol Smith Consulting Incorporated.
<http://users.telenet.be/AudiR8/Carroll%20Smith%20-%20Tune%20to%20win%20OCR.pdf>
- Suspension Secrets 2021a. What is camber gain? Viitattu 25.1.2021.
<https://suspensionsecrets.co.uk/camber-gain/>
- Suspension Secrets 2021b. What is caster? Viitattu 26.1.2021.
<https://suspensionsecrets.co.uk/caster/>
- Suspension Secrets 2021c. What is King Pin Inclination (KPI)?. Viitattu 26.1.2021.
<https://suspensionsecrets.co.uk/king-pin-inclination/>
- Suspension Secrets 2021d. Roll centre and roll moment. Viitattu 27.1.2021.
<https://suspensionsecrets.co.uk/roll-centre-and-roll-moment/>
- Tarvikemotti 2021. Varrelliset cromo uniball-nivelet. Viitattu 10.5.2021.

<https://www.uniball.fi/cgi-bin/webio2kauppa?Alustan-osat/Nivelvarret/-Uniball-nivelet/Vasenk%C3%A4tiset-uroskierteiset/Varrelliset-Cromo-uniball-nivelet,-vasenk%C3%A4tiset&naytasivu=702&id=0&saitti=rallycorsa>

Team O'Neil 2017. Suspension Setup, Adjustments, and Testing. Viitattu 14.1.2021.
<https://www.youtube.com/watch?v=EDmHpxgMxFU&list=PL23-3IMiWvAM-blcBFE199Ux7nczFI2Z5Z&index=12>

Tirebuyer 2021. What is negative camber? Viitattu 25.1.2021.
<https://www.tirebuyer.com/education/what-is-negative-camber>

Trail 4 Runner 2021. Uniballs & ball joints: Delta joint retrofit on icon tubular uca. Viitattu 2.3.2021.
<https://trail4runner.com/2019/09/29/uniball-ball-joints-delta-joint-retrofit-on-icon-tubular-uca/>

Uniball 2021. Kaksoissäädettävä iskunvaimentajan yläpää. Viitattu 22.4.2021.
<https://www.uniball.fi/cgi-bin/webio2kauppa?Alustan-osat/Haarukat-ja-muut-erikoiset/Kaksoiss%C3%A4%C3%A4dett%C3%A4v%C3%A4-iskunvaimentajan-yl%C3%A4p%C3%A4%C3%A4&naytasivu=611&id=0&saitti=rallycorsa>