

Tuomo Kukkonen

# AUTON RAKENNEMUUTOKSIEN VAIKUTUKSET

Opinnäytetyö  
Auto- ja kuljetustekniikka


Maaliskuu 2013




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  15.5.2013	
<b>Tekijä(t)</b> Tuomo Kukkonen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Auto- ja kuljetustekniikka	
<b>Nimeke</b>  Auton rakennemuutoksien vaikutukset		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Työn tavoitteena oli tutkia yleisiä autoharrastajien autoihinsa tekemiä muutoksia, niiden vaikutuksia ja mahdollisia hyötyjä. Tutkimus suoritettiin tekemällä muutoksia kohdeautoon. Näin tavoitteena oli saada konkreettisia tuloksia muutoksien vaikutuksista vertaamalla autoa ennen ja jälkeen niitä. Muutoksia tehtiin kohdeauton jarruihin sekä tutkittiin aiemmin autoon tehdyn madalluksen aikaansaamaa ongelmaa.</p> <p>Työssä mitattiin kohdeauton jarruja jarrudynamometrillä sekä V-box-mittalaitteistolla. Tämän jälkeen vaihdettiin autossa olleet rumpujarrut levyjarruiksi, etupyöräjarrut suuremmiksi ja auton jarrupääsylinteri erilaiseksi. Tämän jälkeen autoa mitattiin samalla tavalla uudelleen, jotta pystyttiin vertaamaan syntyneitä muutoksia. Työssä suunniteltiin myös, kuinka muuttaa taka-akseliston pyöränkulmia, jotta takarenkaiden ylimääräinen kuluminen loppuisi ja tiekosketus paranisi. Käytännön muutoksien lisäksi kohdeauton jarruja laskettiin teoriassa sekä käytiin läpi autojen pyöränkulmat sekä akselistorakenteet.</p> <p>Kokonaisuudessaan työ onnistui hyvin. Jarrumuutokset onnistuivat lähes ongelmitta, ja saaduista tuloksista voi tehdä päätelmiä. Taka-akseliston pyöränkulmiin myös keksittiin toimiva ratkaisu, mutta valitettavasti toteutus ei onnistunut tämän työn puitteissa.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  autot, jarrut, akselit, pyörät		
<b>Sivumäärä</b> 41+6	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Kari Ehrnrooth	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  15.5.2013	
<b>Author(s)</b> Tuomo Kukkonen		<b>Degree programme and option</b> Automotive and transport engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  The influences of structural modifications in a vehicle			
<b>Abstract</b>  <p>The objective of the thesis was to examine common modifications that car enthusiasts make in their cars. The aim was to see the influences and the plausible benefits of the modifications. The research was carried out by modifying a passenger car. This way the goal was to get concrete results of the modifications by comparing the car before and after the modifications. The research was about modifying the brakes of the car. An issue that had been caused by the lowering of the chassis in the past was also a part of the research.</p> <p>The brakes of the car were tested with a brake dynamometer and with V-box gauge. After this the drum brakes of the car were converted to disc brakes, the front brakes of the car were changed to larger ones and the brake master cylinder was replaced with a different one. After the modifications the car was tested again so the changes could be seen. It was also planned how to modify the wheel alignment of the car's rear axle. The aim was stop the excessive wearing of the tires and to increase the contact area of the tires. In addition to hands on modifications, the brakes of the car are also calculated in theory. The theory of wheel alignment and axle structures are also introduced in the thesis.</p> <p>The research was a success. The modifications to the brakes worked out without problems and conclusions can be made from the results. The issue with the car's rear axle wheel alignment was figured out but the repair wasn't pulled off in the timeline of this thesis.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  cars, brakes, axles, wheels			
<b>Pages</b> 41+6	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Kari Ehrnrooth		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	KOHDEAUTO.....	1
3	SUUNNITELLUT MUUTOKSET .....	3
4	MITTAUKSET JA TULOKSET ENNEN MUUTOKSIA.....	4
4.1	Auton massan määrittäminen .....	4
4.2	Jarrudynamometrimittaus .....	5
4.3	Hidastuvuusmittaukset.....	5
4.4	Pyöränkulmien mittaus .....	6
5	LAINSÄÄDÄNTÖ .....	7
5.1	Yleiset periaatteet .....	8
5.2	Akselistomuutokset.....	9
5.3	Jarrujen muutokset.....	10
5.4	Heilahduksenvaimentimien vaihto .....	10
6	JARRUJEN TEORIAA.....	11
6.1	Jarrutusteho.....	11
6.2	Jarrujen jakosuhte .....	12
6.2.1	Auton painopiste .....	12
6.2.2	Dynaaminen akselipainomuutos ja optimijarrutus.....	13
6.2.3	Ihanteellinen jakosuhte ja laskennalliset jarruvoimat .....	14
6.2.4	Rakenteellinen jakosuhte ja välityssuhteet .....	15
6.2.5	Takajarrujen paineventtiili .....	18
6.2.6	Jarrujen hyvyysuhde.....	19
7	PYÖRÄNKULMAT .....	20
7.1	Pyörän kallistuma .....	21
7.2	Pyörien auraus .....	22

7.3	Kääntöakselin takakallistuma .....	22
7.4	Kääntöakselin sivukallistuma .....	23
8	AKSELISTORAKENTEET .....	24
8.1	Jäykät akselit.....	24
8.2	Puolijäykät akselit.....	25
8.3	Erillistuentaiset akselit.....	26
8.3.1	Sylinteriohjattu pyöräntuenta ja Mc Pherson -tuenta.....	26
8.3.2	Poikittaistuennat.....	27
8.3.3	Pitkittäistuennat.....	29
8.3.4	Vinoheilurituenta .....	31
9	MUUTOSTYÖ.....	31
9.1	Jarrujen muutos.....	31
9.2	Pyöränkulmien muuttaminen.....	34
10	MITATUT ARVOT JA TULOKSET MUUTOKSIEN JÄLKEEN.....	36
10.1	Jarrudynamometrimittaus .....	36
10.2	V-Box hidastuvuusmittaus.....	37
11	POHDINTA .....	38
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET	
	1 Jarrudynamomittaus ennen muutoksia	
	2 Kohdeauton takapyörien camber-kulmien ohjearvotaulukko	
	3 Kohdeauton pyöränkulmat	
	4 Pyöränkulmat perä nostettuna 40 mm	
	5 Takapyörien camber-kulmat kaaren ja pyörännavan välin ollessa 400 mm	
	6 Pyöränkulmamutoksen laskenta	

## 1 JOHDANTO

Autojen rakentaminen on yleistynyt viime vuosien aikana paljon. Tänä päivänä autoihin tehdään muutoksia lähes joka osa-alueella tavoitteena tehdä niistä itselle mieluisia ja omannäköisiä. Myös niiden rakenteita muokataan tavoitteena muuttaa ajo-ominaisuuksia, yleensä urheilullisempaan suuntaan.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan auton rakenteisiin tavallisesti tehtyjen muutosten oikeita vaikutuksia. Opinnäytetyö toteutetaan kohdeauton avulla, johon on tiettyjä muutoksia jo tehty. Ensimmäisenä käydään kohdeauto sekä siihen tehtävät muutokset läpi. Työssä keskitytään jarrumuutoksiin, joita kohdeautoon ei ole vielä tehty. Työssä sivutaan myös jo aiemmin tehdyn muutoksen aiheuttamaa ongelmaa ja pyritään kehittämään siihen ratkaisun. Päättötyössä yhdistetään käsillä tekeminen sekä insinöörimäinen tulosten analysointi.

Autosta mitataan konkreettisia arvoja ennen muutoksia sekä niiden jälkeen ja pohditaan saatuja tuloksia. Autoon tehtävät muutokset suoritetaan lakia noudattaen, ja työssä käydään läpi siinä suoritettaviin muutoksiin liittyvä lainsäädäntö. Työssä esitellään jarrujen suunnitelluun liittyvät asiat ja jarrulaskenta. Työhön liitetään myös teoriaa pyöränkulmista ja akselistoista, jotka on hyvä tietää, mikäli niihin aikoo muutoksia alkaa tehdä.

Autoon tehtävät muutokset ovat hyvin tyypillisiä harrastajien autoihinsa tekemiä muutoksia. Tavoitteena on saada käsitys siitä, millaista hyötyä muutoksilla saavutetaan, voiko niitä kehittää jotenkin ja mitä niitä tehdessä kannattaa ottaa huomioon. Työn tarkoituksena ei ole kannustaa ketään tekemään muutoksia autoonsa, eikä tämän työn tekijä ole vastuussa kenenkään tekemistä muutoksista.

## 2 KOHDEAUTO

Työn kohdeautoksi valikoitui oikeastaan automaattisesti oma harrasteautoni. Auto on Ford Sierra vuosimallia 1986 (kuva 1). Autoon on jo aiemmin tehty muun muassa tekniikanvaihto, madallus sekä rengas- ja vannemuutokset. Työ alkoikin miettimällä rakennemuutoksia, joita kohdeautoon ei vielä ollut tehty, mutta joita autoihin monesti

tehdään. Jarrumuutokset tulivat nopeasti mieleen, sillä ne ovat tänä päivänä hyvin yleisiä, eikä kohdeauton tekniikanvaihdon yhteydessä ollut tarpeellista tehdä niihin muutoksia, sillä molemmat tekniikat olivat tehtaalta lähtiessään varustettu samanlaisilla jarruilla. Jarrut yksinään ovat suuri aihealue sekä muutos autoon, joten niiden päätettiin olevan ainut varsinainen muutostyö opinnäytetyössä. Auton taka-akselisto on niin sanottua vinoheiluri-rakennetta ja aiemmin tehty madallus on tuonut mukanaan yleisen ongelman, johon päätettiin myös hakea työssä ratkaisua.

Kohdeauto on varustettu kaksipiirisellä alipainetehosteisella nestejarrujärjestelmällä. Autossa on edessä levyjarrut ja takana rumpujarrut. Tarkemmat tekniset tiedot:

- Jarrupääsylinterin männän halkaisija on 22 mm.
- Jarrutehostimen kalvon halkaisija on 9”.
- Etujarrulevyt ovat jäähdetyt, halkaisijaltaan 240 mm.
- Etujarrusatulat ovat uivat yksimäntäiset satulat, joiden kiristysmäntien halkaisijat ovat 54 mm.
- Rumpujarrut ovat simplex-tyyppiset, rummut ovat halkaisijaltaan 9”.
- Takajarrusylinterien halkaisijat ovat 20,64 mm.

Uusiksi jarruiksi oli suunniteltu sekoitus taka- ja nelivetoisen Ford Sierra Cosworthin jarruista. Jarrujen tiedot:

- Jarrupääsylinteri on sähköhydraulinen, tarkoitettu toimimaan lukkiutumattomien jarrujen kanssa. Asennetaan kohdeautoon ilman ABS-ohjausta, erillistä jarrutehostinta ei tarvita.
- Jäähdetyt etujarrulevyt, halkaisijaltaan 283 mm.
- Etujarrusatulat ovat uivat yksimäntäiset satulat, männän halkaisija 60 mm.
- Takajarrulevyt ovat jäähdettämättömät, halkaisijaltaan 252,5 mm.
- Takajarrusatulat ovat uivat yksimäntäiset, männän halkaisija 43 mm.

Muita laskennassa tarvittavia tietoja tulee esiin mittausten yhteydessä.



**KUVA 1. Kohdeauto**

### **3 SUUNNITELLUT MUUTOKSET**

Yleisimpiä harrastajien tekemiä muutoksia auton jarruihin liittyen ovat rumpujarrujen muuttaminen levyjarruiksi tai levyjarrujen muuttaminen suuremmiksi. Näillä muutoksilla haetaan yleensä tehokkaampia jarruja autoon. Nämä muutokset tehdään siis myös kohdeautoon, taka-akseliston rumpujarrut vaihdetaan levyjarruihin ja etupyöräjarrut vaihdetaan suurempiin. Työssä tutkitaan, miten jarruvoimat muuttuvat ja sivutaan mitä jarrujen tehokkuus ylipäättään tarkoittaa. Pyöräjarrumuutosten lisäksi myös auton jarrupääsylinteri vaihdetaan ja samalla muutetaan jarrujen tehostusjärjestelmä. Tässä yhteydessä käsitellään pyöräjarrujen vaikutusta muuhun auton jarrujärjestelmään.

Madaltamisen autoon tuoma sivuoire on takapyörien suuri camber-kulma, joka aiheuttaa renkaiden ylimääräistä kulumista. Negatiivisesta camber-kulmasta johtuen auton takarenkaiden tiekosketus on myös olematon. Tarkoituksena on muuttaa auton taka-akselistoa niin, että pyöräkulmat muuttuvat, auton ajo-ominaisuudet paranevat

ja renkaiden epätasainen kuluminen lakkaa. Työssä käydään läpi pyöränkulmat ja akselistorakenteet.

## **4 MITTAUKSET JA TULOKSET ENNEN MUUTOKSIA**

Ennen minkäänlaisten muutosten tekemistä autosta mitattiin aloitushetken rakennetta eri tavoin. Mittausten avulla saatiin vertailukohta ja näin pystytään tutkimaan aikaansaatuja muutoksia. Autolla suoritettiin hidastuvuusmittauksia, auton pyöränkulmat mitattiin, sen massa punnittiin ja sen jarruja testattiin jarrudynamometrillä.

### **4.1 Auton massan määrittäminen**

Auton massat punnittiin käyttämällä Mikkelin ammattikorkeakoululta löytyvää Intercompin SWI-vaakaa. Tuloksiksi saatiin:

- Kokonaismassa 1148,5 kg
- Etuakseliston kokonaismassa 588 kg
- Taka-akseliston kokonaismassa 560,5 kg.

Rekisteriotteessa auton omamassaksi ilmoitetaan 1155 kg. Autosta on poistettu painoa runsaasti karsimalla esimerkiksi kaikki äänieristysmatot, mutta sitä on vastaavasti tullut tilalle esimerkiksi taka-akselin päältä löytyvästä kaiutinkotelosta. Auto olikin mittausten perusteella yllättävän hyvä painojoaltaan. Laskemalla painojakaumaksi tulee 51/49. Jarruvoimamittauksiin käytetty jarrudynamometri näytti myös auton massan. Se näytti etuakselille 615 kilogramman ja taka-akselille 578 kilogramman massaa. Pientä heittoa on siis varsinaisella vaa'alla tehtyyn punnitukseen, mutta painojakauma on melko tarkasti sama. Ero johtuu varmasti vain vaakojen tarkkuuserosta.

Tässä yhteydessä autosta mitattiin myös auton akseliväli ja painopisteen korkeus. Akseliväliksi saatiin 2608 mm ja painopisteen korkeudeksi arvioitiin, kuten myöhemmin todetaan, 620 mm.

## 4.2 Jarrudynamometrimittaus

Jarruvoimamittaukset suoritettiin jarrudynamometrillä Auto-Kilta Oy:n tiloissa. Jarrudynamometri oli merkiltään John Bean. Jarrudynamometrimittaukset tehtiin useaan kertaan. Mittaamisesta hankalaa teki se, että liian nopea polkimen painaisu lukitsi heti pyörät. Oli vaikea saada mahdollisimman paljon jarruvoimaa irti ennen lukkiutumista. Liitteen 1 mukaisesti jarruvoimiksi saatiin:

- Etujarrut: vasen 2280 N ja oikea 1880 N
- Takajarrut: vasen 1920 N ja oikea 1920 N
- Seisontajarru: vasen 1620 N ja oikea 1280 N

Tuloksista on nähtävissä, että oikean puolen etujarruissa todennäköisesti joku hieman jumittaa ja oikean puolen seisontajarrun säädössä on jotain ongelmaa.

## 4.3 Hidastuvuusmittaukset

Autolla saavutettavia hidastuvuuksia mitattiin hyödyntäen koulun VBOX-mittalaitteistoa. Koululta löytyvässä Racelogicin valmistamassa mittalaitteessa on sisäänrakennettuna kiihtyvyyssantureita, joiden avulla pystyy mittaamaan lähes mitä vain ajoneuvon liikkeitä. Laitteessa on myös GPS-yhteys, jonka avulla se saa matka- ja paikkatiedot. Työtä varten laitteesta riitti jarrutusajan ja -matkan mittaus. V-Box näytti nämä helposti valitsemalla ensiksi halutut nopeudet ”Target speeds” -kohdan alta, esimerkiksi 80 ja 0. Tämän jälkeen tarvitsi vain kiihdyttää auto yli  $80 \frac{km}{h}$  nopeuteen ja jarruttaa pysähdyksiin. Tulokset tulivat tekstitiedostoon.

Suorituspaikkana oli melko tasainen tienosuus, jolla mittauksia otettiin molempiin suuntiin. Korkeusvaihtelut eivät tässä työssä tule ongelmaksi, sillä muutosten jälkeiset mittaukset suoritetaan samalla tienosuudella. Mahdolliset tuulten aiheuttamat muutokset ovat tähän työhön epäolennainen seikka. Auton kokonaishidastuvuutta mitattiin jarruttamalla auton 80 kilometrin tuntivauhdista pysähdyksiin. Jarrutukset tehtiin mahdollisimman suurella poljinvoimalla, mutta ilman pyörien lukkiutumista. Myös pelkkää taka-akselistoa testattiin erikseen jarruttamalla pelkällä seisontajarrulla  $40 \frac{km}{h}$  pysähdyksiin sekä hidastamalla nopeutta  $80 \frac{km}{h}$  60 kilometriin tunnissa.

Hidastuvuustestit suoritettiin neljä kertaa ja tämän jälkeen niistä jätettiin eniten keskiarvosta heittävät tulokset pois. Näin haluttiin pienentää inhimillisen virheen suuruutta. Seisontajarrulla 40:stä kilometristä tunnissa pysähdyksiin mittaus suoritettiin vain kerran ennen muutoksia ja muutosten jälkeen  $100 \frac{km}{h}$ :ssa pysähdyksiin jarrutus suoritettiin vain kahdesti. Näiden kohdalla sattui laitteisto-ongelmia, jonka takia mittaukset jäivät tekemättä. V-Boxin avulla jarrutuksesta saatiin matka, aika, hidastuvuus ja jopa G-voima –tiedot, jotka jätin kokonaan pois tuloksista, sillä mielestäni ne ovat melko epäolennaisia. Tämän jälkeen tulokset kerättiin taulukkoon ja niiden keskiarvot laskettiin. Hidastuvuus jäi  $80 \frac{km}{h}$ :sta  $60 \frac{km}{h}$ :ssa seisontajarrulla hidastaessa niin pieneksi, ettei laite antanut sille tulosta. Keskiarvoiksi saatiin:

- $80 \frac{km}{h} - 0 \frac{km}{h}$  jarrutus
  - Jarrutusmatka 32,17 m
  - Jarrutusaika 2,99 s
  - Hidastuvuus  $7,65 \frac{m}{s^2}$
- $40 \frac{km}{h} - 0 \frac{km}{h}$  seisontajarrulla
  - Jarrutusmatka 37,92 m
  - Jarrutusaika 7,84s
  - Hidastuvuus  $1,47 \frac{m}{s^2}$
- $80 \frac{km}{h} - 60 \frac{km}{h}$  seisontajarrulla
  - Jarrutusmatka 48,47 m
  - Jarrutusaika 2,52 s

#### 4.4 Pyöränkulmien mittaus

Pyöränkulmien mittauksen suoritettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun autolaboratoriossa Hunter-mittalaitteella. Auton pyöränkulmat mitattiin siinä kunnossa kuin ne autossa olivat keskittyen seuraamaan lähinnä takapyörien camber-kulmia. Kohdeauton takapyörien camberkulman ohjearvo ilmoitetaan riippuvaisena takapään korkeuteen, takalokasuojan kaaresta pyörännapaan mitattuna (liite 2).

Esimerkiksi mikäli etäisyys on 350 – 359 mm, camber-arvon tulee olla 3,2 - 0,41 astetta negatiivisella, tai mikäli etäisyys on 420 – 429 mm, arvon tulee olla välillä 0,24 N ja 1,57 P astetta camberia.

Liitteessä 3 näkyy auton pyöränkulmien arvot lähtötilanteessa. Kuten jo etukäteen oli tiedossa, auton takapyörien camber-kulmat olivat todella paljon negatiivisella. Molemmissa pyörissä oli noin neljä astetta negatiivista camberia. Normaalin suuntausmittauksen lisäksi mitattiin pyöränkulmat nostamalla perää vakiokorkeuteen. Autosta tutkittiin myös, kuinka paljon autoa tulee nostaa, ennen kuin takapäin camber-kulmat ovat lähellä nollakulmaa.

Koeauton takalokasuojan kaaren ja pyörännavan välimatka on 315 mm, johon pitää lisätä noin 10 mm johtuen autoon asennetuista levikelokasuojista. Näin pientä välimatkaa taulukko ei edes tunne, joten vertailua ohjearvoon ei voi tehdä. Auton perää nostettiin noin 40 mm, eli suurin piirtein sen verran, mitä autoa on madallettu. Tällöin kaaren ja pyörännavan välimatkaksi tuli 355 mm, eli oikeasti noin 365 mm. Liitteessä 4 näkyy pyöränkulmien arvot tällä korkeudella. Ne menevät hyvin lähelle taulukon antamiin arvoihin. Kun tutkittiin, millä korkeudella pyörät ovat lähellä nollakulmaa, saatiin lisävarmistus ohjearvotaulukolle. Kaaren ja pyörännavan välin ollessa noin 400 mm ovat pyörät hyvin lähellä pystysuorassa (liite 5). Tulokset sopivat myös annettuun ohjearvotaulukkoon.

## **5 LAINSÄÄDÄNTÖ**

Tässä työssä autoon tehtävät muutokset suoritetaan lain puitteissa. Näin ollen aluksi käydään läpi muutoksiin liittyvät lakipykälät. Tieliikennelaissa auton rakenteen muuttamisesta säädetään kohdassa Vi 201\_9\_108\_a Liikenne- ja viestintäministeriön päätös auton rakenteen muuttamisesta 23.10.1998/779. Ensimmäisen luvun toisessa pykälässä löytyy yleisiä periaatteita auton muuttamisesta, joita on vielä tarkennettu muutoksessa 1256/2002. Kolmannen luvun pykälissä 11§, 13§ ja 14§ käydään läpi akselisto- ja jarrumuutokset sekä heilahduksenvaimentimien vaihto. Näiden lisäksi kyseisessä päätöksessä on lukuisia muita pykäläiä, jotka liittyvät auton muiden alustarakenteiden muuttamiseen, mutta kyseisiä muutoksia ei tässä työssä tehdä. Tulee

myös ottaa huomioon, että näiden muutoksiin liittyvien määräysten lisäksi auton tulee aina täyttää myös sille muutenkin voimassa olevat määräykset.

## 5.1 Yleiset periaatteet

*” 1. Muutetun auton on täytettävä ajoneuvolain (1090/2002), autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista annetun liikenne- ja viestintäministeriön asetuksen (1248/2002), ajoneuvojen hyväksynnästä annetun valtioneuvoston asetuksen ja ajoneuvojen käytöstä tiellä annetun asetuksen (1257/1992) vaatimukset niihin mahdollisesti myöhemmin tehtyine muutoksineen, jollei jäljempänä tässä päätöksessä toisin säädetä.*

*2. Muutokset eivät saa heikentää auton liikenneturvallisuuteen vaikuttavia ominaisuuksia eivätkä oleellisesti lisätä ohjauslaitteisiin, akselistoihin, jarruihin, voimansiirtoon tai kantaviin rakenteisiin ajon aikana kohdistuvia rasituksia. Autoa, auton rakenneosaa, varustetta tai ominaisuutta, jonka on auton käyttöönottoajankohtana edellytetty olevan E-säännön, direktiivin, FMVSS-standardin, CMVSS-standardin tai japanilaisten ajoneuvoja koskevien turvallisuussääntöjen tai yhdysvaltalaisien, kanadalaisten tai japanilaisten pakokaasupäästöjä koskevien sääntöjen mukainen, ei saa auton käytössä vaihtaa tai muuttaa siten, että sanotut käyttöönottoajankohdan mukaiset tai niitä uudemmat vaatimukset eivät täyty. Tarvittaessa vaatimuksenmukaisuudesta on esitettävä selvitys.*

*3. Valmistajan autolle tai auton kanssa samaan mallisarjaan kuuluvalla autolle taikka autossa oleville akselistoille sallimat suurimmat akselimassat eivät saa muutoksen seurauksena ylittyä. Sovellettaessa mallisarjan muun kuin muutoksen kohteena olevan auton suurimpia sallittuja akselimassoja tulee akselistojen kaikilta osin vastata vähintään auton valmistajan kyseisille akselimassoille tarkoittaman auton akselistoja. Muutosten seurauksena valmistajan autolle sallima suurin kokonaisuudessa ei saa ylittyä. Tarvittaessa massan lisäystä tulee kompensoida varusteita siirtämällä, korin osia keventämällä taikka henkilö- tai tavarakantavuutta pienentämällä.*

*4. Tämän päätöksen lisäksi on noudatettava, mitä vaurioituneen ajoneuvon kunnostamisesta ja ajoneuvon kokoamisesta osista annetussa liikenne- ja viestintäministeriön asetuksessa (1258/2002) ja autoverolaissa (1482/1994) säädetään.” /1./*

## 5.2 Akselistomuutokset

” 1. Muutoskatsastuksessa saadaan hyväksyä auton akseliston tai akseliston osien vaihtaminen mallisarjaan kuuluvaan akselistöön, mallisarjaan tarkoitettuihin akseliston osiin tai akselistotyyppiltään muutoksen kohteena olevaa autoa vastaaviin autoihin tarkoitettuihin akselistorakenteen muutososiin seuraavin edellytyksin:

a) autoon vaihdettava akselistö, akseliston osat tai akselistorakenteen muutososat on tarkoitettu akselimassaltaan tai valmistajan sallimalta akselimassaltaan vähintään muutoksen kohteena olevaa autoa vastaavaan autoon;

b) autoon vaihdettavien akseliston osien tai akselistorakenteen muutososien tulee kiinnikkeitä lukuun ottamatta olla tehdasvalmisteisia ja soveltuvia muutoksen kohteena olevassa autossa yleisessä tieliikenteessä käytettäviksi; tarvittaessa asiasta on esitettävä luotettava selvitys;

c)  $M_1$ -,  $M_1G$ -,  $N_1$ - ja  $N_1G$ -luokan ajoneuvon jousituksen tyyppi ei muutu;

d) akselistosta johtuva raideväli muuttuu korkeintaan 100 mm;

e) mahdollisesti tarvittavat uudet tukivarsien tai jousien kiinnikkeet tai akselistö kokonaisuutena on voitava kiinnittää luotettavasti auton runkopalkkeihin tai muihin riittävän lujuuden omaaviin rakenteisiin; ja

f) muutoskatsastuksessa on tarvittaessa esitettävä luotettava selvitys hitsauslisäaineista ja hitsaustyöstä sekä muutettujen rakenteiden ja omavalmisteisten kiinnikkeiden lujuudesta; hitsaussaumot on esitettävä viimeistelemättöminä, ellei katsastajan kanssa ole muuta sovittu.

2. Muutoskatsastuksessa voidaan 1 momentissa mainituin ehdoin hyväksyä myös auton jäykän vetävän taka-akselin vaihtaminen mallisarjaan kuulumattomaan saman tyyppiseen akseliin.

3. Muutoskatsastuksessa voidaan hyväksyä auton akselivälin jatkaminen tai lyhentäminen tai akselin poistaminen tai asentaminen auton mallisarjan puitteissa. Muutos on tehtävä auton valmistajan ohjeiden mukaisesti, jos tällaiset ovat saatavilla. Jollei näissä ohjeissa muuta määrätä, on jarrujen voimansiirron laitteet muutettava siten, ettei aiheuteta ylimääräisiä liitoksia tai jatkoksia.

4. Jos voimansiirron nivelakselia muutetaan, on se tasapainotettava.

5.  $M_1$ -luokan ajoneuvon, jonka on ensi kertaa käyttöön otettaessa edellytetty täyttävän direktiivien 96/79/EY ja 96/27/EY etuja sivutörmäyslujuusvaatimukset, akseliston muutokset saa muutoskatsastuksessa hyväksyä vain edellyttäen, että auto muutosten jälkeen täyttää etu- ja sivutörmäystestien vaatimukset.” /2, 11§./

### 5.3 Jarrujen muutokset

*” 1. Muutoskatsastuksessa saadaan hyväksyä auton jarrujen vaihtaminen seuraavin edellytyksin:*

- a) jarrut ovat alkuperäisiä tehokkaammat ja peräisin autosta tai tarkoitettu autoon, jonka akselimassa tai valmistajan sallima akselimassa ja moottoriteho vastaavat vähintään muutettavaa autoa;*
- b) jarrusatula tai -kilpi on kiinnitetty ruuviliitoksella suoraan tai asianmukaista soviteosaa käyttäen olka-akseliin tai vastaavaan taikka taka-akselistoon; omavalmisteisten soviteosien lujuudesta on tarvittaessa esitettävä luotettava selvitys;*
- c) jarrupääsylinteri on toiminnalliselta mitoitukseltaan jarrujärjestelmään sopiva; tarvittaessa on käytettävä tehostusta;*
- d) jarrupolkimen ja jarrupääsylinterin kiinnitykset ovat asianmukaiset;*
- e) jarruvoiman jakaantuminen ei muutoksen seurauksena muutu alkuperäistä huonommaksi, mikä tulee tarkastaa katsastuksessa; jarruvoiman oikean jakautumisen aikaansaamiseksi jarrujärjestelmästä saa poistaa tai siihen saa asentaa akselistokohtaisesti jarruihin vaikuttavan säätöventtiilin; asennettu säätöventtiili ei saa olla ajon aikana säädettävissä;*
- f) jarrujen lukkiutumisenestojärjestelmää ei poisteta eikä levyjarruja vaihdeta auton mallisarjaan kuulumattomiksi rumpujarruiksi; ja*
- g) jarrut, joiden on edellytetty auton käyttöönottoajankohtana olevan E-säännön, direktiivin tai FMVSS-standardin mukaiset, tulee muutoksen jälkeen osoittaa sanotut vaatimukset täyttäviksi.*

*2. Muutoskatsastuksessa saadaan hyväksyä myös yksipiirisen jarrujärjestelmän muuttaminen kaksipiiriseksi vaihtamalla alkuperäinen jarrupääsylinteri asennusmitoiltaan ja toimintaan vaikuttavalta mitoitukseltaan vastaavaksi kaksipiirijärjestelmän jarrupääsylinteriksi. Jarrupiirit on tällöin jaettava samalla tavalla kuin autoon asennettavaa pääsylinteriä vastaavassa järjestelmässä. Tarvittaessa on tehtävä uuden jarrupääsylinterin vanhaan jarrujärjestelmään edellyttämät muutkin muutokset.” /2, 13§./*

### 5.4 Heilahduksenvaimentimien vaihto

*”1. Auton heilahduksenvaimentimet saa muuttaa tyypiltään alkuperäisestä poikkeaviksi ja niiden määrää saa lisätä. Jos muuttaminen tai lisääminen edellyttää*

*uusien kiinnikkeiden asentamista, eivät ne saa merkittävästi lisätä akselisto-, kori- tai runkorakenteisiin kohdistuvia rasituksia. Muutetut tai lisätyt heilahduksenvaimentimet eivät saa toimia jousituksen rajoittimina joustovaran loppuessa.*

*2. M<sub>1</sub>- luokan ajoneuvon, jonka on ensi kertaa käyttöön otettaessa edellytetty täyttävän direktiivien 96/79/EY ja 96/27/EY etuja sivutörmäyslujuusvaatimukset, heilahduksenvaimentimet saa muuttaa vain edellyttäen, että auto muutosten jälkeen täyttää etuja sivutörmäystestien vaatimukset.” /2, 14§./*

## 6 JARRUJEN TEORIAA

Työssä ei käydä erikseen läpi jarrujärjestelmän komponentteja, vaan niiden oletetaan olevan tuttuja muutoksia suunnitteleville. Seuraavaksi käydään läpi jarruihin liittyviä ja niiden muuttamisessa huomioon otettavia asioita. Samalla käydään kohdeautoon suunnitellut jarrut teoriassa läpi.

### 6.1 Jarrutusteho

Laki määrää, että auton on saavutettava käyttöjarrulla  $5,8 \frac{m}{s^2}$  hidastuvuus kitkakertoimen ollessa 0,8. Poljinvoiman on tuolloin oltava maksimissaan 500 newtonia. Seisontajarrun tulee pystyä pitämään auto kuormattuna 18 prosentin mäessä kitkakertoimen ollessa 0,6. Käyttölaitteeseen vaikuttavan voima ei saa olla yli 400 N. Kitkakerroin 0,8 kuvastaa kuivaa asfalttia ja 0,6 kuivaa öljysoraa. Pykälä, josta tämä on otettu, on sittemmin muuttanut muotoaan, mutta on voimassa edelleen. Esimerkkilaskuissa käytetään mainittua hidastuvuutta. /3;4./

Teho on tässä kohtaa hieman harhaanjohtava käsite, sillä teho määritetään kertomalla voima nopeudella (kaava 1),

$$P = F * v. \quad (1)$$

Jarrujen teho on siis toisin sanottuna aina verrannollinen siihen miten nopeasti auto kulkee. Enemmän kannattaa keskittyä jarruvoimiin, joita myös katsastuksessa mitataan. Voima määritetään kaavalla

$$F = m * a \quad (2)$$

jossa m on massa ja a on kiihtyvyys. Eli kohdeauton jarrutusvoiman tulee olla

$$F = 1148,5 * 5,8 = 6661 N. \quad (3)$$

Seisontajarrun voiman saa laskettua kaavasta

$$F = m * g * \sin a \quad (4)$$

jossa  $g$  on maan vetovoiman kiihtyvyys ja  $a$  mäen asteluku. Näin kohdeauton tulokseksi saadaan 1996 N. Aiemmin mitatut jarruvoimat ylittävät reilusti nämä lukemat. /4;5./

## 6.2 Jarrujen jakosuhte

Jarruja mitottaessa ei kuitenkaan voi tuijottaa pelkästään yhteenlaskettuihin jarruvoimiin. Jarruja muuttaessa tärkein mielessä pidettävä asia on jarrujen jakosuhte. Auton jarrujen tulee aina olla sellaiset, etteivät takapyörät missään tilanteessa lukkiudu ennen etupyöriä, tämän määrää jo lakikin. /6, liite 5, kohta 3.1/. Jakosuhteeseen vaikuttaa todella moni asia, pelkästään se, että autossa on isommat pyöräjarrut edessä kuin takana ei vielä riitä. Seuraavaksi käydään läpi jarrujen jakosuhteen määräytymistä.

### 6.2.1 Auton painopiste

Auton painopiste ilmoitetaan pisteen etäisyyksistä etu- ja taka-akseliin sekä etäisyydestä maahan. Painopisteen sijainnin määrittämiseen pituusakselilla staattisessa tilanteessa riittää siis auton akselimassat ja akseliväli. Painopisteen laskenta on normaalia momenttilasketaa, jossa momenttipisteet ovat etu- ja takarenkaiden tiekosketuskohdat. Etäisyys etu- ja taka-akselistoon voidaan määrittää kaavoista:

$$l_e = \frac{m_t}{m} * A_v \quad (5)$$

ja

$$l_t = \frac{m_e}{m} * A_v. \quad (6)$$

jossa  $m_e$  on etuakseliston massa,  $m_t$  on taka-akseliston massa,  $m$  on auton massa ja  $A_v$  on akseliväli. /4./

Kohdeauton tapauksessa:

$$l_e = \frac{560,5}{1148,5} * 2608 = 1273 \text{ mm} \quad (7)$$

ja

$$l_t = \frac{588}{1148,5} * 2608 = 1335 \text{ mm} \quad (8)$$

Akselimassoja tarvitaan myös auton staattisten akselipainojen,  $G_e$  ja  $G_t$  laskentaan.

Kaavat laskentaan ovat

$$\mathbf{G}_e = \mathbf{m}_e * \mathbf{g} \quad (9)$$

ja

$$\mathbf{G}_t = \mathbf{m}_t * \mathbf{g} \quad (10)$$

Kohdeauton staattisiksi aksepainoiksi saadaan siis:

$$\mathbf{G}_e = 588 * 9,81 = 5768 \text{ N} \quad (11)$$

ja

$$\mathbf{G}_t = 560,5 * 9,81 = 5499 \text{ N} \quad (12)$$

/4./

Auton painopisteen korkeuden määrittäminen on puolestaan erittäin hankalaa ja tässä työssä käytetään arviota siitä. Monesti painopisteen korkeus on hyvin lähellä auton vaihdekepin nupin korkeutta maasta. /4./

## 6.2.2 Dynaaminen akselipainomuutos ja optimijarrutus

Staattinen tilanne ei kuitenkaan riitä jarrutustapahtuman kuvaamiseen, sillä autoa jarrutettaessa tapahtuu niin sanottu nyökkääminen, jolloin auton takapää kevenee. Tämän takia jarruja mitottaessa tulee ottaa huomioon myös dynaamiset akselipainomuutokset. Dynaaminen akselipainomuutos riippuu ajoneuvon massasta, hidastuvuudesta, painopisteen korkeudesta maahan sekä akselivälistä. Se voidaan laskea kaavalla

$$\Delta \mathbf{G} = \frac{\mathbf{m} * \mathbf{a} * \mathbf{h}}{A_v} = \frac{1148,5 * 5,8 * 620}{2608} = 1584 \text{ N} \quad (13)$$

Dynaamisen akselipainomuutoksen kautta saadaan määritettyä jarrutustapahtuman dynaamiset akselipainot.  $\Delta G_e$  ja  $\Delta G_t$ . Auton etupää painuu ja takapää kevenee jarrutettaessa, joten dynaamisten akselipainojen kaavat ovat

$$\Delta \mathbf{G}_e = \Delta \mathbf{G} + \Delta \mathbf{G}_e \quad (14)$$

ja vastaavasti

$$\Delta \mathbf{G}_t = \Delta \mathbf{G} - \Delta \mathbf{G}_t \quad (15)$$

Eli nyt  $\Delta G_e$  on 7352 N ja  $\Delta G_t$  on 3915 N.

Mahdollisimman voimakas jarrutus saadaan aikaiseksi vain, jos auton koko kitkapaino saadaan käyttöön. Toisin sanoen molemmat akselit jarrutetaan kitkarajalleen

samanaikaisesti, eli ne lukkiutuvat samanaikaisesti. Tällaista jarrutusta kutsutaan optimijarrutukseksi. Jotta molemmat akselit lukkiutuisivat samanaikaisesti, niiden tulee jarruttaa auton kokonaisjarruvoimasta omaa dynaamista akselipainoa vastaava osuus. Kaavalla ilmaistuna

$$\frac{B_e}{B_t} = \frac{\Delta G_e}{\Delta G_t} \quad (16)$$

jossa  $B_e$  on etujarruvoima ja  $B_t$  on takajarruvoima. /4./

### 6.2.3 Ihanteellinen jakosuhte ja laskennalliset jarruvoimat

Silloin kun optimijarrutus toteutuu, jakautuvat jarruvoimat ihanteellisesti. Ihanteellisella jakosuhteella vastaavasti tarkoitetaan sitä, että jokaisella hidastuvuuden arvolla totetuu optimijarrutus. Eli toisinpäin, jokaisella hidastuvuuden arvolla jakosuhte muuttuu. Näin ollen ihanteellinen jakosuhte on teoreettinen tavoite, jota onnistutaan lähestymään lähinnä sähköisesti säädetyillä jarrujärjestelmillä, joihin ei tässä työssä puututa. /4./

Jarrutus on kaikkein voimakkain silloin, kun auton koko kitkapaino saadaan käyttöön. Auton dynaamiset akselipainot muuttuivat hidastuvuuden mukaan, joka puolestaan riippuu tien ja renkaan välisestä kitkakertoimesta. Laskennalliset jarruvoimat etu- ja taka-akselille saadaan siis selville kaavoilla

$$B_e = \mu * \Delta G_e \quad (17)$$

ja

$$B_t = \mu * \Delta G_t \quad (18)$$

jossa  $\mu$  on kitkakerroin.

Jakosuhteen kaava on

$$k = \frac{B_e}{B_t} \quad (19)$$

/4./

Havainnollistetaan asiaa laskemalla seuraavalla sivulla esitettyyn taulukkoon 1 jarruvoimat ja jakosuhteet kohdeautolle kaikilla hidastuvuuksilla. Taulukosta huomaa hyvin myös ihanteellisen jakosuhteen kasvavan hidastuvuuden kasvaessa.

**TAULUKKO 1. Jarruvoimat ja ihanteellinen jakosuhte**

	( $=\mu*9,81$ )	( $=m*a*h)/Av$ )	( $=Ge+\Delta G$ )	( $=Gt-\Delta G$ )	( $=\mu*\Delta Ge$ )	( $=\mu*\Delta Gt$ )	( $=Be/Bt$ )
$\mu$	a	$\Delta G$	$\Delta Ge$	$\Delta Gt$	Be	Bt	k
0,00	0,00	0	5768	5499	0	0	0,00
0,05	0,49	134	5902	5365	295	268	1,10
0,10	0,98	268	6036	5231	604	523	1,15
0,15	1,47	402	6170	5097	925	765	1,21
0,20	1,96	536	6304	4963	1261	993	1,27
0,25	2,45	670	6438	4829	1609	1207	1,33
0,30	2,94	804	6572	4695	1971	1409	1,40
0,35	3,43	937	6705	4562	2347	1597	1,47
0,40	3,92	1071	6839	4428	2736	1771	1,54
0,45	4,41	1205	6973	4294	3138	1932	1,62
0,50	4,91	1339	7107	4160	3554	2080	1,71
0,55	5,40	1473	7241	4026	3983	2214	1,80
0,60	5,89	1607	7375	3892	4425	2335	1,89
0,65	6,38	1741	7509	3758	4881	2443	2,00
0,70	6,87	1875	7643	3624	5350	2537	2,11
0,75	7,36	2009	7777	3490	5833	2618	2,23
0,80	7,85	2143	7911	3356	6329	2685	2,36
0,85	8,34	2277	8045	3222	6838	2739	2,50
0,90	8,83	2411	8179	3088	7361	2780	2,65
0,95	9,32	2545	8313	2954	7897	2807	2,81
1,00	9,81	2678	8446	2821	8446	2821	2,99

#### 6.2.4 Rakenteellinen jakosuhte ja välityssuhteet

Kun puhutaan mekaanisella jarruvoimansäädöllä toteutetusta järjestelmästä, etu- ja takajarruvoimat kulkevat lineaarisesti ja ihanteellinen jakosuhte toteutuu vain yhdellä kuormitus-, kitka ja hidastuvuusyhdistelmällä. Käytännössä puhutaan rakenteellisesta jakosuhteesta. Rakenteellinen jakosuhte tarkoittaa siis auton todellisten jarruvoimien jakautumista etu- ja taka-akselistolle. Jakosuhte tulee määrittää kuormittamattoman auton massalla. Mikäli suhde on määritetty kuormatun auton mukaan, ovat auton takajarrut liian tehokkaat tyhjänä ajettaessa. /4./

Jarruvoimat voidaan määrittää edellä olleen tavan lisäksi kertomalla poljinvoima etu- tai takajarrujen välityssuhteella. Autossa on vain yksi jarrupoljin, joten poljinvoima on sama sekä etu- että takajarruille. Näin ollen voimme muodostaa rakenteellisesta jakosuhteesta kaavan

$$k_r = \frac{B_e}{B_t} = \frac{i_e}{i_t} \quad (20)$$

jossa  $i_e$  on etujarrujen välityssuhde ja  $i_t$  on takajarrujen välityssuhde. Välityssuhteet puolestaan muodostuvat kaavoista

$$i_e = i_{mek} * i_{teh} * i_{hyde} * i_{sis_e} * \frac{r_e}{R_e} * n_{ve} \quad (21)$$

ja

$$i_t = i_{mek} * i_{teh} * i_{hydt} * i_{sis_t} * \frac{r_t}{R_t} * n_{vt} \quad (22)$$

Jossa:

- $i_{mek}$  = jarrupolkimen välityssuhde
- $i_{teh}$  = jarrutehostimen välityssuhde
- $i_{hyd}$  = akselikohtaisten pyöräjarrujen kiristysmäntien yhteenlasketun pinta-alan suhde jarrupääsylinterin männän pinta-alaan
- $i_{sis}$  = pyöräjarrun sisäisestä rakenteesta tuleva välityssuhde
- $\frac{r}{R}$  = pyöräjarrun sisäisen voimamomentin varren suhde renkaan dynaamiseen vierinsäteeseen
- $n_v$  = jarrun mekaaninen hyötysuhde, rumpujarru 0,7-0,8, levyjarru 0,9. /4./

Yhtälöstä voidaan suoraan jättää pois polkimen ja tehostimen välityssuhteet, sillä ne ovat molemmille akseleille samat. Kohdeauton suunniteltujen jarrujen tapauksessa myös molemmilla akseleilla on levyjarrut sekä samankokoiset renkaat. Tällöin yhtälöstä voidaan jättää pois myös sisäisestä rakenteesta tuleva välityssuhde, mekaaninen hyötysuhde sekä renkaan dynaaminen vierintäsäde. Tällöin jäljelle jää kaava:

$$k_r = \frac{i_e}{i_t} = \frac{i_{hyde} * r_e}{i_{hydt} * r_t} \quad (23)$$

Kuten edellä todettiin  $i_{hyd}$  tarkoittaa akselikohtaisten pyöräjarrujen kiristysmäntien yhteenlasketun pinta-alan suhdetta jarrupääsylinterin männän pinta-alaan, joten kun jarrupääsylinteri on sama molemmille, niistäkin jää jäljelle pelkästään akselikohtaisten pyöräjarrujen kiristysmäntien yhteenlasketut pinta alat  $A_e$  ja  $A_t$ .

Kohdeauton jarrusatulat ovat niin sanotut uivat satulat, joissa on käytännössä yksi mäntä, mutta laskennassa ne toimivat kuin mäntiä olisi kaksi kappaletta per pyörä. Tämä tulisi ottaa huomioon, mikäli rakenteet olisivat akseleissa erilaiset. Auton

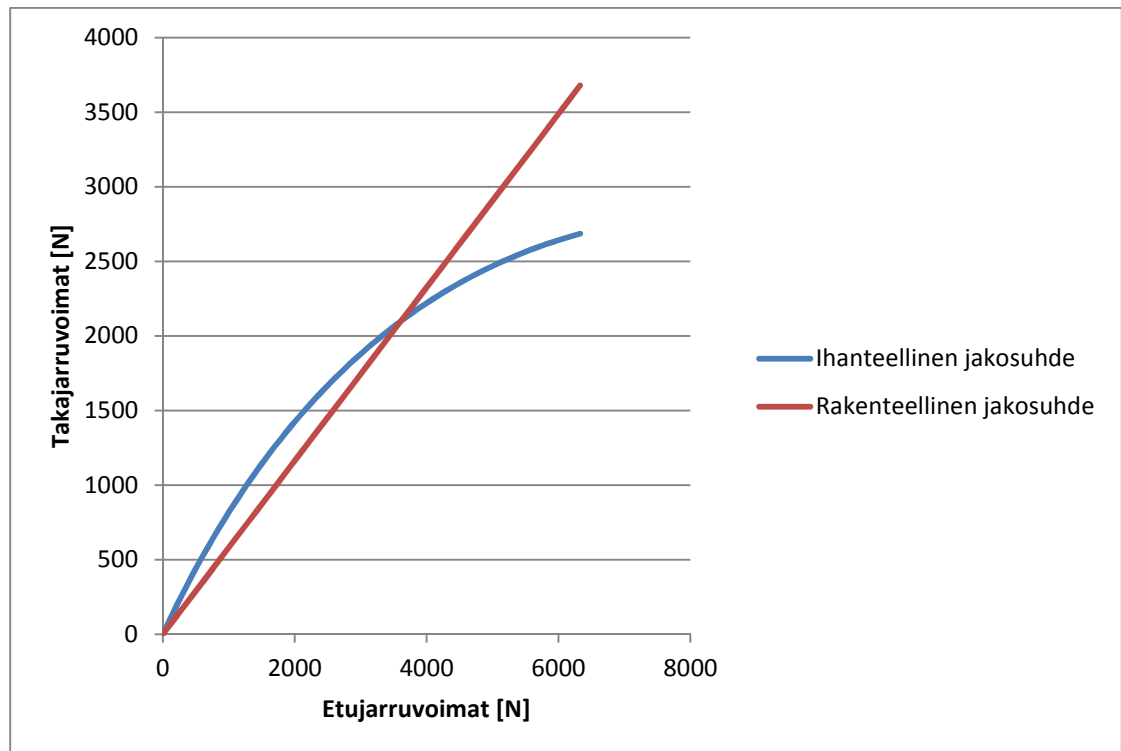
etäisyydet pyörännavan keskeltä jarrupalan keskelle, eli  $r_e$  ja  $r_t$ -arvot, ovat  $r_e$  118,5mm ja  $r_t$  107,5mm. Näin ollen saadaan muodostettua yhtälö:

$$k_r = \frac{A_e * r_e}{A_t * r_t} = \frac{2 * \frac{\pi * 60^2}{4} * 118,5}{2 * \frac{\pi * 43^2}{4} * 107,5} = 2,15 \quad (24)$$

Fysiikan lakien mukaan kaavat voi kääntää myös toisinpäin, jolloin saadaan rakenteellisen jakosuhteen kaavasta 20:

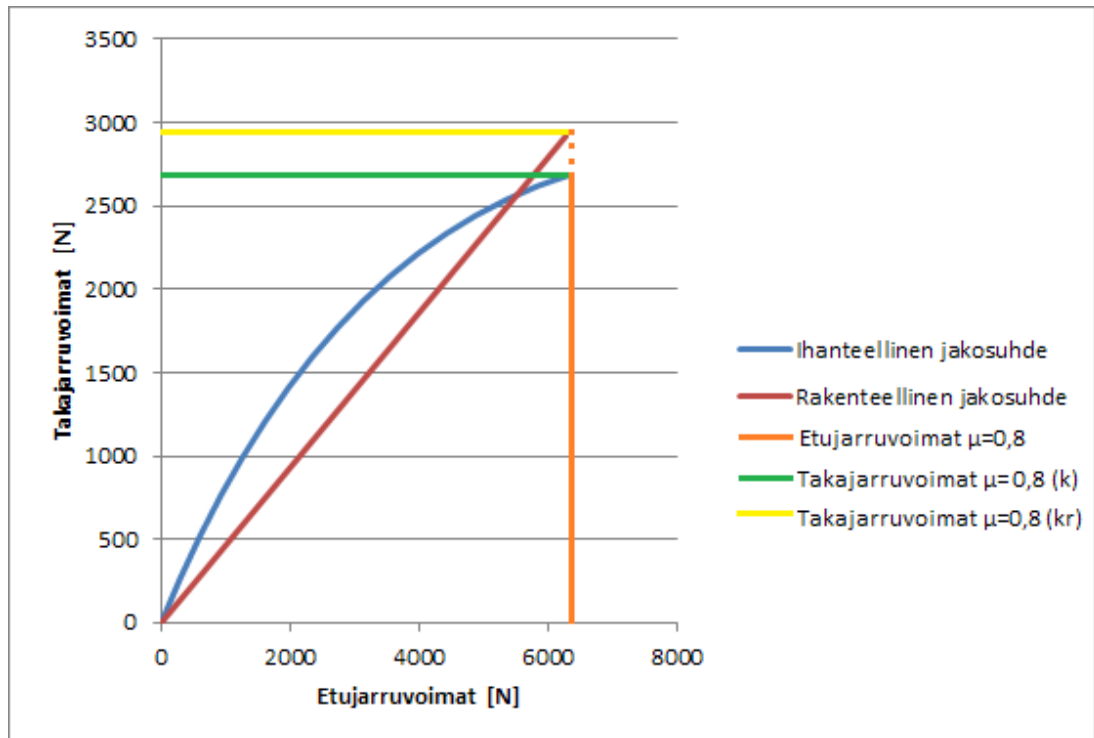
$$b_t = \frac{b_e}{k_r} \quad (25)$$

Kun käytetään aikaisemmin laskettuja etujarruvoimia, saadaan lasketuksi rakenteellisen jakosuhteen aiheuttamat takajarruvoimat. Tarkastellaan molempia jakosuhteita samassa kaaviossa 1, jossa X-akselilla ovat etu- ja Y-akselilla takajarruvoimat.



**KAAVIO 1. Jarruvoimat molemmilla jakosuhteilla**

Kaaviosta 1 huomataan, että suhteet leikkaavat toisensa etujarruvoimien ollessa noin 5800 N, eli hidastuvuuden ollessa noin  $7,3 \frac{m}{s^2}$ . Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tätä suuremmalla hidastuvuudella, esimerkiksi kuivalla asfaltilla, kitkakertoimen ollessa 0,8 takapyörät lukkiutuvat ennen takajarruja. Havainnollistetaan asiaa kaaviolla, jossa on apuviivat (kaavio 2).

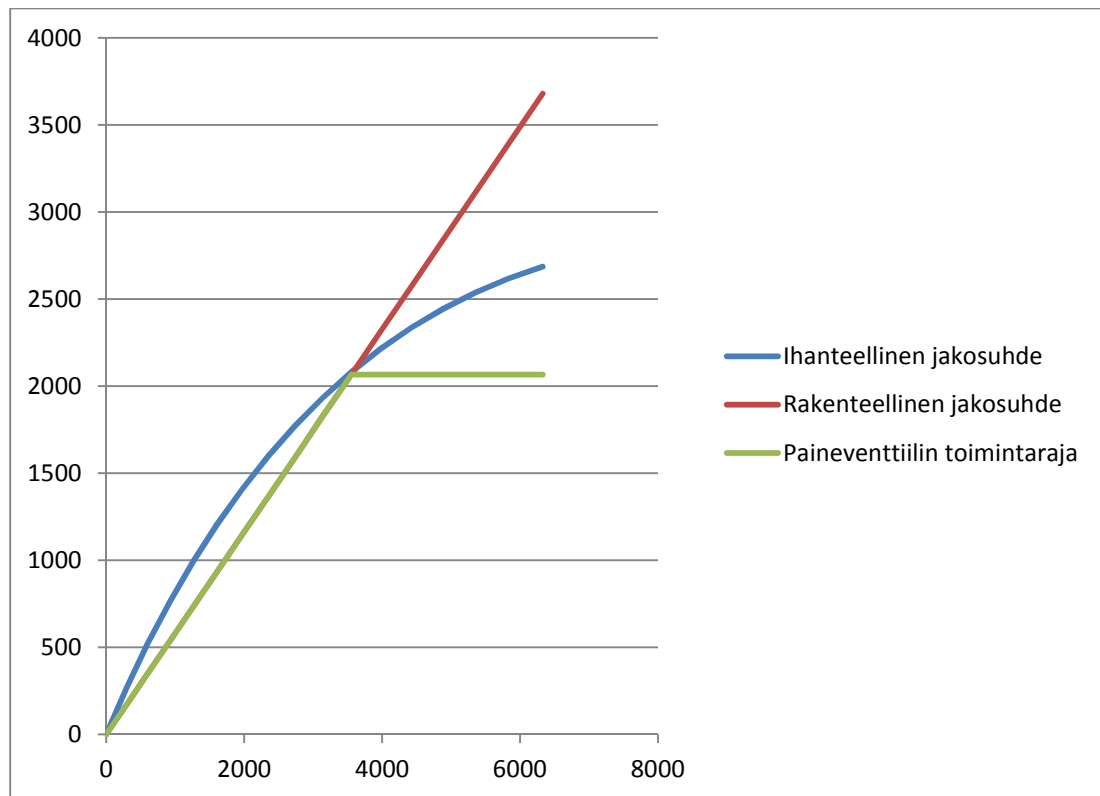


**KAAVIO 2. Jarruvoimakaavio apuviivoilla**

Kaaviosta huomataan jo laskemalla todettu. Etujarruvoimien ollessa 8446 N ovat takajarruvoimat ihanteellisella jakosuhteella 2821 N ja rakenteellisella jakosuhteella 3929 N. Tämän välttämiseksi takajarrujen tulee rajoittaa.

### 6.2.5 Takajarrujen paineventtiili

Takajarruvoimia rajoitetaan yleisesti rajoittamalla takajarruille menevää jarrunesteen painetta. Takajarrujen paineventtiileitä on kiinteitä, kuormantuntevia ja hidastuvuuteen perustuvia. Kiinteä paineventtiili mitoitetaan haluttuun kohtaan, esimerkiksi edellisessä tapauksessa hidastuvuuteen  $6,87 \frac{m}{s^2}$ , eli kitkakertoimen ollessa 0,7. Kuormantunteva paineventtiili on sijoitettu auton koriin, lähelle taka-akselistoa. Venttiiliä ohjaa mekaanisesti tanko, joka on puolestaan kiinnitetty taka-akseliin. Näin ollen auton korkeuden muuttuessa, esimerkiksi jarrutuksen aiheuttamassa nyökkäyksessä, rajoittuu takajarrujen paine. Tällaisen paineventtiilin alkuasetus tulee muistaa kalibroida uudestaan esimerkiksi autoa madallettaessa. Hidastuvuuteen perustuva paineventtiili on sijoitettu auton koriin tiettyyn kulmaan. Ilman hidastuvuutta tai pienellä hidastuvuudella se ei rajoita takajarrujen painetta. Hidastuvuuden kasvaessa paineventtiilin sisällä oleva kuula siirtyy, katkaisee nesteen reitin takajarruille ja rajoittaa näin ollen paineen. /4./



**KAAVIO 3. Paineventtiilin toimintaraja**

Kaaviossa 3 näkyy paineventtiili mitoitettuna kitkakertoimelle 0,7, näin ollen takajarrut eivät lukkiudu missään tilanteessa ennen etujarruja.

### 6.2.6 Jarrujen hyvyysuhde

Jarrujen ihanteelliseen jakosuhteeseen ei päästä käytännössä, vaan joudutaan valitsemaan pyöräjarruilla rakenteellinen jakosuhteen, joka määrää, millaisella hidastuvuudella optimijarrutus toteutuu. Tämän jälkeen lisäksi joudutaan rajoittamaan takajarrujen voimia, etteivät ne ala lukkiutua ennen etujarruja. Näin aletaan olla siis melko kaukana ihanteellisen jakosuhteen jarruvoimista. Jarrujen hyvyysuhde kuvastaakin sitä, miten hyvin jarrut ovat suunniteltu. Keskimäärin jarrujen hyvyysuhteen tulisi olla yli 0,9. Hyvyysuhde  $n$  lasketaan jakamalla todellinen yhteenlaskettu jarruvoima ihanteellisella jarruvoimalla. Katsotaan kohdeauton hyvyysuhde taulukossa 2. /4./

## TAULUKKO 2. Jarrujen hyvyysuhde

		Teoreettinen			Jarruvoimat paineventtiillä			
$\mu$	a	Be	Bt	Yht	Be	Bt	Yht	n
0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0,000
0,05	0,49	295	268	563	295	137	432	0,767
0,10	0,98	604	523	1127	604	281	884	0,785
0,15	1,47	925	765	1690	925	430	1356	0,802
0,20	1,96	1261	993	2253	1261	586	1847	0,820
0,25	2,45	1609	1207	2817	1609	749	2358	0,837
0,30	2,94	1971	1409	3380	1971	917	2888	0,855
0,35	3,43	2347	1597	3943	2347	1092	3438	0,872
0,40	3,92	2736	1771	4507	2736	1272	4008	0,889
0,45	4,41	3138	1932	5070	3138	1460	4598	0,907
0,50	4,91	3554	2080	5634	3554	1653	5206	0,924
0,55	5,40	3983	2214	6197	3983	1852	5835	0,942
0,60	5,89	4425	2335	6760	4425	2058	6483	0,959
0,65	6,38	4881	2443	7324	4881	2270	7151	0,976
0,70	6,87	5350	2537	7887	5350	2488	7838	0,994
0,75	7,36	5833	2618	8450	5833	2488	8321	0,985
0,80	7,85	6329	2685	9014	6329	2488	8817	0,978
0,85	8,34	6838	2739	9577	6838	2488	9326	0,974
0,90	8,83	7361	2780	10140	7361	2488	9849	0,971
0,95	9,32	7897	2807	10704	7897	2488	10385	0,970
1,00	9,81	8446	2821	11267	8446	2488	10935	0,971
							<b>Keskiarvo:</b>	<b>0,909</b>

Suunniteltujen jarrujen hyvyysuhteeksi tulee keskimäärin 0,91, eli kelpaavat, mutta voisivat olla paremmatkin. Käytettäessä taulukkolaskentaa asiaa on helppo kokeilla. Mikäli rakenteellinen jakosuhte olisi 1,74, tulisi jarrujen hyvyysuhteeksi 0,927.

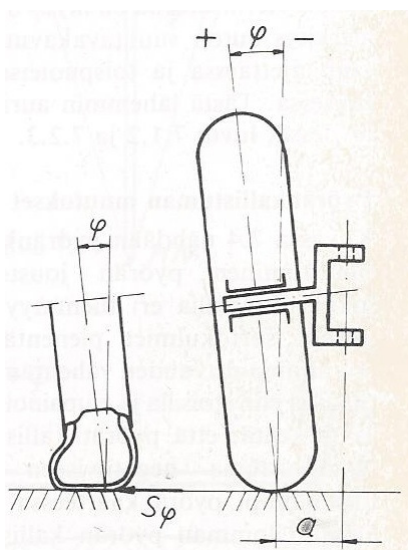
## 7 PYÖRÄNKULMAT

Auton ajokorkeuden muuttaminen ja muut alustamuutokset vaikuttavat hyvin usein auton pyöräntuloon. Voisi kuvitella, että pyörät olisivat autossa kohtisuorassa sekä tien suuntaan että auton koriin nähden. Myöhemmin akselistorakenteissa käydään läpi pyörien liikkeitä auton joustessa, ja näistä liikkeistä johtuen pyörät joudutaan suuntaamaan alkuasetuksena kunkin auton vaatimalla tavalla. Ennen kuin auton alustarakenteisiin lähdetään tekemään muutoksia, olisi hyvä tietää niistä perusasioita. Jotta voidaan puhua pyöräntulojen rakenteista ja ymmärtää niiden erot ja

ominaisuudet, pitää ensin tietää pyörän asentokulmista. Seuraavaksi käydään lyhyesti yleisimmät pyöräkulmat läpi, puuttumatta varsinaiseen ajodynamiikkaan. Mainittujen pyöräkulmien lisäksi pyörillä on muitakin ohjaukseen ja kulkuun liittyviä mittoja ja kulmia, mutta tässä työssä keskitytään niihin, joihin voidaan autossa vaikuttaa.

## 7.1 Pyörän kallistuma

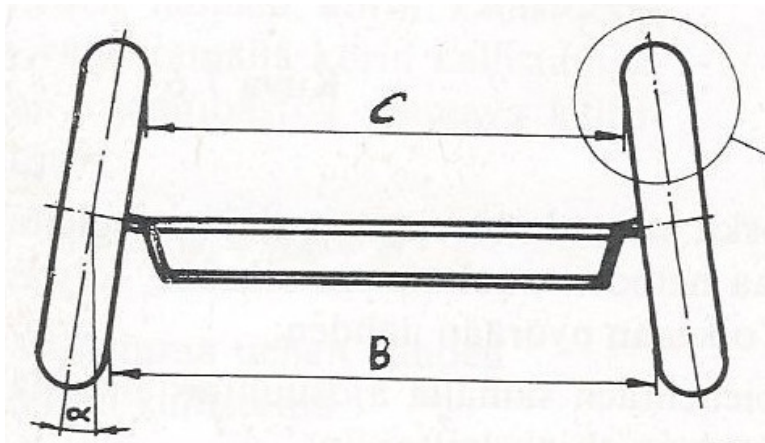
Pyörän sivukallistumasta käytetään usein sen englanninkielistä nimitystä camber. Camber-kulma on positiivinen, mikäli pyörä on kallistunut pystysuorasta asennosta ulospäin, ja negatiivinen, kun se on kallistunut sisäänpäin (kuva 2). Pyörä, jossa on positiivinen pyörän kallistuma, pyrkii asennostaan johtuen kulkemaan autosta pois päin ja negatiivisella kulmalla päinvastoin. Näin ollen camber-kulma kehittääkin auton renkaaseen sivuttaisvoimaa ja voiman suunta riippuu camber-kulman suunnasta. Pyörän kallistuma onkin olennainen osa auton ajo-ominaisuuksia varsinkin kaarreaajossa. Mikäli pyörässä on positiivinen kallistuma, vaatii suunnan muuttaminen suuremman sortokulman, koska sen on ensin voitettava camberin aiheuttama sivuttaisvoima. Negatiivisella camberilla oleva pyörä taas vaatii vähemmän sortokulmaa kuin täysin suorassa oleva pyörä. Erityisesti taka-akselistolla pieni negatiivinen pystykallistuma auttaa auton ajovakavuuteen. Kallistuman suuruutta rajoittaa kuitenkin sen aiheuttama renkaiden epätasainen kuluminen. /7, s. 124-128; 8, s. 685./



**KUVA 2. Pyörän sivukallistuma /7, s.125/**

## 7.2 Pyörien auraus

Kun vanteiden sisäreunojen välinen etäisyys on pienempi akselin etupuolella kuin takapuolella, pyörät auraavat. Mikäli väli on suurempi akselin etupuolella, pyörät harittavat. Auraus on siis auton pituusakselin ja pyörän keskilinjan välinen kulmaero. Auraus tai haritus ilmoitetaan yleensä millimetreissä harituksen ollessa negatiivinen luku. Kuvassa 3 on akselisto ylhäältäpäin kuvattuna, josta hahmottaa aurauksen. Pyöriin kohdistuu pitkittäisiä voimia pyörien vierinvastuksesta sekä vetävissä pyörissä vetovoimasta johtuen. Joustavissa pyöräntuennoissa nämä voimat aiheuttavat kulmavirhettä, jota aurauksella tai harituksella pyritään kompensoimaan. Auraukskulmalla otetaan myös huomioon mahdollista joustossa tapahtuvaa aurauksmuutosta, mutta pyöränkallistumaa ei auraukskulmalla voida kompensoida. /7, s.128-131; 8, s.684./

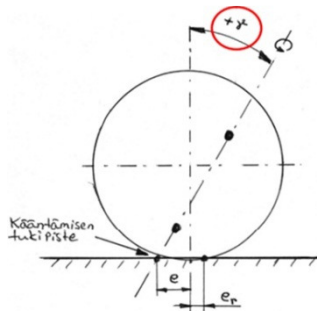


KUVA 3. Auraus /7, s. 128/

## 7.3 Kääntöakselin takakallistuma

Kääntöakselin takakallistuma, eli englanniksi caster, on positiivinen silloin, kun kääntöakselin yläpää on taempana kuin alapää (kuva 4). Casterin ollessa positiivinen pyörää siis työnnetään eikä vedetä ja näin ollen pyörä pyrkii pysymään ajosuunnassa. Se auttaaakin pyörien palautumiseen käännön jälkeen ja auttaa hyvän ajotuntuman saavuttamiseen. Liian suuri takakallistuma kuitenkin aiheuttaa raskaan ohjauksen ja altistaa sivutuulen vaikutukselle. Caster-kulman mittausta perustuu sen aiheuttamaan camber-kulman muutokseen. Kaarteissa auton ulomman pyörän pystykallistuma

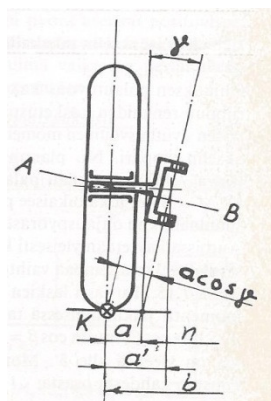
muuttuu negatiivisen suuntaan, jolloin sen sortokulma pienenee ja auton aliohjautuvuus vähenee. /7, s.136-137./



**KUVA 4. Caster /4/**

#### 7.4 Kääntöakselin sivukallistuma

Takakallistuman lisäksi kääntöakselilla on myös sivukallistumaa. Sivukallistuma on helpoiten esitettävissä kuvan 5 avulla. Huomattava on myös ero camber-kulmaan, kyseessä on kääntöakselin, ei pyörän sivukallistuma. Sivukallistuma on usein lyhennetty KPI, joka tulee sen englanninkielisestä nimityksestä king pin inclination. Käännettäessä autoa KPI aiheuttaa auton keulan nousemisen, joten laskettaessa ratista irti keula painuu takaisin alas. Näin ollen takakallistuman tavoin sivukallistuma vaikuttaa ohjauksen palautumiseen. On kuitenkin huomattava, että liian suuri kääntöakselin sivukallistuma heikentää ohjauksen palautumista suurilla kääntökulmilla, sillä se vähentää samalla takakallistumaa. KPI myös lyhentää pyörän kääntösädetä ja vähentää tiestä rattiin välittyviä voimia. /7, s.135-136; 8, s. 685./



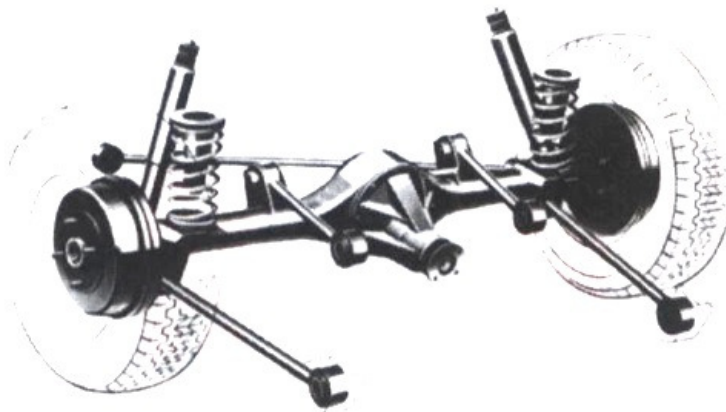
**KUVA 5. Kääntöakselin sivukallistuma /7, s. 135/**

## 8 AKSELISTORAKENTEET

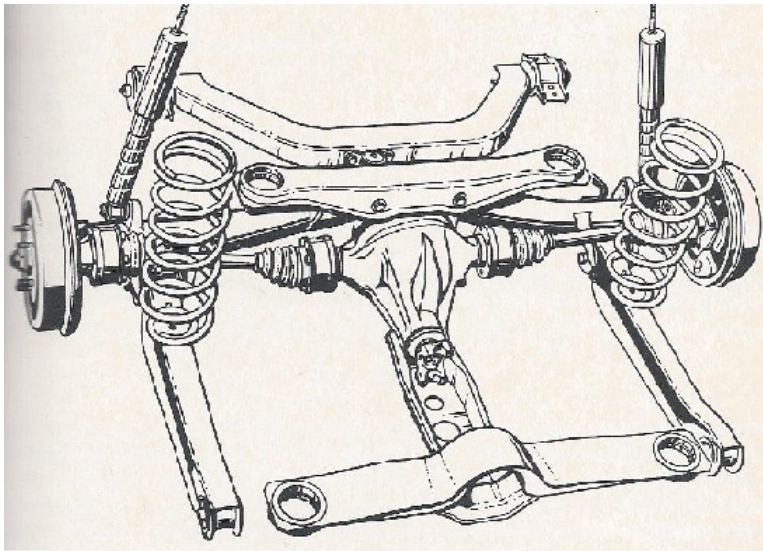
Pyörän tuennan tehtävänä on yhdistää auton kori pyöriin. Rakenteita on useita erilaisia, ja kaikki niistä vaikuttaa auton käyttäytymiseen omalla tavallaan. Akselistorakenteet voidaan jakaa alalajeihin useallakin eri tavalla. Työssä esitellään akselistot lyhyesti kuvien kanssa läpi syventymättä varsinaiseen alustageometriaan sen enempiä. Läpikäytyjen lisäksi on olemassa myös muita rakenteita, mutta niihin ei tässä työssä puututa niiden ollessa niin harvinaisia. /8, s. 684./

### 8.1 Jäykät akselit

Jäykkä akselisto on vanhin akselistomuoto, jossa pyörillä on sekä taivutus- että vääntöjäykkä kiinnitys toisiinsa nähden. Yksinkertaisesti ilmaistuna siis, mikäli toinen pyörä kulkee esimerkiksi kuoppaan, vaikutus tuntuu myös toisessa pyörässä. Jäykkää akselistoa voidaan käyttää sekä vetävässä akselistossa että vetämättömässä akselistossa. Se voidaan jousittaa millä jousityypillä tahansa, mutta varsinkin kierrejousia käytettäessä riittävät tuennat on otettava huomioon. Esimerkiksi kuvassa 6 on neljä pitkittäistukea sekä poikittaistuki jäykässä akselissa. Myös De Dion -akseli (kuva 7) lasketaan jäykäksi akseliksi. Se kehitettiin lieventämään vetävän jäykän akselin suurta jousittamatonta massaa. Jousittamatonta massaa on pienennetty kiinnittämällä vetopyörästä auton koriin ja joskus myös siirtämällä levyjarrut vetopyörästä kylkeen. /8, s. 686; 9, s.224-233./



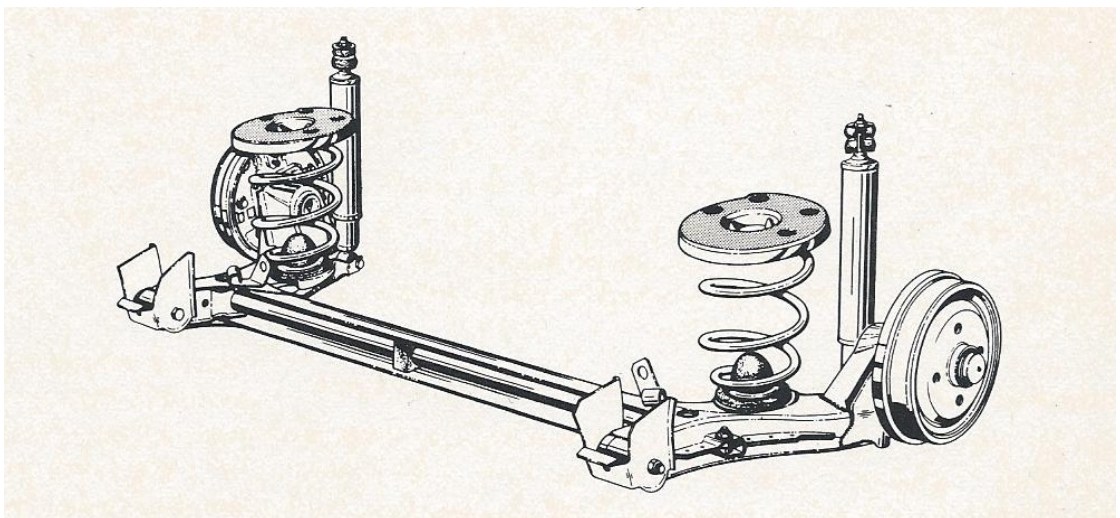
**KUVA 6. Jäykkä akseli /4/**



**KUVA 7. De Dion –tuenta /9, s. 233/**

## 8.2 Puolijäykät akselit

Puolijäykät taka-akselit ovat jäykän akselin ja seuraavana esiteltävien erillistuntojen välimuotoja. Näitä käytetään etuvetoisten autojen taka-akselistoina. Pyörillä on yhteys toisiinsa, mutta ne silti sallivat vain toispuoleisen jouston. Esimerkiksi yhdysheilurituennassa pyörien pitkittäistuet yhdistyvät toisiinsa vääntötangolla (kuva 8). Näin ollen yhtäaikaisessa joustossa pyörän asentokulmat pysyvät muuttumattomina kuin jäykässä akselissa ja toispuoleisessa joustossa taas vääntötanko kiertyy ja sallii toisen pyörän säilyttää asemansa, eli toimii kuten erillistuenta. /8, s. 686; 9, s. 224, s.266./



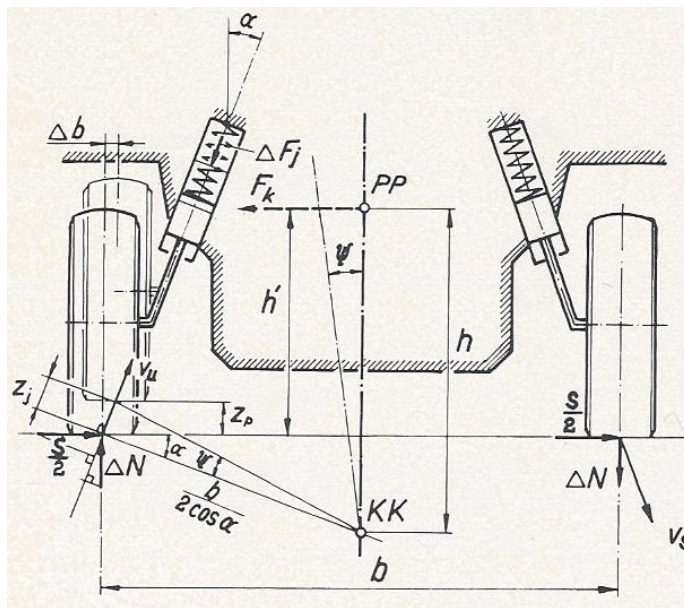
**KUVA 8. Yhdysheilurituenta /9, s.267/**

### 8.3 Erillistuentaiset akselit

Erillistuentaisia rakenteita on niin montaa eri mallia, että ne voidaan itsessään vielä jakaa alalajeihin. Niillä kaikilla on kuitenkin yksi yhteinen ominaisuus. Akselin pyörillä ei ole yhteyttä keskenään, joten toisen pyörän liikkeet eivät vaikuta toiseen.

#### 8.3.1 Sylinteriohjattu pyöräntuenta ja Mc Pherson -tuenta

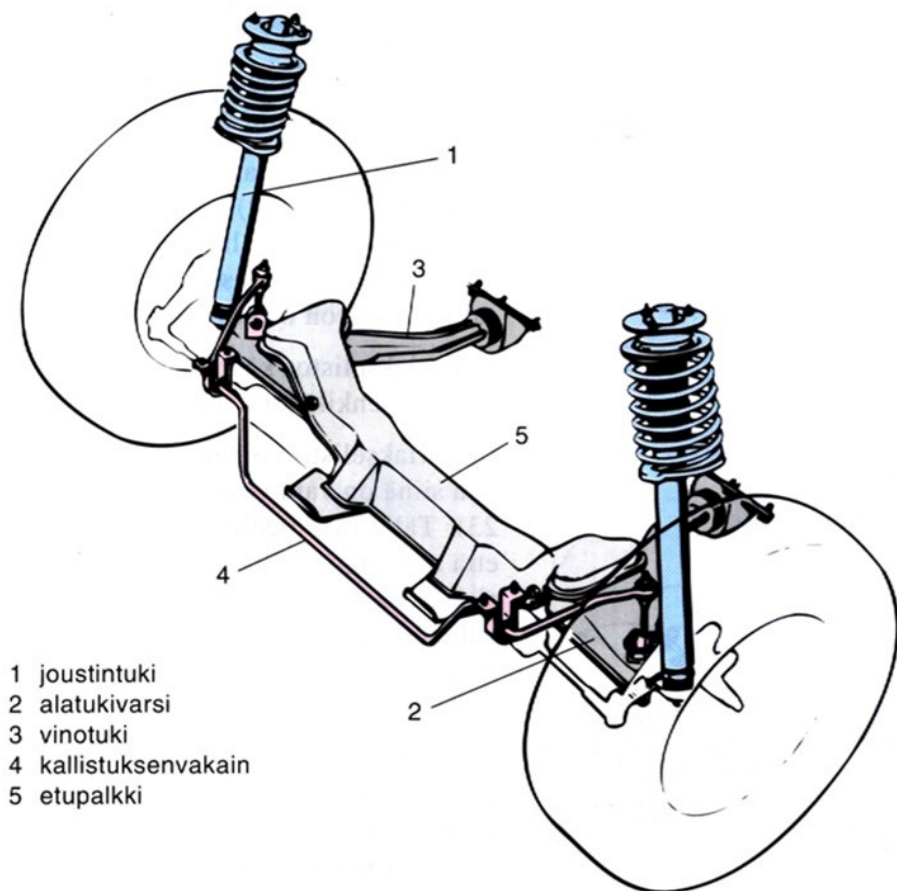
Sylinteriohjattu pyöräntuenta (kuva 9) on vanhentunut ja erittäin harvinainen autoissa. Tässä tuennassa pitkittäisiä tai poikittaisia voimia vastaanottavia ja hallitsevia tukivarsia ei ole, vaan kaikki voimat kulkee koriin kiinnitetävän sylinterin kautta. Sylinteri sisältää sekä jousen että vaimentimen. Tuenta on erittäin kompakti, mutta autokäytössä nopeasti kuluvat ohjaavat liukupinnat sekä huonot kaarreajo-ominaisuudet ovatkin painottaneet tuennan käytön lähinnä kaksipyöräisiin. /9, s. 235-238./



**KUVA 9. Sylinteriohjattu pyöräntuenta /9, s. 236/**

Mc Pherson -tuenta on rakenteeltaan hieman samanlainen tuentatapa: jousijalka sisältää heilahduksenvaimentimen ja yleensä jousitus on järjestetty kierrejousella vaimentimen ympärille. Joissakin tapauksissa myös muunlaisia jousiratkaisuja on käytetty. Mc Pherson vaatii kuitenkin alapäähän sekä poikittaisen että pitkittäisen tuennan tai vaihtoehtoisesti kolmiotuen toimiakseen. Tyypillinen tapa on, että joustintuki kiinnittyy olka-akseliin, joka on pallonivelellä kiinni poikittaistuessa, joka

puolestaan on nivelöity koriin. Näitä pitkittäin tukee kallistuksenvakain tai vaihtoehtoisesti erillinen pitkittäinen tukivarsi. Yläpää on kiinnitetty koriin tukilaakerin kautta (kuva 10). Jouston yhteydessä muuttuvat kaikki pyöränkulmat, mikä heikentää ajoturvallisuutta pidon vähentyessä, mutta normaaliajossa nämä muutokset ovat siedettävän pieniä. Tuenta ei ota hyvin auton kallistelua vastaan, joten kallistuksenvaimentimen käyttö on suositeltavaa. Mc Pherson -tuenta on erittäin suosittu auton valmistajien keskuudessa pienen tilantarpeen ja edullisten valmistuskustannusten johdosta. /8, s. 687; 9, s. 239-246./

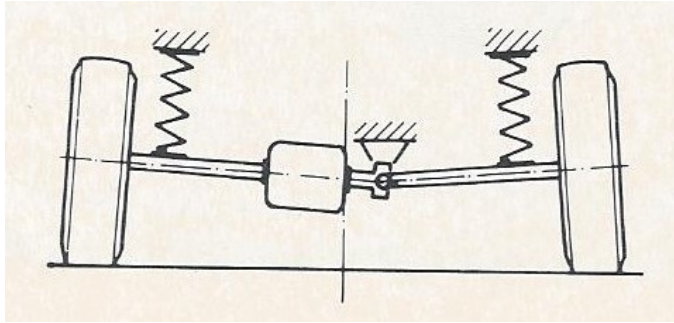


**KUVA 10. Mc Pherson –tuenta /4/**

### 8.3.2 Poikittaistuennat

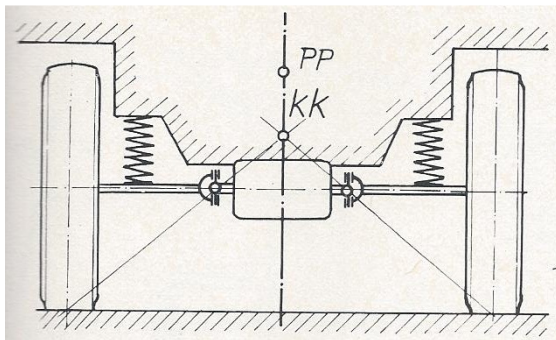
Poikittaistuettuihin akselistoihin kuuluvat poikittaisheiluri (kuva 11), lyhennetty heiluri ja poikittainen kaksoisheiluri. Poikittaisheilurissa pyörät kiinnittyvät akseleidensa välityksellä autoon. Akselit ovat kiinnitetty autoon nivelen kautta, joten pyörän joustaessa akseli nimensä mukaisesti heiluu nivelpisteensä ympäri. Myös poikittaisheiluri vaatii pitkittäistuennan, mikä myös vaikuttaa pyöränkulmiin jouston

yhteydessä. Poikittaisheilurituentaä käytettiin ennen paljon takavetoisten autojen taka-akselistoina. Ominaisuutena akselistolla on, että joustossa sekä pyöränkallistuma että raideväli muuttuvat voimakkaasti. /9, s. 246-250./



**KUVA 11. Poikittaisheiluri /9, s.246/**

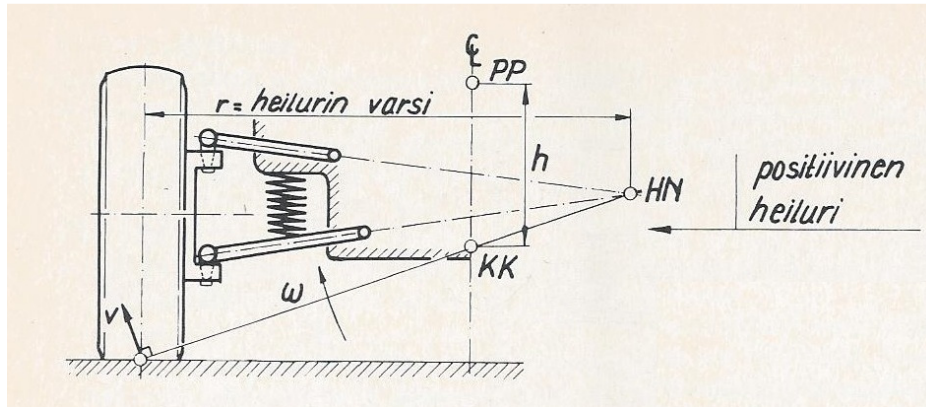
Lyhennetty heiluri (kuva 12) on lähestulkoon sama asia kuin poikittaisheiluri. Lyhennetyin heilurin etu on samanlainen kuin De Dion-akseliston etu jäykkään akselistoon nähden. Myös lyhennetyssä heilurissa on sen ollessa vetävä akseli mahdollista kiinnittää vetopyörästä koriin, jolloin jousittamaton massa jää erittäin pieneksi. Tällöin tarvitaan molemmille puolille oma murrosnivel akseleihin. Tuennan huonona puolena on kuitenkin lyhyempien akseleiden johdosta entistä suuremmat pyöräntulma muutokset jousituksessa. /9, s. 250-251./



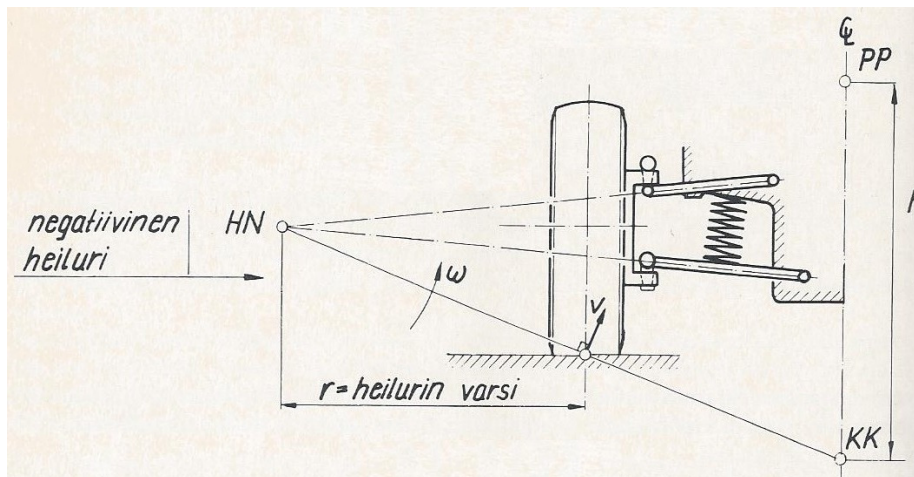
**KUVA 12. Lyhennetty heiluri /9, s.251/**

Poikittainen kaksoisheilurin tavoitteena on nimenomaan eliminoida näitä pyöräntulmamutoksia. Kaksoisheilurirakenteessa on ylempi ja alempi poikittaistukivarsi, joiden keskinäinen asento ja pituus ovat suorassa suhteessa näihin muutoksiin. Tuennat jaetaan kahdeksi, positiivisiksi (kuva 13) ja negatiivisiksi (kuva 14). Mikäli tukivarret ovat täysin saman mittaiset ja yhden suuntaiset, ei cambermuutosta tapahdu jousituksen yhteydessä lainkaan. Tällöin tosin sivuttaissiirtymä

kasvaa erittäin suureksi. Camber-kulman ja raidevälin muutosta on yhtäaikaan mahdoton saada olemattomaksi ja tarkoitus onkin hakea optimaalista kompromissia. Poikittaisella kaksoisheilurirakenteella saadaankin pyörän liikkeet niin pieniksi, että sitä voidaan käyttää myös etuakselistoissa, toisin kuin kahta edellistä. Tuennan ominaisuudet ovat erittäin vaihtelevat, riippuen tukivarsien suunnittelusta, mutta hyvin suunniteltuna käyttökelpoinen minkälaisena akselistona hyvänsä. /9, s.251-259./



**KUVA 13. Positiivinen poikittainen kaksoisheiluri /9, s. 252/**

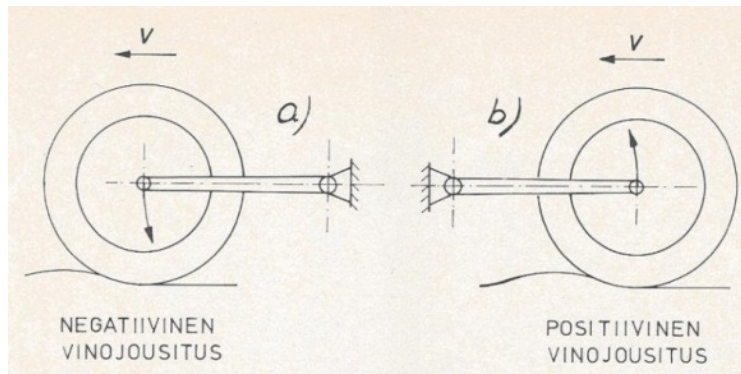


**KUVA 14. Negatiivinen poikittainen kaksoisheiluri /9, s. 252/**

### 8.3.3 Pitkittäistuennat

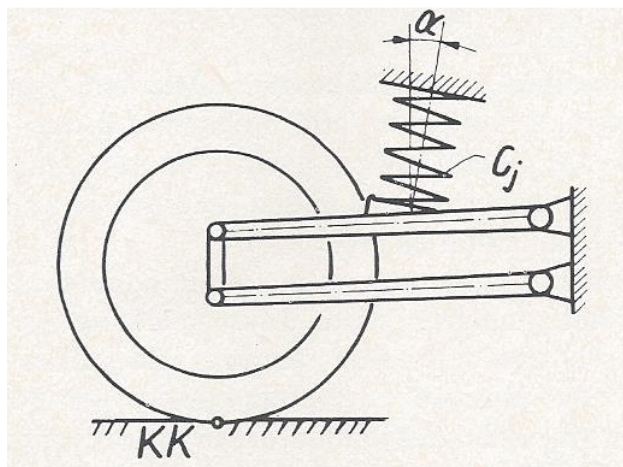
Pitkittäisheilurituennassa ei synny raidevälin eikä camber-kulman muutosta joustossa. Rakenne voidaan jakaa kahteen alalajiin, negatiiviseen ja positiiviseen tuentaan, jonka ero selkeää hyvin kuvasta 15. Epätasainen tie ei sovellu hyvin negatiiviselle pitkittäistuennalle, sillä vaakavoimat jäävät jousittamatta ja vaikuttavat suoraan runkoon. Molemmissa ratkaisuisissa esiintyy joustossa caster-kulma muutosta. Tämä

aiheuttaa positiivisessa tuennassa huonoa ohjauksen palautumista johtuen kulman pienenemisestä. Negatiivisessa tuennassa kulma muuttuu suuremmaksi, jolloin ohjaus muuttuu raskaaksi. Näin ollen tuentaa ei käytetä etuakselistoissa. Tuennassa esiintyy myös auton akselivälin muuttumista johtuen heiluriliikkeestä. Tämä näkyy käytännössä renkaan kulmanopeuden kasvuna, joka vaikuttaa auton ohjautumisominaisuuksiin. Tuenta sopii erityisen hyvin etuvetoisen auton taka-akselistoon vähentämällä sen aliohjautumista. /9, s. 259-260./



**KUVA 15. Pitkittäisheilurituenta /9, s.260/**

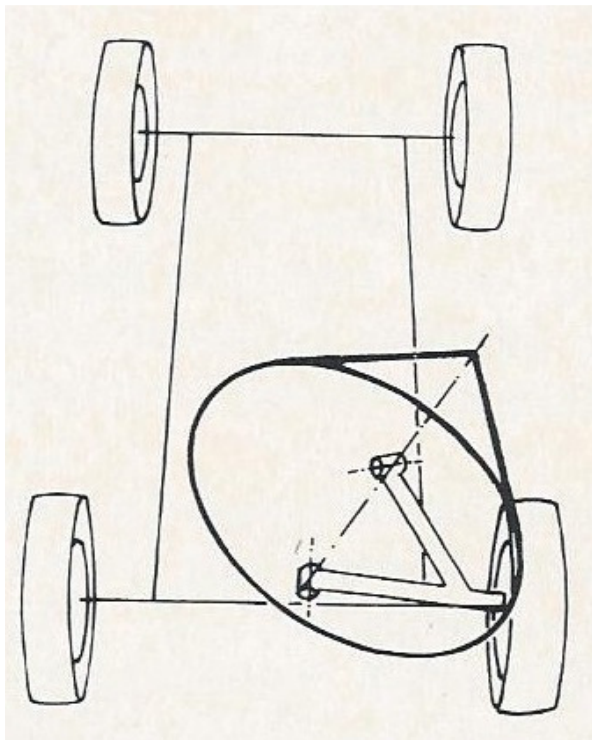
Pitkittäinen kaksoistuenta (kuva 16) on kehitetty samassa hengessä poikittaisen kaksoisheilurin kanssa. Tarkoituksena poistaa pyöräkulmamuuotokset pyörän jousissa. Kaksoistuennalla saadaankin camber-kulma muutokset niin pieniksi, että rakenne sopisi myös etupyörien tuentaan. Myös akselivälimuutos saadaan erittäin pieneksi, mutta molemmat rakenteet tarvitsevat edelleen kaarrevakaimen. /9, s. 261./



**KUVA 16. Pitkittäinen kaksoistuenta /9, s.261/**

### 8.3.4 Vinoheilurituenta

Vinotuntaisen heiluriakselin toiminta on kuin yhdistelmä poikittaista ja pitkittäistä heilurirakennetta. Kuten Mc Pherson -tuennassa, myös tässä rakenteessa jouston yhteydessä jokainen pyöräkulma muuttuu (kuva 17). Se ei suoraan ole huono asia, sillä tapahtuvia muutoksia voi hyvin suunniteltuna käyttää jopa hyödyksi. Akseliston ominaisuutena on myös se, että kallistuskeskiö voidaan nostaa ylös, jolloin tuenta ei ole niin riippuvainen kallistuksenvakaajasta kuin muut. /9, s. 261-265./



KUVA 17. Vinoheilurituenta /9, s.262/

## 9 MUUTOSTYÖ

### 9.1 Jarrujen muutos

Osat oli hankittu jo aiemmin, ostettu toisilta harrastajilta sitä mukaa, kun niitä myyntiin ilmestyi. Uutena jouduttiin hankkimaan vain niin sanottuja kulutusosia. Varsinaisen käytännön työ aloitettiin osien kunnostamisella, käymällä läpi kaikki autoon tulevat osat, esimerkiksi kaikki jarrusatulat purettiin ja kasattiin uusilla tiivisteillä. Kaikki osat myös puhdistettiin irtoruosteesta ja maalattiin.

Takajarrujen muuttuessa rummuista levyjarruiksi autoon joutuu vaihtamaan erilaiset takatukivarret, jotta jarrusatulat saa kiinni. Autoon päädyttiin vaihtamaan koko taka-akselisto, sillä näin ollen autoon saatiin myös lukolla varustettu vetopyörästö. Uusien takatukivarsien takia autoon jouduttiin myös uudet takaheilahduksenvaimentimet. Kun takajarrut oli saatu muutettua huomasi jo lyhyellä koeajolla auton jarruista tulleen takapainoiset. Autoa ei ollut tuolloin mahdollista viedä jarrudynamometriin, mutta jarruvoimat tuskin olisivat jakaantuneet lain vaatimalla tavalla. Näin ollen suunniteltu etujarrujen suurentaminen tuli myös välttämättömyydeksi takajarrumuutoksien jälkeen.

Kun auton etupyöräjarrut oli vaihdettu suurempiin, autosta huomasi heti jarrut ilmattua seuraavan ongelman. Jarrupoljin painuu lähes lattiaan, ennen kuin jarrut alkavat ottamaan kunnolla. Jarrupääsylinteri on alimitoitettu nykyisille pyöräjarruille. Jarrut pitävät hyvin, mutta poljintuntuma on todella huono, tuntuu kuin painetta ei olisi ollenkaan. Kun jarrutus alkaa, niin poljinvoimaa joutuu käyttämään runsaasti. Näin ollen myös jarrupääsylinterin vaihdosta tuli pakollinen toimenpide.

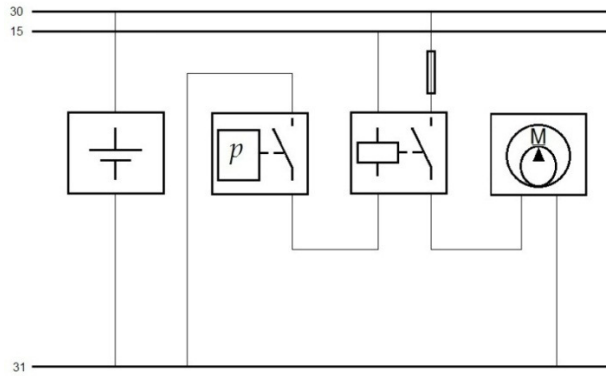
Pääsylinterin vaihdon yhteydessä muuttuu myös alkuperäinen jarrutehostin, sillä Cosworth-mallista peräisin oleva pääsylinteri on sähköhydraulisesti toimiva. Sähkömoottori pumppaa jarrunesteen putkistoon, eikä alipainetehostusta siis tarvita. Kyseessä oleva pääsylinteri on tarkoitettu toimimaan lukkiutumattoman jarrujärjestelmän kanssa, mutta harrastajat ovat asentaneet niitä toimimaan myös ilman ABS-jarruja.

Pääsylinteri koostuu jarrunestesäiliöstä, sähkömoottorista ja ABS-venttiilikoneistosta. Pääsylinterissä on paineanturi, joka haistelee jarrunesteen painetta, jonka sähkömoottori pumppaa. Normaalisti pääsylinteri lisäksi on myös kytketty ABS-ohjainyksikköön, joka seuraa ABS-antureita ja venttiilikoneistoa. Nyt tätä ohjainyksikköä ei tarvita ollenkaan, sillä autoon ei ole tarkoitus asentaa lukkiutumattomia jarruja. Pääsylinterissä on myös jonkinlainen sisäänrakennettu paineventtiili takajarruille, joten alkuperäinen hidastuvuuteen perustuva venttiili jätetään kokonaan pois välistä. Kunnan sähkökaaviota järjestelmästä ei löytynyt, joten jouduttiin toimimaan kuin normaali harrastajakin ja turvautumaan muiden kokemuksiin ja vinkkeihin. Asiasta on keskusteltu paljon, esimerkiksi Cosworth & RS Clubilla, ja tätä kautta saatiinkin tiedot, kuinka kytkeä pääsylinterin ohjaus. Kytkentä

on melko yksinkertainen, kytketään normaali rele niin, että pääsylinterin paineanturi yhdistää virtalukolta otetun virran sähkömoottoriin. Eli aina kun paineanturi huomaa paineen tippuneen, alkaa sähkömoottori pumpata painetta. Näin ollen jarrut ovat aina valmiina, mutta sähkömoottori ei pumpkaa suotta koko aikaa.

Jarrupääsylinterin vaihto aloitettiin testaamalla irrallaan käytetty pääsylinterin, jotta ei turhaan asennettaisi rikkinäistä osaa. Sähkömoottori oli helppo testata irtoakun avulla, kytkettiin vain johdot ja moottori alkoi pyöriä. Kytkeä ei voinut tässä vaiheessa vielä enempää kokeilla, sillä ilman jarruputkien kytkemistä pääsylinteri ei ikinä saavuttaisi haluamaansa painetta. Auton tulipeltiin joutui tekemään hieman muutoksia, jotta pääsylinterin sai paikalleen. Autoon jouduttiin myös vetämään uusi pitkä jarruputki auton takajarruille, sillä sen välistä jää paineenalennin pois. Paineenalentimen pois oton johdosta jarruputki jää liian lyhyeksi ja koska jarruputkiin ei saa tehdä ylimääräisiä liitoksia, on putki uusittava takaa asti /2 11§/. Kun pääsylinterin oli saatu paikalleen, testattiin kytkentöjen paikkaansa pitävyys ennen varsinaista johtojen vetämistä. Sähköt kytkettiin pääsylinterille sopivilla johdoilla ja liittimillä, mutta en johtoja ei pujoteltu mitenkään eikä niitä suojattu. Kun kytkennät oli saatu tehtyä kaavion 4 mukaisesti, alkoi sähkömoottori pyöriä. Kun ilmaa saatiin pois järjestelmästä, järjestelmä alkoi toimia odotuksien mukaan. Kun jarrupoljinta pumpppaa, niin sähkömoottori pyörii ja tuottaa painetta järjestelmään, mutta kun polkemisen lopettaa, niin pumpppu pysähtyy hetken kuluttua. Lopuksi tehtiin vielä kytkennät kunnolla, jotta liitokset ovat suojattuja ja autolla voi ajaa.

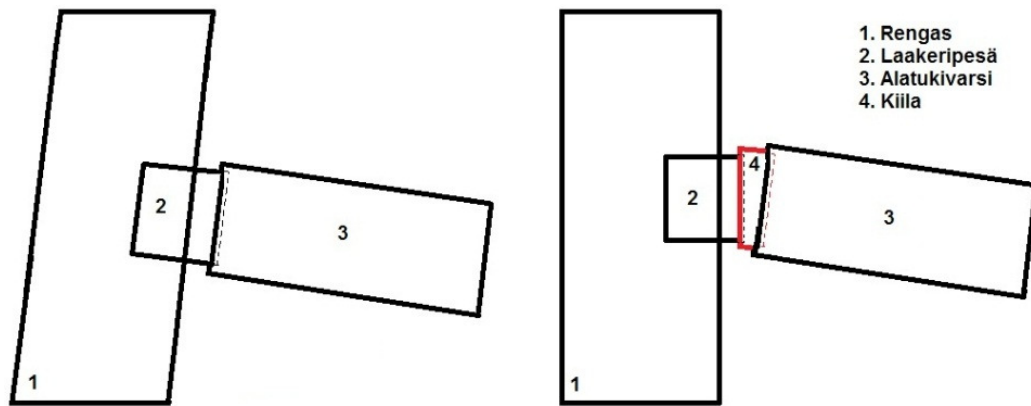
Kun kytkennät oli saatu tehtyä, ajettiin autolla testilenkki ja todettiin auton jarrujen toimivan hienosti. Poljintuntuma on nyt erinomainen, poljin on herkkä, mutta sen liikerata ei ole liian lyhyt. Tässä vaiheessa kokeiltiin myös jarruja ilman sähkömoottorin toimintaa ottamalla sulake irti. Auto pysähtyy aivan hyvin, vaikka polkimen huomaakin olevan raskaampi käyttää. Autosta ei siis missään vaiheessa tule hengenvaarallinen, vaikka sähkömoottori putoaisikin jostain syystä pois pelistä.



**KAAVIO 4. Jarrupääsylinterin kytkentäkaavio**

## 9.2 Pyöränkulmien muuttaminen

Kohdeauton takapyörien camber-kulmille oli tarkoitus keksiä muutosratkaisu, jotta auton takarenkaille tulee enemmän kosketuspintaa tiehen ja renkaiden turha kuluminen loppuu. Vinoheilurirakenteen takia takapään pyöränkulmista ei saa ainakaan pienellä työllä ja lain vaatimissa rajoissa pysymällä rakennettua säädettävää. Kyseiseen autoon on ulkomailla myynnissä taka-akselistorakennetta, jossa on säädettävät tukivarret valmiina, mutta hinta ei ole opiskelijabudjetille soveltuva. Vastaavaa alettaessa itse rakentaa törmätään hyvin nopeasti aiemmin mainittuun lainkohtaan, jossa sanotaan, että autoon vaihdettavien osien tulee olla tehdasvalmisteisia. Niimpä säädettävyys päätettiin unohtaa ja muuttaa pyöränkulmia niin, että ne ovat kohdallaan ainakin auton nykyisellä ajokorkeudella. Ainut järkevä vaihtoehto, jonka auton alustarakenteen huomioon ottaen keksittiin, oli tehdä niin sanotut kiilat pyörännapojen alle, jotka kääntävät renkaita pystympään. Kiilat tukeutuisivat samalla tavoin tukivarsiin ja pyörännavat puolestaan kiiloihin kuin vakiona pyörännavat suoraan tukivarsiin. Näin ollen pultit eivät rasittuisi sen enempää kuin normaalistikaan, vaikka joutuisivat olemaankin pidemmät. Pultit tarvitsevat myös sopivan kokoiset kiilaprikat alleen, ettei pultteihin muodostu jännitystä. Sopivan kokoinen kiila kääntää rengasta sopivasti pystympään. Kuva 18 ei ole millään tavalla mittasuhteessa vaan on tarkoitettu vain havainnollistamaan ideaa.



**KUVA 18. Suunniteltu pyöräntulmamuuutos**

Tarkoitus ei ole saada pyörää täysin pystysuoraan vaan noin yhden ja kahden asteen välille negatiivista camberia. Kiilat eivät ole aivan yksinkertaiset toteuttaa, joten niiden mittoja ei voi vain kokeilemalla hakea. Liitteessä 6 on esitetty perusgeometrialla lasketut mitat kiilalle sekä prikoille camber-kulman ollessa  $-4,21$  astetta, mallintaen kohdeauton vasenta takapyörää. Tavoite camber-kulma on  $-1,5$  astetta. Kiilan korkeus on 95 mm ja ainevahvuus alalaidassa on kolme millimetriä. Prikan levein kohta on 4 mm.

Muutosta testatiin jo ennen taka-akseliston vaihtoa akseliston ollessa pöydällä. Ainut ongelma, joka huomattiin, oli, että vetonivel kääntyy sen verran vinoon, että se hankaa tukivarteen kiinni. Näin ollen vetonivelestä sorvattiin abs-kehän verran, noin kolme millimetriä, ainesta pois ja ongelma ratkesi. Kun taka-akseliston oli saatu vaihdettua ja pyöräntulmat mitattua ilman tätä muutosta, teoriaa kokeiltiin uudestaan käyttämällä prikoja kiiloina. Kuten oli laskettukin, laittamalla laakeripesän ja tukivarren väliin alalaitaan kolme millimetriä ja ylälaitaan noin kahdeksan millimetriä prikoja kääntyivät renkaat sopiviin arvoihin. Auton pyöräntulmat mitattiin prikojen paikallaan ollessa, ja ne käänsivätkin pyörät sopiviin arvoihin. Teknisistä syistä tuloksia ei saatu liitteeksi tähän työhön. Pelkkien prikojen ollessa laakeripesien alla autolla ei tietenkään voi ajaa, mutta tämä todistaa teorian toimivaksi.

Työtä tehdessä ei ollut käytettävissä tarvittavia työkaluja, materiaalia eikä todennäköisesti tarvittavaa ammattitaitoakaan valmistaa kyseisiä kiiloja ja prikoja, joten asiasta kysyttiin eräältä koneistajalta ja hän sanoi työn olevan tehtävissä ja lupasi hoitaa asian. Valitettavasti kuitenkin hän petti lupauksensa eikä osia koskaan saatu. Tällöin oli jo liian myöhäistä viedä osia muille tehtäväksi niin, että ne ehtisivät tähän

työhön. Näin ollen osia ei saatu tehdyksi. Osat aiotaan kuitenkin teettää autoon tulevaisuudessa.

## 10 MITATUT ARVOT JA TULOKSET MUUTOKSIEN JÄLKEEN

### 10.1 Jarrudynamometrimittaus

Muutosten jälkeen jarrut mitattiin samalla jarrudynamometrillä kuin edellisenkin kerran. Tuloksiksi saatiin:

- Etujarrut: vasen 2440 N, oikea 2480 N
- Takajarrut: vasen 2360 N, oikea 2240 N
- Seisontajarru: vasen 1680 N, oikea 1600 N

Jälleen laite ongelmien takia näistä ei saatu tulosteita. Jarrujen pienet heitot johtuvat todennäköisesti uusista, toisiinsa hioutumattomista osista. Voimat ovat kasvaneet edellisiin nähden selvästi ja etujarruissa olisi varmasti potentiaalia suurempiinkin tuloksiin, mutta rullat lukkiutuivat aina noissa luvuissa. Seisontajarrun tuloksista huomaa eron käyttöjarruun olevan selkeästi suurempi kuin rumpujarruilla. Tämä johtuu levyjarrujen huonommasta itsetehostavuudesta. Mekaanisena jarruna tehostus jää levyjarrulle pieneksi. Etu- ja takajarrujen voimat ovat mittausten mukaan kasvaneet molemmat 760N. Ajatus siitä, että rumpujarrut olisivat tehottomammat kuin levyjarrut voidaan näin ollen unohtaa. Levyjarrujen kasvattaminen lisäsi jarruvoimia saman verran kuin rumpujen muuttaminen levyksi. Tähän kun lisätään vielä levyjarrun huonompi itsetehostus voidaan koko muutos oikeastaan kyseenalaistaa.

Mikäli näistä tuloksista laskisi jarrujen jakosuhdetta, saisi tulokseksi 1,07, jonka perusteella voisi suoraan todeta auton takajarrujen olevan liian voimakkaat. Käytännön kokemusten mukaan näin ei kuitenkaan ole, kuivalla asfaltilla täysjarrutuksessa etupää lukkiutuu ennen takapäätä. Jarruvoimamittaus valehtelee tässä kohtaa, sillä poljinvoima voi etu- ja takajarrumittauksissa olla aivan erisuuruiset. Jotta dynamometrin perusteella voisi tarkastella jakosuhdetta, tulisi mittaus suorittaa nelivetopenkissä, jossa auton kaikki pyörät ovat samaan aikaan rullilla. Suoritin mittaukset kuitenkin paikassa, jossa tämä ei ollut mahdollista.

## 10.2 V-Box hidastuvuusmittaus

Hidastuvuusmittaukset suoritettiin samalla tavalla kuin edelliselläkin kerralla. Ennen muutoksia otetuista mittauksista poiketen autosta mitattiin myös hidastuvuus jarrutettaessa sadasta kilometristä tunnissa pysähdyksiin. Keskiarvotuloksiksi saatiin:

- $40 \frac{km}{h} - 0 \frac{km}{h}$  seisontajarrulla
  - Jarrutusmatka 16,72 m
  - Jarrutusaika 3,02 s
  - Hidastuvuus  $3,79 \frac{m}{s^2}$
- $80 \frac{km}{h} - 0 \frac{km}{h}$  jarrutus
  - Jarrutusmatka 26,96 m
  - Jarrutusaika 2,43 s
  - Hidastuvuus  $9,27 \frac{m}{s^2}$
- $80 \frac{km}{h} - 60 \frac{km}{h}$  seisontajarrulla
  - Jarrutusmatka 34,23 m
  - Jarrutusaika 1,76 s
- $100 \frac{km}{h} - 0 \frac{km}{h}$ 
  - Jarrutusmatka 44,17 m
  - Jarrutusaika 3,25 s
  - Hidastuvuus  $9 \frac{m}{s^2}$

Tulokset paranivat selvästi jokaisessa jarrutuksessa. Varsinkin 40km/h:ssa pysähdyksiin käytettäessä pelkkää seisontajarrua tulos parani huomattavasti, jarrutusmatka pienentyi yli 21 metriä ja aikaa meni 4,82 sekuntia vähemmän. Tulee kuitenkin huomata, että kuten aiemmin todettiin, alkuperäisessä seisontajarrussa oli jotain ongelmaa oikealla puolella. Tässä on myös pieni erehtymisen mahdollisuus, sillä tätä mittausta ei saatu alkuperäisellä jarrukokoonpanolla mitattua kuin yhden kerran. Mittaus seisontajarrulla hidastaminen  $80 \frac{km}{h}$ :ssa 60 kilometriin tunnissa kuitenkin tukee seisontajarrun voimistumista. Tässä testissä jarrutusmatka pienentyi

yli 14 metriä ja aikaa kului 0,76 s vähemmän. Mikäli lasketaan näille hidastuvuudet kaavalla

$$a = \frac{v-v_0}{t} \quad (26)$$

jossa  $v$  on loppunopeus,  $v_0$  on alkunopeus ja  $t$  on aika, saadaan tulokseksi ennen muutoksia  $2,20 \frac{m}{s^2}$  ja muutoksien jälkeen  $3,16 \frac{m}{s^2}$ . Eli hidastuvuus on lisääntynyt yli 40%. Varsinaisen käyttöjarrun tulokset paranivat myös, jarrutettaessa 80 km/h nopeudesta pysähdyksiin auto pysähtyi nyt 5,21 metriä aiemmin ja hieman yli puolisekuntia nopeammin. Ero ei ole paljoa, mutta voi sopivassa tilanteessa kuitenkin pelastaa ihmishenkiä. On myös muistettava, että 80 km/h ajettaessa puolessa sekunnissa auto liikkuu yli 11 metriä. Verratessa V-boxin antamia hidastuvuusarvoja huomataan, että hidastuvuus on lisääntynyt hieman yli 20%. Vertailun vuoksi parannetuilla jarruilla mitattiin myös auton hidastuvuutta  $100 \frac{km}{h}$ :ssa pysähdyksiin. Nopeuden merkityksen huomaa selvästi,  $20 \frac{km}{h}$  nopeutta lisää ja jarrutusmatka lähestulkoon tuplautuu.

## 11 POHDINTA

Työn tavoitteena oli tutkia autoihin tavallisesti tehtyjä muutoksia, niiden hyötyä, kehitysmahdollisuuksia ja sitä mitä niitä tehtäessä tulee ottaa huomioon. Päätin lähestyä asiaa toteuttamalla muutokset omaan harrasteautooni, jota kautta muutokset painottuivat jarruihin ja aiemmin tehdyn madalluksen tuomaan pyöräkulmaongelmaan. Tavoitteena oli suunnitella muutokset ja vertailla näitä insinöörimäisesti sekä teoriassa että käytännössä. Halusin saada konkreettisia mittaustuloksia ennen ja jälkeen muutoksia, joita pystyy selvästi vertailemaan.

Suunnittelin, mitä tulen autoon muuttamaan, ja kävin läpi, mitä lain puitteissa joutuu ottamaan huomioon. Mittasin autosta pyöräkulmat ja suunnittelin, miten auton pyöräkulmia pystyy muuttamaan. Mittasin myös autoa ja erityisesti auton jarruja eri tavoin, jotta pystyn vertaamaan tapahtuneita muutoksia. Laskin auton jarrut myös teoriassa, josta näin mitä niiden käytännössä tulisi olla. Suoritin muutokset autoon, lukuunottamatta pyöräkulmamuutosta, joka ei onnistunut kuin testauksen verran. Mittaisin uudet jarrut samalla tavoin kuin edelliset ja totesin tulokset.

Voisi siis sanoa, että onnistuin työssäni melko hyvin. Muutosten tuoman hyödyn pohdinta, joka oli yhtenä tavoitteena, jää tästä huolimatta hieman auki. Faktana tuloksista nähdään, että sekä auton jarrujen voimat että auton saavuttamat hidastuvuudet ovat kasvaneet. On kuitenkin jokaisen oma asia vetää omat johtopäätöksensä siitä, oliko saadut hyödyt nähdyn vaivan arvoista. Mielestäni kuitenkin käyttöjarrulla yli 20% ja seisontajarrulla yli 40% parantuneet hidastuvuudet ovat olleet vaivan arvoisia. Kuten tuloksissa jo todettiin rumpujarrujen muuttaminen levyiksi on kyseenalaista jarruvoimia haettaessa, mutta parempien huolto- ja lämmönjohtokykyominaisuuksien vuoksi työ voi kyllä olla kannattavaa.

Kehitysmahdollisuuksia on myös yleisellä tasolla hankala käydä läpi, sillä ne ovat myös hyvin paljon riippuvaisia autosta, johon muutoksia tehdään. Kehitysmahdollisuuksista sekä asioista, jotka tulee ottaa huomioon autoa rakentaessa ja muuttaessa, tärkein mielestäni kuitenkin on suunnittelu. Ennen kuin alkaa tehdä autolle mitään, on erityisen tärkeää suunnitella joka kohta tarkkaan. Esimerkiksi kohdeautoon tehdyt muutokset olisivat voineet tuoda huomattavasti enemmän muutosta tarkemmalla suunnittelulla. Toteutuneiden jarrujen hyvyysuhteen jäätyä suhteellisen matalaksi.

Auton rakenteita muuttaessa on hyvä muistaa, että kaikki vaikuttaa kaikkeen. Mikäli lähtee suin päin tekemään asioita, voi pian huomata, etteivät ne onnistukaan joko jonkin teknisen ongelman tai esimerkiksi lainsäädännön puitteissa. Tulee myös varautua siihen, että yksi muutos johtaa hyvin nopeasti johonkin toiseen. Työssä toteutetut suunnitellut jarrumuutokset ovat hyvä esimerkki tästä. Muutettaessa rumpujarrut levyjarruiksi huomataan, että koko akselisto joudutaan vaihtamaan. Tämän muutoksen jälkeen huomataan jarrujen muuttuneen liian takapainoisiksi ja näin ollen on muutettava etujarrut. Etujarrumuutosten jälkeen huomataan jarrupääsylinterin olevan liian pieni ja joudutaan muuttamaan se. Tällaiseen kierteeseen joutuu yllättävän helposti, ellei suunnittele huolellisesti ja mieluiten jopa laske hieman teoriassa tapahtuvia muutoksia.

Tutkimusprojektiksi työ jää kapeaksi käytettäessä kohteena vain yhtä autoa. Työstä olisi voinut tehdä laajemman ottamalla suuremman autokannan joihin muutoksia on tehty tutkittavaksi. Pääpaino työssä oli kuitenkin siinä, että saadaan irti konkreettisia

tuloksia, ja näitä etsiessä suurella automäärällä työ olisi paisunut liiaksi yhden ihmisen toteutettavaksi. Työ kuitenkin antaa hyviä vinkkejä harrastajalle ja tutustuttaa jarrujen laskentaan kattavasti. Jatkomahdollisuuksia työlle olisikin taka-akseliston muutostyön lisäksi nimenomaan tutkimuksen laajentaminen isompaan kantaan. Voisi tutkia kattavammin, minkälaisia muutoksia autoihin tehdään ja mitä niillä saa aikaan. Esimerkiksi muutoksien tuomien tahattomien haittavaikutuksien etsiminen ja niihin mahdollisten ratkaisujen etsiminen olisi varmasti autoharrastajille hyödyllistä.

**LÄHTEET**

/1/ Liikenne- ja viestintäministeriön asetus auton rakenteen muuttamisesta annetun liikenneministeriön päätöksen muuttamisesta. Verkkodokumentti. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/20021256>. Päivitetty 19.12.2002. Luettu 25.3.2013.

/2/ Liikenneministeriön päätös auton rakenteen muuttamisesta. Verkkodokumentti. [www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1998/19980779](http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1998/19980779). Päivitetty 23.10.1998. Luettu 25.3.2013.

/3/ Liikenneministeriön päätös ajoneuvoasetuksen täytäntöönpanosta annetun liikenneministeriön päätöksen muuttamisesta. Verkkodokumentti <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1988/19880291>. Päivitetty 31.3.1988. Luettu 26.3.2013.

/4/ Ehrnrooth Kari. Auton jarrut ja voimansiirto luentomateriaalit. Mikkelin ammattikorkeakoulu. 2010.

/5/ Mäkelä Mikko, Soininen Lauri, Tuomola Seppo, Öistämö Juhani. Tekniikan kaavasto. Viides uudistettu painos. Hämeenlinna: Karisto Oy. 2005.

/6/ Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission sääntö nro 13. Verkkodokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?mode=dbl&lang=fi&ihmlang=fi&lng1=fi,fi&lng2=bg,cs,da,de,el,en,es,et,fi,fr,hu,it,lt,lv,mt,nl,pl,pt,ro,sk,sl,sv,&val=521800:cs>. Päivitetty 17.3.2010. Luettu 8.5.2013.

/7/ Olavi Laine. AUTOTEKNIikka 1. osa. Neljäs uudistettu painos. Jyväskylä: Gummerus Oy. 1985.

/8/ Bosch. Autoteknillinen taskukirja. Kuudes painos. Jyväskylä: Gummerus Oy. 2003.

/9/ Olavi Laine. AUTOTEKNIikka 2. osa. Toinen täysin uudistettu painos. Tampere: OY sonator AB. 1981.

## Jarrudynamometrimittaus ennen muutoksia

**John BEAN JARRU- JA JOUSITUSTESTI**

Päiväys 15.12.2011 Aika 16:13:59  
Mittausajankohta: 15.12.2011, 16:13:58

SW-V 5.150-B(XP/Vista)  
V 10,00

Testaaja AUTO-KILTA OY  
Lähiosoite YRITTÄJÄNKATU 24  
Postios. 50100 MIKKELI  
Puh.

HALTIJA/OMIST.....:  
OSOITE.....:  
AJONEUVO.....:  
REK.TUNNUS.....:  
Muut tiedot  
Muut tiedot  
Muut tiedot

Muut tiedot

**Jarrutesti**

		Etuakseli		Taka-akseli		Seisontajarru				
		vasen	ero	oikea	vasen	ero	oikea	vasen	ero	oikea
Vierintävastus	N	160		160	400	360		360		280
Jarruvoima	N	2280		1880	1920	1920		1680		1280
Lukkiutumisero	%		18			0				24
Suurin ero	%		21			28				52
Soikeus	%									
Poljinvoima	N									

**Raja-arvot:**

Käyttöjarru	>=52 %	54 %	Hidastuvuus %	Seisontajarru	>=18 %	25 %
Jarruvoimaero	<=30 %			Lukkiutumisero	<=70 %	
Poljinvoima	<=500 N					
Käyttöjarru				Seisontajarru		
Ero	ok			Ero	ok	

**Jousitustesti:**

<b>Etuakseli: tiekosketus</b>			<b>Taka-akseli: tiekosketus</b>		
vasen	ero [%]	oikea	vasen	ero [%]	oikea
88 %	11 %	78 %	88 %	1 %	89 %
<b>Etuakseli: massat</b>			<b>Taka-akseli: massat</b>		
vasen 315 kg		oikea 300 kg	vasen 300 kg		oikea 278 kg
<b>Akselipainot:</b>			<b>Akselipainot:</b>		
<b>Etuakseli:</b>			<b>Taka-akseli:</b>		
-			-		

**Auraus:**

<b>Etuakseli</b>	<b>Taka-akseli</b>
0,0 mm/metri	0,7 mm/metri

## Kohdeauton takapyörien camber-kulmien ohjearvotaulukko

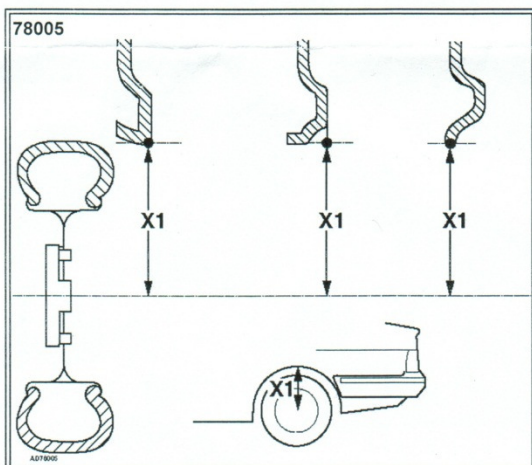
X1 = 350-359 mm	3°2'N-0°41'N
X1 = 360-369 mm	2°39'N-0°19'N
X1 = 370-379 mm	2°17'N-0°4'N
X1 = 380-389 mm	1°54'N-0°26'P
X1 = 390-399 mm	1°32'N-0°48'P
X1 = 400-409 mm	1°10'N-1°11'P
X1 = 410-419 mm	0°47'N-1°34'P
X1 = 420-429 mm	0°24'N-1°57'P

- Kuva 78005

## Autodatan huomautus 32

X1 = 350-359 mm	3,03N-0,68N
X1 = 360-369 mm	2,65N-0,32N
X1 = 370-379 mm	2,28N-0,07N
X1 = 380-389 mm	1,90N-0,43P
X1 = 390-399 mm	1,53N-0,80P
X1 = 400-409 mm	1,17N-1,18P
X1 = 410-419 mm	0,78N-1,57P
X1 = 420-429 mm	0,40N-1,95P

- Kuva 78005



Valmistaja: Ford  
 Moottorin tunnus: NRA/D  
 Viritys: +Säädettävä kat.

Malli: Sierra ('83) 2,0  
 Teho: 85 (115) 5500  
 Vuosimalli: 1985-87

(c) Autodata Limited 2011  
 Viimeinen voimassaolopäivä: Maaliskuuta 2012. 16.12.2011  
 V8.711-FIAD220483 **Autodata**

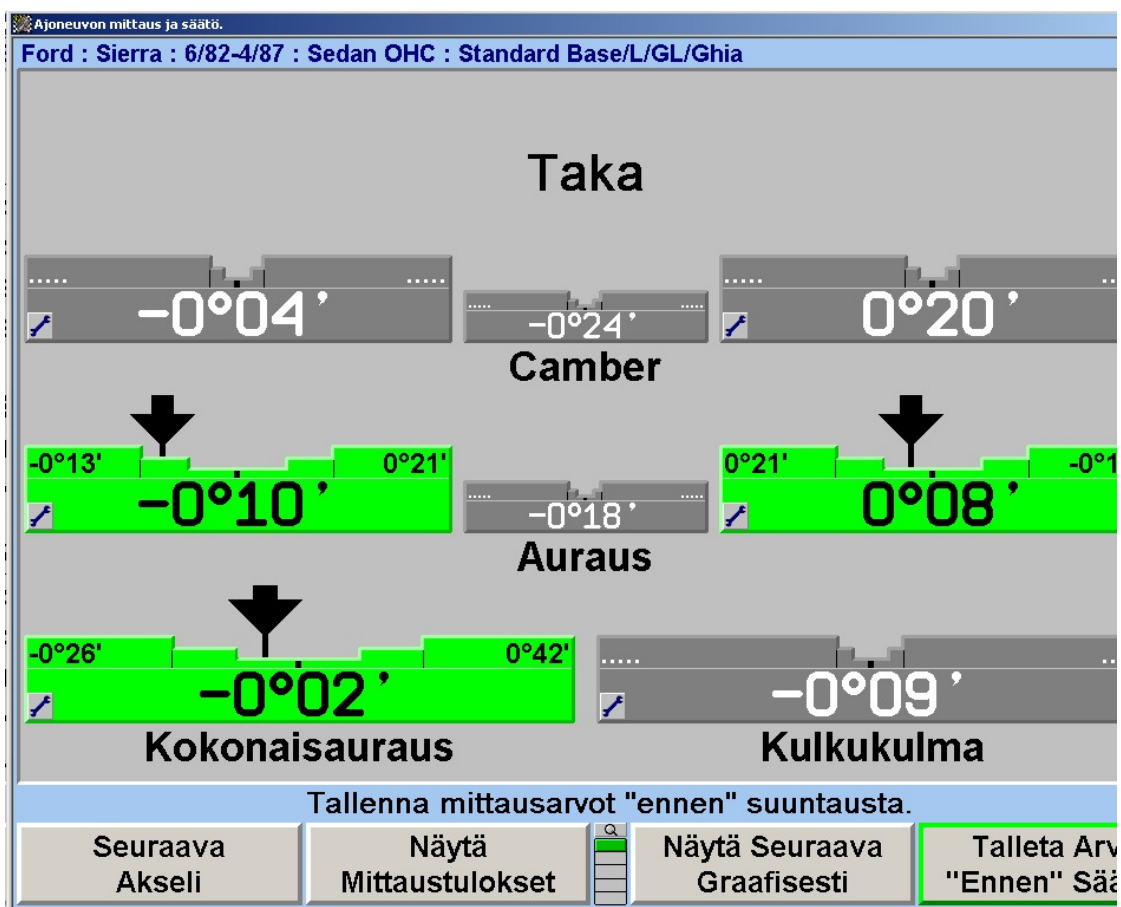
## Kohdeauton pyöränkulmat

Ajoneuvon mittaus ja säätö.			
Ford : Sierra : 6/82-4/87 : Sedan OHC : Standard Base/L/GL/Ghia			
Etu	Vasen		Oikea
Camber	-1°32'		-2°15'
Camber-ero		0°43'	
Caster	3°04'		2°56'
Caster-ero		0°08'	
SAI	14°32'		12°23'
Ero SAI:ssa		2°08'	
Auraus	0°07'		0°05'
Kokonaisauraus		0°11'	
Takapää	Vasen		Oikea
Camber	-4°21'		-3°58'
Camber-ero		-0°23'	
Auraus	0°09'		0°20'
Kokonaisauraus		0°29'	
Kulkukulma		-0°06'	
Tallenna mittausarvot "ennen" suuntausta.			
	Näytä Graafisesti	Näytä Lisää Mittaustuloksia	Talleta Arvot "Ennen" Säätöä

## Pyöränkulmat perä nostettuna 40 mm

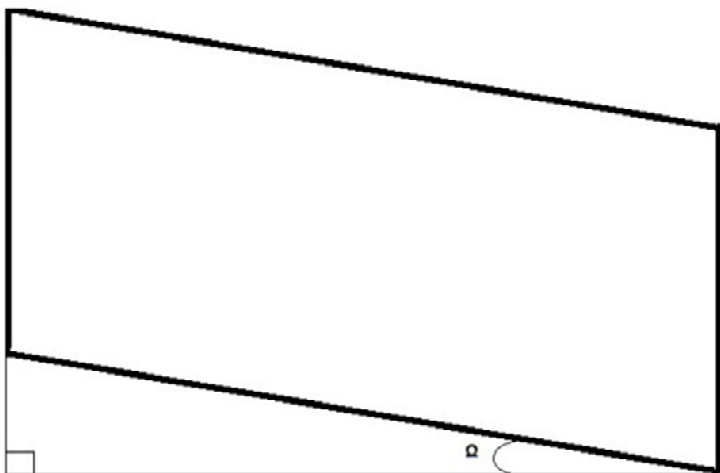
Ajoneuvon mittaus ja säätö.			
Ford : Sierra : 6/82-4/87 : Sedan OHC : Standard Base/L/GL/Ghia			
Etu	Vasen		Oikea
Camber	-1°29'		-2°16'
Camber-ero		0°47'	
Caster	2°24'		2°11'
Caster-ero		0°14'	
SAI	14°32'		12°37'
Ero SAI:ssa		1°55'	
Auraus	0°08'		0°06'
Kokonaisauraus		0°13'	
Takapää	Vasen		Oikea
Camber	-2°41'		-2°19'
Camber-ero		-0°22'	
Auraus	-0°01'		0°13'
Kokonaisauraus		0°12'	
Kulkukulma		-0°07'	
Tallenna mittausarvot "ennen" suuntausta.			
	Näytä Graafisesti	Näytä Lisää Mittaustuloksia	Talleta Arvot "Ennen" Säätöä

## Takapyörien camber-kulmat kaaren ja pyörännavan välin ollessa 400 mm

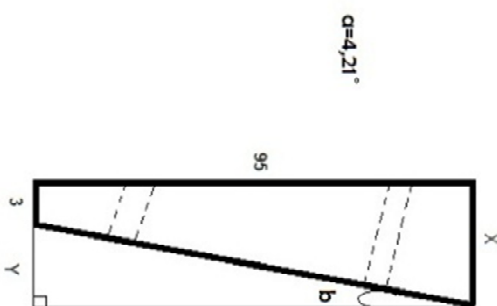


Pyöräntulmamuutoksen laskenta

Rengas



Killa



$$b = \alpha - 1,5^\circ$$

$$b = 4,21^\circ - 1,5^\circ$$

$$b = 2,71^\circ$$

$$\tan b = \frac{Y}{95\text{mm}}$$

$$Y = \tan 2,71^\circ \cdot 95\text{mm}$$

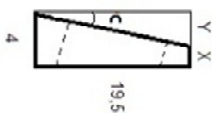
$$Y = 4,5\text{mm}$$

$$X = 3\text{mm} + Y$$

$$X = 3\text{mm} + 4,5\text{mm}$$

$$X = 7,5\text{mm}$$

Prikka



$$\tan c = \frac{Y}{19,5\text{mm}}$$

$$Y = \tan 2,71^\circ \cdot 19,5\text{mm}$$

$$Y = 0,92\text{mm}$$

$$X = 4\text{mm} - Y$$

$$X = 4\text{mm} - 0,92\text{mm}$$

$$X = 3,08\text{mm}$$