

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- kuljetustekniikan koulutusohjelma

Käyttöpainotteinen suuntautumisvaihtoehto

2012

Jussi Naatula

MCPHERSON-JOUSTINTUEN PIENOISMALLI



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikka | Käyttöpainotteinen suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyön valmistumisajankohta 4/2012 | Sivumäärä 43

Markku Ikonen

Jussi Naatula

MCPHERSON-JOUSTINTUEN PIENOISMALLI

Opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella ja valmistaa Turun ammattikorkeakoululle auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelman opetuskäyttöön pienoismalli auton etupyörien ripustuksesta. Pienoismallin avulla on tarkoitus havainnollistaa tehokkaammin, miten pyörän asento muuttuu pyöriä käännettäessä, kun pyörän asentokulmia muutetaan. Pienoismallia tullaan käyttämään pääasiassa Ajotilan perusteet -kurssilla. Pienoismallissa päädyimme McPherson-joustintukeen sen yleisyyden vuoksi

Työn laajuudesta johtuen se tehtiin kahden opiskelijan voimin. Tämän vuoksi myös mallin suunnittelu ja valmistus jaettiin niin, että koko suunnittelu- ja valmistustyö tehtiin yhdessä, mutta molemmilla oli omat vastuualueensa. Vastuualueet jaettiin niin, että minulla on rungon valmistus ja KPI- ja caster-kulmat, Vesa Lahdella ohjauslaitteisto, camber-kulma sekä auraus/haritus.

Pienoismalli on suunniteltu ja valmistettu kokonaan itse, ja suunnittelussa sekä valmistuksessa on painotettu mallin helppoa käyttöä, kestävyyttä ja alhaisia valmistuskustannuksia. Käytännön lisäksi työssä perehdyttiin ohjaavien pyörien asentokulmiin myös teorian tasolla. Työssä kuvataan, miten kulmat pystyy havaitsemaan, miten ne vaikuttavat auton ajettavuuteen ja miten yhden kulman muutos vaikuttaa muihin kulmiin.

Pienoismallia tehdessä huomattiin, että työ on erittäin haastava. Erityisesti suunnittelu vaiheeseen olisi tullut paneutua tarkemmin, sillä suunnittelun virheet tulivat ilmi mallia valmistettaessa. Osan virheistä pystyi tässä vaiheessa vielä korjaamaan, mutta ei kaikkia. Mallissa on vielä kehitettävää, mutta sitä täytyy käyttää jonkin aikaa opetuksessa, ennen kuin kaikki parannuskohteet tulevat ilmi.

ASIASANAT:

Pyöräkulmat, camber, caster, KPI, auraus ja haritus, McPherson-pyöräntuenta

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering | Practically Oriented

Completion year of the thesis 4/2012 | Total number of pages 43

Markku Ikonen

Jussi Naatula

MCPHERSON STRUT SCALE MODEL

The purpose of this thesis was to design and manufacture a scale model of the car front suspension for the teaching of automotive and transportation engineering at Turku University of Applied Sciences. The scale model is intended to illustrate more effectively how the position of the wheel changes when the wheel position angle is changed. The scale model will be used as a course material.

The McPherson shock struts were chosen for the scale model because it is the most common suspension type. Given the extent of the work it was carried out by two students. The scale model was designed and manufactured entirely by the students with a focus on the ease of use, durability, and low manufacturing costs.

Because the work was carried out by two students, the design and manufacturing area were divided but in practice, the work was conducted together but the students were assigned their own responsibility areas.

In addition to the practical approach the theory of the wheel alignment was studied. The thesis examines ways to identify the angles, the effects on the car's driveability, and the ways a change in one angle affects the other angles.

During the work on the scale model it became apparent that it was very challenging. The planning process would have needed more attention to detail, since the design errors became obvious in the production of the model. Some of the errors at this stage could be repaired thought. There is still room for development with the model but it must be used in teaching for some time before the points of improvement become apparent.

KEYWORDS:

Wheel Alignment, camber, caster, KPI, toe in and toe out, McPherson strut.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Työn tavoite	6
1.2 Tilaaja	7
2 TUENTAMALLIT	8
2.1 McPherson-tuenta	8
2.2 Muita yleisiä tuentatyyppejä	10
3 PYÖRÄN ASENTOKULMAT	13
3.1 Camber-kulma	13
3.2 Aoraus ja haritus	16
3.3 Kääntöakselin asentokulmat	17
3.3.1 KPI	17
3.3.2 Caster	21
4 PIENOISMALLIN SUUNNITTELU JA VALMISTUS	26
4.1 Runko	26
4.2 Alatukivarret	27
4.3 Ylätuet	30
4.4 KPI-kulma	33
4.5 Caster-kulma	33
4.6 Mitta-asteikot	34
5 PIENOISMALLIN KÄYTTÖ JA KULMIEN SÄÄTÖ	36
5.1 Caster-kulman säätö	37
5.2 KPI-kulman säätö	38
5.3 Kääntökeskiö ja kääntövierinsäde	40
6 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	43

LIITTEET

Liite 1. Pienoismallin komponentit ja mitat

KUVAT

Kuva 1. McPherson-joustintuki	9
Kuva 2. Poikittainen kaksoistuenta	11
Kuva 3. Camber-kulman muutos	11
Kuva 4. McPherson -joustintuen ja poikittaisen kaksoistuennan yhdistelmä	12
Kuva 5. Positiivinen ja negatiivinen camber-kulma	14
Kuva 6. Auras ja haritus	16
Kuva 7. KPI-kulma	18
Kuva 8. Nolla, positiivinen ja negatiivinen kääntövierinsäde	19
Kuva 9. Negatiivinen, positiivinen ja nolla caster-kulma	22
Kuva 10. Taakse vedetty kääntöakseli	24
Kuva 11. Caster-säätölevy ja -mitta-asteikko	38
Kuva 12. KPI-kulman säätö- ja mitta-asteikko	40

TAULUKOT

Taulukko 1 Caster/camber-kulman säätölevyn komponenttiluettelo	1
Taulukko 2 Alaturkivarran komponenttiluettelo	2
Taulukko 3 Rungon komponenttiluettelo	3

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoite

Työn tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa Turun ammattikorkeakoululle opetuskäyttöön soveltuva pienoismalli auton etupyörien ripustuksesta. Pienois-mallin avulla on tarkoitus havainnollistaa, miltä pyöräkulmien muutokset käytän-nössä näyttävät. Mallin tarkoitus on myös lisätä opiskelijoiden mielenkiintoa ja helpottaa teorian ymmärtämistä mallin avulla, ja samalla sen on tarkoitus hel-pottaa myös opettajan työtä, kun teorian rinnalle voi tuoda myös käytännön.

Työn kohteeksi valitsimme McPherson-joustintuen, koska tämä tuentamalli on yleisin käytössä olevista tuentamalleista. Pienoismallin avulla on helppo tutus-tua McPherson-joustintuen toimintaperiaatteeseen, jonka ymmärtäminen on tarpeellista varsinkin niille opiskelijoille, jotka aikovat työurallaan suuntautua autosuunnittelun tai autokorjaamon tehtäviin.

Tässä työssä käydään läpi yleisimmät akseliston tuentamallit, erityisesti erillis-jousitetut tuennat. Teoriaosassa käydään läpi yleisimpien tuentamallien rakenne ja näille tyypilliset ominaisuudet.

Neljännessä luvussa käsitellään pyörän asentokulmat. Luvussa käydään kaikki-en kulmien teoria läpi, miten kulmat saadaan aikaan, miten ne tunnistetaan ja miten ne vaikuttavat auton käyttäytymiseen. Viidennessä luvussa käsitellään pienoismallin suunnittelu ja valmistus, kuudennessa luvussa käsitellään pie-noismallin käyttö ja viimeisessä luvussa tehdään yhteenveto pienoismallin suunnittelusta ja valmistuksesta.

Työn laajuudesta johtuen se suunniteltiin ja valmistettiin kahden opiskelijan voimin. Toisena tekijänä toimi opiskelija Vesa Lahti. Vastuualueet jaettiin niin, että toinen suunnittelee rungon ja KPI- ja caster-kulman säädöt ja toinen ohja-uslaitteiston, sekä camber-kulman ja auraus- ja harituskulmien säädön.

1.2 Tilaaja

Työn tilaajana toimi Turun ammattikorkeakoulu, jonka vaikutusalue on Varsinais-Suomi. Valtaosa opiskelijoista tulee Varsinais-Suomen alueelta, ja myös suurin osa valmistuneista työllistyy Varsinais-Suomen alueelle. Turun ammattikorkeakoulustavalmistuu vuosittain noin 1500 eri alojen ammattilaista. Turun AMK on hakijoiden keskuudessa yksi maan vetovoimaisimmista ammattikorkeakouluista. (Turun ammattikorkeakoulu 2012a.)

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma on osa tekniikka, ympäristö ja talous (TYT) -tulosaluetta, joka on yksi Turun ammattikorkeakoulun kuudesta tulosalueesta. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelman tavoitteena on perehdyttää opiskelijat auton, kuljetusten ja työkonetekniikan rakenne- ja suunnittelutehtäviin. Koulutusohjelmasta valmistuneet opiskelijat voivat sijoittua auto-, työkonetta ja moottoriteollisuuden palvelukseen sekä erilaisiin kuljetusteknisiin työ-, koulutus- ja markkinointitehtäviin.

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelmassa opetuksen sisältö on suunniteltu siten, että alalle tärkeän kansainvälisen kehityksen seuraaminen on mahdollista. Sopivissa yhteyksissä opetusta annetaan myös vieraalla kielellä. Kaikille yhteisiä opintojaksoja ovat mm. autotekniikka, poltto- ja voitelutekniikka, hydraulikka ja pneumatiikka, auton voimanlähteet ja sähkövarusteet, ajoneuvosäädökset sekä ympäristövaatimukset ja niiden täyttämiseen tarvittavat tekniikat. (Turun ammattikorkeakoulu 2012b)

2 TUENTAMALLIT

Pyöräntuentalaitteistolla on monia eri tehtäviä ajoneuvossa, kuten taata matkustajille mukavat oltavat autossa epätasaisillakin tieosuuksilla, siirtää autoon vaikuttavia kiihdytys-, jarru- ja kaarreaajossa syntyviä voimia pyörien kautta tiehen ja pitää renkaan kosketuskulma tienpintaan oikeanlaisena joustoliikkeen aikana. Tämä asettaa pyöräntuennalle tiettyjä ehtoja, kuten riittävän lujan rakenteen, joka kestää sille tulevat rasitukset, mutta on kuitenkin mahdollisimman kevyt, jotta jousittamaton massa ei kasvaisi liian suureksi. (Niemi & Nieminen 2005, 102.)

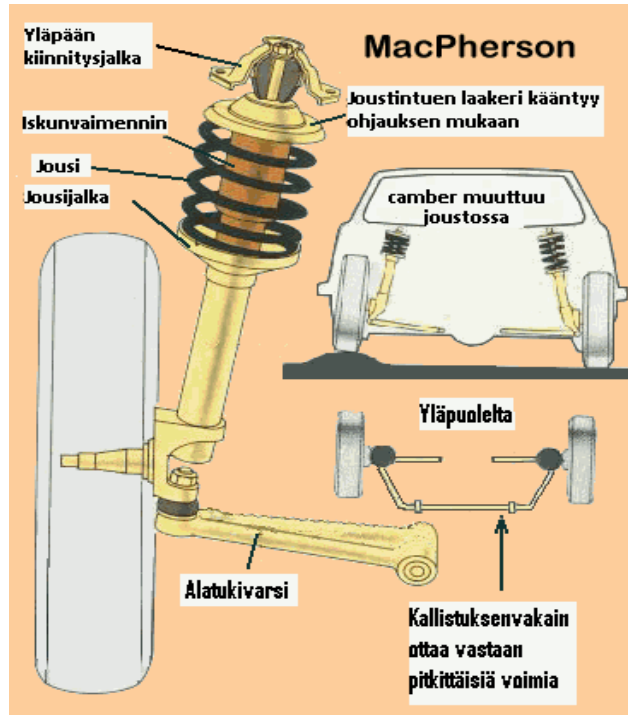
Pyöräntuentyypit voidaan jakaa jäykkiin ja erillisjousitettuihin akseleihin. Jäykän akselin etuja ovat luja rakenne ja hyvä kuormituksen kestävyys, minkä vuoksi se on myös painava. Jäykkää akselia käytetään edelleen paljon raskaassa kalustossa sekä etu-, että taka-akselina, mutta henkilöautoissa jäykkää akselia käytetään enää vain taka-akselilla. Henkilöautoissa erillisjousitettu etuakseli on syrjäyttänyt jäykän akselin, koska sillä saavutettavat paremmat ajo-ominaisuudet ovat tärkeämpiä kuin kuormankantokyky. Tärkeimmät edut, jotka erillisjousituksella saavutetaan jäykkään akseliin verrattuna, ovat huomattavasti pienempi jousittamaton massa ja se, että toisen pyörän jousto ei vaikuta toiseen pyörään.

Erillisjousituksesta on olemassa useita erilaisia variaatioita, kuten McPherson-tuenta, poikittainen kaksoistuenta sekä monivarsituenta. Koska tässä työssä on tarkoitus keskittyä McPherson-tuentaan, esitellään sen toiminta ja rakenne tarkemmin. Vertailun vuoksi työssä on myös lyhyt esitys poikittaisesta kaksoistuenasta, mutta jäykkään akseliin ei paneuduta tarkemmin.

2.1 McPherson-tuenta

McPherson-joustintuki on saanut nimensä keksijänsä Earle S. McPhersonin mukaan. McPherson työskenteli uransa aikana Fordin ja myöhemmin General Motorsin palveluksessa. Ensimmäinen auto, jossa oli McPherson-joustintuki, oli vuonna 1949 esitelty Ford Vedette. Tämän jälkeen kaikissa uusissa Englannis-

sa valmistetuissa Ford -henkilöautoissa oli edessä McPherson-joustintuki. Koska McPherson oli patentoinut joustintukensa, ei kyseistä tuentamallia hetkeen esiintynyt muissa kuin Ford -autoissa. (Ate up with motors 2011.)



Kuva 1. McPherson-joustintuki (gti-vr6 2011)

Rakenteeltaan McPherson-joustintuki on varsin yksinkertainen. Se koostuu pystysuuntaisesta jousijalasta eli joustintuesta, joka toimii samalla iskunvaimentimen runkona. Lisäksi siihen kuuluu jousi, poikittainen alatukivarsi ja kallistuksenvakain. Joustintuki kiinnittyy koriin yläpästäan iskunvaimentimen varren ja kumminivelen välityksellä (kuva 1). Joustintuen yläpäässä on nykyisin aina laakeri, joka mahdollistaa jousen kiertymisen käänöksien yhteydessä. Alapäästä joustintuen jalka on kiinnitetty olka-akseliin. Olka-akseli on pallonivelellä liitetty poikittaiseen alatukivarteen, joka kiinnittyy toisesta päästäan auton runkoon.

Alatukivarren tehtävä on ohjata pyörän liikettä sen joutaessa ja ottaa vastaan sivuttaisvoimia. Alkuperäisen patentin mukaan tuennassa oli alatukivarsiin kiinnitetty kallistuksenvakain, jonka tehtävänä oli ottaa vastaan pitkittäisvoimia. Ellei

kallistuksenvakainta käytetä, tarvitaan erilliset pituussuuntaiset tukivarret tai kolmiotuen muotoiset alatukivarret. Jousena käytetään yleisesti kierrejousta, mutta myös vääntösauvajousi on mahdollinen. (Laine 1981, 239.)

McPherson-joustintuki vaatii itsekantavan korirakenteen, koska se vaatii paljon pystysuuntaista tilaa ja lujan yläpään kiinnityspisteen, jota rungollinen rakenne ja erillinen kori ei mahdollista. Joustintuen rakenne mahdollistaa sen, että erillistä ylätukivartta ei tarvita, mikä tekee siitä yksinkertaisen ja se vie vain vähän tilaa ja on halpa rakentaa. Kompakti rakenne mahdollistaa enemmän tilaa moottorille, mikä on erittäin tärkeä ominaisuus pienissä etuvetoisissa autoissa, joissa moottori on sijoitettu eteen poikittain. (Ate up with motors 2011.)

McPhersonin etuja ovat yksinkertainen rakenne se, että pyöräkulmat eivät juuri muutu jouston aikana, jousi ja vaimennin ovat lähellä pyörää, joten jousto- ja vaimennusmatkat ovat riittävän pitkiä ja jousen ja vaimentimen samansuuntaiset liikkeet helpottavat niiden toiminnan yhteensovittamista. McPhersonin haittoja ovat jouston aikana sivusuunnassa siirtyvä rengas, mikä muuttaa pyörän kallistumaa, mikä taas heikentää ajoturvallisuutta etenkin liukkaalla tienpinnalla.

McPherson jousituksella varustetun auton ajettavuus ei yleensä ole yhtä hyvä kuin poikittaisella kaksoistuennalla varustetussa autossa, koska kaksoistuenta-akseliin on helpompi saada optimaaliset pyöräkulmat. McPhersonilla on myös taipumusta siirtää värinöitä ja ääntä suoraan korirakenteeseen, jolloin äänieristykseen täytyy panostaa enemmän, jotta autosta saataisiin riittävän hiljainen. Lisäksi iskunvaimentimen vaihtaminen on joustintukiratkaisussa kalliimpi kuin yksittäisessä iskunvaimentimessa, koska iskunvaimennin toimii olennaisena osana koko tuentaratkaisua ja vaimenninta vaihdettaessa se täytyy purkaa kokonaan. (Ate up with motors 2011.)

2.2 Muita yleisiä tuentatyyppejä

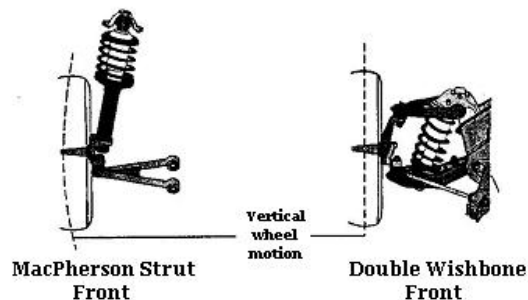
Toinen yleinen erillistuentatyyppi on poikittainen kaksoistuenta (kuva 2.), joka koostuu yleensä erilliseen apurunkoon kiinnitetyistä ylä- ja alatukivarsista, jotka kiinnittyvät pallonivelillä olkavarteen. Jousi ja iskunvaimennin sijaitsevat tukivar-

sien välissä, kiinnittyen alapäästään alatukivarteeseen ja yläpäästään apurunkoon. Rakenne tukeva ja pitkäikäinen, mutta suhteellisen raskas ja jousittamaton massa on suurempi kuin McPherson jousituksessa.



Kuva 2. Poikittainen kaksoistuenta (Car Bibles 2011)

Poikittaisen kaksoistuennan hyviä puolia ovat useat liikkuvat kiinnityspisteet, minkä johdosta jousituksen liikkeet ja pyörän asennot saadaan optimaalisiksi. Poikittaisessa kaksoistuennassa jouston aikana tapahtuva pyörän sivusuuntainen liikkuminen on hyvin vähäinen, verrattuna McPherson tuentaan (kuva 3).

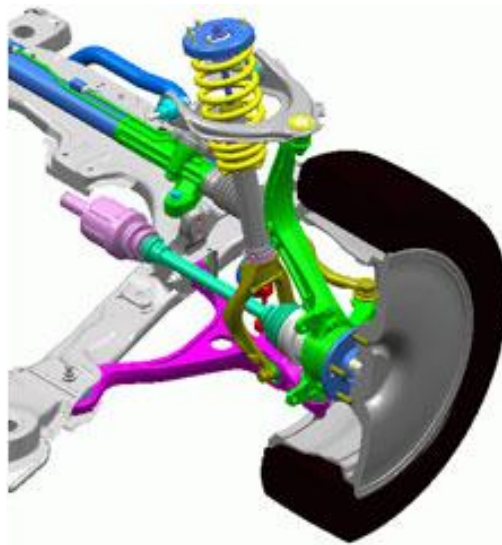


Kuva 3. Camber-kulman muutos (Marcusfitzhugh 2011)

Poikittaisessa kaksoistuennassa camber-kulma pysyy koko joustomatkan samansuuruisena, kun taas McPherson jousituksessa camber-kulma muuttuu sisäänjoustossa enemmän negatiiviseksi ja ulospäin joustossa positiiviseksi. (Car Bibles2011.) Poikittaisen kaksoistuennan huonoja puolia on monimutkainen

rakenne, kalliit valmistuskustannukset, lyhyt joustomatka ja suuri jousittamaton massa.

Nykyisin hyvin yleinen etuakseliston tuentamalli suurissa ja keskikokoisissa henkilöautoissa on eräänlainen McPhersonin ja poikittaisen kaksoistuennan risteytys (kuva 4). Siinä McPhersoniin on lisätty ylätukivarsi, joka liittyy pallonivelen välityksellä korkeaksi muotoiltuun olkavarteen. Ratkaisulla on saatu kummankin tuentatyyppin hyvät ominaisuudet liitettyä yhteen pakettiin.



Kuva 4. McPherson -joustintuen ja poikittaisen kaksoistuennan yhdistelmä
(ShopCarlandDealersBlog 2011)

Erillisellä ylätukivarrella on saatu aikaan se, että pyöriä käännettäessä olkavarsi kääntyy pallonivelestä, eikä koko joustintuen tarvitse kääntyä, niin kuin McPherson tuennassa. Näin jousijalan yläpään kiinnitys on saatu yksinkertaisemmaksi. Joustintukimallinen jousi-iskunvaimennin yhdistelmä mahdollistaa pitkän ja pehmeän joustoliikkeen, joka ylätukivarren ansiosta on tarkasti ohjattu niin, että pyörä ei joustoliikkeen aikana kallistu ollenkaan.

3 PYÖRÄN ASENTOKULMAT

On helppo olettaa, että luonnollisin asento pyörän asentokulmaksi olisi sellainen, että pyörä olisi tarkalleen pystyssä eli pyörisi tietä vasten kohtisuorassa tasossa, ja että etupyöriä käännettäisiin tarkalleen tietä vasten kohtisuorassa olevan akselin ympäri, eli olka-akseli olisi täysin pystysuorassa.

On kuitenkin todettu, että pyörän ja sen kääntöakselin, olka-akselin, asennoilla saadaan aikaan lieviä voima- ja momenttivaikutuksia, jotka useissa ajotilanteissa vaikuttavat edullisesti auton ajo-ominaisuuksiin. Valituilla pyörän asentokulmilla saadaan aikaan pyörän hieman vino asento, joka esijännittää renkaan kosketuspinnan, nopeuttaa renkaan reagointiherkkyyttä tilanteissa, joissa kuljettaja haluaa korjata ajosuuntaa tai autoon alkaa vaikuttaa sen kulkusuuntaa muuttavia sivuttaisia voimia. (Laine 1985, 124.)

Pyörän asentoon vaikuttaa neljä eri asentokulmaa, jotka ovat:

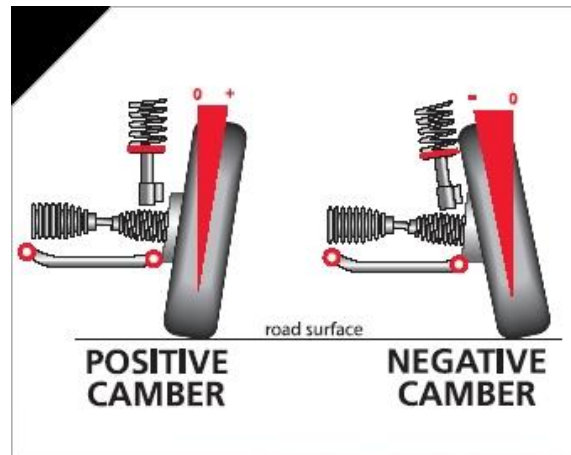
- pyörän kallistuma eli camber.
- pyörien auraus/haritus.
- pyörän kääntöakselin (olkavarren) sivukallistuma eli KPI (= King Pin Inclination).
- pyörän kääntöakselin (olkavarren) takakallistuma eli caster.

Edellä mainituista kulmista camber-kulma ja auraus/haritus ovat myös ei-ohjaaviin pyöriin liittyviä kulmia, kun taas KPI ja caster liittyvät yleensä vain ohjaaviin pyöriin.

3.1 Camber-kulma

Camber-kulmalla tarkoitetaan pyörän sivukallistumaa pystysuoraan, eli kohtisuoraan tietä vasten (kuva 5). Sivukallistuma voi olla positiivinen (+) eli ulospäin kallistunut tai negatiivinen (-) eli sisäänpäin kallistunut. Alunperin camber-kulman tarkoitus on ollut estää hevosvankkurien pyörän irtoaminen, mikäli kiinnitysmutteri oli päässyt löystymään. Nykyisin autokäytössä camber-kulman käy-

töllä pyritään vaikuttamaan aivan eri asioihin kuin hevosvankkureissa. (Laine 1985, 124.)



Kuva 5. Positiivinen ja negatiivinen camber-kulma (CarMart 2011)

Camber-kulmasta puhuttaessa dynaamisessa tilanteessa on toisinaan epäselvää, tarkoitetaanko sillä kulmanmuutosta auton koriin vai tien pintaan nähden. Jos camber-kulma muuttuu esimerkiksi negatiiviseen suuntaan sisäänjouston aikana eikä kori kallistu, eli jousto on molemmilla puolilla autoa samansuuruisen, niin camber-kulma muuttuu nimenomaan koriin nähden. Mikäli kori kuitenkin kallistuu jouston aikana, saattaa camber-kulma muuttua positiiviseksi tien pintaan nähden. Kaarrepidon kannalta camber-kulma tien pintaan nähden on oleellisempi kuin auton koriin nähden. (Mauno 1991, 7.)

Sivusuunnassa kallistetun renkaan kulkiessa tienpintaa vasten renkaan toinen puoli pyörii pienemmällä säteellä kuin toinen. Tämä aiheuttaisi rengasta kääntävää voimaa, ellei auto pakottaisi pyörää kulkemaan suoraan. Tämä camber-sivuvoimaksi kutsuttu voima vaikuttaa positiivisilla camber-kulmalla ulospäin ja negatiivisilla kulmilla sisäänpäin auton keskilinjaan nähden. Mikäli camber-kulmat ovat erisuuruiset auton eri puolilla, pyrkii auto puoltamaan sille puolelle, jolla camber on enemmän positiivinen. (Mauno 1991, 7.)

Koska tien pinta viettää hieman oikealle, voitaisiin vasemman puoleisen pyörän positiivisemmalla camber-kulmalla jossakin määrin kumota tien pinnasta johtuva auton oikealle puolelle tapahtuva puoltaminen.

Camber-kulma vaikuttaa eniten auton käyttäytymiseen kaarteessa. Kaarrekäyttäytymisessä ratkaisevampi on ulkokaarten puoleinen pyörä, koska kaarteessa auton korin kallistuessa pyöränkuorma on ulkokaarten puolella suurempi. Ääritapauksissa sisempi pyörä voi nousta jopa ilmaan. Mikäli ulommaisessa pyörässä käytetään positiivista camber-kulmaa, halutun sivuttaisvoiman kehittäminen vaatii suuremman sortokulman kuin jos camber-kulma olisi nolla.

Positiivisella camber-kulmalla renkaan kosketuspinta on esijännittynyt vastakkaiseen suuntaan kaarteeseen nähden, ja tämä vastakkaiseen suuntaan vaikuttava muodonmuutos täytyy kaartamiseen lähdeettäessä ensin purkaa, ennen kuin sivuvoimaa voi alkaa kehittyä. Positiivinen camber-kulma siis huonontaa ulkokaarten puolisen pyörän pitokykyä siinä mielessä, että tietyn sivuvoiman kehittämiseksi vaadittava sortokulmat kasvavat.

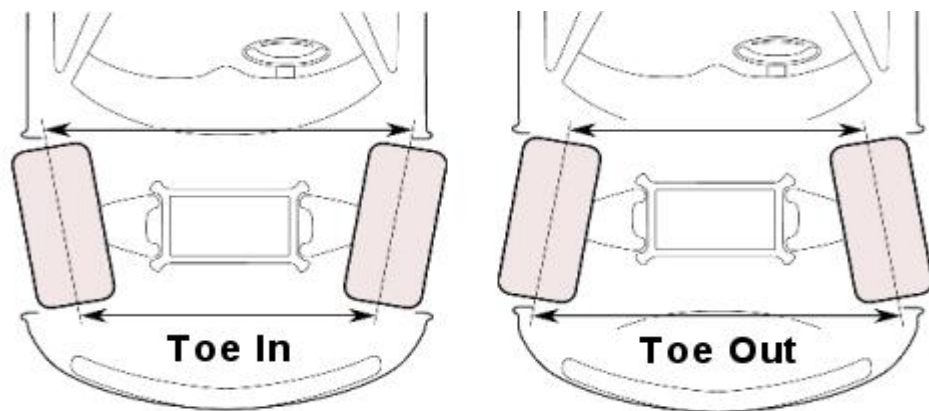
Etuakselilla positiivinen camber-kulma aiheuttaa kaarreominaisuuksien muuttumista aliohjautuvaan suuntaan. Saavutettavan sivuttaispidon maksimiarvo ei kuitenkaan muutu ainakaan ratkaisevasti, mutta sen saavuttamiseksi sortokulman täytyy siis olla suurempi.

Negatiivinen camber-kulma puolestaan aiheuttaa sen, että tietyn sivuvoiman kehittämiseksi ulkokaarten puoleisessa pyörässä riittää pienempi sortokulma kuin pyörän ollessa pystyssä eli camber-kulman ollessa nolla. (Laine 1985, 125.)

Normaaleissa sarjatuotantoautoissa renkaan tasainen kuluminen on tärkeämpää kuin maksimaalinen kaarrepito, joten pyörän camber-kulma on lähellä nolaa auton ollessa normaalisti, tai kevyesti kuormitettuna. Jos auton camber-kulma on liaksi positiivinen, kuluu renkaan ulkoreuna sisäreunaa nopeammin, ja negatiivisella camberilla sisäreuna kuluu enemmän. Koska camber-kulma yleensä muuttuu negatiiviseen suuntaan auton kuormituksen kasvaessa, eli pyörän jousaessa ylöspäin, on camber lähtökohtaisesti valittu usein hieman positiiviseksi. (Mauno 1991, 8.)

3.2 Auraus ja haritus

Aurauksella (toe in) ja harituksella (toe out) tarkoitetaan pyörän pitkittäis-suuntaista vinoutta pituusakseliin nähden. Pyörät auraavat, jos niiden etureunat ovat lähempänä toisiaan kuin takareunat, ja harittavat, kun takareunat ovat lähempänä toisiaan kuin etureunat (kuva 6). Aurauksen suuruus ilmoitetaan joko millimetreinä, asteina tai molempina.



Kuva 6. Auraus ja haritus (DriftJapan 2011)

Aurauskulman perinteisenä tarkoituksena on ollut kumota camber sivuvoimia sekä vierintävastuksesta ja vetovoimasta aiheutuvia voimia. Camberin aiheuttamaa renkaan kulumista ei kuitenkaan aurauksella voida poistaa, joten renkaan tasaisen kulumisen kannalta camberin ja auraukskulman tulisi olla mahdollisimman pienet. (Mauno 1991, 21.)

Aurausta käytetään seuraavista syistä:

- Vierintävastuksesta johtuvan haritusmomentin kompensoimiseksi.
- Positiivisesta camberista johtuvan harituspyrkimyksen poistamiseksi. Mainittakoon, että käsitys, jonka mukaan positiiviseen camberiin liittyy aina auraus ja negatiivinen haritus, ei pidä aina paikkaansa.
- Suuntavakavuuden parantamiseksi suoraan ajettaessa etenkin suurilla ajonopeuksilla, jolloin käytetyt pyörän kääntökulmat ovat pieniä. Tämä pätee vain ei-vetävälle etuakselille, jossa vierintävastus on hallitseva voima.

- Etuvetoisessa autossa vetovoimasta johtuvan haritusmomentin kompensoimiseksi, jos kääntövierinsäde on negatiivinen. (kääntövierinsädeestä lisää myöhemmin) Etuvetoautoissa vallitseva voima pyörän kehällä on suuntautunut eteenpäin (siis päinvastoin kuin vierintävastus), ja suoraan ajettaessa se on hallitseva voima aina vedon ollessa päällä.

Haritusta käytetään seuraavista syistä:

- Etuvetoautoissa vetovoimasta johtuvan aorausmomentin kompensoimiseksi, kun kääntövierinsäde on positiivinen.
- Vierintävastuksesta johtuvan aorausmomentin kompensoimiseksi, kun kääntövierinsäde on negatiivinen.
- Negatiivisesta camberista johtuvan aorausvaikutuksen kompensoimiseksi (Laine1985, 130).

3.3 Kääntöakselin asentokulmat

Kääntöakselilla (myös olkatappi tai olkavarsi) tarkoitetaan linjaa, jonka ympäri pyörä kääntyy. Jäykissä akseleissa tämä linja oli fyysisesti nähtävissä oleva olkatappilinja. Nykyisissä ripustustyypeissä, kuten McPhersonissa, kääntöakselilla tarkoitetaan McPhersonin yläpään kiinnityspisteen ja alapallonivelen kautta kulkevaa yhdys-suoraa.

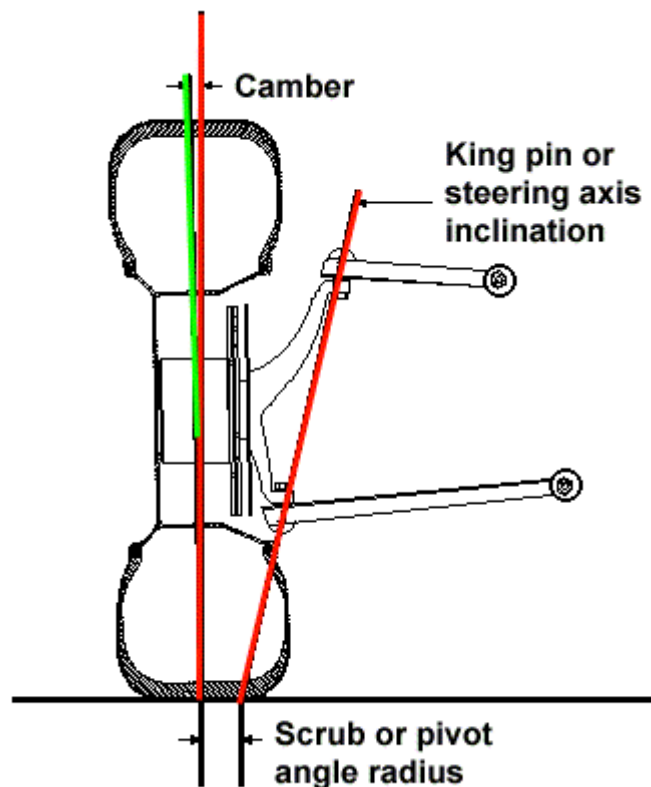
Kääntöakselin kulmille on tyypillistä, että ne eivät vaikuta etupyörien asentoon auton liikuessa suoraan. Niiden vaikutus tulee esiin vasta ajettaessa kaarteissa tai pyöriä käännettäessä, toisin sanoen ne vaikuttavat pääasiassa auton kaarrekäyttäytymiseen. Kääntöakselin asentokulmia ei voi mitata suoraan pyörästä, vaan pyöriä on käännettävä mittauksen aikana, jolloin kääntöakselin asentokulmat ilmenevät pyörän sivukallistumana. (Niemi & Nieminen 2005, 237.)

3.3.1 KPI

KPI (King Pin Inclination) -kulmalla kuvataan kääntöakselin sivukallistumaa, eli pyörän kääntöakselin ja pystysuoran välistä kulmaa auton edestä tai takaa kat-

sottuna (kuva 7). KPI-kulmaa käytetään yleensä pienentämään olkapoikkeamaa, eli kääntövierinsädettä a-mittaa (kuva 7 scrub radius).

Toisinaan KPI-kulmaa joudutaan käyttämään rakenteellisista syistä, kuten McPherson tuennassa, koska muuten iskunvaimennin osuisi renkaaseen. Muista asentokulmista poiketen, KPI-kulmalla ei ole positiivista eikä negatiivista etumerkkiä, koska kaikissa autoissa kääntöakseli on alkujaankin sisäänpäin kallistettu. (Mauno 1991, 18).



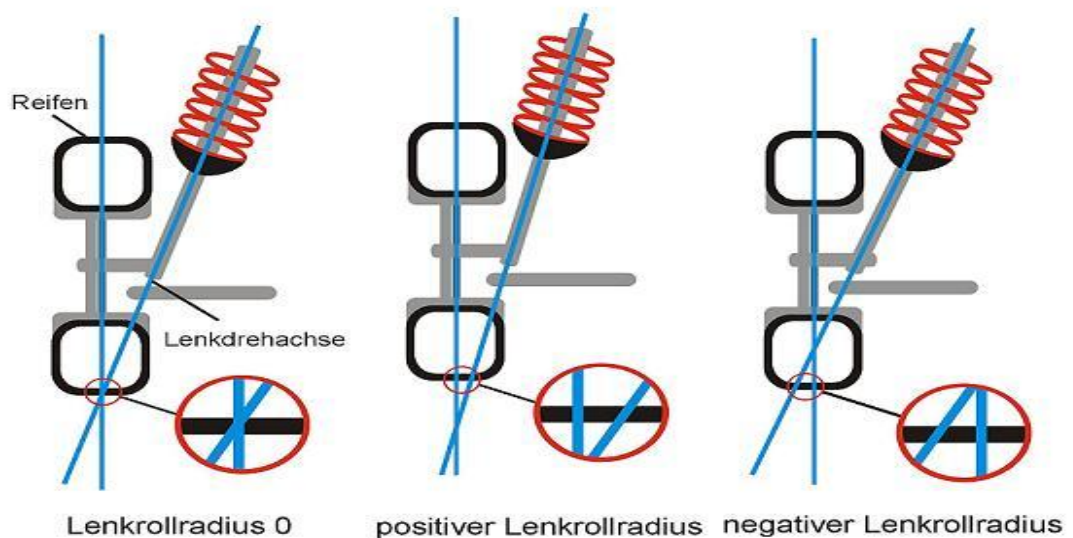
Kuva 7. KPI-kulma (Ict Work Shopsolutions 2011)

KPI-kulmalla vaikutetaan kääntövierinsäteen suuruuteen. Kääntövierinsäteellä tarkoitetaan auton kääntyvän pyörän keskilinjan ja kääntöakselin linjan leikkauspisteiden välistä etäisyyttä tienpinnassa. Tätä etäisyyttä kutsutaan myös a-

mitaksi (kuva 7 scrub radius). McPherson tuennassa olkavarren mukainen linja kulkee joustintuen yläpään kiinnikkeeseen ja alapallonivelen läpi.

Kääntövierinsäde voi olla positiivinen, jolloin kääntöakselin ja tien leikkauspiste on renkaan kosketuskeskiön sisäpuolella (kuva 8), tai negatiivinen, jolloin kääntöakselin ja tien leikkauspiste on renkaan kosketuskeskiön ulkopuolella. Kääntövierinsäde voi olla myös nolla, jolloin kääntöakselin ja tien leikkauspiste on samalla kohtaa renkaan kosketuskeskiön kanssa. (Mauno 1991, 18.)

Ohjaavia pyöriä käännettäessä kääntyy pyörä kääntöakselinsa ympäri kääntövierinsäteen määräämää ympyrää pitkin. Jos kääntövierinsäde on positiivinen, tarvitaan pyörien kääntämiseen enemmän voimaa ja pyöristä ohjauspyörään kulkeutuvat voimat tuntuvat voimakkailta. Kääntövierinsäteen lähestyessä nollaa, lyhenee renkaan ja kääntöakselin välinen momenttivarsi, jolloin ajosta aiheutuvat iskut ohjauspyörään vähenevät.



Kuva 8. Nolla, positiivinen ja negatiivinen kääntövierinsäde (Wikipedia 2011)

Myös positiivisella camber-kulmalla saa kääntövierinsädettä lyhennettyä samoin kuin KPI:llä, mutta KPI ei aiheuta renkaiden toispuoleista kulumista. Pieni KPI-

kulma saa siis aikaan positiivisen kääntövierinsäteen ja suuri KPI-kulma negatiivisen kääntövierinsäteen.

Negatiivisella kääntövierinsäteellä saadaan auton käyttäytyminen puoltamistilanteessa rauhalliseksi, esimerkiksi tilanteessa, jossa jarrutetaan toisen puolen pyörät pitävällä pinnalla ja toiset liukkaalla, koska tällöin pyörät kääntyvät ohjausvivuton välysten ja taipuisuuden puitteissa puoltamista vastaan, mikä rauhoittaa puoltamista. (Mauno 1991, 19.)

KPI:llä saadaan aikaan myös muita hyödyllisiä ominaisuuksia, kuten että se saa aikaan pyöriä käännettäessä ilmiön, jossa pyörän napa painuu alemmaksi. Koska pyörä ei voi painua maan sisään, ilmiö saa aikaan sen, että auton keula nousee. Kun tässä tilanteessa ote ohjauspyörästä irrotetaan, auton keula alkaa laskea oman massansa johdosta ja painaa pyörät samalla suoraan.

KPI siis vaikuttaa ohjausta palauttavasti varsinkin keskisuurilla kääntökulmilla. Tästä johtuen autoissa, joissa käytetään pientä caster-kulmaa, on usein suhteellisen suuri KPI-kulma. Normaalisti KPI-kulmat ovat suuruudeltaan 3°-13°. (Laine 1985, 135; Mauno 1991, 20.)

KPI:stä aiheutuu myös se, että pyöriä käännettäessä camber-kulma muuttuu sekä ulommassa että sisemmässä pyörässä positiiviseen suuntaan. Mikäli pyörä voisi kääntyä 90°, positiivinen camber olisi tällöin yhtä suuri kuin itse KPI-kulma. Koska positiivinen camber-kulma suurentaa sivuttaisvoiman kehittämiseen tarvittavaa sortokulmaa, muuttaa KPI-kulma siten auton ohjattavuutta ali-ohjaavaan suuntaan.

Pyörän kääntöakselin asentokulmat vaikuttavat myös toisiinsa. KPI vaikuttaa ulommassa pyörässä ikään kuin kääntöakselin takakallistumaa (caster) vähentäen ja sisemmässä pyörässä takakallistumaa lisäten. Koska ulompi pyörä joutuu kaarteessa kehittämään suuremmat sivuttaisvoimat, sen asento on kaarre-käyttäytymisen kannalta määräävä.

Mikäli KPI suurilla kääntökulmilla poistaa ulomman pyörän takakallistuman, josta aiheutuu ohjauksen palautuvuuden kannalta olennainen jättämä, voi pyörien

palautuminen jäädä kokonaan tapahtumatta jyrkissä käänöksissä. (Laine 1985, 135.)

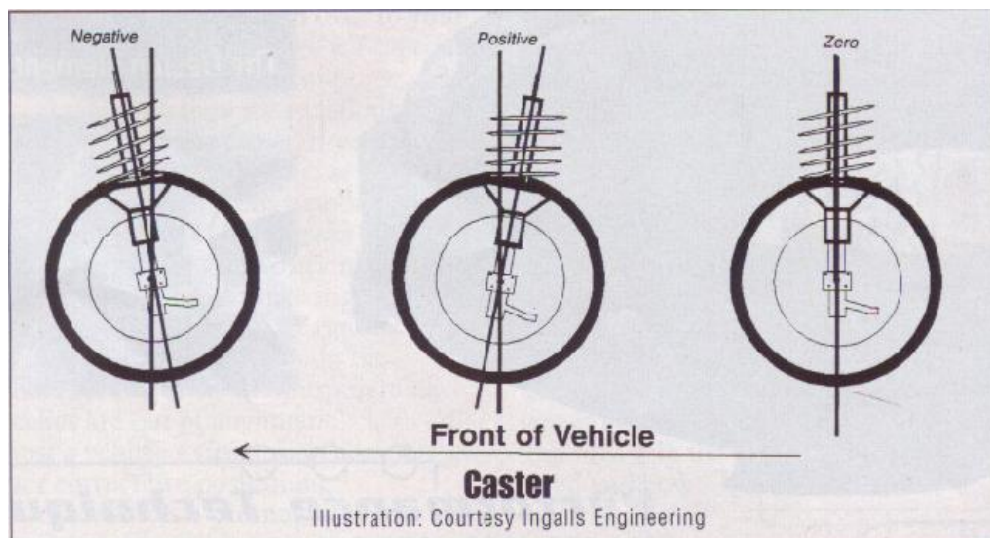
Yhteenveto KPI:n vaikutuksista:

- Lyhentää pyörän kääntövierinsädettä ja vaimentaa tiestä ohjauslaitteisiin vaikuttavien voimia.
- Koska kääntövierinsäteen lyhentämiseen ei tarvitse käyttää positiivista camber-kulmaa, renkaan toispuoleinen kuluminen vähenee.
- Tekee mahdolliseksi negatiivisen kääntövierinsäteen suunnittelun, mikä parantaa auton vakautta toispuolisten jarrutusvoimien vaikuttaessa.
- Palauttaa ohjauksen keskisuurilla kääntökulmilla.
- Aiheuttaa aliohjautuvuutta, joka on eduksi takavetoisissa autoissa, jotka usein ovat luonteeltaan yliohjautuvia.
- Haittana on liian suurilla KPI-kulmilla ilmenevät ohjauksen palautumisvaikeudet ja lisäksi liian suuri kulma voi vaikuttaa ohjausvärähtelyiden syntymiseen.

3.3.2 Caster

Caster-kulmalla tarkoitetaan kääntöakselin takakallistumaa. Monelle saattaa termi olkatapin takakallistuma olla tutumpi, mutta koska nykyisissä akselistorakenteissa ei enää olkatappia ole, niin yleisesti puhutaan kääntöakselin tai olkavarren takakallistumasta. Caster-kulmalla tarkoitetaan siis kääntöakselin, jonka ympäri pyörä kääntyy, linjan ja pystysuoran linjan välistä kulmaa sivultapäin katsottuna.

McPherson -joustintuen tapauksessa kuvitteellinen kääntöakselin linja kulkee joustintuen yläpäähän kiinnityspisteen ja alapallonivelen kautta. Caster-kulma on positiivinen, kun kääntöakseli on kallistettu pystytasosta taaksepäin, eli McPhersonin tapauksessa yläkiinnike on alapalloniveltä taaempaan. Päinvastaisessa tilanteessa, jolloin olkavarsi on kallistettu eteenpäin, caster-kulma on negatiivinen (kuva 9). (Mauno 1991, 14.)



Kuva 9. Negatiivinen, positiivinen ja nolla caster-kulma (Pirate 4x4 2011)

Caster-kulmaan liittyy olennaisesti myös casterjäntämä, jota kutsutaan myös konstruktiiviseksi jäntämäksi. Konstruktiivinen jäntämä muodostuu tienpinnassa kääntöakselin jatkeen ja pyörän akselin kautta kulkevan pystytason välille (kuva 9), joka samalla toimii ohjausta oikaisevan momentin momenttivartena.

Lisäksi renkaan jousto-ominaisuuksien takia sivuttaisvoimien resultantti muodostuu pyörän akselin taakse. Tämä saa aikaan niin sanotun rengascasterin, eli pneumaattisen jäntämän (kuva 10). Sivuttaisvoiman resultantin vaikutuskohdan sijainti pyörintäakselin takapuolelle muodostaa momenttivarren, jonka avulla ohjaus palautuu, vaikka caster-kulma olisi nolla tai jopa hieman negatiivinen. Kokonaismomenttivarssi, jonka avulla renkaan sivuttaisvoima synnyttää ohjausta palauttavan momentin, on siis konstruktiivisen ja pneumaattisen jäntämän summa. Yleensä pneumaattinen jäntämä on suurempi kuin konstruktiivinen jäntämä. Pneumaattiselle jäntämälle on tyypillistä, että se pienenee suurilla kääntökulmilta. (Laine 1985, 136.)

Caster-kulmalla on suuri vaikutus auton suuntavakavuuteen. Positiivinen caster saa aikaan sen, että pyörät asettuvat itsestään painopisteen kulkusuuntaan, jolloin auto kulkee vähäisin ohjausliikkein suoraan ja ohjauksen palautusmomentti kaarteessa on voimakas. Positiivisella caster-kulmalla saavutetaan suuntavakauden lisäksi parempi ohjaustuntuma, eli eturenkasiin vaikuttavat sivut-

taisvoimat tuntuvat hyvin ohjauspyörässä, pyörien vipotus vähenee ja kaarteessa ulomman pyörän renkaan sortokulma pienenee.

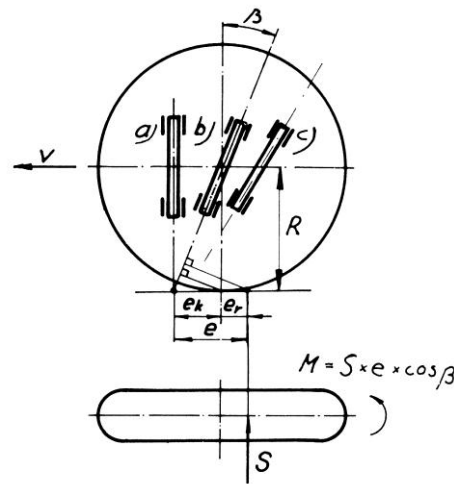
Haittapuolena on vastaavasti ohjaamiseen tarvittavan voiman kasvu, mikä on korjattavissa ohjaustehostimen avulla. Lisäksi positiivinen caster aiheuttaa sen, että pyöriin kohdistuvat voimakkaat iskut tuntuvat myös ohjauspyörässä ja esimerkiksi sivutuulen tai kaltevan tien aiheuttama sivuttaisvoima saattaa kääntää ohjaavia pyöriä ohjausvivuston väljyyden ja joustavuuden takia, vaikka kuljettaja pitäisi ratin paikallaan. Pyörät pyrkivät tällöin kääntymään häiriövoimia suuntaiseksi, ja mm. auton sivutuuliherkkyys yleensä kasvaa. Negatiivisella casterkulmalla saadaan vastaavasti kevyt ohjaus, mutta suuremmilla nopeuksilla suuntavakaas on sen verran huono, että auto hakee koko ajan. (Mauno 1991, 16.)

Positiivisen caster-kulman käyttöä puoltaa parempi suuntavakaavuus ja parempi ohjaustuntuma. Ohjaustuntuman muodostumiselle on olennaista juuri palautusmomentti, jonka positiivinen caster saa aikaan. Palautusvoiman saa aikaan renkaan kääntymistä vastustavat voimat, kuten renkaaseen vaikuttavat sivuvoimat ja rengascaster. Jos esimerkiksi kaarteessa pyörä alkaa luistaa, sivuvoima ja tietysti myös palautusmomentti häviää, jolloin kuljettaja aistii tämän ohjauksen keventymisenä ja tietää alkaa toimia pidon palauttamiseksi.

Mielenkiintoista on havaita, että caster-kulman vaikutuksesta kaarteeseen sisempi pyörä nostaa akselistoa ylös ja ulompi sallii sen painua alemmaksi. Tästä on seurauksena jousivoimamuutoksia jotka saavat aikaan vähäisiä ohjauksen palauttavia vaikutuksia. Myös pyörän camber-kulma muuttuu caster-kulman vaikutuksesta, mihin perustuu esim. caster-kulman mittausta.

Jos pyöriä pystyttäisiin kääntämään 90° , kaarteeseen ulompi pyörä asettuisi negatiiviseen camber-kulmaan, joka olisi caster-kulman suuruinen. Sisempi pyörä taas asettuu positiiviseen camber-kulmaan, jolloin sen sortokulma kasvaa. Nopeasti ajettavissa kaarteissa kuormitus siirtyy pääasiassa ulomalle pyörälle ja sisempi pyörä vastaavasti kevenee niin paljon, että sillä ei ole merkitystä, rat-

kaisevammaksi jää ulompi pyörä, johon caster-kulma vaikuttaa periaatteessa sortokulmaa pienentäen eli aliohjautuvuutta vähentäen. (Laine 1985, 137.)



e_k = konstruktiiivinen jättämä, e_r = pneumaattinen jättämä,
 e = kokonaisjättämä

Kuva 10. Taakse vedetty kääntöakseli (Laine 1985, 136)

Kuten jo edellä tuli todettua, saavutetaan positiivisella caster-kulmalla parempi suuntavakavuus, mutta tarvittavat ohjausvoimat ja sivutuuliherkkyys ovat suuret. Positiivisen caster-kulman etujen säilyttämiseen ja edellämainittujen ongelmia voidaan pienentää niin sanotulla taakse vedetyllä kääntöakselilla (kuva 10).

Tämä tarkoittaa sitä, että olkavarren linja kulkee pyörän keskilinjan takapuolella. Taakse vedettyä kääntöakselia (kuva 10 tapaus c) voidaan käyttää, kun halutaan pientä jättämää, vaikka itse caster-kulma on suuri. Periaatteella on seuraavia ominaisuuksia tavalliseen caster-kulmaan (kuva 11 tapaus b) verrattuna:

- Suuresta caster-kulmasta johtuen ulompi pyörä kallistuu kaarteessa voimakkaasti negatiiviseen camber-kulmaan vähentäen näin aliohjautuvuutta.
- Tarvittavat ohjausvoimat ja sivutuuliherkkyys ovat pienemmät.

Taaksevedetty kääntöakseli sopii hyvin käytettäväksi varsinkin etupainoisissa ja etuvetoisissa autoissa, joissa halutaan poistaa aliohjautuvuutta ja ohjauksen raskautta. (Laine 1985, 137.)

Yhteenveto positiivisen caster-kulman vaikutuksista:

Edut:

- Palauttaa ohjauksen keskiasentoon yhdessä renkaan ominaisuuksista johtuvan pneumaattisen jättämän eli rengascasterin kanssa ja tekee ajosta vakaampaa.
- Välittää hyvin kuljettajalle ohjaustunnon eli tiedon eturenkaissa vaikuttavista sivuttaisvoimista.
- Pienentää ulomman etupyörän sortokulmaa kaarteessa ja vähentää näin aliohjautuvuutta.

Haitat:

- Liian suuri caster-kulma voi tuntua kuljettajan käsissä tien epätasaisuuksista johtuen voimakkaina iskuina, sekä kaltevilla tiellä tai sivutuulella ohjauksen levottomuutena.
- Sivutuulen tai kaltevan tien aiheuttama sivuttaisvoima saattaa kääntää ohjaavia pyöriä ohjausvivuston väljyyden ja joustavuuden takia, vaikka kuljettaja pitäisi ratin paikallaan. Pyörät pyrkivät tällöin kääntymään samaan suuntaan kuin häiriövoimat vaikuttavat, ja tällöin auton sivutuuliherkkyys yleensä kasvaa. (Laine 1985, 137.)

4 PIENOISMALLIN SUUNNITTELU JA VALMISTUS

Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle mallin tilaajan, Turun ammattikorkeakoulun asettamista vaatimuksista, jotka olivat mallin koko sekä helposti säädettävät ja todettavat pyörän asentokulmien muutokset. Toiveena oli, että pienoismalli mahtuisi pulpetille ja olisi sen verran kevyt, että sen jaksaa kantaa käsin. Mittakaavaksi päätimme 1:3 ja valmistusmateriaalina käytämme terästä, sen kestävyden, helpon saatavuuden ja työstömahdollisuuden vuoksi.

Valittu mittasuhte ei tosin toteudu täydellisesti kaikkien komponenttien suhteen, koska kaikkia komponentteja ei ollut mahdollista saada halutussa mittakaavassa. Tämä johtuu myös siitä, että halusimme pitää hinta/laatusuhteen mahdollisimman hyvänä.

Mallin suunnittelu jaettiin siten, että minä suunnittelin rungon sekä alatukivarret ja yläpään tuennan sekä KPI- ja caster-kulmien säätömahdollisuuden. Ohjausvivuston ja ohjauskulmien, auras/haritus sekä camber-kulman säätömahdollisuuden suunnittelusta vastasi Vesa Lahti.

Pienoismallin mitat ja komponentit on taulukoituna liitessä 1

Tarkempi selvitys mittasuhteista, sekä pyöräkulmien arvoista ja mitoituksista on Vesa Lahden opinnäytetyöstä (2012) McPherson-pyöräntuennan pienoismalli.

4.1 Runko

Mallin runko-osasta halusin mahdollisimman pienen, jotta paino pysyisi mahdollisimman alhaisena, mutta myös riittävän tukevan, jotta se kestäisi käytössä siihen kohdistuvat voimat. Rungosta tein kuution muotoisen, koska tällöin siitä sai kompaktin kokoisen ja tukevan. Materiaalina käytin 20x20 mm teräksistä neliöputkea. Kuution yhden sivun pituudeksi tuli 700 mm.

Rungon valmistuksen aloitin katkaisemalla neliöputkesta kahdeksan 700 mm mittaista kappaletta. Katkaisu tehtiin vannesahalla, koska sillä sai kunkin kappaleen päät katkaistua 45 asteen kulmaan, mikä helpotti huomattavasti rungon

kokoamista. Lisäksi neliöputkesta katkaistiin neljä 30 mm mittaista kappaletta, jolla tulevat neliön malliset kappaleet liitettäisiin toisiinsa.

Seuraavaksi asettelin neljä 700 mm kappaletta neliöksi tasaiselle alustalle ja hitsasin ne kiinni toisiinsa. Koska kappaleiden päät oli leikattu 45 asteen kulmaan, oli kappaleet helppo hitsata toisiinsa kiinni 90 asteen kulmaan. Sama operaatio suoritettiin myös toisille neljälle 700 mm kappaleelle.

Seuraavaksi hioin hitsatuiden neliöiden hitsausseamat kulmahiomakoneen hio-malaikalla tasaiseksi. Tämä siksi, että kappaleiden ulkonäkö paranee huomattavasti, kun niiden pinnat ovat tasaiset ja hiotusta saumasta näkee, onko hitsaus onnistunut toivotulla tavalla vai onko saumaan jäänyt esimerkiksi reikiä tai muita virheitä.

Seuraavaksi asetin toisen neliöistä tasaiselle alustalle ja laitoin joka kulmaan pystyyn yhden 30 mm neliöputken kappaleen. Katsoin ne oikeaan asentoon suorakulmaa käyttäen ja hitsasin ne kiinni. Seuraavaksi asetin toisen neliön äsken hitsatuiden kappaleiden päälle ja asettelin sen oikeaan kohtaan suorakulmaa apuna käyttäen.

Sitten hitsasin osat toisiinsa, ja näin rungoksi suunniteltu kuutio oli viimeistelyä vaille valmis. Viimeistelyn tein kulmahiomakoneen hiontalaikalla. Hioin kaikki koneella hiottavat hitsausseamat tasaisiksi ja pyörustin terävät kulmat pyöreäköiksi.

4.2 Alatukivarret

Alatukivarsien valmistusmateriaalina käytin samaa neliöputkea kuin rungossakin. Tukivarsia mitoittaessa otin huomioon maksimiraidellevydeksi valitun 500 mm, jota ei saanut ylittää. Päätin, että kummankin tukivarren pituudeksi tulisi nolla asennossa, jolloin camber on nolla astetta, olla 200 mm. Tällöin raidelevyys olisi nolla asennossa 470 mm.

Alatukivarsista suunnittelin A-kirjaimen malliset, eli tukivarsi kapenee hieman rungosta ulospäin mentäessä. Jälkeenpäin ajateltuna, tämän mallinen tukivarsi

on hieman huono, koska kapeneva muoto vaikeuttaa alatukivarressa olevan camber-kulman säätöön tarkoitetun mutterin kiertämistä huomattavasti. Toisin sanoen tukivarresta olisi kannattanut tehdä niin sanotusti H-kirjaimen mallinen, jolloin tilaa camber-säädölle olisi tullut enemmän.

Alatukivarren pallonivel tuli siis 200 mm päähän rungosta, koska tukivarteen suunniteltiin camber-kulman säätö, ei itse tukivarsi voi olla 200 mm pitkä. Camber-kulman säätö toteutetaan M6-kierretangolla, joka toisesta päästään kiinnittyy palloniveleen ja kiristetään kahdella M6-mutterilla haluttuun asentoon tukivarteen.

Kierretankoa sivuttain siirtämällä tukivarren kokonaispituutta voi pidentää tai lyhentää ja näin muuttaa renkaan camber-kulmaa. Camber-säätöä käsitellään tarkemmin Vesa Lahden opinnäytetyössä. Koska suunnitelmissa oli, että tukivartta voisi lyhentää nolla-asennosta viisi senttimetriä, tulisi neliöputkesta valmistetun tukivarsiosan olla maksimissaan 150 mm pitkä.

Tukivarsien pituus on 150 mm, ja rungon leveydestä johtuen niiden maksimileveys on 70 mm. Kapenevasta muodosta johtuen tukivarsien minimileveys on 50 mm, valittu tukivarsimalli on mielestäni tukevin vaihtoehto. Tosin mitään lujuusopillisia laskuja en tehnyt, vaan luotin omaan arviointikykyyn.

Tukivarsien teon aloitin katkaisemalla sopivanmittaiset kappaleet neliöputkesta, neljä kappaletta 150 mm pitkiä ja kaksi 50 mm pitkä kappaletta. 50 mm kappaleisiin porasin keskelle kuuden millimetrin reiän kierretankoa varten. 150 mm kappaleisiin porasin myös kuuden millimetrin reiät viiden millimetrin päähän päädyistä, näistä rei'istä tukivarsi on tarkoitus kiinnittää M6 pulteilla ja muttereilla runkoon.

Runkoon tein teräslevystä 15 mm pitkät kiinnityslaatat, joissa on myös kuuden millimetrin reiät kiinnitystä varten. Kiinnityslaattoja on neljä kumpaakin tukivartta kohden. Pulttasin laatat kiinni tukivarteen ennen kuin hitsasin ne kiinni runkoon, tällätavoin sain niiden etäisyyden oikeaksi toisiinsa nähden.

Seuraavaksi mittasin 150 mm tukivarsien kiinnityspäistä 30 mm suoran pätkän, mistä kohtaa leikkasin neliöputken melkein poikki. Tällätavoin putkea oli huomattavasti helpompi taivuttaa haluttuun kulmaan. Sitten leikkasin putkien toiset päät haluttuun muotoon, jotta 50 mm poikittainen kappale olisi helposti liitettävissä niihin haluttuun asentoon.

Seuraavaksi pulittasin taas tukivarren osat kiinni runkoon ja asettelin tukivarren eri osat oikeille paikoilleen. Taivutin putket oikeaan kulmaan ja mittailin kaikki osat oikeille kohdilleen. Sitten hitsasin osat kiinni toisiinsa, ensin pisteillä, jotta hitsauksessa aiheutuva lämpölaajentuma ei vetelisi kappaleita väärään asentoon. Hitsasin siis lyhyet ja pitkät putken kappaleet toisiinsa ja pitkiin kappaleisiin leikatut viilteet takaisin umpeen.

Seuraavaksi irrotin tukivarret rungosta ja hioin hitsausseamat sileiksi kulmahiomakoneen hiontalaikalla. Samalla pyöristelin teräviä kulmia turvallisuuden ja viimeistellymmän ulkonäön saavuttamiseksi.

Hitaasta hitsauksesta huolimatta hitsaus aiheutti tukivarsiin hieman muodonmuutoksia. Tukivarret eivät istu aivan täydellisesti rungon kiinnityspisteisiin, mutta tämä ei aiheuta juurikaan harmia, koska pienoismallista ei ollut tarkoitus tehdä staattista vaan dynaaminen.

Alatukivarsiin suunnittelin myös tukijalat, joilla pienoismalli on tarkoitus kiinnittää tukevasti pohjalevyynsä. Tuet on tehty 50x50 mm neliöprofiilista, jonka korkeus on 70 mm. Neliöprofiilin toiseen päähän suunnittelin hitsattavaksi peltilevyn, johon hitsattaisiin kiinni mutteri, johon pohjalevy kiristettäisiin pultilla.

Tukijalkojen teon aloitin katkaisemalla 70 mm pitkät kappaleet neliöprofiilista vannesahan avulla. Käytin vannesahaa, koska sillä sai leikkaukset varmasti suoraan. Tämän jälkeen leikkasin peltilevystä peltisaksilla noin 50x50 mm kokoiset laatat. Sitten porasin pylväsporakoneella laattojen keskikohtaan 10 mm reiät, joihin kiersin pultin ja mutterin tiukkaan kiinni.

Seuraavaksi hitsasin mutterin kiinni peltilevyyn. Päädyn tällaiseen ratkaisuun siksi, koska mutteri tulisi neliöprofiilin sisään ja neliöprofiili taas kiinni tukivar-

teen, jolloin mutterista kiinni pitäminen olisi äärimmäisen hankalaa, kun pienoismallia kiinnittää pohjalevyyn. Kun mutteri on hitsattu kiinni peltilevyyn, ei siitä tarvitse pitää kiinni, kun mallia kiinnittää pohjalevyyn.

Tämän jälkeen kiersin putit irti peltilevyistä ja asettelin peltilevyt tuleville paikoilleen neliöprofiilin toiseen päähän. Tämän jälkeen hitsasin ne kiinni, ensin pienillä pisteillä nurkista ja lopuksi koko matkalta. Lopuksi viimeistelin hitsausseamat hiomalla ne kulmahiomakoneella.

Seuraavaksi sovitin tukijalkoja pienoismalliin. Laitoin tukijalat pöydälle pystyyn ja laskin pienoismallin niiden päälle. Seuraavaksi mittailin tukijalkojen paikat tukivarsiin samaan kohtaan kummallakin puolella. Kun molemmat tukijalat olivat oikeilla kohdilla, hitsasin kummankin jalan pistehitseillä kiinni. Siteen suoritin tarkistusmittauksen, tukijalat olivat edelleen oikeilla kohdilla, joten hitsasin ne lopullisesti kiinni.

4.3 Ylätuot

Ylätukien suunnittelussa mietin pitkään, millaiset niistä tekisin. Ylätuista tulisi pakostakin ison kokoiset ja niiden tulisi kestää ohjauksesta ja kulmien muutoksista aiheutuvat rasitukset. Yksi vaihtoehto olisi ollut käyttää samaa neliöputkea kuin rungossa ja alatukivarsissa. Tämä ratkaisu olisi varmasti ollut kestävä, mutta samalla painava.

Ratkaisuksi keksin suunnitella ylätuot peltilevystä. Tällöin tuista tulisi kevyet ja niihin suunnitellulla kotelomaisella rakenteella saisi aikaan riittävän lujuuden. Lisäksi peltilevyn työstäminen on huomattavasti helpompaa kuin neliöputken ja KPI-kulman säädön toteuttaminen peltilevyyn on varsin helppoa.

Ylätuot suunnittelin siis peltilevystä jonka paksuus on noin yksi millimetri ja leveys 50 mm. Materiaalin valinnassa en suorittanut mitään laskelmia tai mitoituksia, sopiva materiaali löytyi sattumalta Turun ammattikorkeakoulun metallityöluokan kierrätysmetallilaatikosta. Materiaali on uutta, mutta joutunut kierrätykseen, koska ei ole enää ollut ilmeisesti riittävän isonkokoinen kappale käytettäväksi missään muualla.

Ylätukia mitoitettaessa tuli ottaa huomioon muutamia asioita. Tukien leveydessä tuli ottaa huomioon koko mallin leveys ja erityisesti jousijalan sijainti. Koska KPI-kulman säätö tuli myös ylätukiin, tulisi ylätukien tulla riittävän leveälle, että KPI-kulman ollessa nolla astetta jousijalka olisi mahdollista lukita täysin pystysuoraan asentoon.

Myös ylätukien korkeutta joutui miettimään jonkin aikaa, koska ne eivät saisi olla liian korkeat, jotta mallin koko pysyisi siedettävissä rajoissa, mutta kuitenkin riittävän korkeat, että ylätuen ja alatukivarsien väliin jäisi riittävästi tilaa. Tilaa tukien välissä täytyisi olla kuitenkin sen verran, että kädet mahtuvat väljästi väliin, koska KPI-, camber- ja caster-kulmia säädettäessä kädet täytyy saada tukivarsien väliin, jotta kulmien säätäminen olisi helppoa.

Ylätukien korkeutta ei voinut siis suunnitteluvaiheessa lyödä lukkoon, vaan se tuli selvittää kokeilemalla. Alustavassa suunnitelmassa ylätukien korkeus tulisi olemaan 200 ja 250 mm välillä. Ylätukien leveyden sen sijaan pystyi määrittämään suhteellisen tarkkaan, koska sekä sisä- että ulkopään ääripisteiden paikka oli tiedossa. Ylätuen leveydeksi tulisi kutakuinkin 230 mm.

Ylätuet koostuvat siis kahdesta peltilevystä, ensimmäinen nousee suoraan rungosta ylöspäin ja toinen kiinnittyy pystyssä olevaan 90 asteen kulmassa osoittaen suoraan sivulle. Valittu rakenne vaatii tuet, jotta ylätuki pysyy muodossaan. Tämän vuoksi peltilevyjen liitoskohtaan tulee kummallekin sivulle kolmion mallinen tuki, jolla saadaan aikaan tukeva, kotelomainen rakenne.

KPI-kulman säätö tuli poikittaisiin peltilevyihin ja se piti valmistaa ennen, kuin ylätuet valmistettiin ja liitettiin runkoon. KPI-kulman suunnittelusta ja valmistuksesta kerrotaan tarkemmin myöhemmin.

Ylätukien valmistus aloitettiin tekemällä poikittaisin peltilevyihin KPI-kulmansäätöreiät. Kun KPI-kulmansäätöreiät olivat valmiit, asetettiin ylätukien poikittaiset levyt tuleville paikoilleen kiinni jousijalkaan. Jousijalan tuli olla täysin pystysuorassa. Sitten aloin kokeilemalla selvittää minkä mittaisia peltilevyistä pitäisi tulla. Pystyyn tulevien levyjen korkeudessa päädyin 230 mm, tällöin tuet eivät ole liian korkeat, mutta väli alatukivarteen on kohtalainen.

Pystyyn tulevat peltilevyt kiinnitin runkoon siten, että kumpikin levy on kiinnitetty 200 mm halkaisijaltaan olevan neliöputken keskikohtaan hitsaamalla. Pystylevyjen oikean asennon ennen hitsausta tarkistin suorakulman avulla. Hitsasin levyt ensin kiinni pienillä pisteillä, jolloin niiden kulmaa pystyisi vielä muuttamaan. Lopuksi hitsasin levyt kiinni koko matkaltaan molemmin puolen ja viimeistelin saumat hiomakoneella.

Seuraavaksi asensin poikittaisen peltilevyn tulevaan paikkaansa, jolloin pystyin määrittämään sen pituuden. Tällöin jousijalan tuli olla suorassa, jotta poikittaisen peltilevyn pituuden saisi oikeaksi. Seuraavaksi katkaisin peltilevyt oikean mittaisiksi. Niiden pituudeksi tuli 200 mm, jonka jälkeen asettelin ne taas tuleville paikoilleen. Katsoin suorauuden oikeaksi suorakulmaa apuna käyttäen ja hitsasin peltilevyt ensin pisteillä kiinni toisiinsa. Tämän jälkeen varmistin levyjen oikeat linjat ja suoritin hitsaukset loppuun.

Seuraavaksi suunnittelin ylätukiin tulevia kolmiotukia. Totesin, että helpoin tapa saada kolmiotuet oikean mallisiksi on tehdä pahvista sopivan kokoinen mallikappale. Leikkasin siis pahvista oikean mallisen kappaleen, jonka jälkeen piirsin kolmion peltilevyille. Peltilevystä kolmiot leikkasin kulmahiomakoneella.

Seuraavaksi asettelin kolmiotuet ylätukiin oikeille paikoilleen, johon pistehitsasin ne kiinni siten, että sain vielä hiukan niitä liikuteltua. Asettelin kolmiotuet oikeille paikoilleen ja hitsasin ne koko matkaltaan kiinni ylätukiin. Tämän jälkeen viimeistelin ylätuot hiomalla kaikki hitsaussaumot kulmahiomakoneen hiontalaikalla. Samalla pyörustin teräviä kulmia siistimmän ulkonäön ja turvallisuuden takia.

Tämän jälkeen yhdistin ylätuot toisiinsa niiden väliin hitsatulla välitangolla. Tämän tangon tarkoitus on pitää yläpään tuet kiinni toisissaan ja estää niiden taipumista alaspäin. Nyt kun ylätuot ovat valmiit, pystyy myös jousijalkana toimivat M6-kierretangon katkaisemaan oikeaan pituuteensa. KPI-kulman säädöstä johtuen jousijalan täytyy tulla hieman korkeammalle kuin ylätuki on, joten jousijalan pituudeksi tuli 250 mm. Jousijalan täytyy olla pidempi siksi, että säädettäessä KPI-kulma maksimiinsa, jousijalka on niin vinossa, että se ei enää tulisi läpi ylätuessa olevasta KPI-kulmansäätöreistä.

4.4 KPI-kulma

KPI-kulman säädön suunnittelin ylätukiin, koska se on luonnollisin paikka kyseisen kulman säädölle. KPI-kulma tarkoittaa olkavarren sivukallistumaa, eli tässä tapauksessa jousijalan sivukallistumaa. Jousijalkana pienoismallissa on M6-kierretanko, joka on alapäästään kiinnitetty kahdella M6-mutterilla pyörännapaan ja yläpäähän M6-jatkomutterilla ja siipimutterilla.

KPI-kulman säätöä varten ylätukiin suunniteltiin pitkät reiät, joissa KPI-kulman saa säädettyä portaattomasti haluttuun arvoon. Jousijalka lukitaan paikalleen jatkomutterin ja siipimutterin avulla. Työn tilaajan pyynnöstä kulman säätövaras- ta tehtiin yliampuvan suuri, jotta kulmamutokset olisi helposti havaittavissa. KPI:n maksimikulmaksi tuli 19.2 astetta.

KPI-kulman säätö valmistettiin ennen kuin ylätuet koottiin ja hitsattiin kiinni runko-osaan, koska työskäminen oli tällöin paljon helpompaa. Säätöalue tehtiin niin, että ylätuen peltiin piirrettiin säätöreiän ääripäät, jotka merkattiin pistepuikolla. Tämän jälkeen ääripisteisiin porattiin reiät kuuden millimetrin poranterällä. Seuraavaksi ääripisteiden väliin porattiin useita reikiä mahdollisimman lähelle toisi- aan.

Kun poralla oli tehty niin paljon kuin sillä pystyi tekemään, aloin työskäntämään reikää viilan avulla. sillä haettiin pitkän reiän viimeinen muoto ja viimeisteltiin reiän sivujen suora muoto. Viimeistelyhionnan tein kulmahiomakoneen hiontalaikalla.

4.5 Caster-kulma

Caster-kulman säädöksi suunnittelin erillisen peltilevyn, joka yhdistää jousijal- kana toimivan kierretangon pyörännapaan. Peltilevy kiinnitettäisiin kiinteästi jousijalan alapäähän ja toiseen reunaan tulisi samanlainen pitkä reikä kuin KPI- kulman säädöissäkin on.

Napa kiinnittyy caster-kulman säätölevyyn pultin ja siipimutterin avulla. Caster- kulman säätö on myös täysin portaaton. Caster-kulman arvo ääripäästä toiseen on yhteensä 43,6 astetta, joten caster-kulmaa saa säädettyä positiiviseen ja

negatiiviseen suuntaan 21,8 astetta. Caster-kulman säätölevyillä voidaan säätää myös camber-kulmaa. Tällöin säätölevy tulee kääntää 90 astetta normaaliin asentoonsa nähden. Camber-kulmasta ja sen säädöstä lisää Vesa Lahden opinnäytetyössä.

Caster-kulman säätölevyjen teon aloitin leikkaamalla sopivan kokoiset kappaleet isommasta peltilevystä. Säätölevyt ovat kooltaan 50x40 mm. Säätölevyt asettuvat navan yläpuolelle siten, että 50 mm pitkä sivu on pyörää kohden.

Toiselle 50 mm pitkälle sivulle on levyn keskikohtaan ja viisi millimetriä sivusta porattu kuuden millimetrin reikä, johon jousijalkana toimiva kierretanko on kiinnitetty kahdella M6-mutterilla. Toiselle 50 mm pitkälle sivulle tein pitkän reiän caster-kulman säätöä varten.

Pitkän reiän työstin caster-kulman säätölevyyn samanlaisesti kuin ylätukiin KPI-kulmansäätöreiät. Ensin porasin porakoneella reiät säädön ääripisteisiin ja tämän jälkeen niiden väliin porasin mahdollisimman lähekkäin toisiaan niin monta reikää kuin mahdollista.

Seuraavaksi aloin työstää reikää muotoonsa viilan avulla, jolla hain myös viimeisen muodon reikiin. Lopuksi viimeistelin säätölevyt kulmahiomakoneen hiontalaikalla, tällöin pyöristin myös kappaleen kaikki kulmat pyöreähköiksi.

4.6 Mitta-asteikot

Koska pienoismallia tullaan käyttämään opetuskäytössä, on tärkeää, että pyörän asentokulmien muutokset pystytään esittämään mahdollisimman tarkkaan. Siksi muutettavien kulmien yhteyteen tehtiin asteikot, joiden avulla kulmamutokset pystyy helposti säätämään kohdalleen.

Mitta-asteikoissa päädyimme käyttämään asteita millimetrien sijaan, koska oikean kokoluokan autoissa asentokulmissa käytetään pääsääntöisesti asteita. Asteiden käyttöä puolsi myös se, että jo aikaisemmin lasketut kulmien maksimiarvot ovat asteina. Asteikkojen mitta-arvot perustuvatkin laskettuihin arvoihin, josta on tarkempaa tietoa Vesa Lahden opinnäytetyöstä.

Mitta-asteikot on itse suunniteltu ja valmistettu täysin pienoismallia varten. Asteikot on suunniteltu ja valmistettu Paint-kuvankäsittelyohjelmalla ja tulostettu Turun ammattikorkeakoulun omalla tarratulostimella.

5 PIENOISMALLIN KÄYTTÖ JA KULMIEN SÄÄTÖ

Pienoismallin tilaajana toimi Turun ammattikorkeakoulu ja alusta asti tarkoituksena on ollut, että pienoismalli tulisi opetuskäyttöön. Tästä johtuen pienoismallin suunnittelussa on pyritty mahdollisimman yksinkertaiseen ja helppokäyttöiseen rakenteeseen.

Tilaajan toivomuksesta pyörän asentokulmien maksimiarvoista tehtiin huomattavan suuret, jotta kulmien aiheuttamat muutokset pyörän asentoon olisi selvästi nähtävissä. Pienoismallilla saavutettavat pyörän asentokulmien muutokset ovat suuruusluokaltaan kymmenkertaiset tavallisten tuotantoautojen vastaaviin arvoihin.

Pienoismalli poikkeaa normaaleista tuotantoautoista siinä suhteessa, että siinä kaikki pyörän asentokulmat ovat säädettävissä. Yleisesti tuotantoautoissa ei pystytä säästämään kuin auras-/harituskulmia. Joissakin autoissa caster- ja camber-kulmalle saattaa olla säätömahdollisuus, jossa voidaan valita kahdesta eri kulmasta, mutta säätö ei ole portaaton. Yleensä tavallisissa autoissa ei ole mahdollista säätää kuin auras-/harituskulmaa.

Pienoismallissa kaikki pyörän asentokulmat on siis tehty säädettäviksi, mutta valitusta rakenteesta johtuen kaikkia kulmia ei pystytä yksittäin säätämään, vaan ne vaikuttavat jossakin määrin toisiinsa. Esimerkiksi KPI- ja camber-kulma vaikuttavat vahvasti toisiinsa, samoin KPI:llä on suuri vaikutus myös kääntövierinsäteeseen ja kääntökeskiöön.

Koska mallin suunnittelu ja toteutus on jaettu kahden opiskelijan kesken, ja minun työni oli suunnitella ja valmistaa KPI- ja caster-kulmien säätöosat, käsittelen tarkemmin miten edellä mainitut kulmat pienoismallissa säädetään. Näiden lisäksi käsittelen myös sitä, miten kääntövierinsäteen ja kääntökeskiön kulmia saa mallin avulla säädettyä ja näytettyä kulman muutoksen.

Ohjauskulmien auras ja haritus, camber-kulman, kaartoharituksen ja ackermann ehdon aiheuttamat muutokset ja säätäminen käydään tarkemmin läpi Vesa Lahden opinnäytetyössä.

5.1 Caster-kulman säätö

Caster-kulman säätö on pienoismallissa toteutettu erillisillä caster-kulman säätölevyllä (kuva 11), jotka on kiinnitetty jousijalan alapäähän ja navan yläreunaan. Säätölevy on kiinteästi kiinni jousijalassa ja napaan se kiinnittyy säätölevyn avulla pultilla ja siipimutterilla. Säätö tapahtuu helposti pultin ja siipimutterin avulla.

Caster-kulman säätö tapahtuu siten, että pulttia ja siipimutteria, joilla napa kiinnittyy säätölevyyn, löysätään sormin ja 10 mm lenkkiavainta apuna käyttäen. Kun pultti ja siipimutteri on saatu löysättyä, voidaan napaa kallistaa eteen- tai taaksepäin. Näin saadaan helposti säädettyä caster kulma joko positiiviseksi tai negatiiviseksi. Kun caster-kulma on saatu säädettyä halutuksi, on pultti ja siipimutteri kiristettävä riittävän tiukkaan, jotta kulma ei muutu käytön aikana.

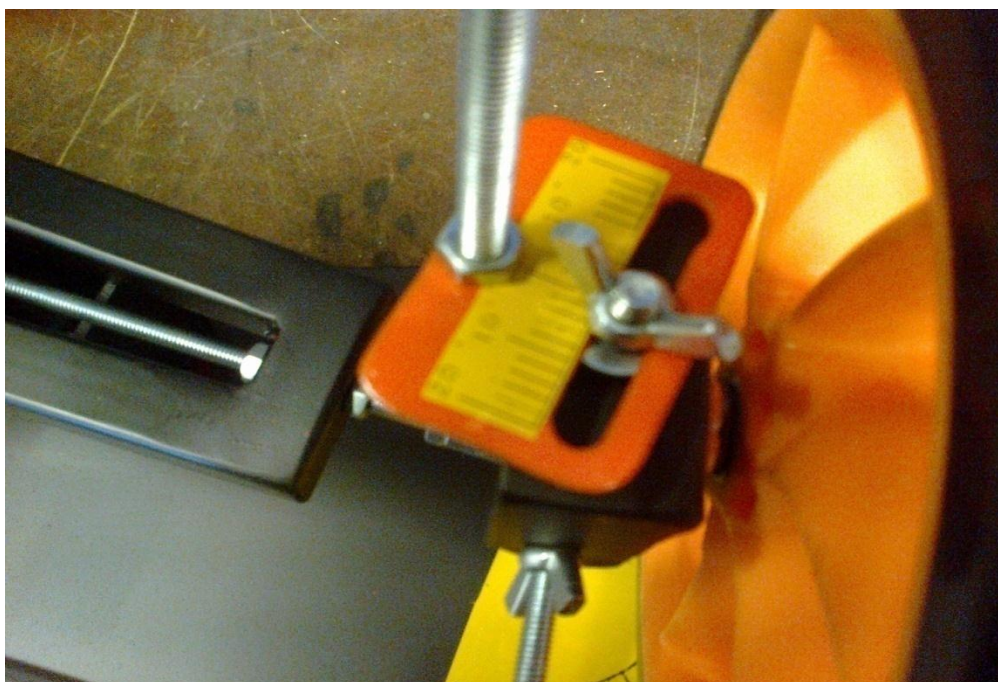
Caster-kulman maksimisäätövara ääripäästä toiseen on 43,6 astetta, joten sekä positiivinen että negatiivinen caster-kulma on enintään 21,8 astetta. Caster-kulman maksimiarvoja rajoittava tekijä on säätölevyn koko, koska samaa levyä käytetään myös camber-kulman muuttamiseen. Mikäli levy olisi isomman kokoinen, ei camber-kulman muuttaminen onnistuisi, koska levy ottaisi pyörään kiinni. Camber-kulman säädöstä lisää Vesa Lahden opinnäytetyössä.

Caster-kulmaa säädettäessä on erityisesti huomioitava se, että kun caster-kulmaa säädettäessä pulttia ja siipimutteria on löysättävä riittävästi. Mikäli pulttia ja siipimutteria ei löysää tarpeeksi, on mahdollista että napaa siirrettäessä eteen tai taaksepäin koko jousijalka taipuu ja täten kulmamuuutos ei ole oikeanlainen. Olisikin suositeltavaa että caster-kulmaa säädettäessä jousijalasta pidettäisiin kiinni, jotta se ei pääsisi taipumaan.

Toinen huomioitava asia on se, että caster-kulman säädön jälkeen pultti ja siipimutteri on kiristettävä riittävän tiukkaan, koska pienoismallissa caster-kulman maksimi arvot ampuvat niin paljon yli. Ääriasennoissa säätölevyyn kohdistuu pyöriä käännettäessä niin suuria voimia, että napa ei välttämättä pysy paikoil-

laan, mikäli pulttia ja siipimutteria ei ole kiristetty tarpeeksi tiukkaan. Kiristystä suoritettaessa tulee kuitenkin huomioida, että kyseessä on aivan normaali 10 mm pultti, joten sitä ei pidä kiristää liikaa, jotta se ei menisi poikki.

Käytössä on todettu, että riittävä tiukkuus saadaan aikaan siipimutteria sormin kiristäen ja samalla pulttia kiristäen normaalikokoisella 10mm lenkkiavaimella. Lenkkiavainta käytettäessä ei tarvitse hampaat irvessä vääntää riittävän tiukkuuden saavuttamiseksi.



Kuva 11. Caster-säätölevy ja -mitta-asteikko

5.2 KPI-kulman säätö

KPI-kulman (Kuva 12.) säätö tapahtuu pienoismallissa helposti ja yksinkertaisesti ylätukiin tehtyjen säätöreikien avulla. Käytännössä säätötyö tehdään niin, että ensin löysätään jousijalassa olevat jatkomutteri ja siipimutteri, jolla jousijalka on kiristetty ylätukeen. Löysäminen tapahtuu käytännössä niin, että jatkomutterista otetaan kiinni joko sormin, tai 10 mm lenkkiavaimella ja tämän jälkeen jousijalan yläpäässä oleva siipimutteri löysätään sormin.

Kun jousijalka on löysätty, voidaan KPI-kulma säätää portaattomasti haluttuun arvoonsa. Tämän jälkeen jousijalka kiristetään haluttuun kohtaan jatkomutteria ja siipimutteria kiristämällä. Käytäntö on osoittanut että jatkomutterin kiristyksessä kannattaa käyttää lenkkiavainta, sillä muuten yläpäähän kiinnitys saattaa jäädä löysäksi, eikä KPI-kulma pysy haluttuna.

Käytössä on erityisesti huomioitavaa se, kun KPI-kulma on ollut suuri ja se halutaan taas säätää pieneksi tai nolnaan, niin ennen kuin jousijalan kääntää pystyasentoon, on jousijalassa olevaa jatkomutteria kierrettävä riittävästi alaspäin. Tämä johtuu siitä, että suurilla KPI-kulmilla jousijalka on erittäin vinossa, jolloin jatkomutteria joutuu kiertämään paljon ylöspäin, jotta sen saa kiristettyä ylätukeen. Jos jatkomutteria ei kierrä takaisin alaspäin, ennen kuin jousijalan nostaa pystyyn, ottaa jatkomutteri jousijalkaa nostettaessa kiinni ylätukeen liian aikaisin ja yrittää väkisin taivuttaa sitä ylöspäin.

KPI:n maksimikulma on 18,6 astetta. Maksimikulman rajoittavana tekijänä on alapallonivelen liikerata, joka ei salli enempää kulmaa. Muita rajoittavia tekijöitä ei ole. KPI-kulmaa säädettäessä tulee ottaa huomioon, että se vaikuttaa myös camber kulman suuruuteen.



Kuva 12. KPI-kulman säätö- ja mitta-asteikko

5.3 Kääntökeskiö ja kääntövierinsäde

Kääntökeskiö ja kääntövierinsäde liittyvät vahvasti toisiinsa sekä KPI-kulmaan. Kääntökeskiöllä tarkoitetaan kääntöakselin, McPhersonin tapauksessa yläpään kiinnityksen ja alapallonivelen kautta kulkevan linjan jatkeen, ja tienpinnan leikkauskohtaa. Kääntövierinsäde taas on kääntöakselin jatkeen ja renkaan tienkosketuskohdan keskipisteen etäisyys toisistaan.

Kääntökeskiötä tai kääntövierinsädettä ei voi säätää yksinään, vaan ne muuttuvat aina KPI-kulmaa muutettaessa. Ne eivät siis ole varsinaisesti säädettäviä kulmia, vaan niiden kulmien suuruudet tulevat haluttujen KPI- ja camber-kulmien seurauksena.

Tietysti kääntökeskiön ja kääntövierinsäteen voisi säätää halutuksi KPI- ja camber-kulman kustannuksella, mutta KPI- ja camber-kulmalla on huomattavasti suurempi vaikutus auton ajokäyttäytymiseen, joten käytännössä tämä ei ole suositeltavaa.

Kääntökeskiö ja kääntövierinsäde ovat molemmat kuvitteellisia jatkeita, joten niiden osoittaminen konkreettisesti on hieman haastavaa. Tähän ongelmaan löysimme ratkaisun Turun ammattikorkeakoulun mainoksilla varustetusta mainoskynästä, jossa on päässä laserosoitin. Laserosoittimen avulla pystyy helposti näyttämään kuvitteellisen jatkeen linjan.

Kääntökeskiön ja kääntövierinsäteen linjan näyttäminen tapahtuu käytännössä niin, että kynää pidellään käsin yläpään kiinnityspisteen ja alapallon linjan mukaisessa asennossa, jolloin laser osoittaa alaspäin mallin pohjalevyyn kuvitteellisen jatkeen sijainnin.

Pienoismallissa kääntökeskiön ja kääntövierinsäteen säätö tapahtuu siis KPI- ja camber-kulmaa säätämällä. KPI-kulman säätö on kerrottu jo aiemmin tässä työssä ja camber-kulman säätö käsitellään Vesa Lahden opinnäytetyössä.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoite oli valmistaa Turun ammattikorkeakoululle opetuskäyttöönsoveltuva pienoismalli henkilöauton etupyörien ripustuksesta. Mallin avulla on tarkoitus näyttää opiskelijoille, miten mikäkin kulman muutos vaikuttaa pyörän asentoon ja muihin kulmiin.

Työn alussa käydään läpi yleisimmät akselistorakenteen, jäykkä- ja erillisjousitetut akselit, sekä yleisimmät erillisjousituksessa käytetyt tuentamallit. Koska työssä on keskitytty eniten McPherson tuentaan, on tätä tuentamallia kuvattu eniten. Lisäksi käytiin läpi perusteoria kaikista pyörän asentokulmista, miten ne havaitaan ja miten ne vaikuttavat pyörän asentoon ja toisiin kulmiin.

Seuraavaksi käytiin läpi pienoismallin suunnittelun ja valmistuksen. Kerrotaan, millä perusteella kunkin kappaleen mitat oli suunnittelu vaiheessa valittu ja mitkä seikat niihin ovat vaikuttaneet. Lisäksi selvitetään myös, mitä materiaalia käytettiin ja minkä vuoksi päädyttiin siihen. Valmistusvaiheesta käytiin varsin tarkasti läpi kaikki materiaalin työstövaiheet, mitä tehtiin, miksi se tehtiin juuri näin ja oliko lopputulos halutun kaltainen.

Lopuksi käytiin läpi pienoismallin käyttö ja kulmien säätö. Tämä luku on tarkoitettu erityisesti niille, jotka tulevat pienoismallia käyttämään. Luvussa käydään tarkasti läpi, miten mikäkin kulma säädetään, mitä asioita pitää erityisesti ottaa huomioon kulmia säädettäessä ja miten kulmien säädöt vaikuttavat muihin asentokulmiin. Esitettyjä käyttöohjeita tulee noudattaa, jotta pienoismalli pysyisi kunnossa.

LÄHTEET

Bosch 2003. Autoteknillinen taskukirja 6. painos Jyväskylä: Gummerus Oy

Laine Olavi 1985. Autotekniikka 1. osa. Ajo-ominaisuudet. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Laine Olavi 1981. Autotekniikka 2. osa. Tampere: Oy Sonator AB.

Mauno Esko 1991. Virittäjän käsikirja 2. Alusta. Helsinki: Alfamer Oy

Niemi Markku & Nieminen Simo 1990. Autotekniikan perusteet 3. Alusta- ja hallintalaitteet. Porvoo: WSOY.

Ate up with motors 2011. The McPherson Strut. Viitattu 12.10.2011 <http://ateupwithmotor.com> > automotive technology > the McPherson strut

Car Bibles 2011. Suspension bible. Viitattu 12.10.2011 www.carbibles.com > suspension bible

CarMart 2011. Car suspension. Viitattu 12.10.2011 [/www.sgcarmart.com](http://www.sgcarmart.com) > Car Articles > Car Advice > Car Advice Listings > Car Technical Advice

DriftJapan 2011. Drift Car Suspension. Viitattu 12.10.2011 <http://driftjapan.com/blog/> > car parts > drift car suspension

Gti-vr6 2011. MacPherson suspension. Viitattu 12.10.2011 www.gti-vr6.net > library > suspension > MacPherson

Ict Work Shopsolutions 2011. Wheel Alignment. Viitattu 21.3.2012 www.ictworkshopsolutions.com > Equipment > Training > Wheel Alignment

Marcusfitzhugh 2011. The Mercedes-Benz W208 Chassis Design. Viitattu 12.10.2011 www.marcusfitzhugh.com > chassis > chassis details

Pirate 4x4 2011. DANA 60 Pinion and Caster Angle Question. Viitattu 12.10.2011 www.pirate4x4.com > Brand Specific Tech > Chevy > DANA 60 pinion and caster angle question

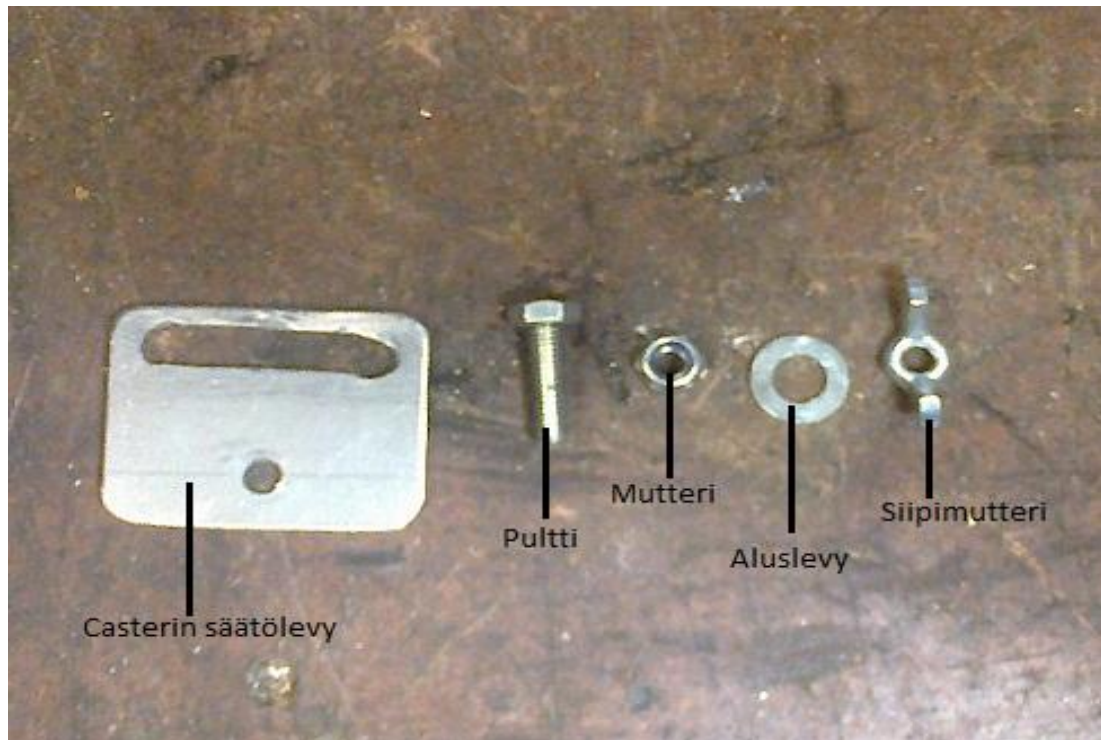
Shop Carland Dealers Blog 2011. Double wishbone suspension. Viitattu 12.10.2011 <http://blog.shopcarland.com> > Home > Accord > Honda Carland > ShopCarland > Why buy a 2011 Honda Accord in Atlanta

Turun ammattikorkeakoulu 2012a. Turun ammattikorkeakoulun esittely. Viitattu 19.3.2012 www.turkuamk.fi > esittely

Turun ammattikorkeakoulu 2012b. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelman esittely. Viitattu 19.3.2012 www.turkuamk.fi > yksiköt > tekniikka ympäristö ja talous > koulutusohjelmat > auto- ja kuljetustekniikka

Wikipedia 2011. Lenkrollradius. Viitattu 12.10.2011 de.wikipedia.org > Lenkrollradius

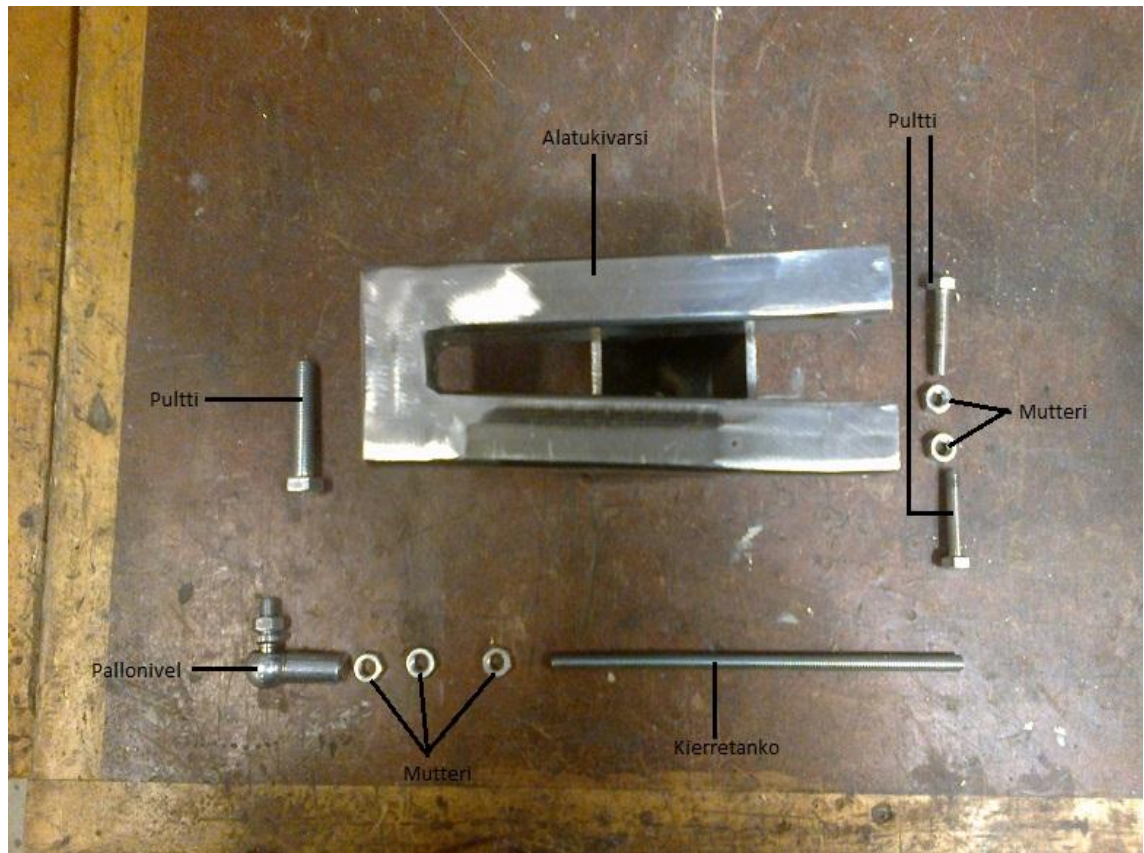
Liitteet



Kuva 1. Caster-/ camber-kulman säätölevyn komponentit

Taulukko 1 Caster/camber-kulman säätölevyn komponenttiluettelo

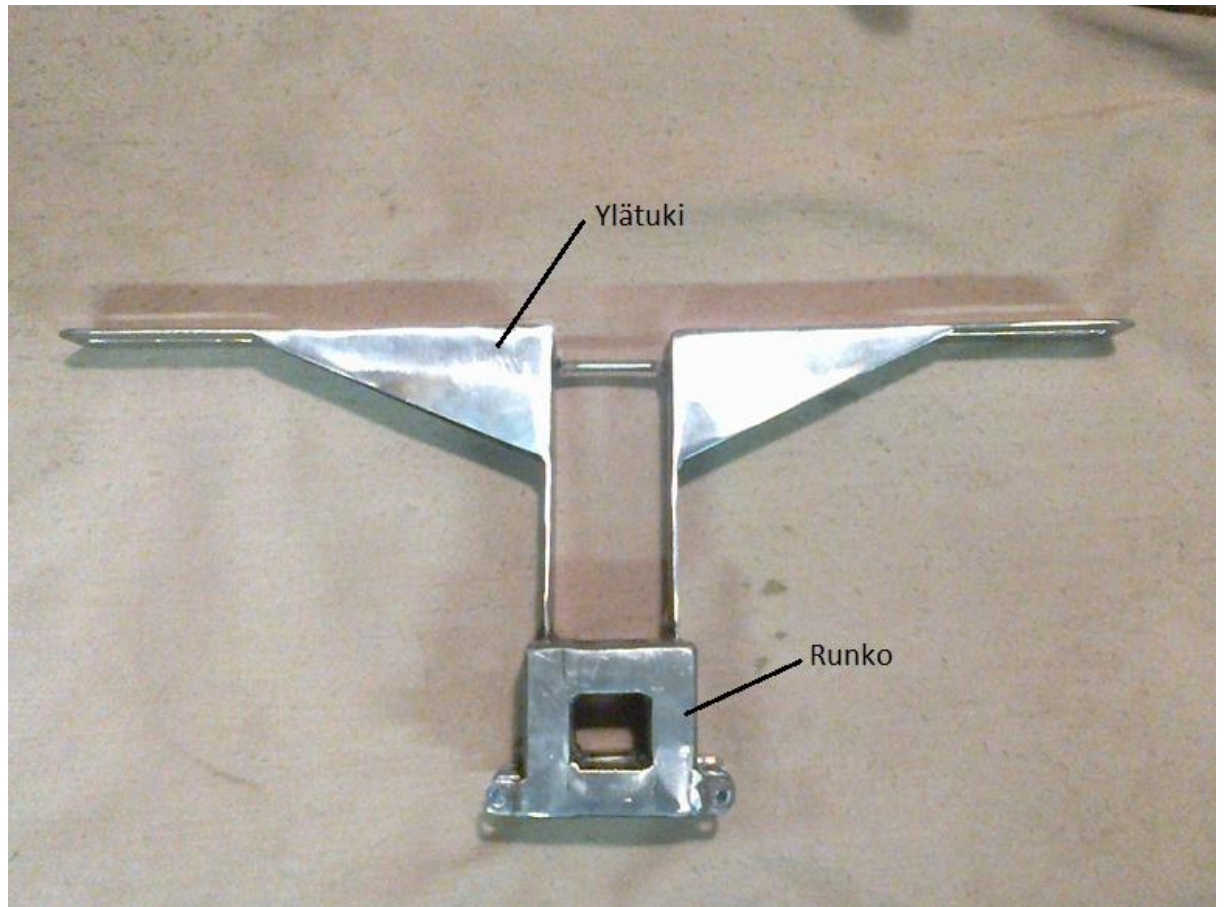
Caster/camber-kulman säätölevy				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (Biltema)	Käyttötarkoitus
Säätölevy	50x40mm	1		Caster kulman säätö
Pultti	M6	1		Kiinnitys
Mutteri	M6	1	870097	Kiinnitys
Siipimutteri	M6	1	87386	Kiinnitys
Aluslevy		1		Välilevy



Kuva 1. Alatukivarren komponentit

Taulukko 2 Alatukivarren komponenttiluettelo

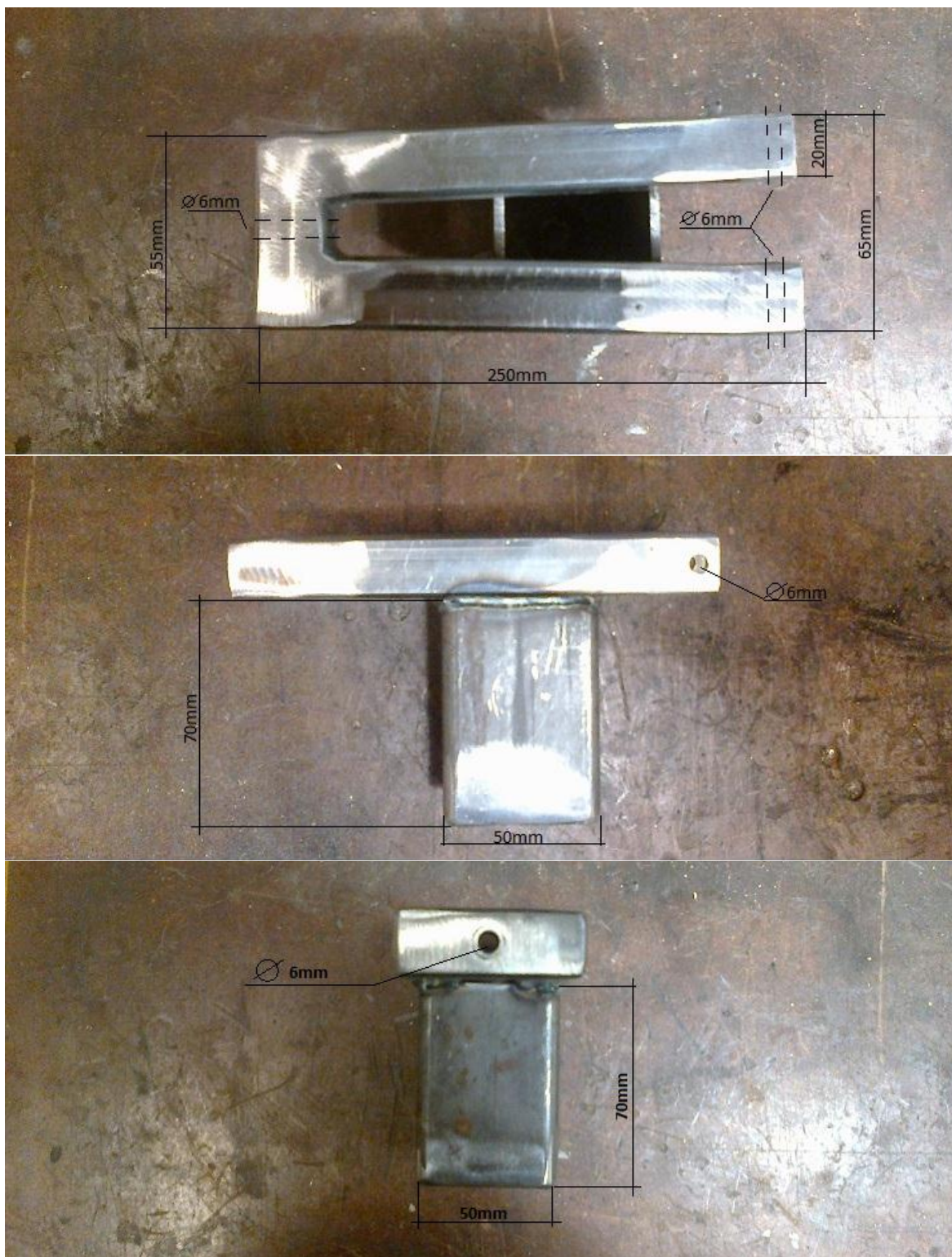
Alatukivarsi*2				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (Biltema)	Käyttötarkoitus
Alatukivarsi		1		Alatukivarsi
Pultti	M10	1		Pohjalevyyden kiinnitys
Pultti	M6	2		Tukivarren kiinnitys runkoon
Mutteri	M6	2	870097	Tukivarren kiinnitys runkoon
Mutteri	M6	3	870097	Camber-kulman säätö
Pallonivel	M6	1	87245	Liittää tukivarsi napaan
Kierretanko	M6	1	19386	Camber-kulman säätö



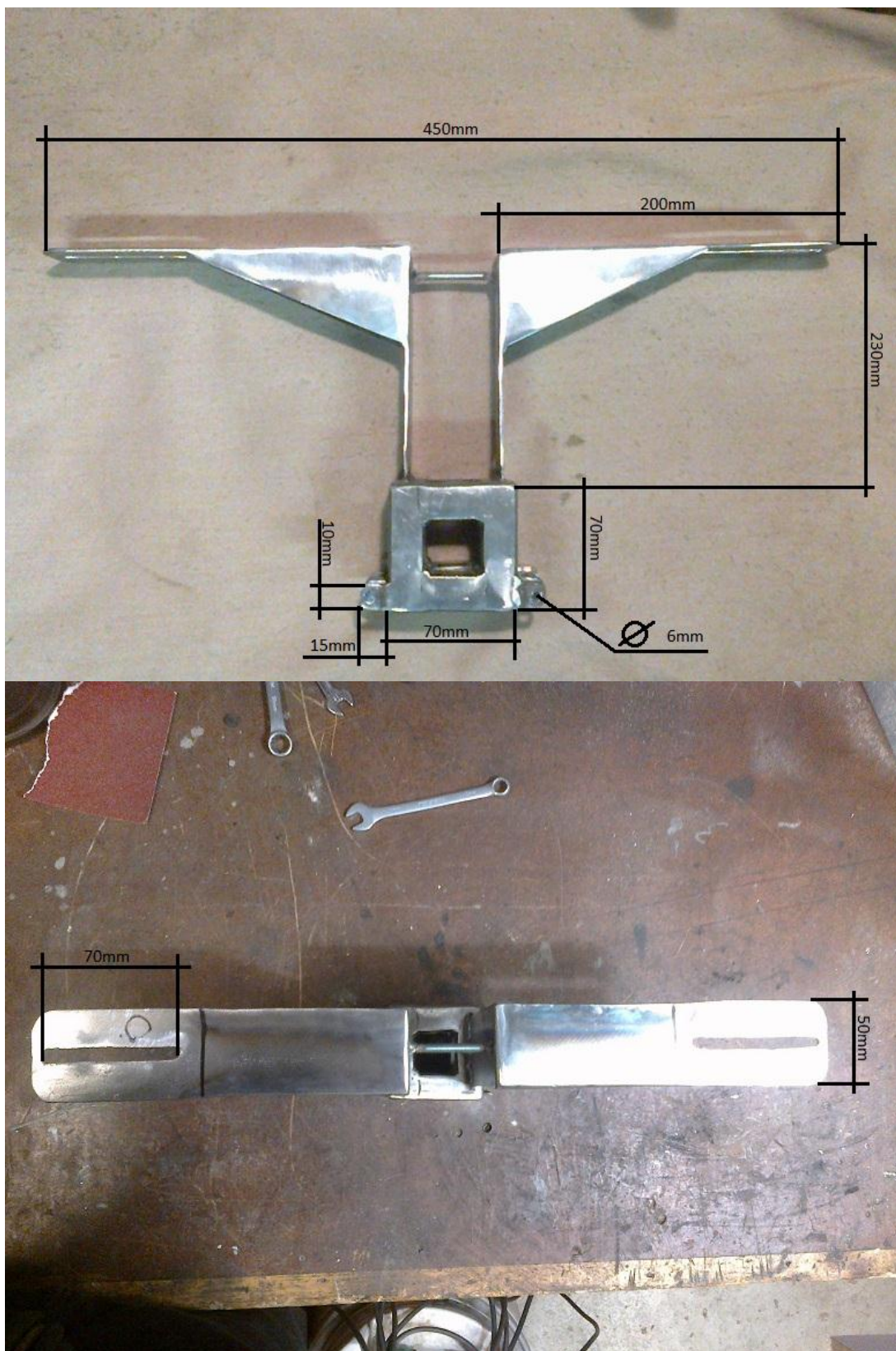
Kuva 1. Rungon komponentit

Taulukko 3 Rungon komponenttiluettelo

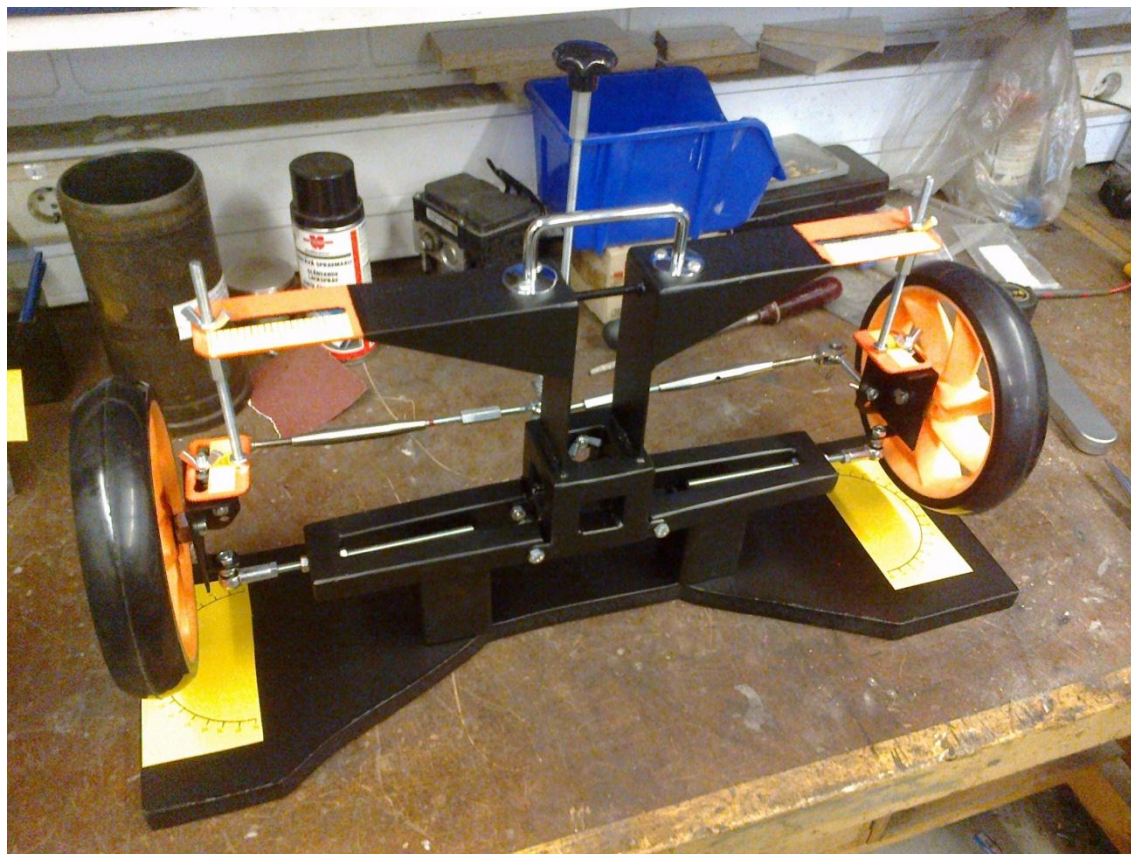
Runko ja ylätuet				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (Biltema)	Käyttötarkoitus
Runko		1		Runko
Ylätuki		2		Joustintuen yläpään kiinnitys



Kuva 1. Alatukivarren mitoitus



Kuva 1. Rungon mitoitus



Kuva 1. Valmis pienoismalli