

Opinnäytetyö AMK

Auto- ja kuljetustekniikka

Käyttöpainotteinen auto- ja kuljetustekniikka

2012

Vesa Lahti

# PIENOISMALLI MCPHERSON- PYÖRÄNTUENNASTA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikka | Käyttöpainotteinen auto- ja kuljetustekniikka

Opinnäytetyön valmistumisajankohta 4/2012 | Sivumäärä 46

Markku Ikonen

Vesa Lahti

## PIENOISMALLI MCPHERSON- PYÖRÄNTUENNASTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli rakentaa opetusmateriaalia Turun ammattikorkeakoulun auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelmalle. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda pienoismalli henkilöauton etupyörän ripustuksesta. Työhön valittiin käytännönläheisyyssistä käytössä oleva pyöräntuentaratkaisu, McPherson-tyyppinen joustintuki.

Pienoismalli vaati suunnittelun sekä valmistuksen. Koska työ oli laaja, suoritettiin se kahden opiskelijan voimin. Suunnittelun lähtökohtana oli luoda pienoismalli, jonka avulla voisi havainnollistaa ohjaavien pyörien asentokulmia sekä niiden muutoksia. Valmistamisessa taas pääpaino oli helppossa käytettävyydessä ja mahdollisimman korkeassa hyötysuhteessa.

Suunnittelun perustana toimivat varsinainen ymmärrys pyörän kulmien muutoksista sekä perusgeometrinen laskenta. Valmistuksen peruspilarina toimivat työn esikuva McPherson-pyöräntuenta sekä käsityötaidot.

Työ osoittautui haastavaksi. Suunnittelun osalta laskenta sekä mitoitus olivat useasti mietinnän alla ja valmistuksessa pienet suunnittelussa jääneet virheet tulivat nopeasti esille. Osa suunnittelussa tapahtuneista lipsahduksista pystyttiin myöhemmin korjaamaan, mutta vasta käytännön kokemus osoittaa pienoismallin mahdolliset jatkokehitystarpeet.

ASIASANAT:

pyöränkulmat, camber, caster, KPI, Aurus- ja harituskulmat, 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 45

Instructor Markku Ikonen

Vesa Lahti

## SCALE MODEL OF MCPHERSON STRUT

The purpose of this study was to construct a physical training material for the degree programme of automotive and transportation engineering at Turku University of Applied Science. The aim was to create a scale model for the wheel alignment of the car. The suspension solution was a McPherson –type strut for practical reasons.

The scale model required designing and manufacturing of the car's wheel alignment. Because this posed a great amount of work, it was carried out by two students. The starting point of designing was to create a clear demonstration of the car's steering axle geometry and wheel alignment. The focus in the manufacturing was on the ease of use and good cost/benefit ratio.

The basis for designing was a basic understanding of wheel angles and their changes during turning, and basic geometric calculation. The manufacturing relied on its role model, the McPherson strut, and handicraft skills.

Conducting the work was very challenging. When planning calculation and design were frequently under consideration. Small errors in designing became blatantly obvious in the manufacturing phase. Some of the errors were corrected but it is only practical experience that will reveal further development needs of the scale model.

### KEYWORDS:

wheel alignment, camber, caster, KPI, toe in and toe out angles, McPherson strut.

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
1.1 Työn tavoite ja tausta	6
1.2 Tilaaja	7
<b>2 PYÖRÄNTUENTA TEORIA</b>	<b>8</b>
2.1 Perusteoria	8
2.2 Ackermann-ehto	10
2.3 Kaartoharitus	11
2.4 Camber-kulma	12
2.6 Caster	14
2.7 KPI	15
2.8 McPherson-pyöräntuenta	16
<b>3 PIENOISMALLIN SUUNNITTELU JA VALMISTUS</b>	<b>18</b>
3.1 Pyörän napa & pyörä	19
3.2 Camber- ja caster-säätölevy	23
3.3 Ohjausmekanismi	25
3.4 Pöytälevy	29
3.5 Asteikot	30
<b>4 PIENOSMALLIN KÄYTTÖ</b>	<b>31</b>
4.1 Camber-kulma	31
4.2 Aoraus- ja harituskulma	32
4.3 Ohjaus	34
4.4 Ackermann-ehto & kaartoharitus	35
4.5 Pöytälevy	35
<b>5 YHTEENVETO</b>	<b>36</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>37</b>
<b>LIITTEET</b>	<b>1</b>

## LIITTEET

Liite 1. Räjätyskuvat ja komponenttiluettelo.

## KUVAT

Kuva 1. Akseliohjaus	9
Kuva 2. Ackermann-ehto (Gillespie 1992)	10
Kuva 3. Kaartoharitus (Gscheidle 2009)	11
Kuva 4. Camber-kulma (Gscheidle 2009)	12
Kuva 5. Auras- ja harituskulma (Gscheidle 2009)	13
Kuva 6. Caster-kulma (Gscheidle 2009)	14
Kuva 7. KPI-kulma (Gscheidle 2009)	15
Kuva 8. McPherson -tuenta (Autodata 2012)	17
Kuva 9. KPI-kulman laskenta	21
Kuva 10. Caster-kulman laskenta	24
Kuva 11. Ohjauksen toiminta	26
Kuva 12. Kääntövarren kulkema matka 90 asteen kääntyvydessä	29
Kuva 13. Camber säätölevy	32
Kuva 14. Pyöränkääntyvyys asteikko	33
Kuva 15. Ohjausmekanismi	35

## TAULUKOT

Taulukko 1. Mittasuhdetaulukko	19
--------------------------------	----

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tavoite ja tausta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä opetusmateriaalia Turun ammattikorkeakoulun auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelmalle. Työn tarkoitus oli selventää auton ohjausakseliston ympärillä olevaa geometriaa. Toisin sanoen työn tavoitteena oli luoda käytössä olevasta auton etuakselista pienoismalli, jolla voitaisiin havainnollistaa pyöränkulmien olemassa oloa sekä pienissä määrin kääntymisessä tapahtuvia kulmamuuutoksia.

Pienoismallin esikuvaksi valittiin käytännönläheisyys syistä McPherson–tuentaratkaisu, koska kyseinen tuenta on laajalti käytössä. McPherson-tuenta on käytännön läheisyydellä katsottuna yleisin pyöräntuentaratkaisu.

Opinnäytetyön laajuudesta johtuen työ suoritettiin kahden opiskelijan voimin. Toinen opinnäytetyöntekijä on Jussi Naatula, jonka opinnäytetyö on McPherson-pyöräntuennan pienoismalli 2012. Tässä osassa käsitellään pyöränkulmista ja ohjausgeometriasta camber-, auras- ja harituskulmia, kaartoharitusta ja Ackermann-ehtoa. Jussi Naatulan opinnäytetyössä käsitellään KPI-, caster-kulmat sekä kääntövierinsäde ja kääntökeskiö. Käytännön osuudessa käsitellään pienoismallin, ohjauksen ja pyörän navan suunnittelua ja valmistusta.

Opinnäytetyö jakautuu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa kuvaillaan perusteoriaa, jossa käsitellään auton etuakselilla olevia pyöränkulmia ja ohjaustapahtumia pintapuoleisesti, sekä varsinaisen pienoismallin esikuvana toimivan pyöräntuentaratkaisun olemassaoloa. Toisessa osassa kerrotaan suunnittelusta ja valmistamisprosessista. Tämä asia käsitellään hyvin yksityiskohtaisesti. Kolmannessa osassa kerrotaan varsinaisen välineen käytöstä sekä mainitaan huomioita edellä mainittujen kulmien ja ohjaustapahtumien osalta.

## 1.2 Tilaaja

Työn tilaajana toimi Turun ammattikorkeakoulun tekniikka, ympäristö ja talous-  
tulosalueen auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma. Turun ammattikorkea-  
koulu on noin 9500 opiskelijan ja 700 asiantuntijan monialainen koulutusyhteisö.  
Turun ammattikorkeakoulu tarjoaa työelämään ja yrittäjyyteen kehittävää  
koulutusta, tutkimus- ja kehitystyötä sekä organisaatioiden kokonaisvaltaista  
kehittämistä. Turun ammattikorkeakoulun toiminnan kolme päätehtävää ovat  
nuorisolle suunnattu korkeakoulutasoinen ammattiopetus, aikuiskoulutus- sekä  
tutkimus- ja kehitystoiminta. (Turun ammattikorkeakoulu 2012a.)

Vaikutusalueena Turun ammattikorkeakoululla on Varsinais-Suomi. Pääosa  
opiskelijoista tulee Varsinais-Suomesta, ja myös suurin osa valmistuneista  
työllistyy maakuntaan. Turun ammattikorkeakoululta valmistuu vuosittain noin  
1500 ammattilaista. Turun ammattikorkeakoulu kehittää maakuntaa tukevaa  
monialaista innovaatiopedagogiikkaa, jossa korostuvat tutkimus- ja  
kehitystoiminta, joustavat opetussuunnitelmat, yrittäjyys- ja palvelutoiminta sekä  
kansainvälisyys. (Turun ammattikorkeakoulu 2012b.)

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelman tavoitteena on perehdyttää  
opiskelijat auton rakenteeseen, toimintaan, käyttöön ja suunnitteluun sekä  
autokaluston kunnossapitotehtäviin. Koulutusohjelmassa on kolme  
suuntautumisvaihtoehtoa: autotekniikka, käyttöpainotteinen auto- ja  
kuljetustekniikka sekä kuljetustekniikka. Kaikessa opetuksessa pidetään sekä  
talous- että ympäristönäkökulmia vahvasti esillä. Auto- ja kuljetustekniikan  
koulutusohjelmasta valmistuu vuosittain noin 50 insinööriä auto- ja kuljetusalan  
asiantuntijatehtäviin. (Turun ammattikorkeakoulu 2012c.)

## 2 PYÖRÄNTUENTA TEORIA

### 2.1 Perusteoria

Ajoneuvon käyttötarkoituksena on kuljettaa jotain paikasta A paikkaan B. Koska kyseinen välimatka harvoin on täysin suora tai tasainen, on ajoneuvoon suunnitteluvaiheessa suunniteltava ohjausjärjestelmä. Ajoneuvon käyttöolosuhteet huomioon ottaen on ohjausgeometria sekä rakennevaatimukset otettava huomioon. Tässä työssä keskitytään ajoneuvon ohjausgeometriaan.

Ohjausgeometria käsittää suuren määrän asioita, joista osaa tässä työssä peruspiirteittäin käsitellään. Pyöräntuentegeometria sisältää muun muassa pyörän asentokulmat, jotka ovat camber, caster, auraus/haritus ja KPI. Ohjausgeometriasta löytyy kääntösäde, kääntökeskiö, kaartoharitus ja Ackermann-ehto. Jokainen edellä mainittu asia vaikuttaa toinen toisiinsa. Toisin sanoen yhden kulman muuttaminen vaikuttaa oleellisesti koko järjestelmän toimintaan.

Tässä työssä keskitytään camber-kulman, auraus- ja harituskulman, kaartoharituksen ja Ackermann-ehdon olemassaoloon. Tässä työssä pienemmälle huomille jäävät KPI, caster, kääntösäde ja kääntökeskiö, koska näitä käsitellään tarkemmin Jussi Naatulan opinnäytetyössä.

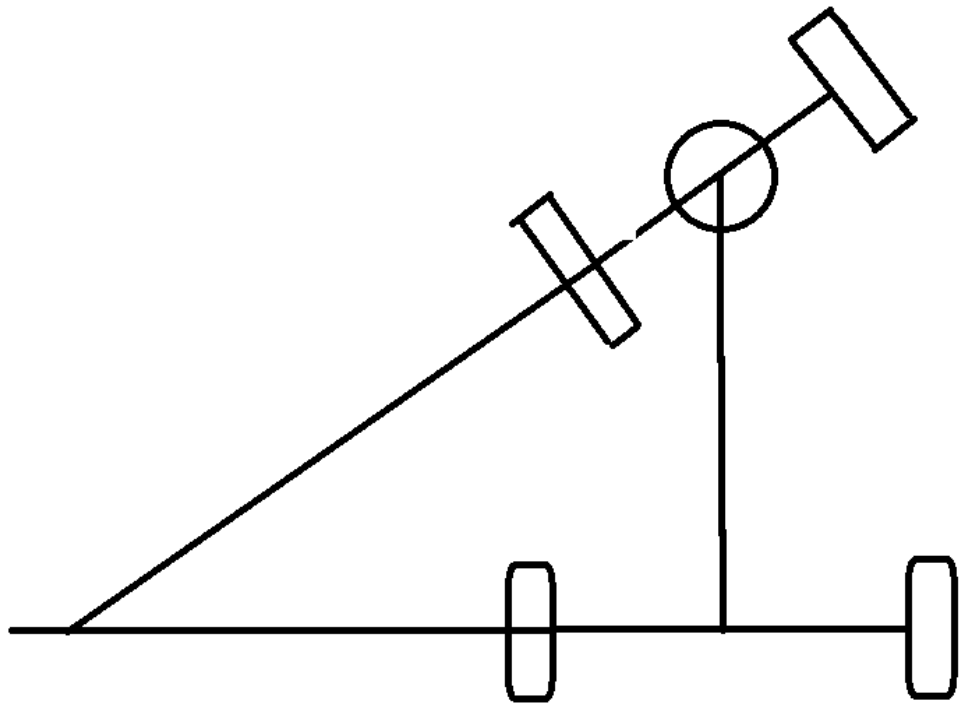
Ohjausvivuston suunnittelussa on huomioitavaa mahdollisimman täydellinen tarkan ohjausgeometrian noudattaminen. Tarkalla ohjausgeometrialla tarkoitetaan, että pyörän akseleiden jatkeiden on kaikilla kääntökulmilla leikattava toisensa pisteessä, joka sijaitsee taka-akselin jatkeella

Tämä toteutus onnistuu hyvin yksinkertaisella ohjausmekanismilla, ns. akselihjauksella (kuva 1), mutta kyseinen ohjausmekanismi ei sovellu nelipyöräisen auton ohjaukseen kovinkaan hyvin. Kyseisessä ohjauksessa koko



ohjaava-akseli kääntyy. Merkittävimmät haitat kyseisessä ohjausjärjestelmässä ovat:

- Kääntäminen vaatii paljon tilaa, jos akselilla on 2 pyörää.
- Koko akselin kääntäminen on raskasta.
- Suurilla kääntökulmilla ajoneuvo voi kaatua



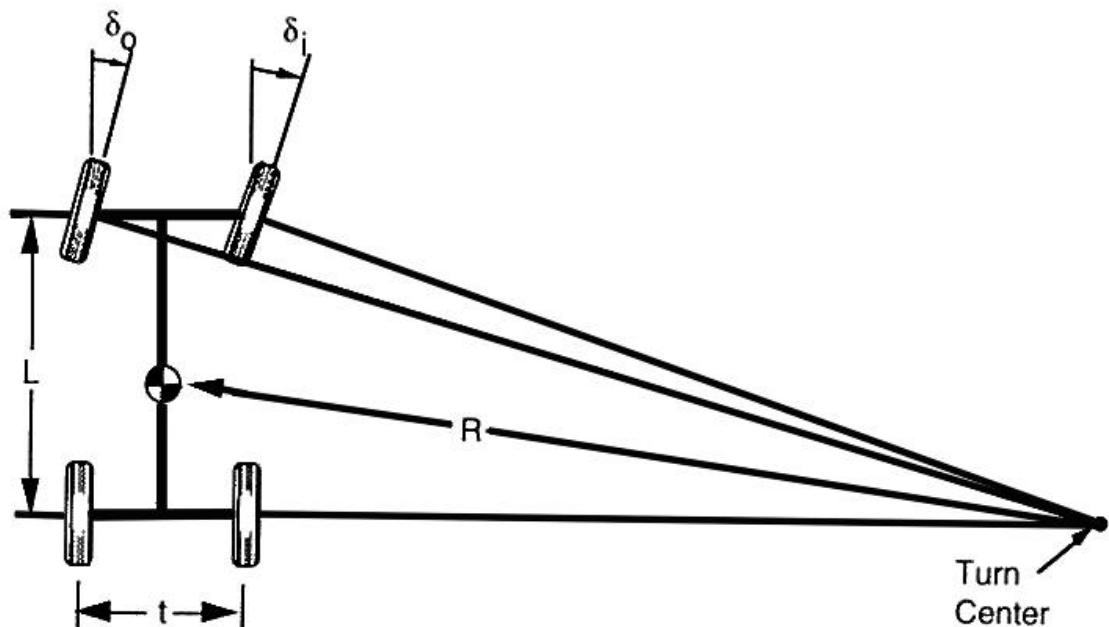
Kuva 1. Akseliohjaus

Kyseinen konstruktio on nelipyöräiseen ajoneuvoon hyvin vaikeasti toteutettava ratkaisu. (Laine 1979, 121.)

## 2.2 Ackermann-ehto

Ackermann-ehto (kuva 2) on teoreettisesti ihanteellinen ohjausgeometria, mutta käytännössä saavuttamattomissa yksinkertaisella ohjausmekanismilla. Ackermann-ehdon mukaisesti ohjaavista etupyöristä piirretyt suorat akselit kohtaavat samassa pisteessä taka-akselilta piirretyllä akselilla. (Laine 1979, 122.)

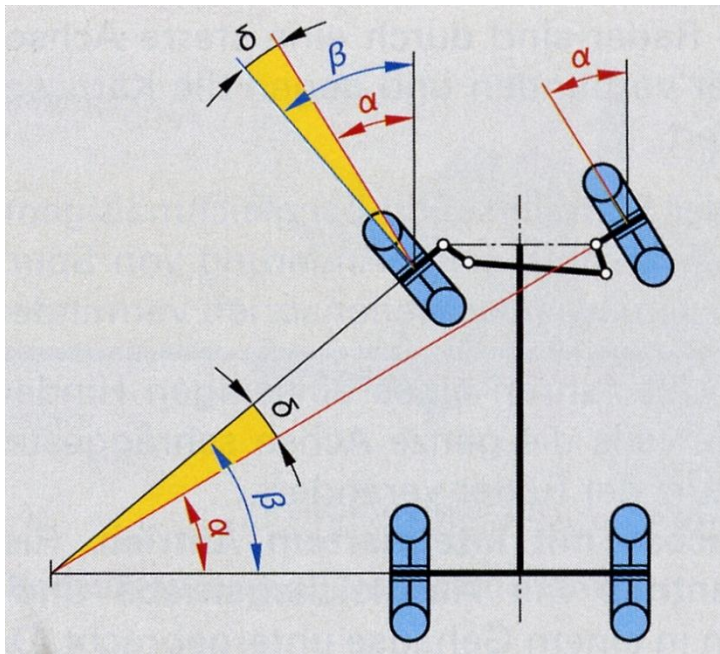
Ehdossa käännöksen sisempi pyörä kääntyy hieman ulompaa enemmän. Sisemmän ja ulomman pyörän kääntymiskulmien eroa kutsutaan nimellä kaartoharitus.



Kuva 2. Ackermann-ehto (Gillespie 1992).

### 2.3 Kaartoharitus

Kaartoharitus on käänöksessä sisemmän pyörän ylikääntymistä kuvaava kulma (kuva 3). Kaartoharitus on Ackermann-ehdon oleellisin asia. Jos kaartoharitusta ei olisi, ohjaus olisi ns. tasapyöräohjaus. Jos kaartoharitus tapahtuisi kaarteeseen ulommalla pyörällä, kyseessä olisi Ackermann-ehdon anti versio ns. anti-ackermann. Tasapyöräohjauksessa renkaat taistelevat kaartosäteen suuruudesta jolloin, kasvavat sivuttaisvoimat ja vierintävastus, sekä renkaan kuluminen lisääntyy. (Laine 1979, 109.)

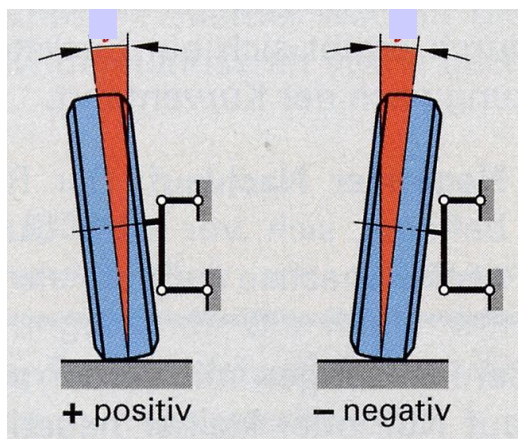


Kuva 3. Kaartoharitus (Gscheidle 2009).

## 2.4 Camber-kulma

Camber-kulmalla tarkoitetaan pyöränkallistumaa (kuva 4). Camber-kulma voi olla joko negatiivinen, positiivinen tai nolla. Camber-kulman alkuperäinen tarkoitus on ollut estää hevოსvankkureissa pyörän irtoaminen kiinnitysmutterin löystyessä. Nykyisin camber-kulmalla haetaan aivan erilaisia tavoitteita. Tavoitteina autokäytössä camberin valinnalla pyritään optimoimaan käyttötarkoitukseen sopivat renkaan tuottamat sivuvoimat ja siitä syntyvät edulliset ajo-ominaisuudet käyttötarkoitukseen kohdistuen. (Laine 1979, 102.)

Camber-kulma vaikuttaa myös kääntövierinsäteeseen. Pyörän kääntövierinsäteellä tarkoitetaan pyörän pystykallistuman ja kääntöakselin nollakohtien välistä mitta. (Laine 1979, 102.)



Kuva 4. Camber-kulma (Gscheidle 2009).

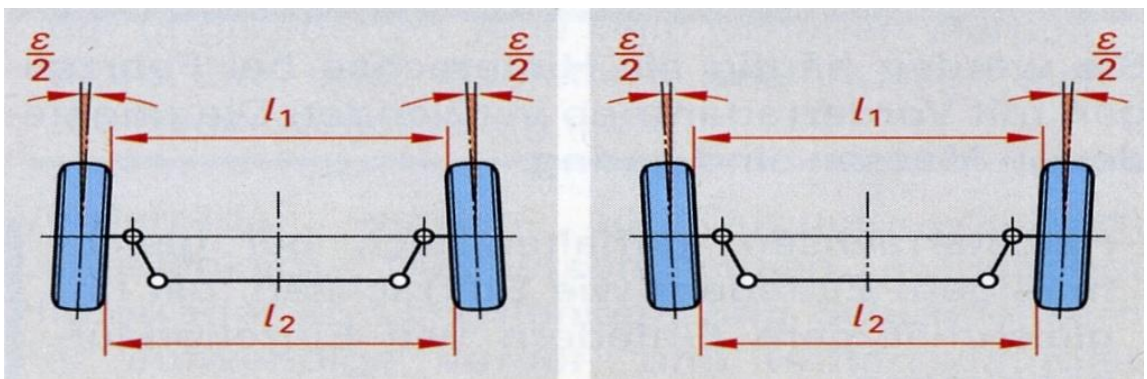
Esimerkkejä positiivisen camberin käyttötarkoituksista.

- Kaarevalla tiellä pyörä asetetaan kohtisuoraan tienpintaan nähden, jolloin rengaskuluma pienenee.
- Jousien kuoleentumisen aiheuttaman negatiivisen pyöränkallistuman kompensointi.
- Positiivinen camber lyhentää pyörän kääntövierinsädettä.

Negatiivisen camber-kulman suosiminen pienentää renkaan sortokulmia, mikä parantaa auton ohjautuvuusominaisuuksia. Liiallinen camber-kulma taas aiheuttaa renkaan toispuoleista kulumista. (Laine 1979, 102.)

## 2.5 Auraus ja haritus

Auraus- ja harituskulmalla (kuva 5) tarkoitetaan pyörien pitkittäisvinoutta auton pituusakseliin nähden. Pyörissä on aurausta silloin kun, akselin kulkusuuntaan nähden pyörien etureunojen välinen mitta on takareunoja lyhyempi ja haritusta on takareunojen mitan ollessa etureunojen mitta lyhyempi. Aurauksella tai harituksella saadaan aikaan ohjauksen palautuminen pienillä kulmilla ja samalla saadaan pienennettyä vierintävastuksen ja kääntövierinsäteen aiheuttamaa auraus- tai haritus-efektiä.



Kuva 5. Auraus- ja harituskulma (Gscheidle 2009).

### Esimerkkejä aurauksen käyttötarkoituksista

- Positiivisen camber-kulman aiheuttaman haritusvaikutuksen kompensointi. Tosin positiivinen camber ei aina vaikuta auraukseen tai haritukseen
- Suuntavakauden parantamiseksi suoraan ajettaessa.
- Vierintävastuksen haritusvaikutuksen kompensointi.

### Esimerkkejä harituksen käyttötarkoituksista.

- Vierintävastuksen aurauksivaikutuksen kompensointi.
- Suuntavakauden parantamiseksi suoraan ajettaessa.
- negatiivisen camberin aiheuttaman aurauksivaikutuksen kompensointi. (Laine 1979, 105.)



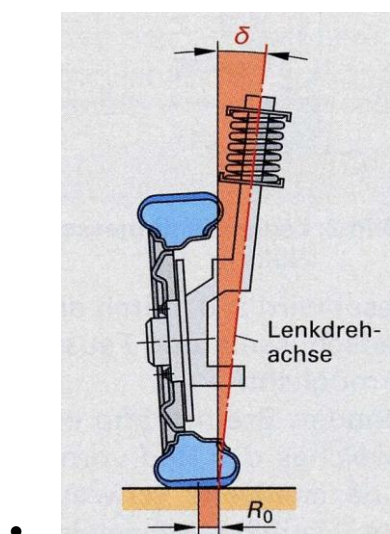
## 2.7 KPI

KPI-kulma (kuva 7) on kulma, jonka olkatappi tai pallonivelten kautta kulkeva suora eli pyörän kääntöakseli muodostaa auton pituussuuntauseen pystytasoon nähden. KPI on kääntöakselin sivukallistuma, Koska se on sivukallistuma se myös omaa eräitä hyviä pyörän sivukallistuman ominaisuuksia. KPI:n vaikutuksesta pyörän kääntövierinsäde lyhenee. KPI toimii ohjauksen palauttavan momentin luojana varsinkin keskisuurilla kääntökulmilla. KPI toimii casterin kanssa yhteistyössä. Kun ajoneuvo kaartuu, KPI pienentää ulomman pyörän kääntöakselin takakallistumaa eli casteria ja lisää sisemmän pyörän takakallistumaa. (Laine 1979, 113.)

KPI:n hyviä ominaisuuksia

- Lyhentää pyörän kääntövierinsädettä ja heikentää tiestä kohdistuvien iskujen vaikutuksia.
- Mahdollistaa pyörän pystyssä olemisen jolloin pyörän toispuoleinen kuluminen vähenee.
- palauttaa ohjauksen keskisuurilla kääntökulmilla.

Liian suuren KPI-kulman haittana on mahdollisuus vaikeuttaa ohjauksen palautumista suurilla kääntökulmilla johtuen takakallistuman pienentämisestä. (Laine 1979, 113.)



Kuva 7. KPI-kulma (Gscheidle 2009).

## 2.8 McPherson-pyöräntuenta

Pyöräntuennalla tarkoitetaan varsinaisia komponentteja, joilla pyörät tai akselistot kiinnittyvät auton koriin tai runkoon. Pyöräntuennan tehtävänä on tukea ja ohjata pyörien ja korin keskinäistä asentoa joustoliikkeissä, kiihdytys-, jarrutus- ja sivuttaisvoimia vastaan. Ohjausvaatimuksesta johtuen ohjautuvan ja ei ohjautuvan pyöräntuennassa on suuri ero. (Laine 1981, 220.)

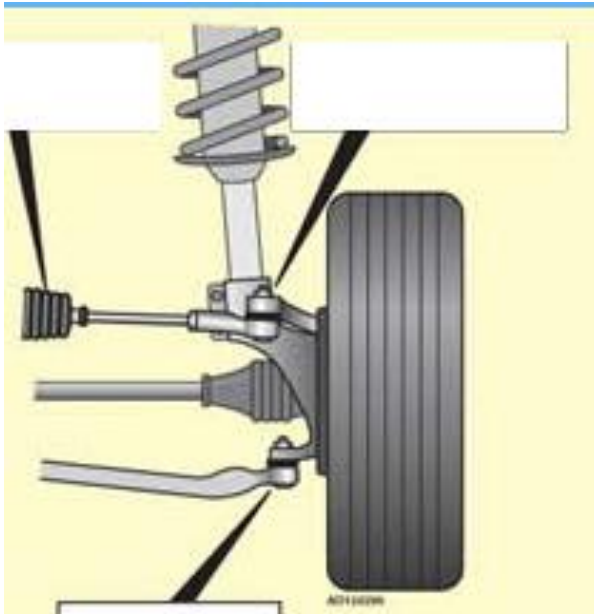
McPherson-pyöräntuennan kehitti Fordin ja myöhemmin General Motorsin palveluksessa toiminut Earl S. McPhearson (Laine 1981, 239). Varsinaisia osaluokkia löytyy yhteensä 3, jotka ovat joustintuki, pyörän napa ja alatukivarsisto. Joustintuki koostuu iskunvaimentimesta, jousesta sekä joustintuen yläpäädystä. Joustintuki on kiinnitetty yläpäädystään auton koriin ja alapäädystään pyörän napaan. Iskunvaimentimena on yleensä neste eli öljyvaimennin. Tosin on sanottava, että yhä useammin on havaittavissa iskunvaimentimien lisääntyvän kaasukäyttöisenä.

Jousi on yleensä kierrejousi. Mahdollisuus on myös hydropneumaattiseen jousi- ja iskunvaimenninratkaisuun, joka voidaan suunnitella toimimaan kuten halutaan. Ainut erityinen asia, joka on otettava huomioon jousen suunnittelussa on, kiertyminen. Jousi voi olla millainen kierrejousi tahansa kunhan, se sopii joustintukeen eikä rajoita kiertymistä.

Joustintuen yläpää on toiminnan kannalta erittäin kriittinen kohta. Yläpäähän on oltava tarpeeksi kestävä ottamaan vastaan auton joustoliikkeitä ja samalla kyettävä pitämään joustintuki kiinni autossa. Joustintuen yläpäähän keskellä on laakerointi jonka, toiminta on kriittinen pyöränkääntymisen kannalta. Laakeroinnin on toimittava virheettömästi ja, jos laakeri alkaa vioittua on kääntymisen raskaampaa. Tämän voi huomata rattituntumassa.

Alatukivarsisto on kiinnitetty sisäpäädystään auton runkoon ja ulkopäädystään pallonivelellä pyörän napaan. Alatukivarsiston tarkoituksena on sallia pieni ylös- ja alaspäin suuntautuva edestakainen liikehdintä. Pyörän napa on kiinnityspiste, joka kiinnittää pyörän ja jousijalan sekä alatukivarsiston yhtenäiseksi paketiksi.





Kuva 8. McPherson-tuenta (Autodata 2012).

### 3 PIENOISMALLIN SUUNNITTELU JA VALMISTUS

Työn tavoitteena oli suunnitella McPherson-pyöräntuentaan mukailema pienoismalli, jonka toimintaa kykenee säätämään hyvinkin runsaasti. Tässä opinnäytetyössä keskitytään ohjauksen ja pyörän navan suunnitteluun, toimintaan sekä käytännössä rakentamiseen.

Pienoismallin toiveina oli tilaajan puolesta, helppo käytettävyys, sopiva koko sekä mahdollisimman suuri aitous. Helpolla käytettävyydellä tarkoitettiin työkalujen tarpeen minimointia käytön aikana. Sopivalla koolla tarkoitettiin, että malli olisi helppo kantaa ja olisi suurin piirtein pulpetin levyinen. Mahdollisimman suurella aitoudella tarkoitettiin yhdenmukaisuutta käytössä olevien autojen etuakseliin.

Otimme toiveet huomioon ja valitsimme 1:3 mittasuhteen, joka on sopivin kyseiseen pienoismalliin. Tosin kaikki komponentit eivät tätä mittasuhdetta noudata, koska hinta/laatusuhde pyrittiin pitämään mahdollisimman korkeana ja kaikkien pyöränkulmien muutosmahdollisuuteen ei 1:3 mittasuhte ollut käytännöllinen.

Kun mittasuhte oli valittu, oli helppo laskea raideväli kyseiselle mallille. Normaalisissa henkilöautossa raideväli on noin 1500 mm, joten mittasuhdetta mukaillen mallin raideväli tuli olemaan 500 mm.

Alkuperäinen arvo/mittasuhte = Uusi arvo

$$1500 \text{ mm} / 3 = 500 \text{ mm}$$

Mittasimme Turun ammattikorkeakoulun Toyota Priuksen etuakselilta ohjeellisia mittoja tukivarsista, jousijaloista, olkavarsista ja pyörän navoista. Mitattuamme laskimme komponenttien mittasuhte-arvot. Arvoja pyöristettiin käytännöllisyyssyistä suuntaan tai toiseen.

Taulukko 1. Mittasuhdetaulukko

	Mittasuhte taulukko			
	Toyota	Tavoite suhde	Malli	Lopullinen suhde
Alatukivarsi	350 mm	1/3	200 mm	1,75
Pyörän napa	200 mm	1/3	70 mm	2,857142857
Jousijalka	550 mm	1/3	200 mm	2,75
Pyörä	610 mm	1/3	203,2 mm	3,001968504
Olkavarsi	150 mm	1/3	50 mm	3

Komponenttien mittojen pyöristykseen vaikutti pyöränkulmien säätöä varten jätetty pelivara. Esivalittujen arvojen ansiosta pystyimme laskemaan pyöränkulmien säätömahdollisuuden.

### 3.1 Pyörän napa & pyörä

Pyörän navan tavoitteena on pitää varsinainen pyörä sekä ohjausmekanismi yhteydessä runkoon. Pyörän navan suunnittelun lähtökohtana oli mahdollisimman halpa, käytännöllinen ja kestävä ratkaisu. Näihin haasteisiin löysimme ratkaisun Turun ammattikorkeakoulun metallin keräyksestä.

Ensimmäisenä pyörän navan suunnittelussa oli otettava huomioon pyörän navan koko. Navan oli oltava tarpeeksi jäykkä, jotta taipumisia tai murtumia ei tulisi käytön myötä liian helposti. Näitä lujuusopillisia asioita pohdin hetken, jonka jälkeen tulin tulokseen että, käytän vain omaa arviointikykyä enkä rupea laskemaan kyseisiä laskuja, koska käytännössä pienoismallin ei ole tarkoitus joutua suureen rasitukseen.

Pyörän navan koon määritti jousijalan mitta, alatukivarren pallonivelen kiinnitys, korkeus, pyöränkulmien muutokset ja materiaalin helppo käsiteltävyys. Koska yhtenä toiveena oli mahdollistaa 90 asteen kääntyvyys pyörälle, oli pyörän navan muotoiluun huomioitava kyseinen asia sekä pyörän offsettiin kiinnitettävä erityistä huomiota.

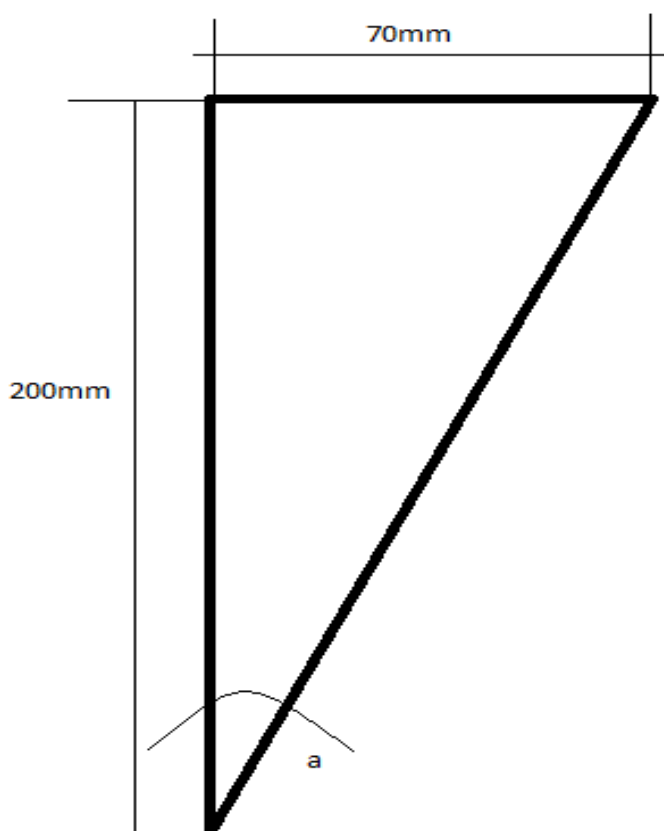
Ennen varsinaista mitoitusta oli laskettava pyöränkulmien muutoksista aiheutuvat poikkeamat nolla-asennosta. Pyörän napaan vaikuttavia kulmia ovat KPI, caster, camber ja Auras ja haritus. Kyseiset halutut kulmamuuotokset oli laskettava ennen pyörän navan mitoitusta.

Koska pienoismalli tulee opetusmateriaaliksi, oli pyöränkulmien oltava selkeästi näytettävissä. Tämä tarkoitti rajuja muutosmahdollisuuksia. Normaalissa henkilöautossa pyöränkulmat on esimäärätty ja niiden muuttaminen on mahdollista vain pienissä määrissä. Nämä muutokset ovat yleensä McPhearson-pyöräntuennassa mahdollisia vain auras- ja harituskulman muutoksen avulla.

Pyörän navan alapään kiinnitys määräytyi alapallonivelen maksimaalisella kulma muutoksella eli alapallonivelen rakenteellisella kulmamuuotossallivuudella. Tämä sallivuus myös pyrittiin saamaan KPI-kulman maksimaaliseksi muutokseksi.

Kyseinen muutos laskettiin mittatuloksista. Mittaukset suoritettiin alapallonivel kiinnitettynä ruuvipenkkiin ja alapalloniveleen kiinnitettiin jatkomutterin avulla 100mm kierretanko, jolloin nolla-kohdassa ollut nivel horjautettiin rakenteellisesti maksimaaliseen sallivuuteensa.

Koska tarkoituksena oli mitoitaa alapallonivelen maksimaalinen kulma, oli laskennallisesti helpoin käyttää perusgeometrisiä laskukaavoja. Piirsimme ja mittasimme paperille suorakulmaisen kolmion. Mittasimme kateettien mitat jolloin, saimme laskettua kyseisen kulman.



Kuva 9. KPI-kulman laskenta

$$\arctan \alpha = \frac{70}{200} = 19,2^\circ \quad \text{KPI-kulman maksimaalinen muutos}$$

Tämän kulman tiedettyäni kykenin suunnittelemaan pyörän navan alapään kiinnityksen leveyden. Navan alapään kiinnityksen tiedettyäni aloin suunnitella 90 asteen kääntyvyyttä sallivaa tilaa pyörän napaan. Ongelmaan oli onneksi helppo ratkaisu sillä, pienellä viisteellä, pyörän navan alareunaan, päästiin 90 asteen kääntyvyyteen.

Pyörän navan korkeudeksi suunniteltiin 70 mm, koska runko on tämän korkuinen ja pyörä haluttiin esteettisyyssyistä rungon keskikorkeudelle. Navan leveydeksi valittiin 50 mm, koska metallipala, josta navan tein, oli tämän levyinen. Yläpään ja alapään kiinnityskohtien leveydeksi tuli 20 mm. Navan ylä- ja alapäätä varten mitoitettiin reikien paikat, jotka merkattiin ennen poraamista. Ylä- ja alapäähän porattiin halkaisijaltaan 6 mm:n reiät joustintuen ja

alapallonivelen kiinnitystä varten. Navan keskelle tuli 8 mm halkaisijan omaava reikä, jonka läpi vietiin M8-pultti, pyörän kiinnitystä varten.

Pyörä kiinnitettiin pyörän napaan M8\*100 pultilla, jonka päähän tuli kupumutteri. Pyörän ja pyörän navan väliin tuli välikappale. Välikappaleeksi valittiin M10 mutteri, jolloin välikappaleen halkaisija on yli 8mm. Halkaisijalla ei ole niin suurta merkitystä, kunhan se on tarpeeksi iso pulttia varten. Välikappale luotiin 90 asteen kääntyvyyttä varten, koska pyörä olisi muuten ottanut kiinni kääntyessään alatukivarteen.

Itse pyörä valittiin Biltemasta. Valinnan kohteeksi osui 8” lasten potkulaudan pyörä. Kyseisen pyörän hyötysuhde oli erinomainen, koska se oli valmiiksi suunniteltu raskaaseen kuormitukseen ja täten sisälsi tarvittavan lujuuden ja loistavan laakeroinnin tarpeeseen nähden.

Pyörän navan toiselle sivulle luotiin kiinnityspinta olkavartta varten. Kiinnityspintaan oli porattava reikä, jotta läpivienti onnistuisi. Kyseisessä kiinnityspisteessä vieressä on selvimmin havaittavissa oleva suunnittelussa tehty virhe. Porattua reikää oli siirrettävä vähän ylemmäs, jotta kääntövarsi ei ota kiinni alatukivarteen.

Myös kiinnityspinnan alareunaa sekä pyörän navan alareunaa oli viistettävä, jotta 90 asteen kääntyvyys olisi mahdollinen. Viiste on noin 45 asteen kulmassa. Olkavarsi on M6-silmukkaruuvi, jonka kiinnitykseen on käytetty M6-mutteria sekä M6-siipimutteria.

Pyörän navan yläpää kiinnittyy camber/caster -säätölevyyn. Tämä kiinnitys suoritetaan M6\*40 pultilla joka puristetaan M6 nylock-mutterilla ensin kiinni pyörän napaan jonka jälkeen pulttia käytetään ”yläpallonivelenä”. Nylock-mutteri valittiin laakeriominaisuutensa takia yläpäähän. Mutteri sallii oman akselinsa kiertymisen ilman aukeamista. (liite 1 sivu 7-9)

### 3.2 Camber- ja caster-säätölevy

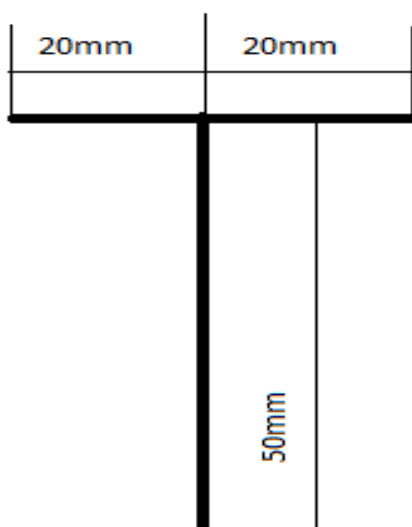
Kun suunnittelin säätölevyä, oli otettava huomioon pyörän offset. Kun camberia säädetään, antaa alapallonivel liikkumavaraa ja yläpää siirtyy sisäänpäin. Tästä syystä säätölevy ottaa kiinni vanteeseen jolloin siitä tulee rajoittava tekijä camber-kulman säädössä. caster-kulman säädössä alapallo olisi rajoittava tekijä, mutta pyörän offset rajoittaa levyn kokonaismittaa, jolloin siitä tulee caster-kulman rajoittava tekijä.

Säätölevyn mitoiksi valittiin 50mm pitkä ja 40mm leveä. Näillä mitoilla kyettiin optimoimaan caster-kulman esiintyminen ja mahdollistettiin hyvä camber-kulman näkyvyys.

Camber- ja caster-kulman säätölevy tehtiin käytännöllisyyssyistä samaan nippuun. Itse säätölevy on varsin yksinkertainen. Levy on 50 mm pitkä ja 40 mm leveä. Levyn toiseen päähän noin 8 mm reunasta porattiin säätöön tarkoitettu reikä.

Säätöreian koko mitoitettiin mahdollisimman suureksi, jotta säädettävissä olevat kulmat ovat mahdollisimman suuret. Tällöin materiaalin taipuminen on säätöreian rajoittava tekijä. Jätin säätölevyn molempiin päihin 5mm reunat sekä toiseen laitaan 5mm reunan.

Tämä säätöreikä mahdollistaa caster-kulman säädön, joka laskennallisesti on 21,8 astetta positiiviseen ja negatiiviseen suuntaan eli kokonaissäätövara on 43,6 astetta. Laskemisen suoritin soveltamalla paperilla suorakulmaisen kolmion laskentatapaa.



Kuva 10. Caster-kulman laskenta

$$\arctan \alpha = \frac{20}{50} = 0,4 \approx 21,8^\circ$$

Camber-kulman säätöön vaikuttaa edellä mainitusti pyörän offset, koska levy ottaa kiinni vanteeseen. Camberin laskenta suoritettiin samalla tavalla kuin casterikin. Ainut muutos oli pysty kateetin pituuden muutos, jota kasvatettiin 100mm määrää.

$$\arctan \alpha = \frac{20}{100} = 0,2 \approx \tan \alpha \approx 11,3^\circ$$

### Maksimaalinen negatiivinen camber-kulma

$$\arctan \alpha = \frac{10}{100} = 0,1 \approx \tan \alpha \approx 5,7^\circ$$

### Maksimaalinen Positiivinen camber-kulma

Reikä on 6 mm leveä ja 40mm pitkä. Levyn toiselle laidalle porattiin jousijalkaa varten oma reikänsä. Jousijalka on M6-kierretankoa ja on kiinnitetty säätölevyyn kahdella M6-mutterilla. Säätötappi eli ”yläpallonivel” on siipimutterilla vapautettavissa oleva pultti. (liite 1 sivu 6)



Säätölevyn kääntäminen, jolla camber-kulmaa säädetään, aiheuttaa kiinteän caster-kulman säädöksen. Kun säätölevyä käännetään, poikkeaa pyörännapa nollakohdastaan 145mm, jolloin casterin kulmamuutos on 16,17°.

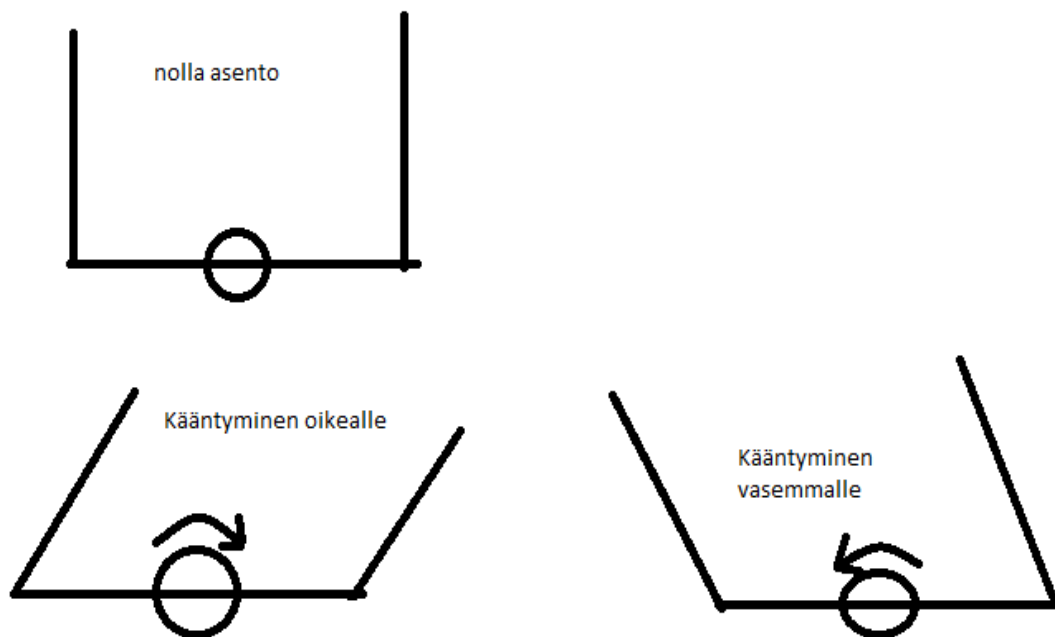
### 3.3 Ohjausmekanismi

Ohjausmekanismin suunnittelun lähtökohtana oli suunnitella toimiva ohjausjärjestelmä, jonka avulla voidaan demonstroida ohjaavan akselin toimintaa. Mekanismin mitoitus vaikuttivat olennaisesti auras- ja harituskulmat. Auras- ja harituskulmien demonstroitua pyrittiin maksimoimaan. Kääntövarren ja rattiakselin välinen matka, jolloin pyörä on suorassa runkoon nähden, on niin sanottu nollakohta.

Ohjauksen suunnittelussa oli ensin ymmärrettävä perusasiat, eli miten ohjaus toimii. Ohjaus on yksikertainen geometrinen toiminta, joka muutetaan mekaaniseksi työksi. Jos ohjausta ajatellaan mahdollisimman yksinkertaisesti, on kuvaus ylhäältäpäin helpoin tapa käsitellä asiaa.

Pyörän navat on kiinnitetty Z-akseliin (kuvassa 11. Y-akseliin), jonka ympäri ne pyörivät. Tämän pyörimisen sallii ylä- ja alapään kiinnityksien laakerointi tai nivelöinti, riippuu pitkälti pyöräntuentaratkaisusta. Ohjauksen ideana on pyöräyttää pyörän napoja kääntövarren välityksellä tietty matka jolloin haluttu kääntyvyys saavutetaan. Tämä onnistuu raidetangon edestakaisella liikkeellä. Edestakainen liike kierrättää kääntövarra ympyränkehää pitkin.

Raidetankojen edestakainen liike toteutetaan muuttamalla ratin pyörittämiseen tarkoitettu liike edestakaiseksi liikkeeksi. Tämän toteuttamiseen on autoteollisuudessa useita ratkaisuja. Tässä työssä päädyttiin mahdollisimman yksinkertaiseen ratkaisuun.



Kuva 11. Ohjauksen toiminta

Tämän tiedostettua pyrin helppokäyttöisyyden nimissä keksimään mahdollisimman nopean, varmatoimisen, säätövaraltaan hyvän sekä minimoimaan ratkaisusta aiheutuvat kulut. Tovin pohdinnan jälkeen päädyn rattiakselin päähän kiinnitettävään kääntölevyyn ja raidetangoissa venekäytössä olevaan vanttiruuviin ja silmukkaruuviiveihin.

Vanttiruuvi antaa mahdollisuuden säätää raidetankoa käyttämättä työkaluja ja säätövaraa on erittäin hyvin. Myös vanttiruuvin hinta/hyötysuhde on tähän malliin optimaalinen. Vanttiruuvi on säätömekanismin oleellinen osa. Vanttiruuvin sisältämä säätövara oli ratkaiseva tekijä raidetangon kokonaismitassa, koska auras- ja harituskulmien nollakohta mitoitettiin vanttiruuvin keskelle, jolloin mahdollinen säätö olisi tasapuolinen molemmille kulmille.

Rattiakselin kiinnityspisteen valintaan oli huomioitava helppo kiinnitettävyys, koska jokaisen ylimääräisen lisäkkeen kiinnittäminen malliin olisi aiheuttanut vain esteettistä ja käytönaikaista haittaa. Tästä syystä akseli kiinnitettiin runkopalaan.

Kiinnityspiste luotiin M6-silmukkaruuvilla, joka kiinnitettiin runkoon M6-mutterilla ja M6-siipimutterilla. Rattiakseli vietiin silmukkaruuvien läpi ja kiinnitettiin puristustyyppisesti silmukkaan kiinni. Kiinnityksessä käytettiin 2\*M6-mutteria sekä kahta priikkaa. Lisäksi silmukan sisään tehtiin välyksen poistava kumi, autonrenkaan venttiilin istukasta.

Akselinpäähän kiinnitettiin kääntölevy. Kääntölevy kiinnitettiin rattiakseliin kahdella M6-mutterilla. Kääntölevyn pituus mitoitettiin nelipyöräohjaus demonstraation mahdollistamisen sekä silmukkaruuvien pituuden mukaan.

Nämä asiat huomioiden kääntölevy on 50 mm pitkä ja 25 mm leveä. Kääntölevyyn on porattu kaksi 6 mm halkaisijan omaavaa reikää. Sisäreikä kiinnittää kääntölevyn rattiakseliin ja ulkopää kiinnittää levyn raidetankoihin.

Raidetankojen suunnittelussa oli erityisesti huomioitava kiinnityspisteiden vapaaliike sekä varsinainen kääntyvyysmitta. Kiinnityspisteiden vapaaliikkeellä tarkoitetaan, niiden pyörimistä oman akselinsa ympäri. Jos tätä ei tapahtuisi, olisi kääntyminen mahdotonta.

Raidetangon sisäpään kiinnitys toteutettiin silmukkaruuveilla, jotka kiinnitettiin kääntölevyyn puristus tyyppisesti. Sisäpään kiinnitys tehtiin M6-kierretangosta ja kahdella prikalla sekä kahdella M6-mutterilla. Silmukoiden sisään tehtiin välyksen poistamiseen tarkoitetut kumit autonrenkaan venttiilin istukasta.

Raidetangon sisäpään kiinnitystapoja on kaksi. Ensimmäinen tapa on niin sanottu rajoitettu ohjaus, jossa sisäpää kiinnitetään kääntölevyn molemmiin puolin eli toinen alle ja toinen päälle. Tässä tapauksessa rattiakseli rajoittaa kääntymisen.

Rajoittamattomassa ohjauksessa, raidetankojen sisäpään kiinnitys toteutetaan kääntölevyn alapuolelle eli sisäpää puristetaan keskenään yhteen jolloin mikään ei rajoita kääntymistä. Tällä toteutuksella voidaan osoittaa esim. nelipyöräohjauksen perusidea, koska ratti kykenee kääntymään oman akselinsa ympäri.

Raidetangot jatkuvat M6-silmukkaruuveista jatkomutteripaloihin jotka yhdistävät M6-kierretangon ja silmukkaruuvin yhteen. Tämä yhdistäminen toteutettiin, koska silmukkaruuvi ei ollut yksinään tarpeeksi pitkä toteuttamaan auras- ja haritussäätömahdollisuutta tasapuolisesti. Jatkomutterina toimi M6-jatkomutteri.

Jatkomutterin toisessa päässä majailee M6-kierretanko. Kierretanko on kiinnitetty vanttiruuviin, joka toimii aurauksen ja harituksen säätöruuvina. Vanttiruuvin toisessa päässä on vanttiruuvin mukana tullut haarukkanivel.

Haarukkanivel on kiinnitetty olkavarteen, joka on tehty M6-silmukkaruuvista. Kiinnitykseen käytin vanttiruuvin mukana tullutta sokkatappi -yhdistelmää, jonka ympärille tein välyksen poistavan kumin edellä mainituista materiaalista. Silmukkaruuvi on kääntövarsi, joka kiinnittyy pyörän napaan tehden niistä yhtenäisen toimivan järjestelmän. Silmukkaruuvi kiinnitetään pyörän napaan yhdellä M6-siipimutterilla sekä yhdellä normaalilla M6-mutterilla.

Auras- ja harituskulmien suunnittelun rajoittavana tekijänä oli vanttiruuvin sisäinen säätövara, koska kulmien nollakohta on säätövaran keskellä. Vanttiruuvin säätövara on 37,5 mm suuntaansa. Tämä tiedostettuna voidaan laskea maksimaalisia kulmia auras- ja harituskulmien säätöön.

Kulmien laskentaan käytin ympyräliikkeestä johtuen ympyränsektorilaskuja. Ympyränsektorin kaaren pituus  $b$  voidaan laskea kaavalla,

$$b = \frac{\alpha \pi r}{180^\circ}$$

jossa  $\alpha$  on kulma ja  $r$  on ympyrän säde. Tätä kaavaa hyödyntäen voidaan laskea  $\alpha$ -kulma, joka on pyörän kääntymisen maksimaalinen kulma.

$$\alpha = \frac{b * 180^\circ}{\pi r}$$

Koska auras- ja harituskulmien muutos tapahtuu samalla tavalla kuin kääntyminen, käytin samoja kaavoja molempien laskentaan. Kääntyvyyslaskelmissa olen käyttänyt auras- ja harituskulmien nollakohtaa.

$$\alpha = \frac{37,5 \text{ mm} * 180^\circ}{\pi * 75 \text{ mm}} = 28,6^\circ$$

Auraus- ja harituskulmien maksimaalinen muutos

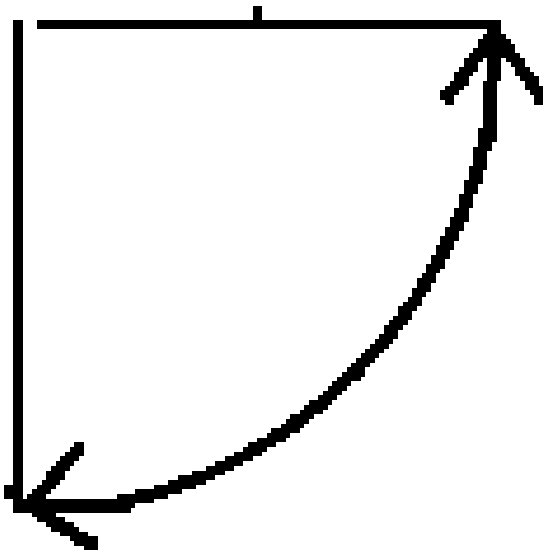
Kaarenpituus  $b$  on kääntölevynmitta maksimissaan 50 mm, mutta rajoitetussa ohjauksessa  $b$  lyhenee raidetangon säteen verran, jolloin mitta on 47 mm. Säde pyörän navan nivelöinnistä olkavarteen on 75 mm.

$$\alpha = \frac{50 \text{ mm} * 180^\circ}{\pi * 75 \text{ mm}} = 38,1^\circ$$

Rajoittamattomassa ohjauksessa oleva kääntymiseen mahdollistettu kääntymiskulma.

$$\alpha = \frac{47 \text{ mm} * 180^\circ}{\pi * 75 \text{ mm}} = 35,9^\circ$$

Rajoitetussa ohjauksessa toteutuva maksimaalinen kääntymiskulma.



Kuva 12. Kääntövarren kulkema matka 90 asteen kääntyvydessä

### 3.4 Pöytälevy

Pöytälevyn tarkoituksena on tukea pienoismallia sekä osoittaa pyörien kääntökulmat. Pöytälevyyn on asennettu auraus- ja harituskulmien osoittamista varten kaksi asteikkoa, jotka kattavat 180 asteen kääntyvyden. (liite 1 sivu 1-5)

Pöytälevyksi valittiin varsinaista pöytälevyä, helpon työstettävyyden ja helpon saatavuuden ansiosta. Levyn palanen löydettiin autolaboratorion rengashuoneen nurkasta. Pöytälevyn kokonaismitaksi valittiin 700 mm ja leveydeksi tuli 250mm. Levyn keskiakselille porattiin kaksi 8mm reikää jotka luotiin pienoismallin kiinnitystä varten.

Levyä muotoiltiin viistämällä siitä molempien kylkien keskikohdasta pois 250mm leveä ja 100mm korkeimmillaan oleva pala pois helpottamaan kantamisen aikana aiheutuvan heilumisliikkeen ansiosta muodostuvaan mahdollista kosketusta reiden kanssa.

Levyn molempiin päihin pyörien alapuolelle tuli auras- ja harituskulmien näyttämistä sekä mitoittamista helpottavat asteikot. Asteikot mitoitettiin 180 asteen kääntyvyydelle. Molemmilla puolilla on oma asteikkonsa.

### 3.5 Asteikot

Pienoismallin käyttöä varten suunniteltiin siihen kiinnitettävät asteikot, jotka noudattavat mahdollisimman tarkasti opetustarkoituksessa tehtäviä kulmamuutoksia. Laskennallisia arvoja käytettiin asteikkojen mitoituksen pohjana. Varsinaisia asteikkoja tuli yhteensä kuusi kappaletta. Kaksi osoittaa KPI-kulmien muutoksen toiset kaksi osoittavat camber- ja caster-kulman muutokset ja kolmantena osoitetaan pyörän kääntyvyys. Asteikot suunniteltiin tietokoneella ja ne tulostettiin koulun omalla tarratulostimella. Ennen tulostamista tulostin oli asennettava ja tähän kului päivä aikaa.

## 4 PIENOSMALLIN KÄYTTÖ

Pienoismalli suunniteltiin opetuskäyttöön Turun ammattikorkeakoululle. Pienoismallin tarkoituksena on demonstroida staattisesti auton ohjautuvalla akselilla tapahtuvia pyöräkulman muutoksia. Tässä työssä keskitytään selostamaan camber-kulman, auraus- ja harituskulman, kaartoharituksen ja ackermann-ehdon osalta pienoismallin toimintaa.

### 4.1 Camber-kulma

Camber-kulman säätö on pienoismallissa mahdollinen suorittaa kahdella tapaa. Tapa, joka on varsinaisesti suunniteltu ja laskettu, on kiinnitetty navan yläpuolella olevaan säätölevyyn. Toinen tapa on siirtää alapalloniveltä edestakaisin alatukivarressa.

Tämä alatukivarressa oleva säätömahdollisuus on luotu vain camber-kulman demonstraatioon, koska kyseinen siirtely aiheuttaa voimakasta taipumista ylätukivarsissa sekä jousijalassa. Alapallonivelestä suoritettavaa säätö ei ole edellä mainituista syistä mitoitettu taikka laskettu.

Camber-kulman varsinaiseen suunniteltuun säätöön tarkoitettussa säätölevyssä on asteikko, jonka mukaan säätäminen saadaan tarkastettua. Säätäminen tapahtuu hyvin yksinkertaisesti. Huomioon otettava asia säätölevyn käännöksessä on caster-kulman muutos, joka on  $16,17^{\circ}$ .

Ensimmäisenä askeleena on löystytettävä hieman jousijalan ylempää siipimutteria, joka täten mahdollistaa säätölevyn kääntämisen. Käännöksen jälkeen on kierrettävä jousijalan siipimutteri uudelleen kiinni, jolloin säätölevy lukittuu camberin säätöön tarkoitettuun asentoon. Seuraavaksi on avattava pyörän navan yläpään ja säätölevyn puristukseen tarkoitettu siipimutteri. Siipimutterin avaamisen jälkeen on mahdollista säätää camber-kulmaa joko negatiiviseen tai positiiviseen asentoon.



Kuva 13. Camber-säätölevy

Maksimaalisten kulmien muutokset ovat laskennallisesti  $5,7^\circ$  negatiiviseen suuntaan ja Positiiviseen suuntaan  $11,3^\circ$ . Negatiiviseen kulman muutoksen rajoittaa pyörä.

#### 4.2 Aoraus- ja harituskulma

Aoraus- ja harituskulmien säätöön on vain yksi tapa. Tämä tapa on vanttiruuvien ansiota. Yksinkertaisimmillaan vanttiruuvia joko kierretään auki tai kierretään kiinni, jolloin raidetangon mitta lyhenee tai pidentyy. Tämä muutos aiheuttaa kääntövarren siirtymisen ympyräkehäänsä pitkin jolloin pyörien aoraus- ja harituskulmat tulevat esille. Maksimaalinen aorauskulma on  $28,6^\circ$  ja maksimaalinen harituskulma on  $28,6^\circ$ .



Huomioitavia asioita on säätöä suoritettaessa kolme. Vanttiruuvia ei saa kiertää liian auki koska, kierretangot voivat tipahtaa ulos vanttiruuvista. Asian helpottamiseksi merkkasin punaisella tussilla varoitukset kierretankoihin.

Toinen huomioitava asia on jatkomuttereiden mahdollinen löystyminen, tämä voi aiheuttaa raidetankojen katkeamisen. Kolmas huomioitava asia on painonsiirtymä. Kun aurauksen tai harituksen maksimaalista kulmaa ollaan demonstroimassa, paino siirtyy huomattavasti kulman vaatimalle puolelle. Vaikka pienoismalli on tukevasti tuettu, on silti vältettävä ylimääräistä tökkimistä, koska malli voi kaatua.



Kuva 14. Pyöränkääntyvyys asteikko

### 4.3 Ohjaus

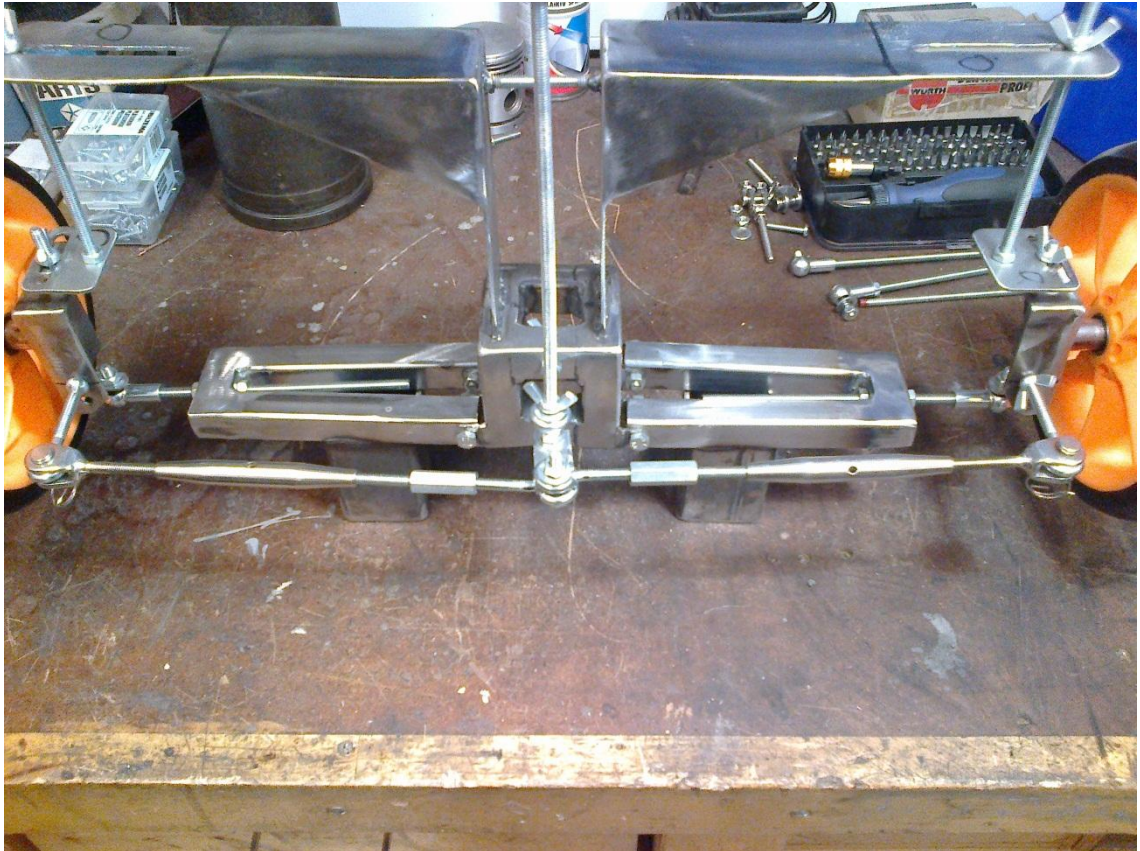
Ohjausmekanismi on suunniteltu toimimaan kahdella tavalla. Rajoitetulla ohjauksella ja rajoittamattomalla ohjauksella. Rajoitetulla ohjauksella on mahdollista näyttää tyypillisesti toimiva ohjausjärjestelmä. Rajoittamattoman ohjauksen ideana on mahdollistaa nelipyöräohjauksen demonstraatio.

Rajoitetunohjauksen tapauksessa raidetanko rajoittaa ”ylikääntämisen”. Raidetanko ottaa kiinni rattiakseliin jolloin kääntymien estyy. Rajoitettu ohjaus toteutetaan kiinnittämällä kääntölevyn molemmin puolin raidetangon sisäpää. Kiinnityksessä on huomioitava pieni löysyyden tarve, sillä muuten liikettä ei tapahdu.

Rajoittamattomassa ohjauksessa raidetangon sisäpää kiinnitetään kääntölevyn alapuolelle ja kiinnityspisteeksi valitaan tarpeeksi alhainen piste, jotta rattiakselin alapuoleinen kiinnityspultti ei ota kiinni raidetankoihin. Tällöin ohjaus on rajoittamaton.

Kun ohjaus on rajoittamaton, voidaan rattia kiertää haluttu määrä. Tällöin pyörien tarkkailu tuottaa hyvän tuloksen. Nelipyöräohjauksen perusideana on sallia sen akselin, joka pääasiallisesti ei ohjaa lievää kääntymistä tietyissä tilanteissa.

Kun rattia käännetään, kääntyvät ”taka-akselin” pyörät ensiksi vähän samaan suuntaan kuin etupyörät. Kun rattia käännetään enemmän, pyörät ensin suoristuvat ja sen jälkeen alkavat kääntyä vastakkaiseen suuntaan. Kyseisen toiminnon demonstraatioissa on oleellista näyttää tarkoin, miten pyörät kääntyvät kun, rattia käännetään vain toiseen suuntaan.



Kuva 15. Ohjausmekanismi

#### 4.4 Ackermann-ehto & kaartoharitus

Ackermann-ehdon ja kaartoharituksen näyttäminen on mahdollista pienen harituskulman avulla. Harituskulman ei tarvitse olla mahdottoman suuri jotta, olisi mahdollista näyttää ehdon määräämä tarve.

#### 4.5 Pöytälevy

Pöytälevyn tarkoituksena on tukea pienoismallia sekä osoittaa pyörien kääntökulmat. Pöytälevyyn on asennettu auras ja harituskulmien osoittamista varten kaksi asteikkoa molemmin puolin, jotka kattavat 180 asteen kääntyvyyden.

## 5 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli luoda opetusmateriaalia Turun ammattikorkeakoulun Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelmalle. Opetusmateriaalilla tarkoitetaan pienoismallia olemassa olevasta autokäytössä toimivasta etuakseliratkaisusta.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin auton pyöränkulmien teoriaan, ja se on pohjana pienoismallin suunnittelemiselle ja rakentamiselle. Teoriaosassa selostetaan perusteet pyöränkulmista ja niiden toiminnasta. Suunniteltaessa on selvitetty laskennallisesti pyöränkulmien maksimaaliset muutokset ja laskettu maksimaaliset säätövarat.

Pienoismallin oli oltava kykenevä näyttämään pyöränkulmien toiminta ja muutokset staattisessa muodossa. Pyöränkulmien ja ohjauksen oli oltava mahdollisimman realistinen. Jotta kyseinen asia onnistuu, oli pienoismalli mitoitettava järkevään mittasuhteeseen todelliseen autoon nähden.

Pienoismallin suunnittelussa pyrittiin huomioimaan jokainen asia mahdollisimman tarkasti. Pienoismallin valmistamisessa suunnittelun virheet korjattiin nopeilla ja mahdollisimman käytännöllisillä ratkaisuilla. Pienoismalli on rakennettu alusta alkaen käsin.

## LÄHTEET

Gillespie, T. 1992. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale, PA, USA  
SAE international

Gscheidle R. 2009. Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik. Haan, Germany: Verlag  
Europa-Lehrmittel

Laine O. 1979. Autotekniikka 1. osa: ajo-ominaisuudet, 3, Tampere: OY Sonator  
AB

Laine O. 1982. Autotekniikka 2.osa, 3., Tampere: OY Sonator AB

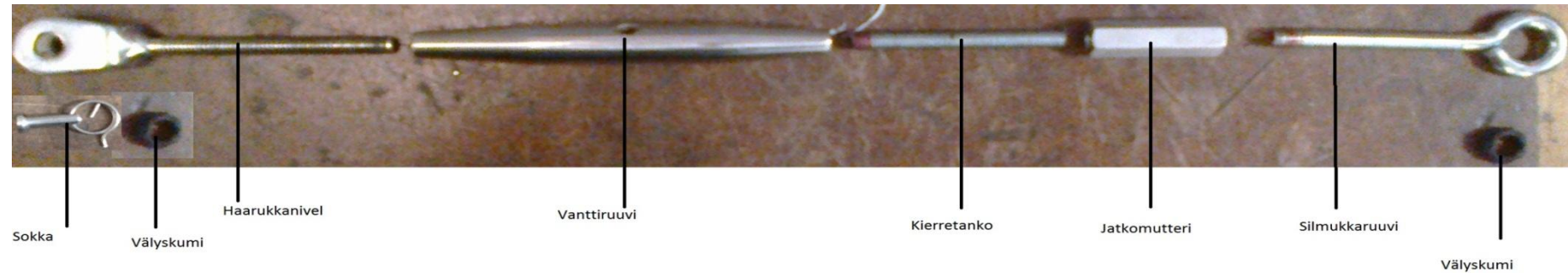
Turun ammattikorkeakoulu 2012a. Tekniikka, ympäristö ja talous -tulosalueen  
esite.

Turun ammattikorkeakoulu 2012b. Turun ammattikorkeakoulun esittely. Viitattu  
22.3.2012 [www.turkuamk.fi](http://www.turkuamk.fi) > esittely

Turun ammattikorkeakoulu 2012c. Auto- ja kuljetustekniikan esite

## LIITTEET

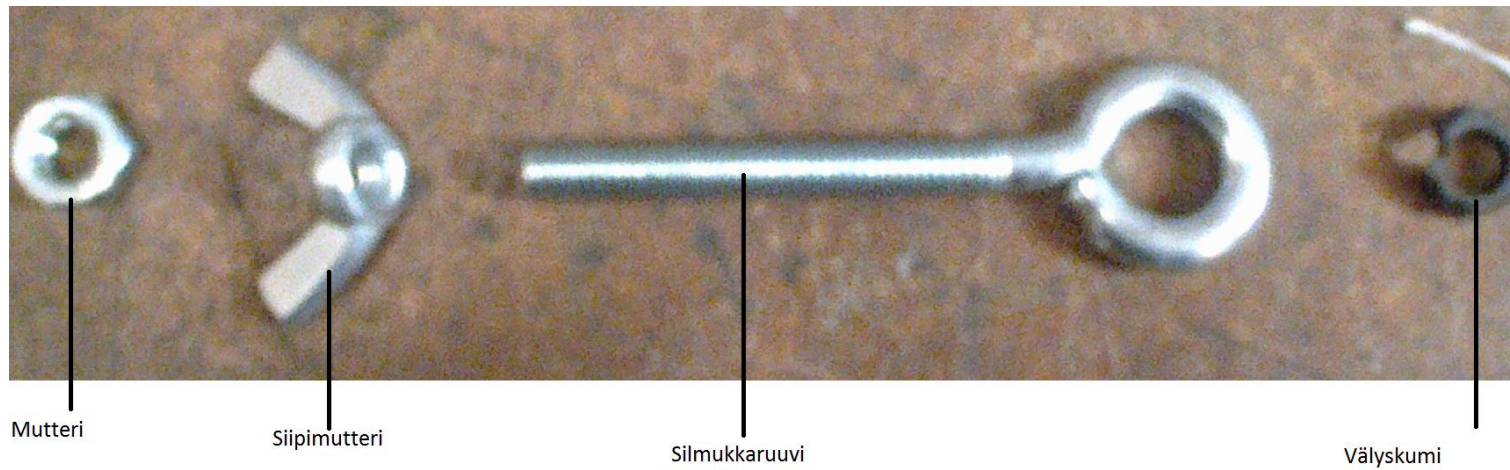
LIITE 1, räjäytyskuvat, osaluettelot ja osapiirustukset



Kuva 16. Raidetangon räjäytyskuva

Raidetangot*2				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (biltema)	Käyttötarkoitus
Silmukkaruuvi	M6	2	86256	Raidetangon sisäpää
Jatkomutteri	M6	2	19515	Silmukkaruuvien ja kierretangon yhdistys
Kierretanko	M6*	2	19386	Välipala
Vanttiruuvi	M6	2	25335	Säätötanko
Haarukkanivel	-	2	25335	Raidetangon ulkopää
Sokka	-	2	25335	Raidetangon ulommanpään kiinnitys
Välyskumi	-	4	-	Välyksen poisto

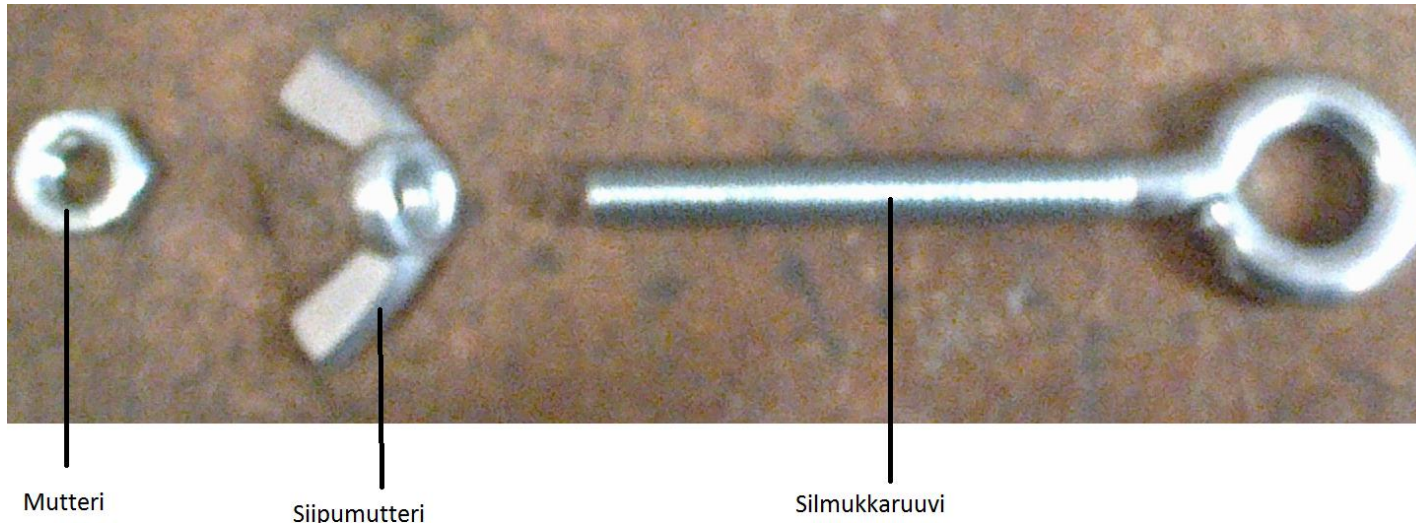
Taulukko 2. Raidetangon komponenttiluettelo



Kuva 17. Rungon kiinnityksen räjäytyskuva

Kiinnitys runkoon				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (biltema)	Käyttötarkoitus
Silmukkaruuvi	M6	1	86256	Varsinainen kiinnityspiste
Mutteri	M6	1	870097	Kiinnitys
Välyskumi	-	1	-	Välyksen poisto
Siipimutteri	M6	1	87386	Kiinnitys

Taulukko 3. Rungon kiinnityksen komponenttiluettelo

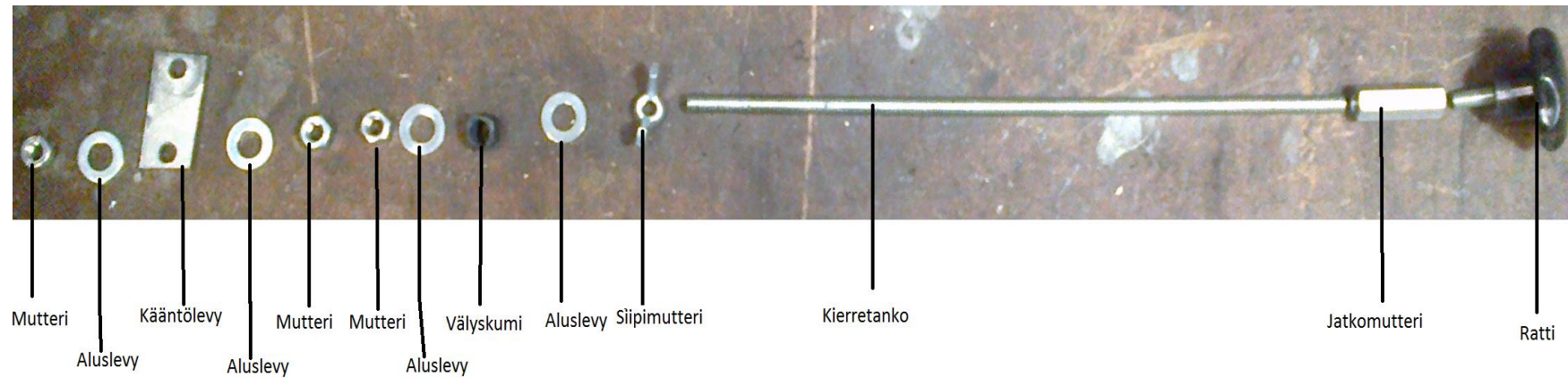


Kuva 18. Kääntövarren räjäytyskuva

Kääntövarsi				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (biltema)	Käyttötarkoitus
Silmukkaruuvi	M6	1	86256	Varsinainen kiinnityspiste
Mutteri	M6	1	870097	Kiinnitys
Siipimutteri	M6	1	87386	Kiinnitys

Taulukko 4. Kääntövarren komponenttiluettelo

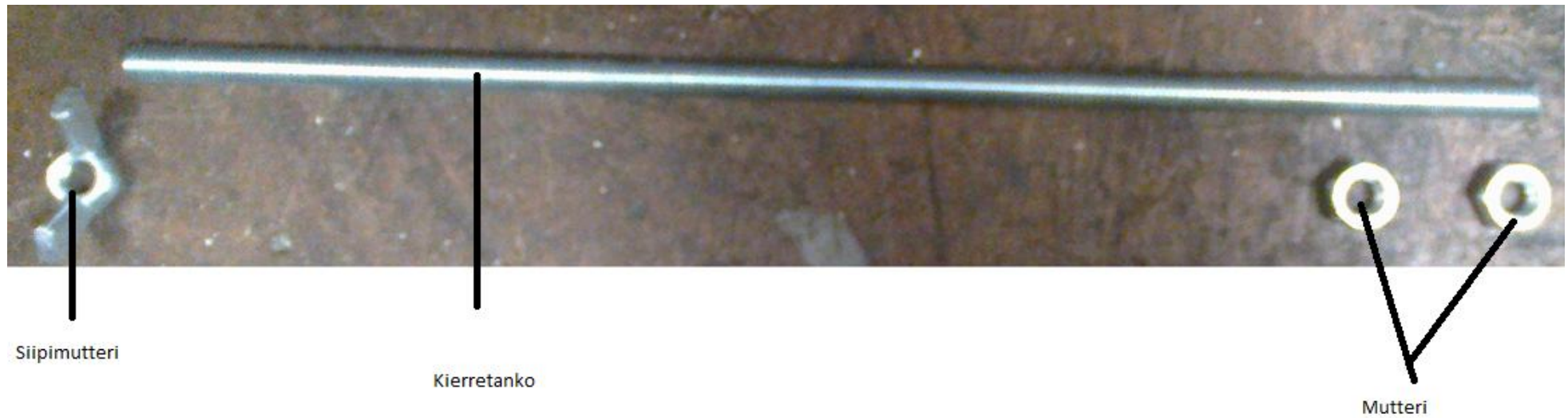




Kuva 19. Rattiakselin räjäytyskuva

Rattiakseli				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (biltema)	Käyttötarkoitus
Ratti	-	1	-	Ratti
Jatkomutteri	M6	1	19515	Ratin ja kierretangon yhdistys
Kierretanko	M6*	1	19386	Rattiakseli
Mutteri	M6	4	870097	Kiinnitys
Siipimutteri	M6	1	87386	Kiinnitys
Aluslevy		4		Suoja
Vällyskumi		1		Vällyksen poisto

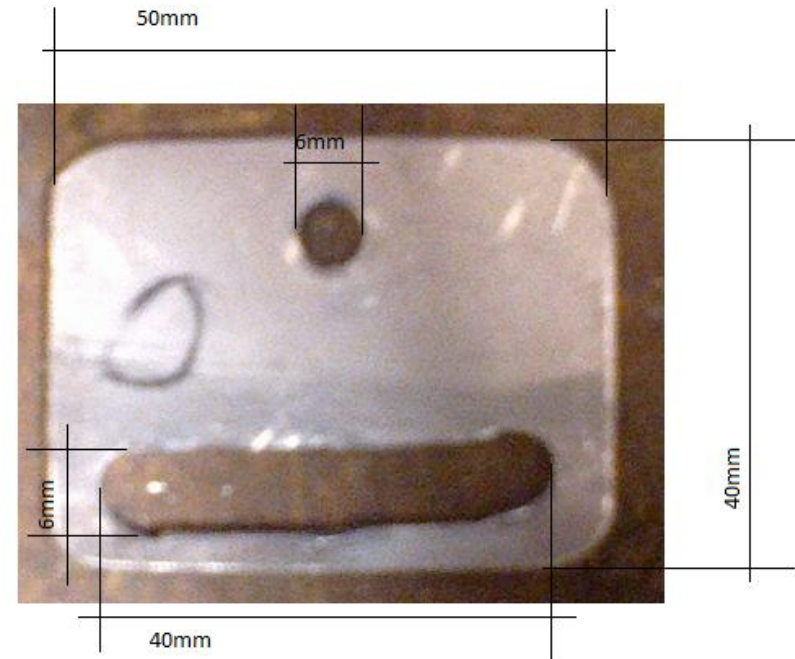
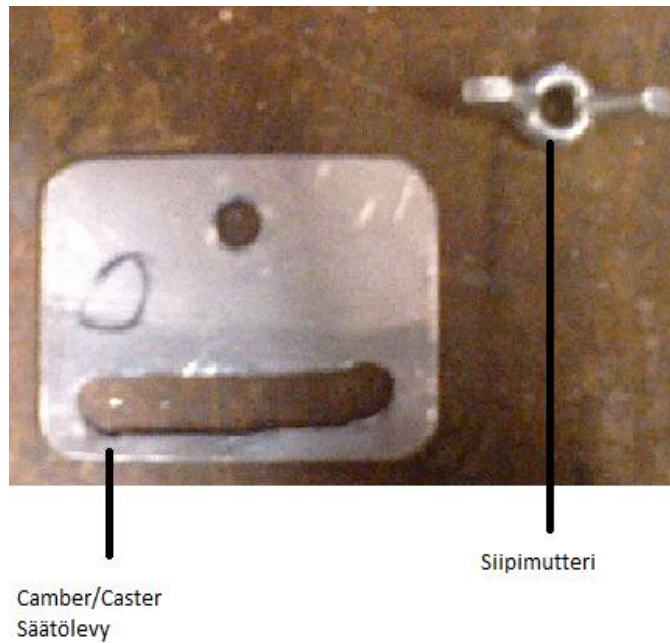
Taulukko 5. Rattiakselin komponenttiluettelo



Kuva 20. Jousijalka

Jousijalka*2				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (biltema)	Käyttötarkoitus
Kierretanko	M6*	1	19386	Jousijalka
Mutteri	M6	2	870097	Kiinnitys
Siipimutteri	M6	1	87386	Kiinnitys

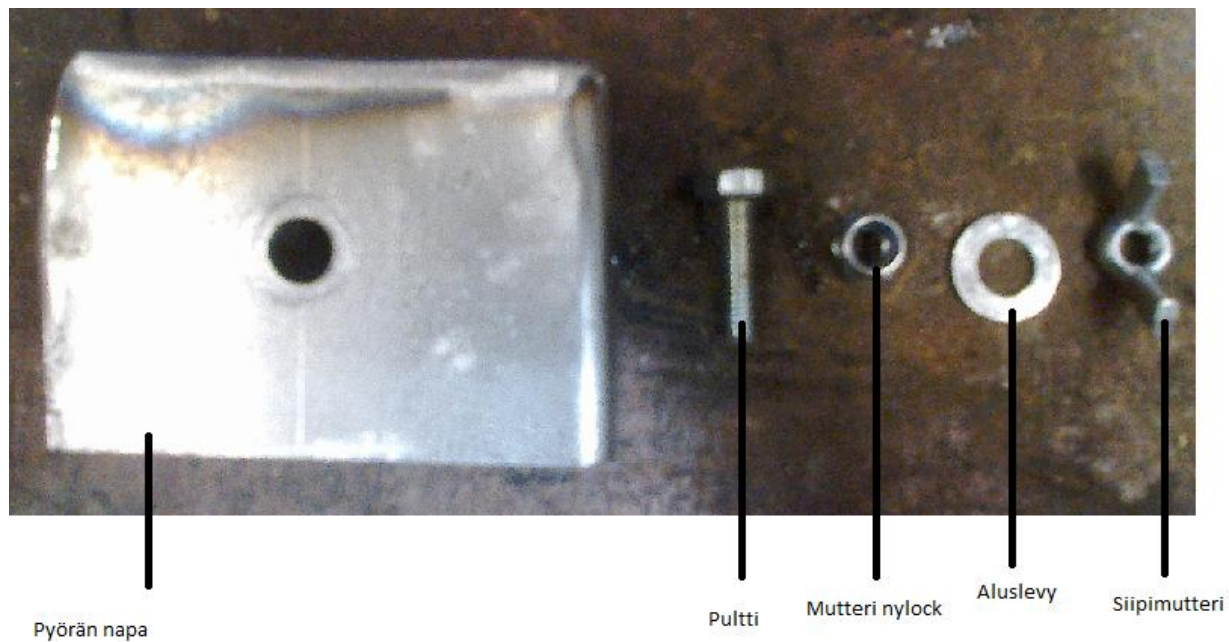
Taulukko 6. Jousijalan komponenttiluettelo



Kuva 21. camber/caster-säätölevy

Säätölevy*2				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (biltema)	Käyttötarkoitus
Levy	50mm*40mm	1		Säätölevy
Siipimutteri	M6	1	87386	Kiinnitys

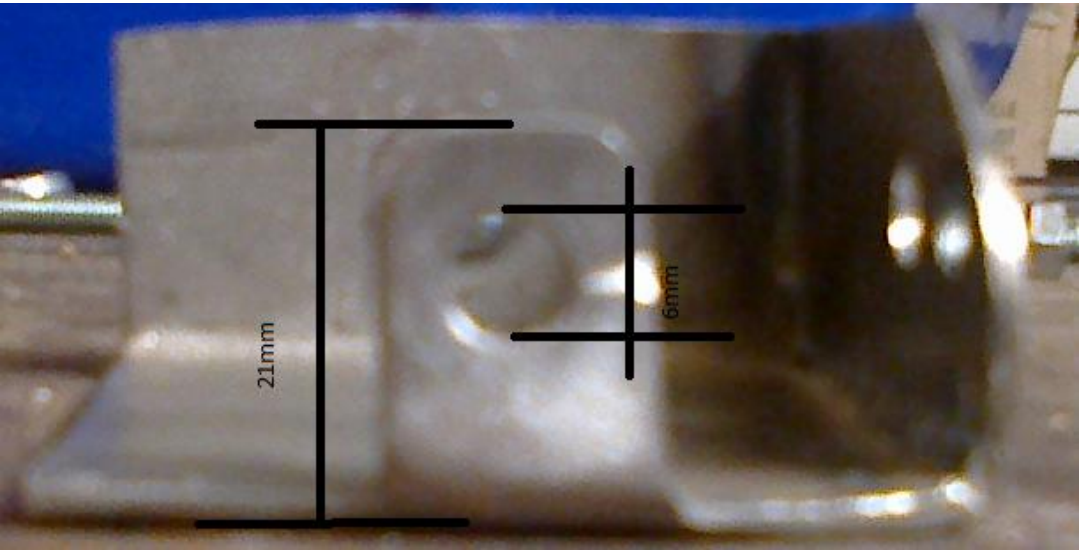
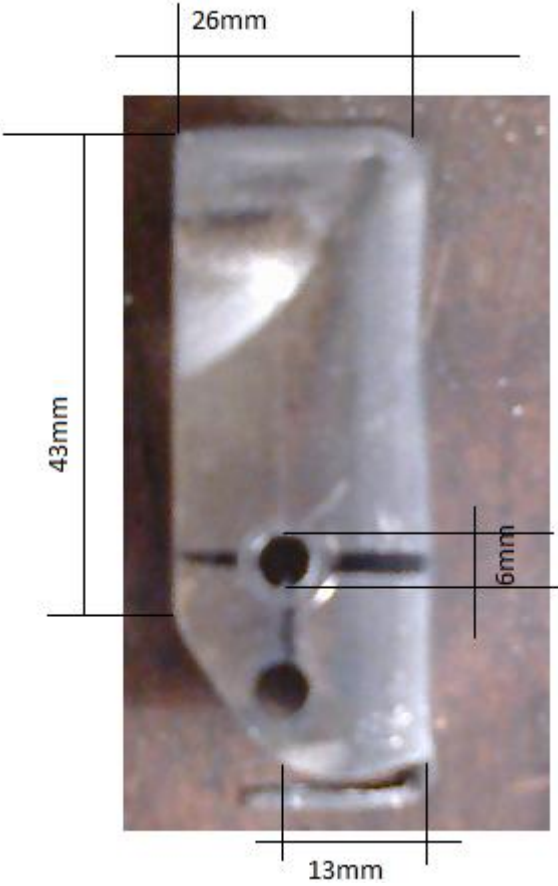
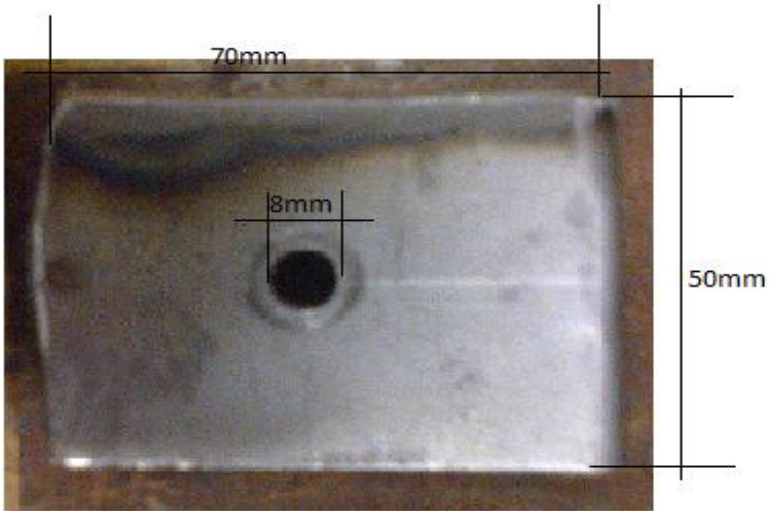
Taulukko 7. Camber/caster-säätölevyn komponenttiluettelo

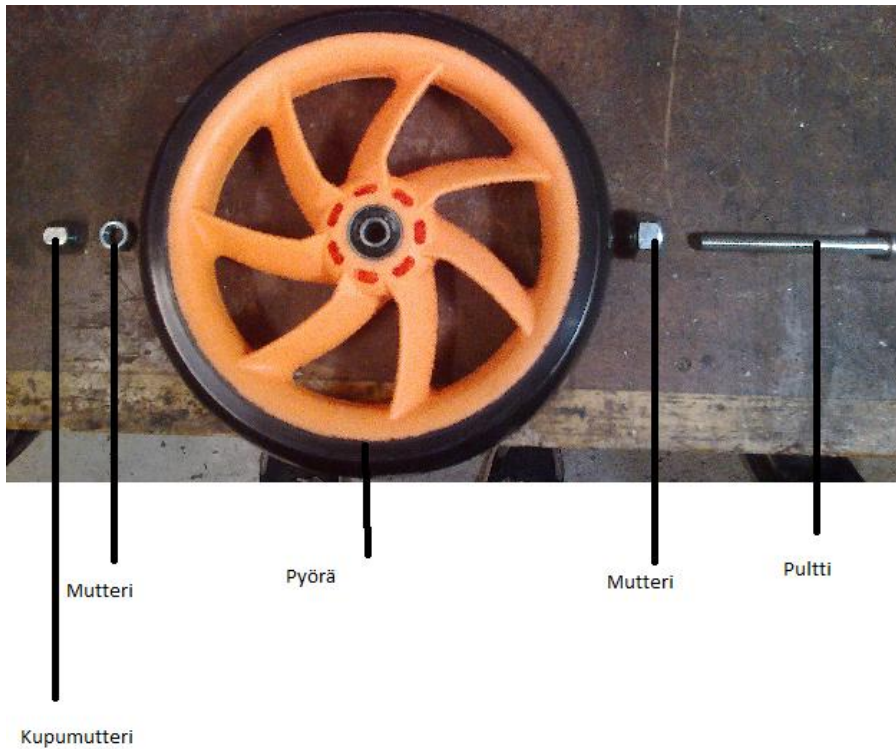


Kuva 22. Pyörän navan räjäytyskuva

Pyörän napa*2				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (biltema)	Käyttötarkoitus
Pultti	M6*	1		Yläpään kiinnitys
Mutteri nylock	M6	1	870097	Kiinnitys
Siipimutteri	M6	1	87386	Kiinnitys
Aluslevy		1		Suoja
Pyörän napa	70*50mm	1		Napa

Taulukko 8. Pyörän navan komponenttiluettelo





Kuva 23. Pyörän kiinnitys

Pyörän kiinnitys				
Osa	Mitta	KPL	Tuotenumero (biltema)	Käyttötarkoitus
Pultti	M8*100	1		Kiinnitystappi
Mutteri	M10	1	870097	Spaceri
Kupumutteri	M8	1	87386	Kiinnitys
Mutteri	M8	1		Suoja
Pyörä	8"	1		Napa

Taulukko 9. Pyörän kiinnitys