

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

2019

Jasper Kaskimäki

# SÄÄDETTÄVIEN ALATUKIVARSIEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS KILPA-AUTOON

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2019 | 29 sivua

Jasper Kaskimäki

# SÄÄDETTÄVIEN ALATUKIVARSIENTEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS KILPA-AUTOON

Työn tarkoitus on suunnitella ja valmistaa säädettävät etupään alatukivarret Nissan Micra -ralliautoon. Alatukivarsien tarkoitus on tehdä pyöränkulmien säädöstä vaivatonta ja yksinkertaista. Työn toinen tarkoitus on perehtyä pyöränkulmiin ja niiden vaikutukseen auton hallinnassa. Lisäksi esitellään kyseinen ralliauto, ralliautoluokat ja niiden säännöstö alustan muokkauksen osalta.

Työn tavoitteena on suunnitella ja valmistaa mahdollisimman kevyet, mutta lujat alatukivarret. Kuvien osien tulisi olla helposti saatavilla ja suhteellisen edulliset. Työssä käytetään mahdollisimman paljon omaa valmistustyötä. Alatukivarret tulevat olemaan kohdeautoon räätälöidyt, mikä tekee työstä haastavan, mutta mielenkiintoisen. Toinen työn päätavoite on ymmärtää paremmin pyöränkulmien vaikutusta auton käyttäytymiseen.

Työ kattaa ralliauton ja eri ralliautoluokkien esittelyn. Ralliautoluokissa perehdytään niiden sääntöihin koskien alustan muokkausta. Työ kattaa myös alatukivarsien suunnittelu- ja valmistusprosessin eri työvaiheineen.

ASIASANAT:

Putkitukivarret, pyöränkulmat, asentokulmat, reaktiotanko, alatukivarsi.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme Automotive and Transportation Engineering

2019 | 29 pages

Jasper Kaskimäki

# DESIGNING AND MANUFACTURING ADJUSTABLE CONTROL ARMS FOR A RALLY CAR

The purpose of this thesis was to manufacture and design adjustable front control arms for a Nissan Micra rally car. The aim of the control arms is to ease and simplify the adjustments of the wheel angles. The secondary purpose of this thesis was to become familiar with wheel angles and their effect on handling the car. In addition, there is an introduction to the rally car, different rally classes and their rules when it comes to building a chassis.

The aim of this project was to design and manufacture adjustable control arms that are lightweight, yet strong, and all the wearing parts must be easily available. The aim was to make custom-made control arms in this specific car, which made the project challenging but interesting. The secondary aim of the project was better understanding of wheel angles and their effect on the car behavior.

This work covers an introduction to the rally car and different rally classes along with the rules of building a chassis. This project covers also designing and manufacturing of adjustable control arms.

## KEYWORDS:

Tubular control arms, wheel angle, reaction bar, lower control arm.

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 TROPHY-LUOKAN KILPA-AJONEUVO</b>	<b>7</b>
2.1 N-ryhmä	7
2.2 A-ryhmä	8
2.3 Fin-R-ryhmä	9
<b>3 NISSAN MICRA 1400 TROPHY -RALLIAUTO</b>	<b>10</b>
<b>4 PYÖRÄN ASENTOKULMAT</b>	<b>11</b>
4.1 Camber	11
4.2 Caster	12
4.3 SAI	14
4.4 Auraus ja haritus	15
4.5 Kallistuskeskiö	16
4.6 Pyöräntuennan "anti"-ominaisuudet	17
<b>5 PUTKITUKIVARSIEN SUUNNITTELU</b>	<b>19</b>
5.1 Yleistä	19
5.2 Alatukivarsi	21
5.3 Reaktiotanko	22
<b>6 PUTKITUKIVARSIEN VALMISTAMINEN</b>	<b>24</b>
6.1 Yleistä	24
6.2 Prototyypivarret	24
6.3 CroMo-tukivarret	26
<b>7 PÄÄTELMÄT</b>	<b>28</b>
<b>8 LÄHTEET</b>	<b>29</b>

## KUVAT

Kuva 1. Micran alatukivarsi, jossa etummaisessa nivelpisteessä uniball-nivel.	8
Kuva 2. Mikke Yrjölän Nissan Micra K11.	10
Kuva 3. Camber-kulma.	11
Kuva 4. Caster-kulma.	13
Kuva 5. Joustintuen yläpään laakeri.	14
Kuva 6. SAI-kulma.	15
Kuva 7. Kallistuskeskiö.	16
Kuva 8. Anti-dive-piirros. Tuloksena prosenttiluku.	18
Kuva 9. Kaksoiskierreholkki.	22
Kuva 10. Erilaisia kulmia pallonivelen ja alatukivarren välille.	25
Kuva 11. Silloitushitsauksen jälkeinen kokeilu.	26
Kuva 12. Valmiit putkitukivarret.	27

# 1 JOHDANTO

Menestys kilpa-autoilussa riippuu monesta tekijästä, mutta yksi suurimpia tekijöitä on ajoneuvon ajettavuus. Auton suuresta moottoritehosta ei ole mitään hyötyä, jos ajettavuus on huono. Oli kysymyksessä mikä tahansa autourheilulaji, siellä kisaavat haluavat olla nopeampia kuin kanssakilpailijat. Saavuttaakseen edellä mainitun, on autoon yleensä tehtävä mittavia muutoksia koskien moottoria, jousitusta, korja, renkaita ja pyöräntuennasta. Tässä opinnäytetyössä käsitellään sitä, miten kilpa-auton pyöräntuennasta saa paremman säädettävien alatukivarsien avulla. Johtuen tässä opinnäytetyössä tehtävien säädettävien tukivarsien putkirakenteesta, tullaan niistä käyttämään vastaisuudessa nimitystä putkitukivarret.

Putkitukivarsien perimmäinen idea on tehdä alustasta helposti ja laajasti säädettävä. Nivelpisteiden etäisyyttä muuttamalla pystytään portaattomasti säätämään erilaisia pyörän asentokulmia. Säädettäviä alatukivarsia käytetään teknisten sääntöjen niin sallissa eri kilpa-autoluokissa. Niiden yleisyydestä huolimatta laadukasta suomenkielistä materiaalia säädettävistä alatukivarsista on melko vähän internetissä ja kirjallisuudessa. Suomessa on tietääkseni vain yksi yritys, joka tekee kyseisiä varsia ammattimaisesti.

Tämän työn tavoite on suunnitella ja valmistaa Mikke Yrjölän autoon räätälöidyt putkitukivarret. Tässä opinnäytetyössä kuvaillaan valmistusprosessia aina suunnittelusta ja prototyypeistä valmiisiin varsiin. Juuri tiedon ja kokemuksen puute tältä alalta teki tästä työstä haastavan. Tässä opinnäytetyössä tehdään myös yleiskatsaus eri ralliluokkiin ja tutkitaan niiden sääntöjä edellä mainittujen muokkausten osalta. Lisäksi kohdeauto esitellään. Opinnäytetyössä käsitellään eri pyöräntuennan kulmia ja niiden vaikutusta ajo-ominaisuuksiin. Lopuksi suunnitellaan ja valmistetaan putkitukivarret, jonka jälkeen tehdään päätelmät.

## 2 TROPHY-LUOKAN KILPA-AJONEUVO

Kohdeautolla ajetaan 1400 Trophy -luokan rallikilpailuja. 1400 Trophy -auton perustana on useimmiten N- tai A -ryhmään luokiteltu kuutiotilavuudeltaan alle 1400 kuutioinen auto. Tämä voidaan rakentaa N-, A- tai Fin-R -ryhmän sääntöjen mukaisesti.

N- , A- ja Fin-R -ryhmien säännöt on kirjattu kansalliseen sääntökirjaan, tekniikka-osioon. Sääntöjä luetaan seuraavasti: Tekniikka-osion (Liite J) yleiset määräykset ja turvallisuusmääräykset koskevat kaikkia ryhmiä, tämän jälkeen ryhmäkohtaiset säännöt ja luokitus-todistus kertovat, mitä muutoksia vakioautoon nähden voidaan tehdä.

1400 Trophy -autolla voi osallistua moniin eri sarjoihin. Rally Trophy -sarjaan voi osallistua kilpailukohtaisesti, jolloin ei tarvitse sitoutua mihinkään sarjaan. Lisäksi sillä voi kilpailla melkein jokaisessa rallisarjassa, koska melkein kaikissa niissä on 1400 Trophy -autoille oma luokka. (1400 Trophy 2018.)

### 2.1 N-ryhmä

Jotta auto voisi kuulua N-ryhmään, vähintään 2500 kpl samanlaista henkilöautoa täytyy olla valmistettu 12 peräkkäisen kuukauden aikana. N-ryhmän autot ovat lähempänä sarjatuotantoautoja kuin vapaammin viritetyt A-ryhmän autot. (AKK 2018, 304.)

Tässä on muutamia lainauksia N-luokan ajoneuvojen määräyksistä, jotka liittyvät pyöränripustukseen.

- Pyöränripustuksen osien vahvistus ei saa muodostaa onttoja rakenteita eikä kahta erillistä osaa ei saa liittää toisiinsa siten, että tästä muodostuu yksi osa.
- Jousi/iskunvaimennin yhdistelmä sallitaan, vaikka auto ei alun perin ole varustettu sellaisella edellyttäen, että alkuperäinen jousi poistetaan.
- Kiinnityspisteiden ja pyöränripustuksen osien vahvistaminen ainetta lisäämällä on sallittu, mutta kahden eri osan liittäminen toisiinsa on kielletty. (AKK 2018, 307.)

## 2.2 A-ryhmä

A-ryhmän kisoissa ajetaan autoilla, joita valmistetaan yhden vuoden aikana vähintään 2500 kappaletta ja lisäksi auton perusmallia pitää olla valmistettu vähintään 25 000 kappaletta. A-ryhmään kuuluu kolme alaryhmää, jotka ovat yli 2,5 litran, 1,6-2,5 litran ja alle 1,6 litran moottoreilla varustetut autot. (AKK 2018, 313.)

Seuraavassa on lainattu sääntöjä, jotka liittyvät pyöränripustuksen muokkaamiseen

- Jousituksen kiinnityspisteen kiertymisakselien paikka olkavarressa ja korissa tulee säilyttää alkuperäisenä.
- Kiinnityspisteiden ja pyöränripustuksen osien vahvistaminen ainetta lisäämällä on sallittu, mutta kahden eri osan liittäminen toisiinsa on kielletty.
- Nivelpisteet voivat olla eri ainetta kuin alkuperäiset. Kiinnitykset koriin voidaan muuttaa: "uniball"-niveleiksi (Alkuperäinen kiinnitys voidaan leikata pois ja korvata uudella, joka kiinnitetään hitsaamalla), käyttämällä paksumpaa pulttia ja kiinnityspistettä voidaan vahvistaa ainetta lisäämällä 100mm:n etäisyydellä kiinnityspisteestä. (AKK 2018, 319.)

Kuten säännöistä huomataan, kuulanivelet eli uniball-nivelet ovat sallittuja, mutta vain alkuperäistä vastaavissa tukivarsissa. Tämän kaltaiset tukivarret olivat jo kohdeautossa (kuva 1).



Kuva 1. Micran alatukivarsi, jossa etummaisessa nivelpisteessä uniball-nivel.



### 2.3 Fin-R-ryhmä

Fin-R-ryhmässä saa käyttää A-luokiteltua tai AKK:n kansallisesti luokittelemaa autoa. Kansallisesti luokitellun auton vuosimallin tulee olla 2000 tai uudempi.

Automallin tulee olla alun perin kaksivetoinen ja moottoriltaan ahtamaton. Moottoritilavuus saa olla enintään 2500 cm<sup>3</sup>. Yleisesti ottaen Fin-R-ryhmä sallii enemmän luovuutta ja rakentelua ratkaisuihinsa kuin A-ryhmä. (AKK 2018, 368.)

Seuraavassa on koottu lainauksia säännöistä, jotka liittyvät pyöränripustuksiin

- Tukivarsien on oltava alkuperäisiä. Alkuperäistä tukivartta saa vahvistaa ainetta lisäämällä ja vahvistuksen ei tarvitse seurata alkuperäistä muotoa, mutta tukivarren alkuperä on oltava tunnistettavissa. Nivelpisteiden joustavan materiaalin saa korvata toisella materiaalilla tai nivelellä, jonka materiaalin ei tarvitse olla joustava.
- Pyöränripustuksen osien kiinnityspisteet korissa saa vahvistaa, mutta lisättävän materiaalin tulee seurata alkuperäistä muotoa. Pyöränripustuksen kiinnityspisteiden kiertymisakselin paikka saa muuttua enintään 20 mm.
- Iskunvaimentimet ja jouset ovat vapaat, mutta tyyppi, lukumäärä ja paikka on säilytettävä.
- Kallistuksenvakaajan saa asentaa. Myös alkuperäisen muuttaminen tai poistaminen on sallittua, vaikka se olisikin pyöränripustuksen osa. (AKK 2018, 369.)

Auto, johon putkitukivarret asennetaan, kuuluu Fin-R-luokkaan. Kyseiset autot ovat katsastusvelvollisia. Jos autoon vaihdetaan alkuperäisestä poikkeavat tukivarret, on vakuuttettava valmistustodistuksen avulla, että kyseessä on tehdasvalmisteiset osat. Säännöt siis mahdollistavat putkitukivarsien tekemisen, mikäli pystyy valmistustodistuksen avulla todistamaan tukivarret tehdastekoisiksi. Sellaisenaan opinnäytetyössä tehdyt tukivarret eivät täytä auton teknisiä määräyksiä. Perusteena tälle työlle on tarve päästä säätämään auton etupyöräntuennan geometriaa. Kilpa-auton kilpailukykyä kehittäessä on suuri tarve päästä kokeilemaan erilaisia säätöjä. (Plus-katsastus, 2018.)

### 3 NISSAN MICRA 1400 TROPHY -RALLIAUTO

Opinnäytetyössä tehtävät putkitukivarret asennetaan Nissan Micraan. Tässä kappalessa esitellään hieman autoa ja siihen jo tehtyjä muutoksia.

Kyseessä on K11 Micra, joka on toisen sukupolven Nissan Micra. Mallia valmistettiin vuodesta 1992 vuoteen 2002. Kyseinen auto on vuosimallia 1995. Micran voimanlähteinä olivat 1.1 ja 1.3 litran moottorit. 1.1 litran moottorin teho vakiona on 55 hevosvoimaa ja 1.3 litran moottorin 75 hevosvoimaa. Molemmat moottorit ovat rivinelosia, jotka ovat varustettu kahdella sylinterikannen yläpuolisella nokka-akselilla. (Autowiki, 2018.)

Kyseisessä autossa on tehty laajalti muutoksia, jotta auto soveltuisi ralliin. Auton 1.3 litran moottoria on viritetty huomattavasti. Tehodynamometrin näyttö näytti etupyöriltä 135 hevosvoimaa. Moottoriin on vaihdettu männät, kiertokanget, nokka-akselit, läppärungot, vauhtipyörä, pakosarja ja moottorinohjaus.

Micrassa on joustintukijousitus (MacPherson-pyöräntuenta) ja siihen on asennettu Öhlinsin kolmisäätöiset heilahduksenvaimentimet. Alatukivarret on vaihdettu sellaisiin, joissa alkuperäisen kumisen nivelen tilalla on uniball-nivel. Alatukivarsissa tai sen kiinnityspisteissä ei kuitenkaan ole minkäänlaista säätöä. Autoon tulevat putkitukivarret tehdään säädettäväksi, jotta haluttujen ajo-ominaisuuksien löytäminen helpottuu. (Mikke Yrjölä, suullinen tiedonanto 7.10.2018.)



Kuva 2. Mikke Yrjölän Nissan Micra K11.

## 4 PYÖRÄN ASENTOKULMAT

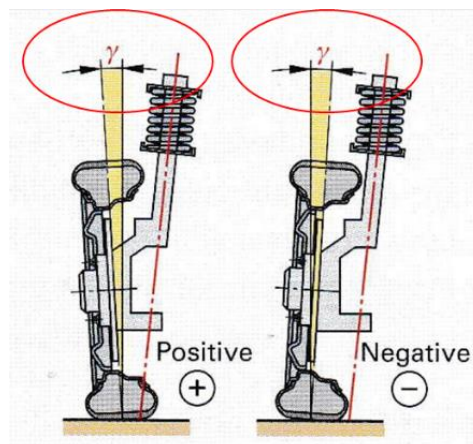
Menestys kilpa-autoilussa ei riipu läheskään yksinomaan moottorin tehosta, vaan alustan oikealla toiminnalla on suuri vaikutus. Alustan toiminnallinen vaikutus kasvaa mitä suuremmilla nopeuksilla liikutaan. Huonolla alustalla on mahdotonta menestyä kilpa-autoilussa.

Alustan suunnittelussa pyritään vaikuttamaan auton ohjattavuuteen, ajovakauteen ja kokonaispidon parantamiseen. Auton käyttäytymiseen ja ajo-ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä on runsaasti. Tulevissa kappaleissa pyritään tarkastelemaan erilaisten pyöräntulmien vaikutusta ajo-ominaisuuksiin.

### 4.1 Camber

Camber-kulmalla tarkoitetaan pyörän sivukallistumaa eli pyörän keskiviivan ja pystysuoran välistä kulmaa suoraan edestä tai takaa katsottuna. Camber-kulma on yksi tärkeistä ajettavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Tulevissa putkitukivarsissa on siis oltava säädöt, joilla sitä pystytään säätämään.

Camber-kulma on negatiivinen pyörän ollessa kallistunut sisäänpäin ja positiivinen, kun se on kallistunut ulospäin. Camber-kulma tosin vaihtelee kaarteissa ja erilaisilla kuormilla ajettaessa. Kulma katsotaan suhteessa tiehen, koska se on kaarreominaisuuksien kannalta tärkeämpää (kuva 3).



Kuva 3. Camber-kulma.

Paras kaarrepito saavutetaan, kun ulkokaarteeseen puoleisella pyörällä on pieni negatiivinen camber-kulma. Optimaalisen kulman suuruus riippuu renkaan ominaisuuksista. Kiinnostavinta on pyöräntuennan toiminta kaarreaajossa, jolloin pyöräntuennassa tapahtuu korin kallistumisesta johtuvaa sisään- ja ulosjoustoa. Ulkokaarteeseen puoleinen pyörä on huomattavasti merkityksellisempi auton pidon kannalta, koska ääritapauksissa voi sisäkaarteeseen puoleinen pyörä nousta kokonaan ilmaan.

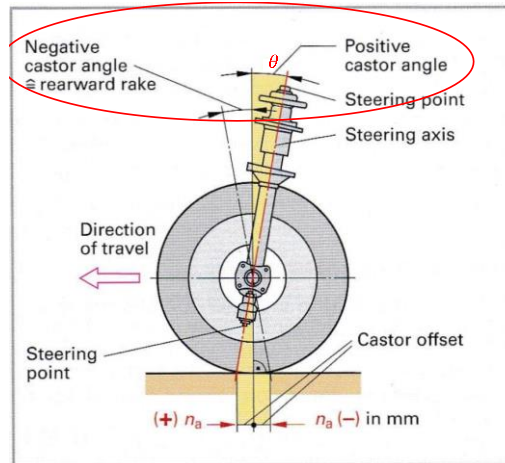
Sisään- ja ulosjoustossa auton pyöräntuennan geometria määrittää camber-käyttäytymisen. Camber-käyttäytyminen tarkoittaa camber-kulman muutosta joustoliikkeen aikana. Erilaisissa pyöräntuennoissa voi olla hyvinkin erilainen camber-käyttäytyminen. Joissain pyöräntuentatyypeissä, kuten monivarsituennassa (lyhyt ylätukivarsi-pitkä alatukivarsi), camber-kulma muuttuu negatiivisemmaksi sisäänjouston aikana. Sen sijaan joustintukirakenteessa (MacPherson-tuenta) camber-kulma voi muuttua positiivisemmaksi sisäänjouston aikana. Tällöin staattiseksi camber-kulmaksi on säädettävä negatiivista camber-kulmaa, jotta sisäänjoustossa (ts. kaarteessa) voitaisiin paras mahdollinen pito säilyttää. Jos staattinen camber-kulma olisi kaarrepidon kannalta säädettävä hyvin negatiiviseksi, on parempi vaihtoehto suunnitella alustarakenne, jossa camber-kulma muuttuu negatiivisemmaksi sisäänjouston aikana. Camber-kulman ollessa hyvin paljon negatiivinen/positiivinen, kiihdytys- ja jarrutuspuite suoralla tiellä ovat heikommalla kuin pystyssä olevan renkaan. (Mauno 1991, 6-10.)

Sarjavalmistetuissa autoissa camber-kulmien säädöt ovat hyvin rajalliset. Ne ovat yleensä toteutettu erilaisten epäkeskopulttien avulla ja monesti myös caster-kulma muuttuu samalla. Näin caster- ja camber -kulmien välistä suhdetta ei välttämättä ikinä saada ideaaliksi. Tämän opinnäytetyön yhteydessä suunniteltujen ja valmistettujen putkitukivarsien etu on se, että niissä camber-kulma on tarkasti säädettävissä. Camber-kulman säätö käy irrottamatta mitään pyöräntuennan tai olkavarren osaa. Lisäksi tehdyt säädöt vaikuttavat vain ja ainoastaan camber-kulmaan niin tahdottaessa.

## 4.2 Caster

Caster-kulmalla tarkoitetaan kääntöakselin etu- tai takakallistumaa. Toisin kuin camber-kulma, caster-kulma mitataan auton sivusuunnasta katsoen. Kääntöakselilla tarkoitetaan akselia, jonka ympäri pyörä kääntyy ohjatessa. Kuten kohdeauto, monet sarjavalmistetui-

set autot ovat varustettu nykyään MacPherson-tuennalla. Tällöin kääntöakseli on alapallonivelen ja joustintuen yläpään välinen yhdysasu. Jos pyörä on tuettu kahdella päällekkäisellä tukivarrella, on kääntöakseli ylä- ja alapallonivelten välinen yhdysasu.



Kuva 4. Caster-kulma.

Caster-kulma on positiivinen, kun kääntöakselin yläpää on alapäätä taaempana, eli kääntöakseli on kallistettu pystysuorasta taaksepäin. Vastaavasti kääntöakselin ollessa kallistettu eteenpäin on caster-kulma negatiivinen (kuva 4).

Sarjavalmisteisissa henkilöautoissa ja myös kilpa-ajoneuvoissa käytetään poikkeuksetta positiivista caster-kulmaa. Positiivinen caster-kulma saa pyörät asettumaan itsestään kulkusuunnan mukaan, jolloin auto kulkee suoraan mahdollisimman vähäisin ohjausliikkein. Se saa myös auton ohjauksen palauttamaan voimakkaasti kaarteeseen jälkeen. Muita etuja ovat muun muassa parempi ohjaustuntuma, pyörien vipotustaipumuksen vähentyminen ja ulomman pyörän sortokulman pieneneminen kaarteessa. Caster-kulma onkin erittäin tärkeä auton suuntavakauteen vaikuttava tekijä. Tasapaino on tässäkin asiassa tärkeää. Sitä mukaan, kun caster-kulmaa säädetään positiiviseksi, myös ei-halutut ilmiöt kasvavat. Näitä ovat esimerkiksi tarvittavan ohjausvoiman kasvaminen, voimakkaat iskut ohjauspyörään ja sivutuulen tai kaltevan tien aiheuttama voimakas kääntymispyrkimys.

Negatiivisella caster-kulmalla saadaan kevyt ohjaus suuntavakauden kustannuksella. Peruuttaessa sarjavalmisteisella autolla tämän voi huomata. Ohjaus on kevyt, mutta ei keskitä ollenkaan. Vauhdin kasvaessa ajoneuvon hallittavuus heikkenee ja auto voi alkaa heittelehtiä. Caster-kulmien ollessa samalla akselilla erilaiset, auto pyrkii kääntymään itsestään negatiivisemmän caster-kulman puolelle. Ovaaliratakilpailuissa, jossa käännetään vain vasemmalle, tätä ominaisuutta hyödynnetään. (Mauno 1991, 14-18.)

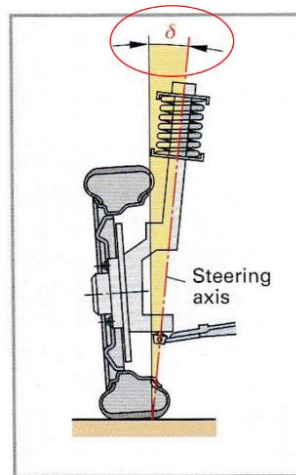
Caster-kulman säätömahdollisuus normaalissa sarjatuotetussa henkilöautossa on hyvin harvinaista. On olemassa joitain säätöjä, jotka vaikuttavat yhteisesti sekä camber- että caster -kulmiin, kuten edellä todettiin. Tällöin näiden kahden suhdetta on vaikea saada optimaaliseksi. Putkitukivarsissa caster-kulman säätö voidaan toteuttaa alatukivarteen kiinni tulevalla erillisellä reaktiotangolla. Reaktiotangon pituutta säätämällä voidaan kallistaa kääntöakselia eteen- tai taaksepäin. Joissakin kilpa-autoissa käytetään säädettävää joustintuen yläpään laakeria, missä camber- ja caster -kulmat ovat erikseen säädettäviä (kuva 5). Tekniset säännöt saattavat kuitenkin rajata pois mahdollisuuden tämän tapaisten säätöosien käyttöön.



Kuva 5. Joustintuen yläpään laakeri.

#### 4.3 SAI

SAI-kulma tarkoittaa kääntöakselin sivukallistumaa. Sivukallistumalla tarkoitetaan pyörän kääntöakselin ja pystysuoran välistä kulmaa. Negatiivista ja positiivista SAI-kulmaa ei tarvitse erotella, koska kaikissa autoissa kääntöakseli on sisäänpäin kallistunut (kuva 6). SAI-kulma määrää pyörän kääntövierinsäteen, jota ei tule sekoittaa koko auton kääntösäteeseen. Kääntövierinsäteellä tarkoitetaan kääntöakselin ja renkaan keskiön maakosketuspisteiden välistä etäisyyttä. Tätä etäisyyttä kutsutaan myös olkapoikkeamaksi. Pyörä kiertyy ympäri kääntövierinsäteen määrittelemää ympyränkaarta pitkin. Mitä suurempi kääntövierinsäde, sitä suurempi pyörän kääntämiseen tarvittava voima. Suurella kääntövierinsäteellä etupyöriin kohdistuvat iskut tuntuvat ohjauspyörässä voimakkailta. Jos taas kääntövierinsäde on pieni, jarrutuksista ja tien pinnan epätasaisuuksista oh-



Kuva 6. SAI-kulma.

jauspöörään aiheutuvat iskut vähenevät. Kääntövierinsäde on positiivinen, jos se on rengaslinjasta katsottuna sisäänpäin autoon ja negatiivinen, jos se on rengaslinjasta autosta ulospäin.

Suuntavakauden kannalta SAI-kulmalla on samanlainen vaikutus kuin caster-kulmalla. Jos kääntövierinsäde on suuri, auton kääntäminen saa auton etupään nousemaan ylöspäin. Auton korin paino vastustaa tätä liikettä ja pyrkii kääntämään renkaat suoraan. Yleensä pienellä caster-kulmalla varustetuissa autoissa on yleensä suhteellisen suuri SAI-kulma. SAI-kulman säätäminen ei ole monessakaan kilpa-autossa mahdollista, vaan se määräytyy camber- ja caster -kulmia säädettäessä. (Mauno 1991, 18-20.)

#### 4.4 Auraus ja haritus

Pyöräkulmat aiheuttavat erilaisia voimia alustaan. Näitä voimia voidaan kumota tai vahvistaa säätämällä aurasukulmia. Sanat auraus ja haritus kuvaavat hyvin renkaiden pitkittäisvinoutta auton pituusakseliin nähden. Mikäli pyörien etureunat ovat lähempänä toisiaan kuin takareunat, pyörät auraavat. Päinvastaisessa tilanteessa pyörät harittavat. Tällöin voidaan puhua myös negatiivisesta aurasukulmasta.

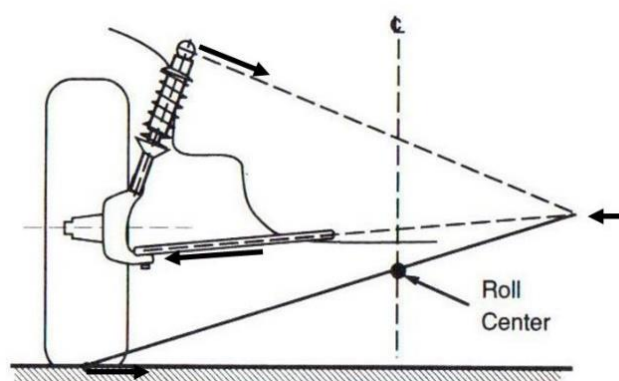
Aurauksen suurentaminen parantaa suuntavakautta ja muuttaa auton kaarreominaisuuksia aliohjautuvampaan suuntaan. Aurauksen pienentäminen eli harituksen kasvattaminen vaikuttaa päinvastoin. Auton kannalta paras aurasukulma on löydettävissä vain kokeilemalla. Liikkeelle voidaan lähteä valmistajan antamista ohjeistoista. Useiden säätö- ja testikertojen jälkeen voidaan löytää halutut ominaisuudet.

Aurauskulmat voidaan mitata erillisillä laitteistoilla. Valitettavasti aina ei ole käytössä tällaisia laitteistoja, joten joudutaan käyttämään alkeellisempia mittausten menetelmiä. Aurauskulmia säädetään edessä raidetankojen pituuksia muuttamalla. Aurauskulma on säädettävissä jokaisessa autossa, mitä tulee etupyöriin. Takapyörien aurauskulmat vaikuttavat myös auton ajettavuuteen siinä missä etupyörätkin ja samat lainalaisuudet pätevät niissäkin. Auraus vakauttaa ja tekee auton aliohjautuvaksi ja haritus päinvastoin. Oikeat arvot löydetään vain kokeilemalla. Kaikissa autoissa ei voida säätää takapyörien aurauskulmia. Niissä joissa voi, aurauskulman säätö tapahtuu epäkeskopulttien avulla tai säätötankojen avulla. (Mauno 1991, 20-27.)

#### 4.5 Kallistuskeskiö

Pyöräntuennan geometriset mitat määräävät kallistuskeskiön. Kaarrekiihtyvyyden synnyttämä voima pyrkii kallistamaan autoa kallistuskeskiön ympäri. Etu- ja taka-akselin kallistuskeskiöiden välille muodostuu kallistusakseli. Tavoitteena olisi, että kallistusakseli olisi maanpinnan suuntainen. Tällöin pyöränkuormien vaihtelu olisi etu- ja taka-akselilla samaa suuruusluokkaa. Kallistuskeskiö määritellään jokaiselle akselille ja pyöräntuennalle erikseen. Erityyppisillä tuennoilla kallistuskeskiö sijaitsee eri korkeuksilla tienpinnasta.

MacPherson-tuennassa kallistuskeskiö määrytyy joustintuen yläpäätä piirretyn kohtisuoran linjan ja alatukivarren suuntaisen linjan välisestä leikkauspisteestä. Kun leikkaus-



Kuva 7. Kallistuskeskiö.

pisteeseen piirretään renkaan tiekosketuskohdalta suora, on kallistuskeskiö siinä koh-



dassa, missä se leikkaa auton keskilinjan. Kallistuskeskiön paikka tosin muuttuu joustoliikeamplitudin matkalla johtuen alatukivarren ja joustintuen keskinäisten asentojen muutoksesta. Kattavan käsityksen kallistuskeskiön paikasta saa vain tutkimalla sitä koko joustoliikeamplitudin matkalla (kuva 7).

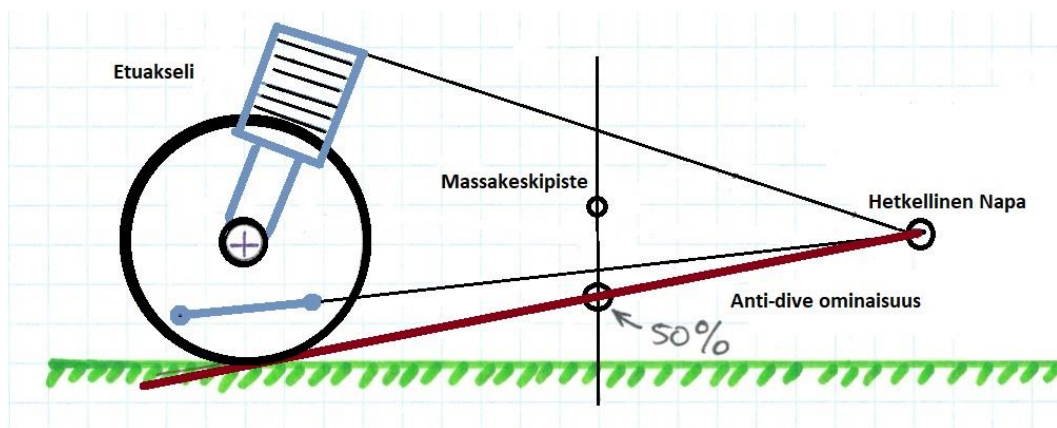
Kaarreaajossa, jossa auto joustaa toispuoleisesti, voi kallistuskeskiö siirtyä myös sivusuunnassa. Siirtymän suuruus vaihtelee pyöräntuennan rakenteen mukaan. Jos tavoitteena on rakentaa mahdollisimman johdonmukaisesti käyttäytyvä auto, on pyöräntuenta rakennettava niin, että kallistuskeskiön paikka muuttuisi mahdollisimman vähän joustoliikeamplitudin matkalla.

Korin kallistuskeskiö pyritään pitämään yleensä mahdollisimman matalalla. Korkea kallistuskeskiö aiheuttaa pyörien sivusiirtymää jouston aikana, jolloin osa kitkavoimasta hukataan sivuliikkeeseen. Lisäksi sisäkaarten puoleinen pyörä pyrkii nostamaan koria ja ääritilanteissa se voi saada jopa auton kaatumaan. Kallistuskeskiön paikkaa voidaan nostaa nostamalla alatukivarren korin puoleisia nivelpisteitä ylöspäin, vastaavasti laskea laskemalla näitä nivelpisteitä alaspäin.

#### 4.6 Pyöräntuennan ”anti”-ominaisuudet

Opinnäytetyö keskittyy kilpa-auton etupään pyöräntuentaan, joten tässä kappaleessa käsitellään etuakselin anti-dive- ja anti-lift-ominaisuuksia. Anti-ominaisuuksia kuvataan prosenttiluvulla. Anti-ominaisuuden ollessa 0% ottavat jouset nyökkäys- ja niaustilan-teen vastaan yksin, jolloin kori nyökkää/niaaa voimakkaasti. Vastaavasti anti-ominaisuuden ollessa 100%, kaikki kuormanlisäykset välittyvät pyöräntuennan kautta tien pintaan, jolloin kori ei nyökkää/niaaa.

Anti-ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa pyöräntuennan geometrialla. Esimerkiksi etuakselille voidaan suunnitella pyöräntuenta, joka pyrkii vähentämään niausta jarrutuksessa. Niiakseen vaikuttaa anti-ominaisuuksien lisäksi muutkin asiat kuten jarrutasapaino ja jousien jäykkyys. Etuakselin anti-dive-ominaisuus jarrutuksessa voidaan saada geometrisellä tarkastelulla ja laskemalla selville. Kohdeautossa on outboard-jarrut ja MacPherson-tuenta. Tällöin anti-dive-ominaisuus etuakselilla jarruttaessa saadaan selville piirtämällä kaksi suoraa auton pituussuunnassa: ensimmäinen alatukivarren korinpuoleisten nivelpisteiden läpi ja toinen joustintuen yläpäästä lähtevä joustintukea kohtisuorassa



Kuva 8. Anti-dive-piirros. Tuloksena prosenttiluku.

oleva suora. Näiden suorien leikkauspisteet muodostavat hetkellisen navan. Hetkelliseen napaan piirretään renkaan tien kosketuskohdasta suora. Tämä suora leikkaa auton massakeskipisteen ja leikkauspisteen korkeutta verrataan ajoneuvon massakeskipisteen korkeuteen (kuva 8). Suhdelukuna saadaan prosenttiluku, joka vastaa etuakselin anti-dive-ominaisuutta. Anti-dive-ominaisuus vahvistuu nostamalla alatukivarren takanivelpistettä suhteessa etunivelpisteeseen ja heikkenee takapistettä laskettaessa alaspäin.

Auton etuakselille voidaan etuvetoisessa autossa suunnitella geometria, joka pyrkii estämään auton keulaa nousemasta ylös kiihdytyksessä (anti-lift). Koska takapyörille ei kohdistu pituussuuntaisia voimia etuvetoisessa autossa, taka-akselin geometrialla ei voida vaikuttaa korin niaamiseen. Auton etuakselin geometrian on siis tuotettava sekä anti-dive- että anti-lift-ominaisuus ja näiden välillä on tehtävä yleensä kompromissi.

## 5 PUTKITUKIVARSIEN SUUNNITTELU

### 5.1 Yleistä

Sarjavalmistetun auton pyöränkulmien säätö on rajallista. Lisäksi niissä olevat nivelet ovat kumisia, mikä tekee pyöräntuennasta elastisen. Kumielementtiin on monissa sovelluksissa lisätty myös hydraulinen elementti. Elastisella pyöräntuennalla tavoitellaan sarjatuotantoautoissa mukavuutta. Kilpa-autojen alustan puolestaan tahdotaan olevan mahdollisimman luja ja monipuolisesti säädettävä. Valitettavasti tällaisia ominaisuuksia ei ole sarjavalmistetun ajoneuvon etutukivarsissa. Tämän takia räätälöidyt tukivarret, säädettävät ja lujat, ovat autourheilussa tarpeen. Teknisten sääntöjen niin salliessa käytetään säädettäviä putkitukivarsia. Opinnäytetyössä vakio alatukivarsi korvattiin putkitukivarsilla, joilla pystytään laajasti säätämään ajoneuvon erilaisia pyöränkulmia.

Suunnittelussa pyrittiin ratkaisuun, joka olisi kestävä ja toimiva. Kohdeautolla ajetaan rallia, jossa hyyt ja muut tien epätasaisuudet aiheuttavat melkoisen rasituksen pyöräntuennalle. Lisäksi putkitukivarsien osat tulisi olla helposti saatavissa, mikäli varaosia tarvitaan. Säätötoimenpiteiden pitäisi olla mahdollisimman käteviä ja nopeita suorittaa. Suunnittelussa alatukivarsi jaettiin kahteen eri osaan, alatukivarteen ja reaktiotankoon. Vaikka näiden kokonaisuus muodostaakin yhden alatukivarren, on niiden tekniset ratkaisut ja vaikutus pyöränkulmiin erilaiset.

Kaikki osat päätettiin hankkia Rally Corsa Shop -verkkokaupasta. Kyseessä on Vaisaset Oy:n verkkokauppa. He ovat erikoistuneet putkitukivarsien tekemiseen ja myyvät laajalti erilaisia osia asiaan liittyen. Sieltä löytyvät erilaiset holkit, nivelet, putket, lisäaineet ja puslat. Kun toimittajaliike on asiantunteva ja henkilökunta tuntee myymiensä tuotteiden ominaisuudet, voi varmistua siitä, että kaikki komponentit ovat hitsattavissa keskenään. Näin varmistutaan myös siitä, että niiden välinen liitos olisi mahdollisimman luja ja luotettava. Teräslaatuja tässä sovelluksessa ei saa yhdistellä. Jos tukivarsi pettäisi hitsauksestaan, voisi sillä olla vakavat seuraukset.

Putkitukivarsissa käytettiin kromimolybdeeniterästä, jota kutsutaan myös CroMo-teräkseksi. Sitä käytetään yleisesti kilpa-autosovelluksissa. Sovelluksessa käytettiin 4130-terästä, jossa on kromia 0.80–1.10%, molybdeenia 0.15–0.25%, hiiltä 0.28–0.33% ja mangaania 0.40–0.60%. Sen vetolujuus on 560 MPA ja myötöraja 460MPA. (Central

Steel & Wire Company 2008, 246.) Hitsattaessa 4130-teräs vaatii esi- ja jälkilämmityksen. Koska materiaali on ohutta, siihen riittävät TIG-hitsistä löytyvät erilaiset asetukset, kuten hitsausvirran vähittäinen nousu/lasku sytyttäessä/sammuttaessa valokareen. 4130-teräs on alun perin suunniteltu kaasuhitsaukseen, joten TIG-hitsausmenetelmä on hyvä valinta tälle materiaalille, koska se tuottaa MIG/MAG- ja puikkohitsausta tasaisemman lämpöjakauman. Koneistettavien osien puolesta oli huolehdittava siitä, että ne soveltuvat hitsattavaksi 4130-putkeen. Vaisaset Oy, josta tilattaisiin kaikki koneistustyöt ja koneistetut osat, käyttää koneistustöissään materiaalina MoC210-nuorrutusterästä, joka soveltuu erinomaisesti hitsattavaksi 4130-teräkseen.

Monet kilpa-autoharrastajat ovat tehneet onnistuneita putkitukivarsia kilpa-autoihinsa. Olemassa olevia ratkaisuja hyödynnettiin suunnittelussa. Näitä olivat muun muassa materiaali, ainevahvuudet ja yleinen geometria. On tietenkin selvää, että mitat, kiinnityspisteet ja nivelratkaisut vaihtelevat suuresti eri autojen välillä, joten pyöräntuenta oli suunniteltava kokonaisuutena sovelluskohtaisesti, huomioiden koko pyöräntuennan geometria. Jotta tässä onnistuttaisiin, otettiin kyseisestä autosta vanha tukivarsi malliksi. Tarkoitus oli kopioida alkuperäisen tukivarren geometria ja lisätä siihen kaksi sääntösuuntaa. Toisin sanoen alkuperäistä tukivartta käytettiin tietyssä mielessä lähtökohtana. Kohdeautosta on poistettu kallistuksenvakaaja, joten tukivarsiin ei tarvinnut tehdä vakaajatangon kiinnityspisteitä.

Ennen lopullisten CroMo-tukivarsien valmistusta tehtäisiin yksinkertaiset prototyypivartret, joiden avulla voitaisiin tutkia erilaisia alapallonivelen kulmia, alatukivarren pituutta, reaktiotangon pituutta ja sen mahdollisia kiinnityspisteitä auton koriin. Alapallonivelen kulma tukivarteen oli valittava huolellisesti, jotta varmistuttiin pallonivelen vapaasta liikeradasta koko pyöräntuennan joustoliikeamplitudin matkalla. Pallonivelen kulma taas vaikuttaa alatukivarren pituuteen, jolla säädetään camber-kulmia. Myös reaktiotangon kiinnityspistettä muutettaisiin, joten oli ensiarvoisen tärkeää varmistua sen oikeasta pituudesta. Monien muuttujien ja tekijöiden takia oli tärkeää käyttää hyväksi prototyypivarsia. Prototyypivarsissa käytettäisiin samoja päätyholkkeja ja niveliä, joita tulitaisiin käyttämään lopullisissa CroMo-tukivarsissa. Toisin kuin lopullisissa tukivarsissa, holkit kiinnitettiin prototyypivarsissa irrotettavilla ruuviliitoksilla.

## 5.2 Alatukivarsi

Monessa tapauksessa sarjavalmisteisissa autoissa alatukivarren sisempi pää kiinnittyy auton apurunkoon ja ulompi palloniveleen. Niissä alatukivarren sisimmäinen pää on kiinnitetty apurunkoon kumisilla nivelillä eli kansankielellä pusilla (bushing). Puslien tarkoitus on vaimentaa värähtelyä alatukivarren ja apurungon välillä. Kohdeauton erityispiirteenä mainittakoon apurungon puuttuminen kokonaan. Tällöin alatukivarren sisempi nivel kiinnittyy suoraan auton korirakenteisiin.

Kilpa-ajoneuvoissa harvemmin on kumisia puslia vaan niiden tilalla käytetään joko uretaanipuslia tai uniball-nivelä. Säädetävissä putkitukivarsissa lähes poikkeuksetta käytetään jälkimmäisiä, joten samanlaiseen ratkaisuun päädyttiin. Uniball-nivelä on erilaisia ja erikokoisia, tässä sovelluksessa tärkeintä oli tietenkin mahdollisimman vahva ja laadukas nivel. Laadukas kuulanivel kestää huomattavia rasituksia vartensa suunnassa. Koska kilpa-autolle kertyy kilometrejä siviiliautoon verrattuna murto-osa, on kuulanivel suojeltava esimerkiksi kuravedeltä, joka pilaa nivelen liukupinnat nopeasti.

Alatukivarresta haluttiin helposti ja nopeasti säädetävä, tarkoittaen sitä, että säädetäessä ei täytyisi irrottaa mitään (esimerkiksi alapalloniveltä). Toisin kuin reaktiotangossa, alatukivarressa ei voida käyttää vanttiruuvi-tyyppistä ratkaisua, koska alapallonivelen holkki on hitsattu siihen kiinni. Alatukivarren pituuden säätö olisi siis tapahduttava pyörittämättä itse vartta. Tällainen ratkaisu löydettiin käyttämällä M16x1.5 varrellista kuulaniveltä ja kaksoiskierre holkkia, jossa on M16x1.5 sisäkierre ja M24x1.5 vasenkätinen ulkokierre (kuva 9). Kaksoiskierreholkki tulisi kiinni putken päätyyn hitsattavaan holkkiin, jossa on M24x1.5 vasenkätinen sisäkierre. Kaksoiskierreholkkia kiertämällä alatukivarren tehollinen pituus muuttuisi ilman alatukivarren kiertymistä. Alatukivarressa käytettäisiin 35x2 putkea, johon päätyholkki hitsattaisiin kiinni. Putken koon määritti sen yleisyys vastaavissa sovelluksissa ja sen ylimitoitettu lujuus.



Kuva 9. Kaksoiskierreholkki.

Alatukivarren ulompaan päähän kiinnittyy alapallonivel. Alapallonivel on kuluva osa, joten sen tulisi olla helposti saatavilla. Valitettavasti Vaisaset oy:n verkkokaupasta ei löytynyt yhtään alapalloniveltä, jossa olisi ollut samanlainen kartio. Mittatilaustyönä tehtävän alapallonivelen hankinta ei tulisi kuuloonkaan edellä mainitun ”osien saatavuus” -ehdon takia. Näiden syiden vuoksi tyydyttiin vakiomalliseen palloniveleen sen helpon ja edullisen saatavuuden takia. Alapallonivelelle sorvattaisiin sopiva holkki, joka hitsattaisiin kiinni alatukivarteen. Alapallonivelen asennus holkkiin tapahtuisi prässäämällä ja varmistus lukkorenkaalla.

Alatukivarren pituutta muuttamalla voidaan säätää camber-kulmaa. Vanhoissa tukivarsissa itsessään ei ollut minkäänlaista säätöä, mutta joustintuen alapään kaksi ruuviliitosta olka-akseliin mahdollisti camberin säädön. Camber-kulma oli  $-0,5^\circ$ . Uudet putkitukivarret mahdollistavat kuitenkin laajemman säätöalueen verrattuna alkuperäisiin tukivarsiin. Lisäksi säätötoimenpiteet ovat tarkempia ja vaivattomampia suorittaa.

### 5.3 Reaktiotanko

Reaktiotanko tehtäisiin samasta 4130-teräksestä. Toisin kuin alatukivarsi, reaktiotankoa voitaisiin pyörittää vanttiruuvimaisesti akselinsa ympäri säädettäessä caster-kulmaa. Vanttiruuvissa toinen pää on varustettu vasenkätisellä kierteellä ja toinen pää oikeakätisellä. Kiertämällä vanttiruuvin keskiosaa saadaan sen pituutta säädettyä suuntaan tai toiseen. Caster-kulma muuttuu näin reaktiotangon tehollista pituutta muuttamalla. Vanhastaan autossa oli caster-kulmaa  $3,5^\circ$ , joskin sen säätäminen on hankalaa, liki mahdotonta. Reaktiotankoa pyörittämällä saa caster-kulmaa säädettyä tarkasti ja vaivattomasti. Alatukivarren ja reaktiotangon välinen kiinnitys tehtäisiin pulttiliitoksella. Reaktiotangon sisemmässä päässä olisi vasenkätinen M18-uroskuulanivel ja uloimmassa päässä oikeakätinen M18 kiinteä nivel 12mm reiällä pulttia varten. Kierteet putken päihin saataisiin

päätyholkeilla, jotka hitsattaisiin kiinni. Uloin pää pultattaisiin kiinni alatukivarteen. Reaktiotangon tehollisen pituuden muuttaminen käy kiertämällä tankoa. Sisimmäisessä kiinnityspisteessä auton koriin hyödynnetään jo ennestään olevia tukipisteiden paikkoja. Tukipiste olisi U-korva, joka pultattaisiin yhdellä M12 pultilla kiinni auton koriin ja varmistettaisiin hitsaamalla.

## 6 PUTKITUKIVARSIEN VALMISTAMINEN

### 6.1 Yleistä

Valmistuksessa prototyypivarret olivat vähintään yhtä tärkeitä kuin suunnittelussa. Prototyypivarsien avulla itse valmistusprosessi tuli tutummaksi, tehtiinhän niitä kolme kappaletta. Vaikkakin materiaalit ja työstömenetelmät osin vaihtelivatkin prototyypivarsien ja lopullisten CroMo-tukivarsien välillä, voitiin valmistusprosessia hioa ja parantaa kohti valmista tuotetta. CroMo-teräs on suhteellisen hintavaa, joten virheet mitoissa ja leikkuussa voisivat nostaa kustannuksia jopa sadalla eurolla.

### 6.2 Prototyypivarret

Prototyypivarret tehtiin rakenneteräksestä ja niitä tehtiin useampi, jotta pystyttiin vertailemaan erilaisia ratkaisuja. Prototyypitukivarsista tehtiin mahdollisimman yksinkertaiset, jotta kustannukset pysyisivät pieninä. Vaatimuksena oli myös se, että ostetut nivelet ja holkit pystyttäisiin käyttämään uudelleen lopullisiin CroMo-tukivarsiin.

Alatukivarresta tehtiin kolme versiota. Yhdessä versiossa pallonivelen kuppi olisi 90° asteen kulmassa alatukivarren kanssa, toisessa 75° kulmassa ja kolmannessa 65° kulmassa alatukivarren kanssa (kuva 10). Tavoitteena oli vertailla erilaisten kulmien avulla pallonivelen asentokulmaa. Alatukivarren ja pallonivelen kupin välinen liitos tehtiin hitsaamalla 32x1.5 putki kiinni 60x5 putkeen edellä mainituilla kulmilla. Pallonivelen kupista tehtiin 45 mm syvä. Ilman sorvaustöitä ei pallonivel istuisi holkkiinsa. Koska sorvaustöitä ei pelkästään prototyypivarsiin haluttu tehdä, oli keksittävä toisenlainen ratkaisu. Ratkaisuna pallonivelen holkkiin porattiin kolme 8,5 mm reikää 120° jaolla. Reikien kohdalle hitsattiin mutterit. Pallonivelen keskitys holkkiin tapahtuisi M8-ruuvien avulla (kuva 10). Jotta pallonivel ei istuisi pelkästään keskitysruuvien varassa, hitsattiin oikealla korolla holkkiin iso korilaatta, jonka päällä pallonivel olisi.





Kuva 10. Erilaisia kulmia pallonivelen ja alatukivarren välille.

Alatukivarren ja reaktiotangon prototyyppi tehtiin 32x1.5 huonekaluputkesta. Näiden päälle laitettiin 35x1.5 putkea, jotta varsien pituutta voitaisiin säätää muualtakin kuin vain kuulanivelistä. Näin voidaan vertailla erilaisia kiinnityspisteitä tukivarsien ja korin välillä. Nivelet ja niiden holkit ovat tarkoitettu 35x2 saumattomalle putkelle, joten ne ovat väljät prototyyppivarressa. Lukitus varsiin tapahtuu pidätinruuvien avulla. Varsiin porattiin 8.5mm reiät ja hitsattiin mutterit päälle. Näin holkkeja ja niveliä voidaan käyttää myös lopullisissa CroMo-tukivarsissa. Niissä holkit ja nivelet hitsataan kiinni. Monipuolisesti säätävillä alatukivarrella ja reaktiotangolla pystyttiin löytämään paras mahdollinen ratkaisu lopullisiin CroMo-tukivarsiin. Erilaisilla kulmilla ja pituuksilla varustetut prototyyppi-varret mahdollistivat monipuolisen tutkimisen.

Prototyyppivarsilla saatiin selville alatukivarren ja pallonivelen kulma. Kulmaksi valittiin 65°, joka saatiin selville käytännön tutkimuksen avulla. Tutkimukset suoritettiin nostamalla auto kaksipilari -nostimella ylös maasta. Pallonivelen liikerataa tutkittiin liikuttamalla pyöräntuenta ääriasennosta toiseen vaihdelaatikkonostimella. Näin varmistettiin pallonivelen vapaasta liikeradasta koko joustoliikeamplitudin matkalla. Varsien pituudet ja kiinnityspisteet koriin saatiin myös selville prototyyppivarsien avulla.

### 6.3 CroMo-tukivarret

Tarvittavat CroMo-putket tilattiin Rally Corsa Shopista. Holkit, joihin pallonivelet prässäti, koneistettiin myös kyseisellä yrityksellä. Putkien päihin hitsattiin kierrepäädyt ja alatukivarteen pallonivelen holkki. Tukivarren osien silloitushitsauksen jälkeen tehtiin vielä testi, että varret olisivat sopivat (kuva 11). Testin jälkeen tukivarsien eri komponenttien liitoskohdat hitsattiin kokonaan.



Kuva 11. Silloitushitsauksen jälkeinen kokeilu.

Heikoin lenkki on alapallonivelen holkin ja alatukivarren liitos, koska siihen kohdistuu suurin osa sivusuuntaisesta kuormasta. Tämän takia siihen kiinnitettiin hitsauksessa erityistä huomiota ja varmistuttiin siitä, että hitsausliitoksesta tulee vahva. Siinä kiinnitettiin huomiota tarpeeksi suureen hitsausvirtaan, tunkeumasyyvyyteen ja osien yleiseen sovitukseen. Valmiista tuotteesta voidaankin huomata, että hitsi tunkeutui hyvin perusaineeseen. Hitsaus suoritettiin Kempin Protig-koneella. Ramppia laitettiin neljä sekuntia ja saman verran alastuloa. Kaasuna käytettiin puhdasta argonia ja lisäaineena Esabin 13.09-lankaa.

Koska kierreholkkeihin kohdistuva lämpörasitus saattaa tarvella kierteet käyttökelvottomiksi, lähetettiin kierreholkilliset putket Rally Corsa Shoppiin, jotta he siellä puhdistaisivat kierteet kertaalleen kierretapilla. Tämä on erityisen tärkeää etenkin kaksoiskierrehelan osalta, johtuen sen ohuesta ainevahvuudesta. Lisäksi he maalasivat tukivarret jauhemaalilla mustaksi. Lämpörasitus voi saada osat muuttamaan myös muotoaan. Se oli erityinen huolen aihe etenkin koneistetuissa osissa, jotka hitsataan paikalleen. Sovelluksen

kriittisin paikka oli koneistettu pallonivelen holkki, joka hitsattiin vain yhdeltä puolelta kiinni. Se saisi jossain määrin aikaan sovitteen kutistumista ja ympyrämuodon muuttamista. Tämän takia hitsauksessa pyrittiin tuottamaan mahdollisimman vähän lämpöä kyseiseen liitokseen. Tämä onnistui korkeahkolla hitsausvirralla ja hieman tavanomaista nopeammalla kuljetusnopeudella. Lisäksi liitoksen aikana pidettiin taukoja, jotta materiaalilla olisi aika jäähtyä. Näin voitiin varmistua siitä, ettei sovite menisi pilalle. Sovite oli noin 11mm syvä ja ainevahvuus reilu 4mm koneistetussa kohdassa. Loput holkin ainevahvuudesta oli 2mm. Koska vain pieni osa hitsistä tuli sovitteen kohdalle, jossa ainevahvuuttakin oli reilusti, ei sovite muuttanut muotoaan merkittävästi ja pallonivel saatiin prässättyä paikoilleen.



Kuva 12. Valmiit putkitukivarret.

## 7 PÄÄTELMÄT

”Tämän työn tavoite on suunnitella ja valmistaa Mikke Yrjölän autoon räätälöidyt putkitukivarret.”, todettiin johdantokappaleessa. Suunnittelu- ja valmistusprosessin jälkeen voidaan todeta, että tässä onnistuttiin. Tuloksena olivat hienot putkitukivarret. Erityisen haastavana projektissa voidaan pitää kokemattomuuttani putkitukivarsien ja ralliautoilun maailmassa. Tämän takia uskon, että keino onnistumiseen oli valmistaa prototyypivarret. Prototyypivarsien avulla sai tarkat mitat ja pystyi näkemään, millaiset ratkaisut toimisivat lopullisissa alatukivarsissa, jotta ne onnistuisivat kerralla.

”Suunnittelussa pyrittiin ratkaisuun, joka olisi kestävä ja toimiva. Putkitukivarsien osat tulisi olla helposti saatavissa, mikäli varaosia tarvitaan. Säättötoimenpiteiden pitäisi olla mahdollisimman käteviä ja nopeita suorittaa.”, todettiin suunnitteluluvussa. Miten onnistuttiin? Mitä kestävyys tulee, uskon varsien olevan kestävä käytetyn materiaalin ja ainevahvuuksien takia. Ne olivat ylimitoitettuja tähän sovellukseen. Lisäksi hitsaus tehtiin aineen vaatimalla tavalla. Kehotettakoon kuitenkin varovaisuuteen ja laajoihin testeihin turvallisissa olosuhteissa, jotta kestävydestä voitaisiin varmistua sataprosenttisesti.

Entä toimivuus ja säätöjen suorittamisen helppous? Jälkimmäisessä onnistuttiin hyvin, sillä hyvän suunnittelun johdosta kaikki säädöt tukivarsissa onnistuvat irrottamalla yhtään osaa. Toimivuudesta ei vielä ole todisteita, koska niitä ei tämän opinnäytetyön puitteissa ole ehditty asentamaan autoon. Toimeksiantaja oli tyytyväinen työn tuloksiin. Ongelmanahan oli vanhoissa varsissa säättötoimenpiteiden hankaluus ja säätölaajuuden niukkuus. Uudet CroMo-tukivarret tulevat varmasti helpottamaan säättötoimenpiteitä ja niiden avulla camber- ja caster -kulmat ovat laajemmin säädettävissä. Kiitosta sai myös tukivarsien hieno ulkonäkö, vaikkakin se on vain sivuseikka.

Onko osat helposti saatavissa? On, kiitos kuuluu Vaisaset Oy:lle ja heidän ylläpitämälle verkkokaupalle (Uniball.fi), josta löytyy kaikki materiaalit, joita tässä opinnäytetyössä käytettiin. Esitän kiitoksen myös heidän palvelusalttiista asenteestaan, ystävällisyydestä, hyvästä palvelusta ja neuvoista. Ne auttoivat paljon tämän projektin maaliin viemisessä.

Projektia oli mukava tehdä ja toivottavasti ne tulevat antamaan toivotun edun ja tuloksen toimeksiantajalle. Toivottavasti tästä opinnäytetyöstä on apua niille, jotka ovat suunnittelemassa omaan kilpa-autoonsa säädettäviä tukivarsia.

## 8 LÄHTEET

1400 Trophy 2018. Mikä ihmeen 1400 Trophy?. Viitattu 19.09.2018.  
<http://www.1400trophy.fi/1400trophy.php>

AKK 2018. Autojen tekniset määräykset ja kuljettajien varusteet, liite J. Viitattu 24.9.2018.  
[https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1930/30289747\\_akk\\_11\\_tekniset\\_paiv160318-1.pdf](https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1930/30289747_akk_11_tekniset_paiv160318-1.pdf)

Plus-katsastus 2018. Ralliautojen katsastus. Viitattu 5.10.2018. <https://plus.fi/palvelut/ralliautojen-katsastus/>

Autowiki 2016. Nissan Micra K11. Viitattu 10.10.2018. [http://www.autowiki.fi/index.php/Nissan\\_Micra\\_K11](http://www.autowiki.fi/index.php/Nissan_Micra_K11)

Mauno E. 1991. Virittäjän käsikirja 2. Helsinki: Alfamer

Central Steel & Wire Company. Catalog, 2008