

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja Kuljetustekniikka

2019

Alexander Schüler

# VOLKSWAGEN TYP 2 ETUAKSELISTON UUELLEENSUUNNITTELU

OPINNÄYTETYÖ (AMK ) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja Kuljetustekniikka

Joulukuu 2019 | 38 sivua, 5 liitesivua

Alexander Schüler

## VOLKSWAGEN TYP 2 ETUAKSELISTON UUDELLEENSUUNNITTELU

Tässä opinnäytetyössä käsitellään etuakselistorakenteen suunnittelua Volkswagen Typ 2 pakettiautoon. Tavoitteena on suunnitella autoon helposti asennettava, toimiva ja kustannustehokas etuakselisto, joka on auton alkuperäiseen akselistoon verrattuna parempi ja monikäyttöisempi. Opinnäytetyö toteutetaan toimeksiantona NeniFabilta, joka tulee myös myymään valmista akselistorakennetta tuotteena.

Opinnäytetyössä tutkitaan kohdeauton historiaa, käydään läpi syyt tuotteen kehittämiseen, verrataan akselistoa jo markkinoilla oleviin tuotteisiin ja tutkitaan auton pyöräntuntoihin liittyviä termejä ja periaatteita. Tämän lisäksi opinnäytetyössä sivutaan hieman tämän tyyppiseen tuotteeseen liittyviä lakitekniisiä seikkoja. Viimeisessä osiossa tarkastellaan suunnittelua SusProg3D-ohjelmalla, sekä siihen liittyviä ongelmia ja niiden ratkaisuja.

ASIASANAT:

Autotekniikka, ohjauslaitteet, jousitus, ajoneuvot, ajettavuus.

BACHELOR'S THESIS| ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

December 2019 | 38 pages, 5 pages in appendices

Alexander Schüler

## VOLKSWAGEN TYPE 2 FRONT SUSPENSION REDESIGN

The subject of this thesis is the designing process of a front suspension construction for a Volkswagen Type 2 van. The goal was to have a well performing, easily installable front suspension unit manufactured at a reasonable cost. The thesis subject was commissioned by Nenifab, who is eventually going to sell the finished suspension unit as a product.

A brief history of the car in question, reasons for developing a new suspension unit, comparison to existing products and terms and principles regarding car suspension are all parts of this thesis. Furthermore, laws regarding such modifications to a car were studied. Lastly the thesis also discussed the designing process with SusProg3D, issues during the process and solutions to them.

### KEYWORDS:

Automotive engineering, steering mechanism, suspension, vehicles, driveability.

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 TAUSTATIETOA</b>	<b>8</b>
2.1 Volkswagen Typ 2	8
2.2 Typ 2 -etuakselisto	11
<b>3 PYÖRÄNTUENNAN GEOMETRIA</b>	<b>13</b>
3.1 Akseliväli ( <i>Wheelbase</i> )	13
3.2 Raideleveys ( <i>Track Width</i> )	13
3.3 Aoraus ja haritus ( <i>Toe in/out</i> )	14
3.4 Camber	14
3.5 Ohjaavien pyörien geometriaa	15
3.6 Kääntöakselin sivukallistuma	17
3.7 Kääntövierinsäde ( <i>Scrub Radius</i> )	17
3.8 Caster-kulma	19
3.9 Kallistuskeskiö ( <i>Roll Center</i> )	19
3.10 Kaksoisheilurituenta ( <i>Double Wishbone Suspension</i> )	20
<b>4 KAUPALLISESTI VALMIINA SAATAVILLA OLEVAT ETUAKSELISTOT</b>	<b>21</b>
4.1 Ford Mustang II -etuakselisto	21
4.2 Saatavilla olevat kaksoisheilurituennalla varustetut akselistot Vw Typ 2 :een	22
<b>5 NENIFAB-AKSELISTON SUUNNITTELU</b>	<b>25</b>
5.1 Suomen lainsäädäntö auton rakenteiden muuttamisesta	25
5.2 Valmiina saatavilla olevat komponentit	26
5.2.1 Olka-akselit	26
5.2.2 Hammastanko	26
5.2.3 Nivelet	27
5.2.4 Tukivarsien puslat	27
5.2.5 Kallistuksenvakaaja	28
5.2.6 Ilmajouset	28
5.3 SusProg3D	30
5.4 Suunnittelu	31
5.4.1 Ominaisohjaus	31

5.4.2 Ackermann-ehto	32
5.4.3 Kääntövierinsäde, <i>Scrub Radius</i>	33
5.4.4 Camber	34
5.4.5 Roll center	35
5.4.6 Anti dive	36
<b>6 LOPUKSI</b>	<b>37</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>38</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen (Traficom)  
 Liite 2. SusProg3D data

## KUVAT

Kuva 1. Volkswagen Typ 2.....	8
Kuva 2. Volkswagen "Plattenwagen" (VW Heritage Parts Centre 2019.).....	8
Kuva 3. Volkswagen Typ 2 (Pining 2019.) .....	9
Kuva 4. Vuonosta nostettu Vw Typ 2 (The Telegraph 2019.) .....	10
Kuva 5. Vw Typ 2 etuakselisto (Autozone 2019.).....	12
Kuva 6. Raideleveys (punaisella).....	13
Kuva 7. Haritus (punaisella).....	14
Kuva 8. Negatiivinen camber-kulma (punaisella).....	15
Kuva 9. Ackermann-ehto (Suspension Secrets 2019.) .....	16
Kuva 10. SAI (punaisella).....	17
Kuva 11. Kääntövierinsäde (sinisellä).....	18
Kuva 12. Vanteen <i>offset</i> (Tyre Size Calculator 2019.) .....	18
Kuva 13. Caster-kulma (punaisella).....	19
Kuva 14. Kallistuskeskiö (tähti).....	19
Kuva 15. Kaksoisheilurituenta.....	20
Kuva 16. Mustang II -etuakselisto (Hagerty 2019.) .....	21
Kuva 17. Red 9 Design etuakselisto (Red 9 Design 2019.) .....	23
Kuva 18. iMohr etuakselisto (iMohr 2019.).....	24
Kuva 19. Vasemmalla Air Bag Sleeve (Hot Rod 2007.) .....	29
Kuva 20. Mittojen syöttäminen SusProg3D-ohjelmaan.....	30
Kuva 21. Akseliston mitat SusProg3D-ohjelmassa.....	30
Kuva 22. Minimaalinen ominaisohjaus mittojen hienosäädön jälkeen (50mm ulosjoustolla ja 50mm & 100mm sisäänjoustolla).....	32
Kuva 23. Ackerman-ehdon toteutuminen pyöriä käännettäessä.....	33
Kuva 24. Camber-kulman muutos, ulos- ja sisäänjouston eri vaiheissa.....	34
Kuva 25. Kallistuskeskiö merkittynä tähdellä.....	35

Kuva 26. Kallistuskeskiön siirtymä auton kallistuessa. Kahden ja neljän asteen kallistuma. ....	35
---	----

# 1 JOHDANTO

Volkswagen Typ 2 -pakettiauto on suosittu klassikko- ja harrasteauto. Vuosien varrella harrastajat ovat pyrkineet muokkaamaan ja parantamaan autoa niin ulkonäöltään kuin ajo-ominaisuuksiltaan. Laajan harrastajakunnan ansiosta myös erilaisia päivitysosia on saatavilla runsaasti.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ajo-ominaisuuksia parantavan etuakseliston suunnittelua. Onko alkuperäisestä merkittävästi poikkeavan akselistorakenteen sovittaminen autoon mahdollista? Onnistuuko optimaalisen alustageometrian toteuttaminen? Mitä muita haasteita akseliston suunnittelu tuo?

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii NeniFab. Piikkiössä sijaitseva yritys on erikoistunut klassikkoautojen entisöintiin, kustomointiin ja korjaukseen. Työt vaihtelevat pienistä peltikorjauksista täysentisöintiin ”avaimet käteen” -periaatteella. Tulevaisuudessa Nenifabin on tarkoitus myös alkaa myydä erinäisiä klassikkoautoihin liittyviä tuotteita, joista opinnäytetyön aiheena oleva akselisto olisi yksi.

## 2 TAUSTATIETOA

### 2.1 Volkswagen Typ 2

Vw Typ 2, tuttavallisemmin "Kleinbus", "Junakeula", "Transporter", "Splitbus" jne, on Volkswagenin vuonna 1949 markkinoille tuoma pienikokoinen pakettiauto. Auton idea on peräisin Ben Ponilta, alankomaalaiselta Volkswagen-jälleenmyyjältä. Hän ehdotti ideaa pienestä mutta suuren kantavuuden omaavasta pakettiautosta Volkswagenin johdolle. Sodan jälkeisen Saksan ja muun Euroopan yrittäjät tarvitsivat juuri tämänkaltaisen auton päästäkseen taas jaloilleen.



Kuva 1. Volkswagen Typ 2

Auton rakenne ja ulkonäkö olivat aluksi erilaiset, jopa omalaatuiset. Ben Pon yritti nimittäin hyväksyttää liikenteeseen Volkswagenin tehtaan käyttämiä ns. "plattenwageneita", VW Kuplan pohjalevyille rakennettuja kuljetusautoja, joissa kuljettaja istui lavan takapuolella, moottorin päällä (Hale 2018, 16). Nämä eivät kuitenkaan turvallisuussyistä päätyneet tieliikenteeseen, joten Pon päätti ehdottaa Volkswagenille kokonaan uuden auton suunnittelua.

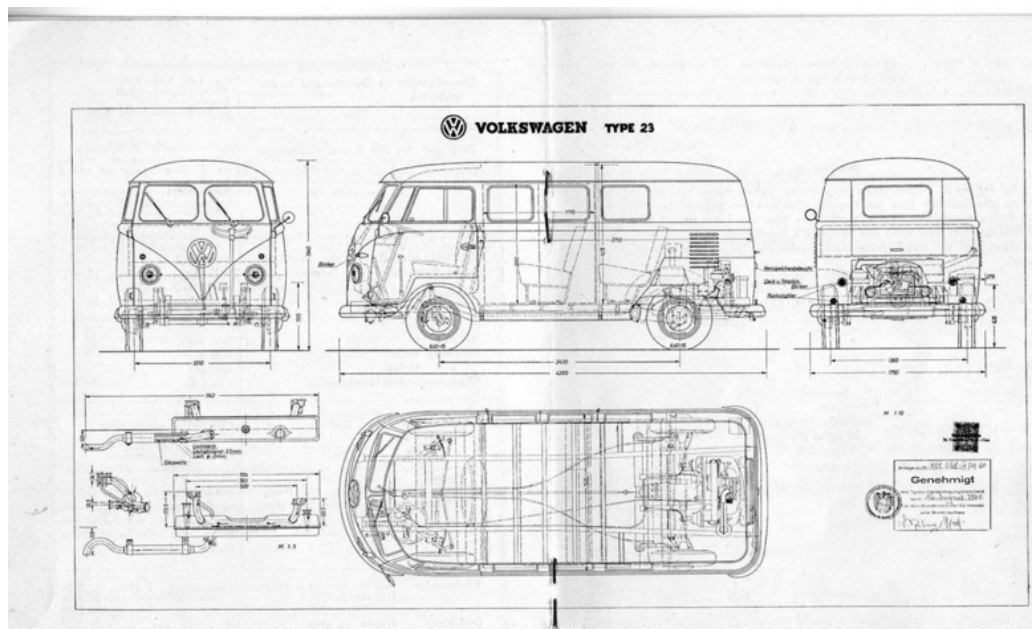


Kuva 2. Volkswagen "Plattenwagen" (VW Heritage Parts Centre 2019.)



Typ 2 pohjautuu teknisesti Volkswagenin Typ1 -malliin, joka yleisemmin tunnetaan "Kupla-volkkarina". Moottori on vetävän taka-akselin takapuolelle sijoitettu ilmajäähdytteinen, nelisynterinen boxer-moottori. Etuakselisto on kahdella poikittaisella vääntösauvalla toteutettu erillisjousitus, jonka päällä ajoneuvon kuljettaja istuu. Taka-akseli on erillisjousitettu rakenne poikittaisella vääntösauvajousella. Tällä konstruktiolla auton tavaratila saatiin keskelle autoa, matalalle akselistojen väliin, jolloin painojakauma ja sitä myötä auton ajettavuus myös kuormattuna säilyi hyvänä (Hale 2018, 18). Akseliväli on Typ 2:ssa sama kuin Typ 1:ssä, joten pakettiauto on ketterä ajaa, mikä helpotti huomattavasti tavaroiden kuljetusta ahtailla ajoväylillä.

Koska autoa liikuttamaan valittiin suhteellisen tehoton, pienen henkilöauton moottori, piti korirakenteesta tehdä kevyt mutta käyttötarkoitukseen riittävän luja. Kaksi runkopalkkia kulkevat pitkittäin pohjaa, kuten tuon ajan perinteisissä hyötyajoneuvoissa. Ne ovat kiinteästi osana muuta korirakennetta, toisin kuin sisarmalli Typ 1:ssä, jossa pohjalevy ja kori on pulttiliitoksilla kiinnitetty toisiinsa. Typ 2:n rakennetapa yhdessä muotoiltujen pinta- ja pohjapeltien kanssa sai aikaan vankan, kuormaa kestävän korirakenteen. Korin muotoiluun kiinnitettiin paljon huomiota, sillä alhainen teho ja laatikkomainen muoto eivät ole vauhdin kannalta edullinen yhdistelmä. Tuulitunnelitestien ansiosta Volkswagen sai kuitenkin aikaan pakettiauton, jonka ilmanvastuskerroin oli hämmästyttävästi jopa pienempi kuin henkilöauto Typ 1:n (Dyler 2019).



Kuva 3. Volkswagen Typ 2 (Pining 2019.)

Typ 2 saavutti helpon käytettävyytensä ja halvan hankintahintansa ansiosta nopeasti suosion. Nuoriso ja autoharrastajat ottivat sen omakseen melko varhaisessa vaiheessa, ja pian auto nousikin kulttimaineeseen. Yhtenä merkittävänä tekijänä voidaan pitää 60-luvun hippiliikettä, jonka tunnusomaiseksi autoksi Typ 2 päätyi.

Nykyään Typ 2 on suosittu kaikenlaisten autoharrastajien, niin keräilijöiden, museoautoilijoiden kuin kustomoijienkin keskuudessa. Suosio on niin suurta, että jopa huonokuntoisimmatkin "metsälöydöt" pyritään pelastamaan. Ääriesimerkkinä voidaan pitää norjalaisesta vuonosta nostettua 23-ikkunaista Samba-mallia, joka hyvin huonoista säilytysolosuhteista huolimatta tullaan entisöimään entiseen kuntoonsa.



Kuva 4. Vuonosta nostettu Vw Typ 2 (The Telegraph 2019.)

Osien saatavuus Typ 2:een on erittäin hyvä, käytännössä olisi mahdollista rakentaa kokonainen auto pelkästään uustuotannossa olevista osista. Alkuperäistä autoa ja sen tekniikkaa on siis helppo ylläpitää. Parannuksia on myös helppo tehdä, monet valmistajat valmistavat erilaisia parannusosia esim. juuri alustarakenteisiin. Tämän opinnäytetyön aiheena olevia kaksoisheilurituennalla varustettuja akselistoja on markkinoilla muutama.

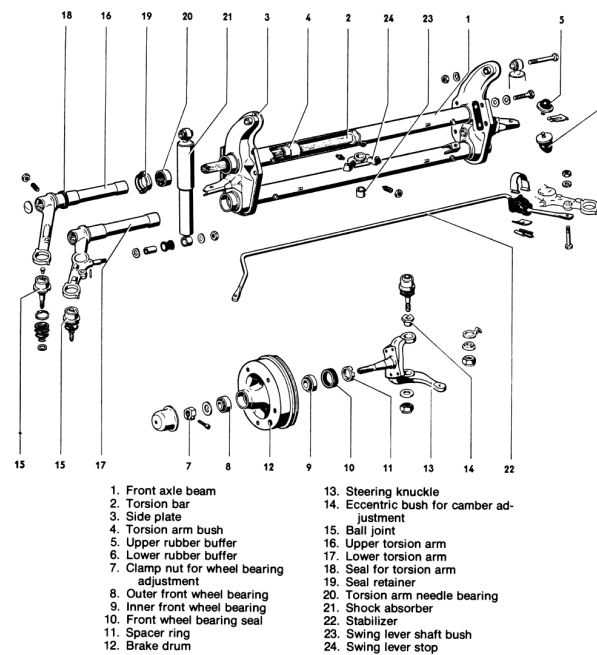
Auton maavaran pienentäminen on yksi tavallisimmista tavoista muuttaa Typ 2:n ulkonäköä ja ajettavuutta. Maavaran pienentäminen saattaa joissain määrin parantaa auton ajettavuutta, mutta valitettavan useissa tapauksissa se tehdään pelkästään ulkonäkösyistä. Useimmiten maavaran pienentäminen jopa huonontaa ajettavuutta, varsinkin jos päämääränä on vain ja ainoastaan maavaran minimointi ottamatta huomioon pyöräntuennan geometriaa. Autovalmistaja suunnittelee yleensä alustan geometrian toimimaan yhdellä tietyllä ajokorkeudella. Alkuperäinen pyöräntuennan tarkkaan mietitty toiminta säilyy harvoin, jos ajokorkeutta muutetaan.

Maavaran pienentämiseen käytetään kahta tapaa, ensimmäinen on staattinen maavaran pienentäminen. Vääntösauvajousien asentoa akselistossa muuttamalla saadaan haluttu maavara, mutta ajo-ominaisuudet saattavat tällöin huonontua, näkemys tosin riippuu ihmisestä ja auton käyttötarkoituksesta. Toinen, kenties hienostuneempi tapa on asentaa autoon ilmajousitus. Ilmapalkeet tyhjänä auton pohja saattaa ottaa kiinni maahan, mutta haluttaessa ajokorkeutta voi nostaa ajamista ajatellen käytännöllisempään korkeuteen.

Modifikaatioiden yhteydessä vakiotyyppisen etuakseliston pyöränkulmat saattavat muuttua ajamisen kannalta epäedullisiksi, johtuen sen vanhanaikaisesta toteutuksesta. Maavaran pienentämistä ajatellen muunlainen rakenne ja geometria olisi toimivampi. Esimerkiksi kaksoisheilurituennalla toteutettu tuenta, jossa geometrian pystyy toteuttamaan niin, etteivät alustan korkeuden muutokset aiheuta ongelmia pyöränkulmissa.

## 2.2 Typ 2 -etuakselisto

Alkuperäinen Typ 2:n etuakselisto koostuu kahdesta poikittaisesta vääntösauvajousesta ja neljästä pitkittäisestä tukivarresta. Tukivarret ovat kiinni vääntösauvojen päissä, ja tukivarren pyörän puoleisessa päässä on olka-akseli. Olka-akseli (eng. *knuckle* tai *spindle*) on akseliston osa, johon kiinnittyy sekä pyörän napa, että tukivarret ja/tai heilahtelunvaimennin. Se on yleensä valettua ja koneistamalla viimeisteltyä alumiinia tai terästä. Vääntösauvat ovat kahden poikittaisen putken sisällä ja muodostavat suurimman osan etuakselin konstruktiosta. Putket ovat päistään hitsattu kiinni levyihin, joista akselisto kiinnittyy auton runkoon. Heilahtelunvaimentimet kiinnittyvät myös näihin levyihin. Vääntösauvat ovat keskeltä kiinni putkissa. Tämä akselisto on lähes sama kuin Volkswagenin Typ 1 "Kuplavolkkarissa". Akselisto tarjosi huomattavasti paremmat ajo-ominaisuudet kuin tuon ajan pakettiautojen tavallinen jäykkä etuakseli.



Kuva 5. Vw Typ 2 etuakselisto (Autozone 2019.)

Akseliston rakenteesta johtuen sen muokkaaminen saattaa olla varsin ongelmallista. Korkeuden säätö onnistuu kuitenkin kohtuullisen helposti. Väätösauvojen kiinnityspistettä siirtämällä etuakseliston maavaraa voidaan joko kasvattaa tai pienentää. Mutta koska jousien kiinnityspistettä vain siirretään eikä jousia jäykistetä, saattavat ajo-ominaisuudet matalaksi säädetyllä etuakselilla olla hyvinkin heikot.

Ilmajousituksen asennus autoon maavaran pienentämisen toivossa on nykyään yleistä, ja tämäkin onnistuu alkuperäiseen akselistöön, joskaan ei kovin yksinkertaisesti. Valmiita sarjoja ja kokonaisia akselistöjä on saatavilla, mutta hintataso on varsin korkea, kun otetaan huomioon, että kyseessä on vanhentunut etuakselistorakenne. Mikäli alkuperäiseen akselistöön aikoo tehdä merkittäviä päivityksiä, kustannukset saattavat olla lähes samat kuin koko akseliston uusiminen modernimpaan tyyppiin.

## 3 PYÖRÄNTUENNAN GEOMETRIA

### 3.1 Akseliväli (*Wheelbase*)

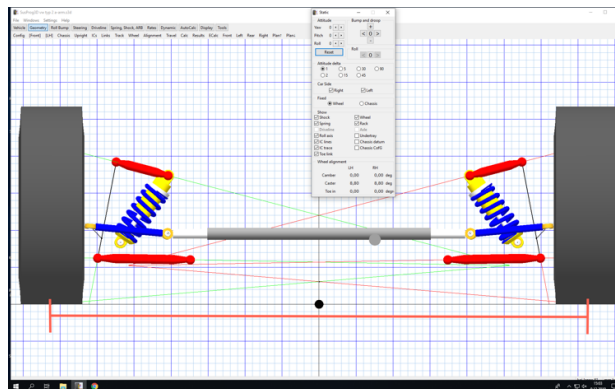
Akseliväli on mitta auton etupyörän navan keskeltä takapyörän navan keskelle. Useimmiten tämä mitta on sama auton molemmin puolin, mutta poikkeuksiakin löytyy. Joissain tapauksissa yhden puolen akseliväli saattaa olla toista puolta pidempi, johtuen esimerkiksi poikkeuksellisesta taka- tai etuakselistorakenteesta.

Kohdeauton, Volkswagen Typ 2:n akselivälin nimellismitta on 2400 mm.

### 3.2 Raideleveys (*Track Width*)

Tällä mitalla tarkoitetaan saman akselin renkaiden kontaktipintojen keskikohtien välistä etäisyyttä. Harvassa autossa tämä mitta on täsmälleen sama edessä ja takana, useimmiten etuakselin raideleveys on hieman suurempi kuin taka-akselin.

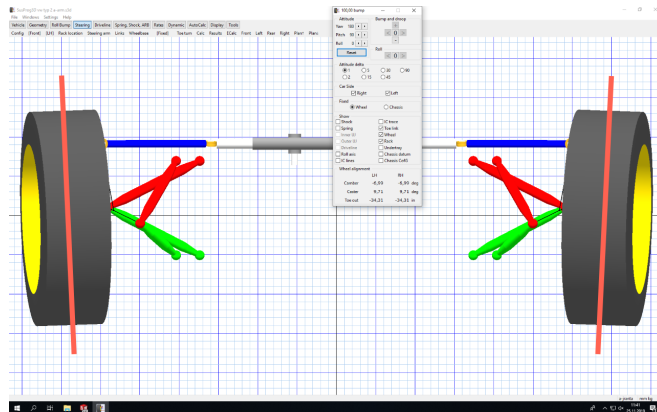
Volkswagenin alkuperäinen raideleveys edessä on 1370 mm.



Kuva 6. Raideleveys (punaisella).

### 3.3 Auraus ja haritus (*Toe in/out*)

Kun auton pyörät osoittavat etureunastaan ajosuunnassa hieman sisäänpäin auton pituussuuntaista keskilinjaa kohti, on auton pyörissä aurausta. Jos ne sen sijaan osoittavat pituussuuntaisesta keskilinjasta ulospäin, on auton pyörissä haritusta. Auraus/haritus on yleensä suhteellisen helposti säädettävissä oleva pyöränkulma auton etuakselistossa. Takavetoisessa autossa monesti suositellaan käytettäväksi hieman aurausta normaaliarjossa, mikä parantaa auton suuntavakautta.



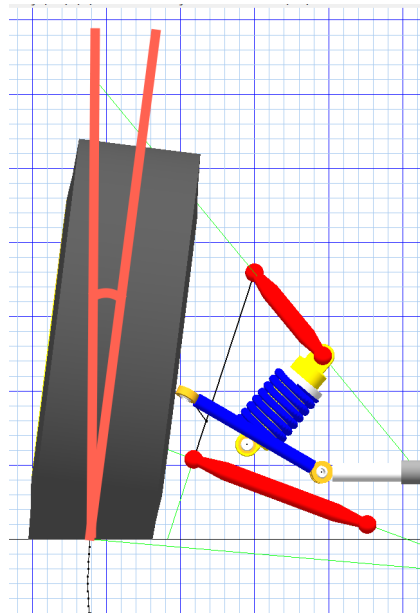
Kuva 7. Haritus (punaisella).

### 3.4 Camber

Camber-kulma tarkoittaa pyörän kallistumaa pystysuoraan tasoon nähden, ts. ”nojaako” pyörän yläosa ulos- vai sisäänpäin autoa takaapäin katsottaessa. Jos pyörä nojaa sisäänpäin on camber-kulma negatiivinen, ulospäin nojatessa kulma on positiivinen. Pieni negatiivinen camber-kulma on yleensä toivottua, sillä se aikaansaa pyörivään renkaaseen pienen esijännityksen.

Monessa autossa jousituksen rakenne on suunniteltu niin että sisäänjoustossa pyörän camber-kulma muuttuu negatiiviseen suuntaan. Alustaa laskettaessa esimerkiksi alustasarjalla muuttuvat kulmat pysyvästi negatiivisiksi, mikä saattaa aiheuttaa epäedulliset ajo-ominaisuudet. Usein negatiivinen camber-kulma on kuitenkin ulkonäöllisistä syistä haluttu.

Auton alustaa nostettaessa tapahtuu taas päinvastainen: camber-kulma muuttuu positiiviseksi. Tämä ei usein ole toivottua, ajo-ominaisuudet saattavat olla negatiivista camber-kulmaa heikommat. Joissain autoissa tämä on tosin väistämätöntä, esimerkiksi Vw Typ 1 -autoista tehdyissä hiekkakirpuissa/offroad-ajoneuvoissa positiivinen camber takapyörissä on tavallinen näky. Tämä johtuu pyöräntuennasta, jossa camber-kulma ei ole säädettävissä.



Kuva 8. Negatiivinen camber-kulma (punaisella).

### 3.5 Ohjaavien pyörien geometriaa

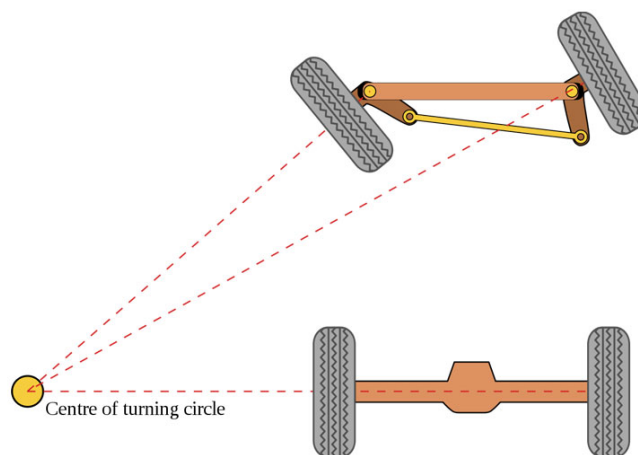
Ackermann-ohjauksessa kumpikin auton ohjaava pyörä kääntyy oman kääntöakselinsa ympäri. Ackermann-ehto on tilanne, jossa pyörien kääntösuuntaan kohtisuoraan piirretyt suorat kohtaavat takapyörien vastaavat suorat samassa pisteessä. Kun autolla ajetaan ympyrää hitaassa vauhdissa tulisi sisäkaarteiden puoleisen etupyörän kääntyä auton ulkokaarteiden puoleista pyörää enemmän, jotta ei tapahtuisi ns. sortamista. Kaikissa ajotilanteissa Ackermann-ehdon täyttävää ohjausgeometriaa ei ole mahdollista toteuttaa yksinkertaisilla rakenteilla. Ajotilanteesta riippumatta toteutuva Ackermann-ehto olisi mahdollinen toteuttaa esimerkiksi sähkö-servoilla toisistaan erillään kääntyvillä etupyörillä.

Suurilla pyörän kääntökulmilla, hitaasti ajaessa, Ackermann-ehdon saa yleensä toteutumaan kohtuullisen helposti. Ackermann-ehdon toteutuminen on oleellista hyvin hitaalla

ajonopeudella ja suuremmilla ohjaavien pyörien kääntökulmilla, suuremmissa ajonopeuksissa siitä saattaa olla jopa haittaa. Kun ajonopeutta kasvatetaan, muuttuu molempien akseleiden pyörien sortokulmien muuttuessa vaatimukset geometrian suhteen. Ohjausgeometrian vaatimukset ovat siis erilaiset eri ajonopeuksissa. Tämän vuoksi ohjausgeometrian suunnittelussa on tyydyttävä poikkeuksetta aina jonkinlaiseen kompromissiin.

Joissakin tilanteissa Ackermann-ehdon mukainen geometria ei ole lainkaan toivottua. Esim. drifting-autoissa pyritään usein saamaan etupyörät kääntymään yhtä paljon (paralleeliohjaus), jotta ne eivät suuressa sivuluisukulmassa joutuisi taistelemaan toisiaan vastaan.

Akseliston geometrian suunnittelussa käytettävässä SusProg3D-ohjelmassa Ackermann-ehdon täytyminen ilmoitetaan prosenttilukuna, 100 % on täydellisesti toteutuva Ackermann-ehto, 0 % on ns. paralleeliohjaus, jossa molemmat pyörät kääntyvät yhtä paljon.

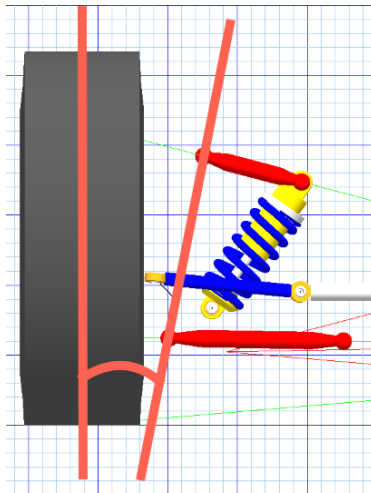


Kuva 9. Ackermann-ehto (Suspension Secrets 2019.)



### 3.6 Kääntöakselin sivukallistuma

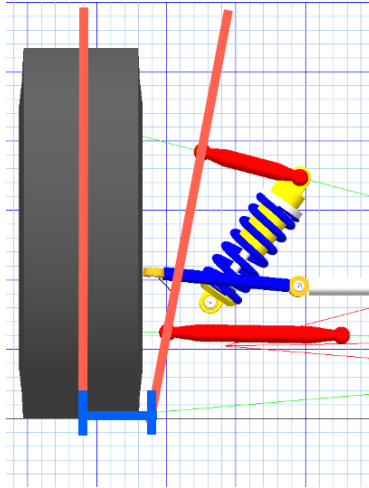
Kääntöakselin sivukallistuma (*steering axis inclination SAI*), on pyörän kääntöakselin ja pystysuoran tason välinen sivusuuntainen kulma. Esimerkiksi kaksoisheilurituennassa kääntöakseli on ylä- ja alapallonivelen kautta piirretty suora.



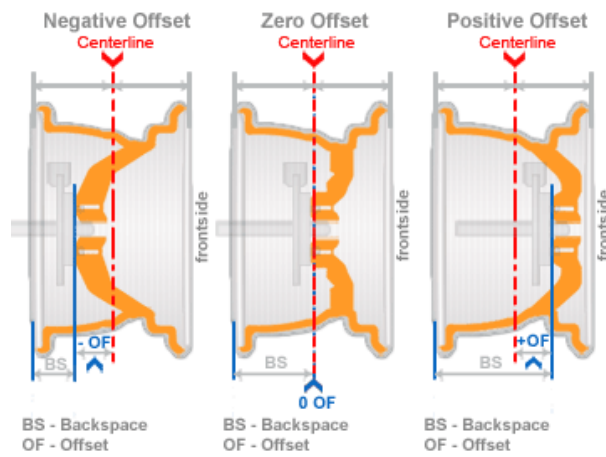
Kuva 10. SAI (punaisella).

### 3.7 Kääntövierinsäde (*Scrub Radius*)

Kääntövierinsäde on kääntöakselin ja pyörän pystytason välinen etäisyys tien pinnassa. Kääntövierinsäde on yleensä positiivinen, eli pyörimistaso on auton etupäästä katsottuna ulompana kuin kääntöakseli. Positiivisen kääntövierinsäteen huono puoli on, että se toimii pyörästä nähden myös vipuvartena ja johdattaa tien epätasaisuudet suoraan ohjauspyörään. Jarruttaessa tämä saattaa myös aiheuttaa suuntavakauden heikkenemistä, sillä etupyörät pyrkivät harittamaan. Kääntövierinsäteen mitta riippuu pyöräntuennan rakenteesta ja vanteen offsetista. Offset on etäisyys vanteen kehän keskilinjalta vanteen kiinnityspintaan.



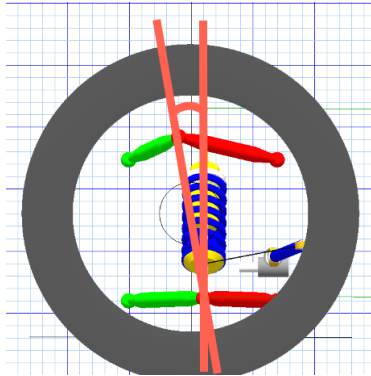
Kuva 11. Kääntövierinsäde (sinisellä).



Kuva 12. Vanteen *offset* (Tyre Size Calculator 2019.)

### 3.8 Caster-kulma

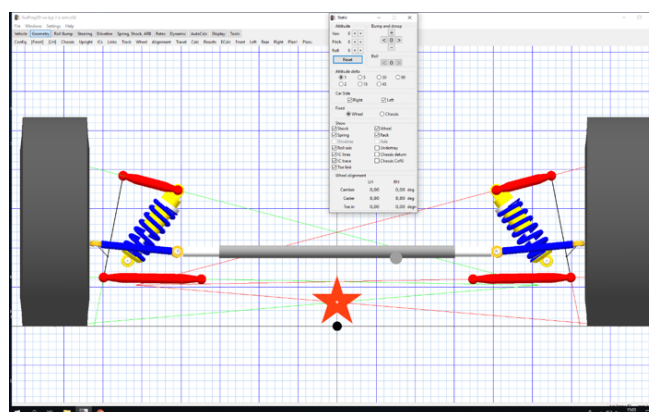
Caster on kääntöakselin takakallistuman ja pystysuoran tason välinen kulma. Se on lähestulkoon aina positiivinen, eli kääntöakselin yläpää on alapäätä taaempana auton kulkuun nähden. Joissakin automalleissa suuri caster aiheuttaa tilanteen, jossa pyöriä käännettäessä auton keula nousee.



Kuva 13. Caster-kulma (punaisella).

### 3.9 Kallistuskeskiö (Roll Center)

Auton kallistuskeskiö saadaan selville, kun autoa edestäpäin katsottuna jokaisen pyöräntuennan (kaksoisheilurituenta) nivelpisteen läpi vedetään viiva. Tämän jälkeen pyörän alaosa, keskipisteestä, vedetään viiva edellä mainittujen viivojen leikkauspisteeseen.



Kuva 14. Kallistuskeskiö (tähti).

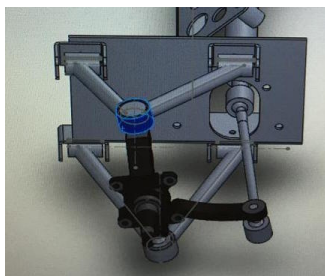
Pyöristä vedettyjen viivojen leikkauskohtaan muodostuu auton kallistuskeskiö. Mitä kauempana kallistuskeskiö on auton massakeskipisteestä, sitä enemmän auto saattaa kallistua kaarteessa, koska nämä pisteet muodostavat yhdessä autoa vääntävän momentivarren. Kallistuskeskiö vaihtaa paikkaa auton pyöräntuennan liikkuessa.

### 3.10 Kaksoisheilurituenta (*Double Wishbone Suspension*)

Kaksoisheilurituennan suunnittelun yksinkertaisuus ja sen ajo-ominaisuudet ovat syy, miksi tämä pyöräntuentatyyppi valikoitui opinnäytetyön akseliston rakenteeksi. Ajo-ominaisuudet on myös helppo suunnitella miellyttäväksi tämän tyyppisellä pyöräntuennalla. Pyöränkulmat ovat kaksoisheilurituennassa helposti säädettävissä ja suunnittelija voi vaikuttaa varsin kattavasti pyöräntuennan käyttäytymiseen.

Camber-kulman käyttäytyminen on kaksoisheilurituennan sisäänjoustotilanteessa loogista: se muuttuu sitä negatiivisemmaksi mitä ylemmäs pyörä auton koriin nähden nousee. Tämä on haluttu ominaisuus kaarreajoa ajatellen. Camber-kulman muuttuminen negatiivisempaan suuntaan ulkokaarten puoleisessa pyörässä johtuu ylätukivartta lyhyemmästä alatukivarresta. Ylätukivarsi näennäisesti "lyhenee" kääntyessä ylöspäin enemmän kuin alatukivarsi, mikä on hyvin yleistä kaksoisheilurituennassa. Tosin saman pituisilla (*equal length*) tukivarsilla varustettuja autoja löytyy myös.

MacPherson-jousituksessa camber-kulma muuttuu sisäänjoustossa ensin negatiivisemmaksi, mutta jouston jatkuessa tietyn pisteen yli se alkaa kääntyä positiivisempaan suuntaan. Tästä johtuen haluttaessa MacPherson-jousituksen kanssa hyvät ajo-ominaisuudet, on jousituksen oltava melko jäykkä, jottei se pääse menemään edellä mainitun pisteen yli. Kaksoisheilurituennassa tällaista pistettä ei ole, jolloin on mahdollista säätää jousitus paljon pehmeämmäksi, mikä yleensä on ajomukavuuden kannalta miellyttävää (CarThrottle 2019).



Kuva 15. Kaksoisheilurituenta.

## 4 KAUPALLISESTI VALMIINA SAATAVILLA OLEVAT ETUAKSELISTOT

### 4.1 Ford Mustang II -etuakselisto

Tämän opinnäytetyön aiheena olevan Vw Typ 2 -pakettiautoon asennettavan kaksoisheilurituennan perustana voidaan pitää amerikkalaisvalmisteisen Ford Mustang II -henkilöauton etuakselistoa. Autoharrastajat ryhtyivät pian Mustang II:n markkinoille tulon jälkeen sovitteluun kyseisen auton etuakselistoa eri autoihin. Riittävän hyvä geometria, kaksoisheilurituenta, hammastanko-ohjaus ja ennen kaikkea kompakti ja yksinkertainen koko olivat osasyynä ilmiöön. Hammastanko on ohjausvaihte, jossa ohjauspyörään yhteydessä oleva pinion-ratas siirtää hammastettua tankoa kotelossa sivuttain. Konstruktio on kompakti ja ohjaustuntumaltaan tarkka.

Nykyään Mustang II -akselisto on muodostunut standardiksi hot rod- ja muskeliautopiireissä. Valmiita Mustang II -tyylisiä bolt-on (asennusvalmis osa tai osakokonaisuus joka ei vaadi lisätyöstöä) -akselistoja saa lukemattomiin autoihin. Suurimmalla osalla akselistoista ei ole enää juuri mitään tekemistä Mustang II -auton alkuperäisen akseliston kanssa, mutta perusgeometria on kutakuinkin sama. Osat ovat edullisia ja esimerkiksi jarruja, napoja ja olka-akseleita on saatavissa monilta valmistajilta erilaisiin käyttötarkoituksiin sopivina. Olka-akseleita saa täysin alkuperäisillä mitoilla tai ns. drop spindle -versioina joissa etunavan kiinnitystä on siirretty ylemmäs. Näillä auton maavara saadaan minimoitua tukivarsien silti pysyessä järkevässä asennossa. Etunapoja on myös saatavilla lukuisilla eri vanteen pulttijoilla, mikä helpottaa huomattavasti vanteiden valintaa. Tämän akseliston suosioista huolimatta Vw Typ 2 -pakettiautoon soveltuvaa mallia ei ole saatavilla.



Kuva 16. Mustang II -etuakselisto (Hagerty 2019.)

## 4.2 Saatavilla olevat kaksoisheilurituennalla varustetut akselistot Vw Typ 2 :een

Tällä hetkellä markkinoilla on kahden eri valmistajan kaksoisheilurituennalla varustettua akselistoa, Red 9 Design:n akselisto Isosta-Britanniasta ja iMohr:n vastaava tuote Brasiliasta.

### **Red 9 Design**

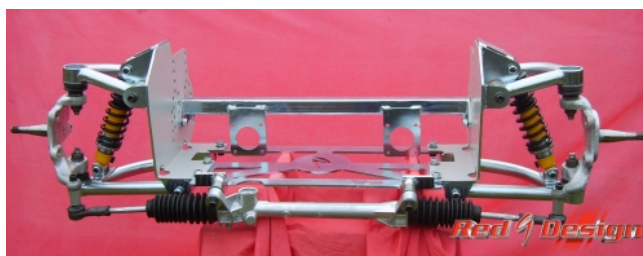
Red 9 -sarja on ollut markkinoilla jo usean vuoden ja oli myös pitkään ainoa saatavilla oleva kaksoisheilurituennalla varustettu akselisto Vw Typ 2 -autoon. Valmistajan mukaan akselisto on suoraan alkuperäisen etuakseliston tilalle kiinnitettävä uuden tyyppinen akselistokokonaisuus.

Rakenne koostuu teräslevyistä ja -palkeista hitsaamalla kasatusta apurungosta, joka pultataan kiinni auton alkuperäisiin etuakselipalkin kiinnikkeisiin. Tähän rakennelmaan on pulttiliitoksin liitetty ohjausvaihte ja jousituksen komponentit. Tukivarret ovat sorvatuista holkeista ja putkesta hitsaamalla kasatut kokonaisuudet, joiden korin puoleinen nivelöinti on toteutettu kumipusilla. Pusla on yleensä joustavasta aineesta (kumi, polyuretaani) valmistettu laakeri/nivel, jolla esimerkiksi tukivarsi on nivelöity auton runkoon.

Ulommat ala- ja ylänivelet ovat Volkswagenin valmistamat pallonivelet. Volkswagenin tuotteita ovat myös olka-akselit ja hammastanko raidetankoineen. Raidetanko on hammastangon ja olka-akselin yhdistävä tanko, joka on usein pallonivelillä liitetty. Ratkaisu on järkevä, kun ottaa huomioon, että ohjaukseen ja jousitukseen liittyvät nivelet ovat kuluvia osia. Toivottavaa on, että kyseiset komponentit ovat helposti ja edullisesti saatavilla.

Valmiiden, tehdastekoisten osien käytöstä johtuen jotkut tämän etuakseliston ratkaisuista ovat hieman kyseenalaisia. Olka-akseleiden rakenteesta johtuen hammastanko sijaitsee etupyörien takapuolella. Auton runkopalkkien muodosta johtuen hammastanko on jouduttu sijoittamaan hyvin alas. Jos autossa on pieni maavara, se altistaa hammastangon iskuille, jotka pahimmassa tapauksessa voivat vahingoittaa rakennetta. Hammastangon sijoituksesta johtuen raidetangon ulkopään ja olka-akselin väliin on asennettu holkki, joka tuo raidetangon päätä alas luoden raidetangolle tukivarsiin nähden suotuisamman asennon. Tämä holkki saattaa pyörään kohdistuvasta iskusta vääntyä tai jopa mennä poikki.

Heilahtelunvaimentimet ja kierrejouset ovat coilover-tyyppiset, eli samassa paketissa oleva kokonaisuus, joka kiinnittyy pulttiliitoksien alaturvavanteen ja apurunkoon. Coiloverissa on mahdollisuus auton maavaran hienosäätöön ja jousen esijännityksen säätöön. Akselistokokonaisuudessa on useita kiinnitysreikiä, jotka mahdollistavat sen kiinnityksen eri korkeuksiin auton koriin nähden. Tällä on mahdollistettu akseliston soveltuvuus erilaisiin käyttötarkoituksiin. Kallistuksenvakaaja sekä sen asentamisen mahdollisuus on jätetty kokonaan pois kokonaisuudesta - ehkä sellaisen lisäämistä ei ole koettu tarpeelliseksi akselistogeometrian jo parannuttua. Akselistokokonaisuus on myös 24 mm kaapeampi kuin Typ 2 Volkswagenin vakioakselisto, mikä mahdollistaa leveämpien, pienellä offsetillä varustettujen vanteiden asennuksen. Red 9 Design -akselisto maksaa 2950 €.

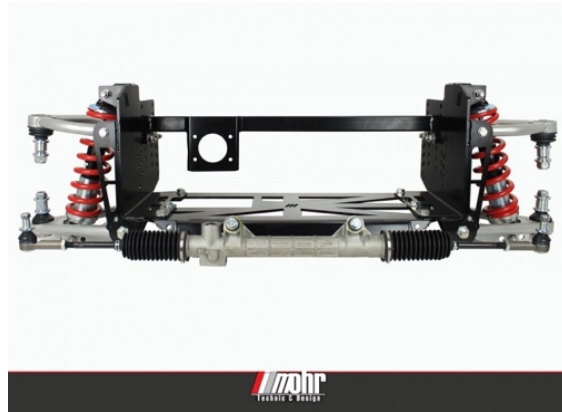


Kuva 17. Red 9 Design etuakselisto (Red 9 Design 2019.)

### **iMohr**

Toinen tällä hetkellä markkinoilla olevista akseleista on brasilialaisen iMohr:n valmistama akselisto. Tämä on rakenteeltaan melko identtinen Red 9 Design:n tuotteen kanssa, mutta on 1860 € hankintahinnaltaan huomattavasti edullisempi. Suomeen tuotuna hinta kohoaa samoihin lukemiin Red 9 -akseliston kanssa. Halpa lähtöhinta saattaa herättää epäilyksiä tuotteen materiaalien ja valmistusmenetelmien laadusta. Kuvia tarkasteltaessa konstruktio kuitenkin näyttää jopa tukevammalta kuin Red 9 Design:n akselisto.

Tukivarsien kiinnitykset sekä alaturvavarret ovat kokonaisuudessaan tukevan näköisiä. Akseliston rakenne mukailee pitkälti samoja linjoja kilpailijansa kanssa, apurunko on teräslevyä ja -putkea, auton maavaran karkea säätö tapahtuu akseliston useilla kiinnitysreillä ja hienosäätö coiloveria säätämällä. Olka-akselit ovat tässä akselistossa myös Volkswagenin tuotteet, vm. 1971 ja uudemman Typ 2:n, joita kylläkin täytyy muokata koneistamalla. Tästäkin akselistosta puuttuu kallistuksenvakaaja.



Kuva 18. iMohr etuakselisto (iMohr 2019.)



## 5 NENIFAB-AKSELISTON SUUNNITTELU

Kaksoisheilurituennalla varustettuja akselistolla Typ 2 Volkswageniin on saatavilla valmiina vain kahta eri mallia, molemmat ulkomailta. Suomalaisille harrastajille kätevin vaihtoehto olisi kuitenkin Suomessa valmistettu akselisto. Esimerkiksi katsastus- ja takuuasiat olisivat helposti järjestettävissä. Akseliston asennus asiakkaan autoon onnistuisi luonnollisesti NeniFab:n tiloissa, tällöin oikeanlainen akseliston asennus varmistuisi.

### 5.1 Suomen lainsäädäntö auton rakenteiden muuttamisesta

Autojen rakenteluun ja muokkaamiseen liittyvä lainsäädäntö eroaa paljon eri maiden välillä. Jossakin maissa saattaa tieliikenteessä olevan auton muokkaaminen olla lähes mahdotonta, kun taas jossain maissa on lähestulkoon vain mielikuvitus rajana. Tässä opinnäytetyössä keskitymme Suomen lainsäädäntöön ja vaatimuksiin.

Suomen autoharrastajapiireissä vallitsee käsitys, että auton muokkaaminen laillisesti on joko vaikeaa tai kokonaan kiellettyä. Lakeja ja auton muokkausta varten tehtyä rakennemuutosohjetta tarkasti tutkimalla kuitenkin voi huomata, että laajatkin muutostyöt ovat täysin mahdollisia.

Liitteessä 1 Traficom:n 1.5.2016 voimaantulleessa rakennemuutosohjeessa käsitellään opinnäytetyön aiheeseen liittyviä seikkoja.

Akselistomuutos ei ohjeistusta tarkasteltaessa vaikuta hankalalta. Katsastusta helpottaa, että akselisto on tehdastekoinen. Monen tehdastekoisesta valmiin osan (olka-akselit, ohjausvaihte ja nivelet), käyttäminen helpottaa asiaa. On myös mahdollista teettää tukivarret alihankkijalla, joka valmistaa tieliikenteeseen soveltuvia tukivarsia. Akselistokokonaisuuden lailliseksi saattamisen haastavin osuus on sen testaaminen ja todistaminen auton akselimassoille sopivaksi. Tällainen testaus vaatisi huomattavan määrän aikaa ja tutkimustyötä, jotta tulokset olisivat tyydyttävät. Fyysinen testaus vaatisi myös oikeanlaiset laitteet. Akseliston lujuustestaus olisi yksinkertaisinta teettää tähän erikoistuneella taholla. Toinen ulkopuolisella taholla teetettävä työ olisi röntgenkuvat ja todistukset akseliston hitsausaumojen laadusta.

## 5.2 Valmiina saatavilla olevat komponentit

Akselistossa tullaan käyttämään monia valmiita tehdastekoisia osia, lähinnä suunnittelun ja valmistuksen yksinkertaistamiseksi. Käytettävät valmiit komponentit ovat valikoituneet niiden hyvän saatavuuden, halvan hankintahinnan tai niiden luomien rakennemahdollisuuksien takia. Valmiit osat tosin aiheuttavat myös rajoituksia akseliston geometrian suunnittelussa.

### 5.2.1 Olka-akselit

Sen lisäksi, että auton runkorakenne ohjaa etuakseliston mitoittamista ja muotoa melko paljon, sen tekee myös akselistossa käytettävät olka-akselit. Useimmat olka-akselit ovat valuterästä, joissa sekä tukivarsien pallonivelten, että raidetangon pään kiinnityskohdat ovat kiinteät, eivätkä siis millään tavoin muutettavissa. Ylä- ja alapallonivelten kiinnityspisteet määräävät melko tarkasti tukivarsien kiinnityspisteiden etäisyyden toisistaan pystysuunnassa. Raidetangonpään kiinnityspiste taas määrittelee hammastangon sijoituk- sen sekä korkeus- että pituussuunnassa, kuten myös joissain määrin Ackermann-ehdon toteutumisen.

Opinnäytetyön olka-akseleiksi valikoituivat Mustang II -auton olka akselit. Kyseiset kom- ponentit ovat edulliset ja niiden saatavuus on hyvä. Nämä olka-akselit myös mahdollis- tavat useiden eri tyyppisten jarrujen ja vanteen pulttijakojen käytön.

### 5.2.2 Hammastanko

Hammastangon virheellinen sijoitus, liian ylös tai alas, eteen tai taakse, aiheuttaa hel- posti epäedullisia käyttäytymisiä ohjausgeometriassa. Yksi ei-toivotuista ohjaavan akse- lin ilmiöistä on ns. ominaisohjaus (*bump steer*). Jos ohjaavissa pyörissä on ominaisoh- jausta, se tarkoittaa, että pyörien joustoliikkeen aikana niiden auraus tai haritus muuttuu. Ominaisohjaus aiheuttaa useimmiten auton suuntavakauden heikkenemisen ja voi ääri- tapauksessa aiheuttaa ajoneuvon hallinnan menetyksen.

Olka-akselit määrittävät hammastangon sijoituksen etuakseliston akselilinjan etupuol- lelle, joka kohdeautossa osuu hyvinkin edulliseen kohtaan. Alkuperäinen akselisto koos- tuu kahdesta poikittaisesta putkesta, jotka menevät auton runkoaisoihin tehtyjen lovien

läpi. Kaksoisheilurituennalla varustetussa akselistossa hammastangon saa sijoitettua juuri näiden hahlojen kohdalle. Raidetangoille jää siis tilaa liikkua ja hammastangon saa sijoitettua hyvin ylös suojaan runkopalkkien väliin. Johtuen auton muotoilusta on auton ohjauspylväs melko pystyssä ja sijoitettu etuakseliston etupuolelle. Etuakseliston etupuolelle sijoittuva hammastanko, on siis oiva ratkaisu. Hammastangon saa kytkettyä ohjauspylvääseen kahdella ristinivelellä ja lyhyellä akselilla.

Hammastangoksi valikoitui BMW E36 -mallin hammastanko lähinnä sen helpon saatavuuden ja kompaktin mitoituksen takia. Sen sijoitus kanta-autossa on myös etuakseliin etupuolella, kuten kohdeautossakin on. Ohjausakselin kiinnitys on sopivassa paikassa ja hammastangon leveys soveltuu kohtuullisen hyvin suunnittelun kohteena olevan akseliston mittoihin.

### 5.2.3 Nivelet

Valmistusprosessin yksinkertaistamiseksi ja nopeuttamiseksi valittiin ylä- ja alapallonnivelet keskenään samanlaisiksi. Niiden kiinnitystapa tukivarteen on siis sama, joten tukivarsirakennetta varten voidaan valmistaa samanlaiset osat ylä- ja alatukivarteen. Ylä- ja alapalloniveliksi valikoituivat vm.70-75 Opel Manta A:n pallonivelet. Tämän nivelen kartiokiinnitystappi sopii suoraan Mustangin olka-akseliin ja sen kiinnitys tukivarteen on yksinkertainen. Pallonivelet liitetään tukivarteen prässäämällä ne sopivan kokoiseksi sorvattuun holkkiin, joka on hitsattu kiinni tukivarteen.

### 5.2.4 Tukivarsien puslat

Kaikkia tukivarsien nivelpisteitä ei voi toteuttaa pallonivelillä, tien epätasaisuuksista johtuva värinä välittyisi muuten turhan voimakkaasti auton koriin. Tukivarsien korinpuoleiseksi laakeroinniksi valikoitui tästä syystä joustavasta polyuretaanista valmistettu pusla, tarkemmin BMW E30 -takatukivarsien korin puoleiset puslat. Kyseisiä puslia on saatavilla useilta eri valmistajilta edulliseen hintaan. Polyuretaanipusla on tavallista kumipuslaa helpompi asentaa. Se on myös kumipuslaa huomattavasti kestävämpi ja sitä myötä pitkäaikaisempi. Kooltaan ja varsinkin pituudeltaan nämä puslat ovat ylimitoitettut, mutta tästä ei kuitenkaan liene mitään haittaa. Kooltaan sopivampien puslien löytyessä niiden kiinnityskohtia akselistossa on helppo muuttaa.

### 5.2.5 Kallistuksenvakaaja

Kummassakaan jo markkinoilla olevassa akselistokokonaisuudessa ei ole kallistuksenvakaajaa. Suurin syy tähän on varmasti tilan puute, vakaaja ei yksinkertaisesti mahdu mihinkään. Kaksoisheilurituennalla varustettu akselisto on jo kokonaisuudessaan niin paljon Volkswagenin vakioakselistoa parempi, ettei kallistuksenvakaajan puute tieliikenteessä luultavasti haitanne. Rata-ajossa tilanne olisikin kokonaan toisenlainen, kallistuksenvakaaja olisi varsinkin kohdeauton huomioon ottaen, jopa välttämätön. Auton korkealla sijaitsevasta painopisteestä johtuen auto saattaa kallistua mutkaan voimakkaasti.

Kallistuksenvakaajan tehtävä on siis vähentää auton kallistumista. Vakaaja on eräänlainen vääntösauvajousi, joka on yleensä kiinnitetty alatukivarsiin linkkitangoon (ns. koiranluu) ja auton koriin kumipuslilla. Auton ajaessa kaarteeseen pyrkii auto kallistumaan ulkokaarteeseen päin, jolloin ulkokaarten puoleinen pyörä ja tukivarret työntyvät koriin nähden ylöspäin. Tässä tilanteessa kallistuksenvakaaja kytkee ulkokaarten puoleisen jousen rinnalle sisäkaarten jousen, tämä on siis eräänlainen sovellus ns. yhdysjousituksesta. Kun kaksi yhtä jäykkää jouta kytketään rinnakkain, jousivakio kaksinkertaistuu, joten ulkokaarten puoleisella pyörällä on ikään kuin kaksinkertainen jousivoima. Koska kallistuksenvakaaja on myös jousi, ei sisäkaarten jousen voima kuitenkaan kytkeydy ulkokaarten jousen voimaan kokonaan. Kallistuksenvakaajan ansiosta auto ei siis kallistukaan niin voimakkaasti kaarteessa.

Kilpa-autoissa usein käytetty ns. veitsivakaaja olisi luultavimmin mahdollinen sovitaa akselistoon. Veitsivakaajan rakenne on helposti muokattavissa sopimaan erityyppisiin konstruktioihin. Kallistuksenvakaajalle olisi ainakin syytä suunnitella paikka akselistossa. Kallistuksenvakaajan tarve tai sen tarvittava jäykkyys on aika vaikea arvioida etukäteen, mutta testit prototyyppiakseliston kanssa osoittavat aikanaan sen.

### 5.2.6 Ilmajouset

Ilmajousitus on nykyään suosittu modifikaatio harrasteautoihin, rakentelutyylisiä riippumatta. Ilmajousi on yleensä kumista valmistettu palje, jota täytetään paineilmalla, jolloin sen pituus sekä jäykkyys muuttuvat. Toimiakseen ilmajousi tarvitsee lisäksi järjestelmän tuottamaan ja varastoimaan paineilmaa. Tämä järjestelmä koostuu kompressorista, paineilmasäiliöstä, venttiileistä ja paineilmalinjastosta. Ilmajousilla on mahdollista pienentää

auton maavaraa uhraamatta sen ajo-ominaisuuksia kokonaan, koska niillä auton ajokorkeus on helposti säädettävissä. Tästä johtuen opinnäytetyön akselisto suunnitellaan jousityyppinä ilmajouset.

Suurimman haasteen ilmajousien sovittamisessa suunniteltavaan akselistoon aiheuttaa jälleen kerran rajallinen tila, ilmajousi ja heilahtelunvaimennin on yleensä tavallista coilover-ratkaisua suurikokoisempi. On siis valittava mahdollisimman kompakti kokonaisuus, jossa heilahtelunvaimennin ja ilmajousi ovat samaa pakettia. Tällöin ne mahtuvat olemaan ja liikkumaan halutulla paikalla tukivarsien keskellä. Ns. air bag sleeve on siis varmasti toimivin ratkaisu akselistokokonaisuuteen.



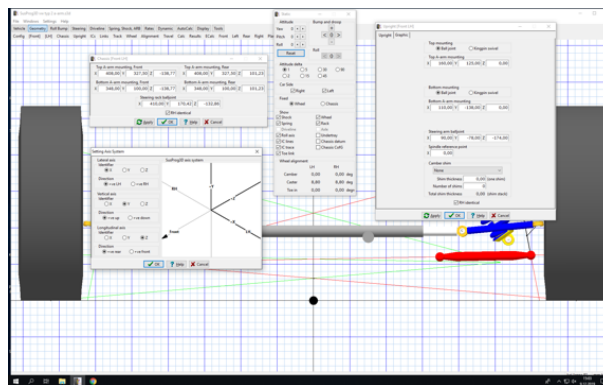
Kuva 19. Vasemmalla Air Bag Sleeve (Hot Rod 2007.)

Ilmajousen etuna on sen sisällä olevan ilman määrästä riippuva pituuden ja jäykkyyden muutos; mitä enemmän ilmaa jousessa on, sen pidempi ja jäykempi se on. Toisaalta tämä ominaisuus saattaa myös aiheuttaa ongelmia. Haaste tässä on ilmajousen sijoittaminen oikeaan kohtaan autoon nähden. Väärin asemoituna sopiva ilmajousen jäykkyys saatetaan saavuttaa auton ollessa joko liian ylhäällä tai liian alhaalla. Ilmajousen ja heilahtelunvaimenninkokonaisuuden kiinnityspisteissä olisi siis toivottavaa olla useampia kiinnitysreikiä, jotta maavaran karkea korkeudensäätö saadaan onnistumaan. Ilman ohjaamisessa ilmajousiin on myös otettava huomioon muutamia asioita, esim. ettei auton kallistuessa kaarteessa ilma pääse karkaamaan auton yhden puolen jousista auton toisen puolen jousiin. Valmiissa ilmajousisarjoissa tämä ei tosin ole mahdollista.

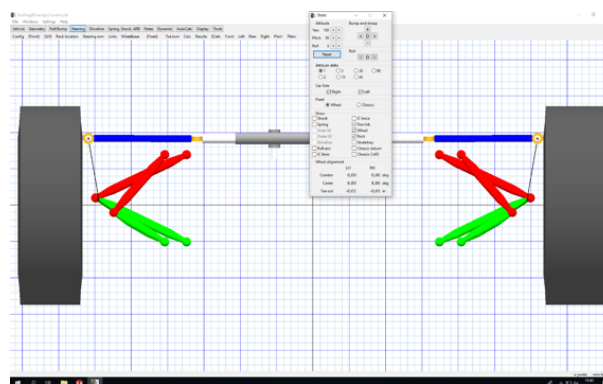
### 5.3 SusProg3D

Opinnäytetyön akseliston geometrian suunnittelu ja simulointi suoritettiin australialaisella SusProg3D-ohjelmalla. Tämä on kolme- ja nelipyöräisten autojen alustojen geometrian suunnitteluun kehitetty tietokoneohjelma. Ohjelman yksinkertainen ulkoasu ja johdonmukainen käytettävyys tekivät suunnittelusta suoraviivaista.

Suunnittelu SusProg3D-ohjelmalla aloitettiin valitsemalla auton akselistotyypit, sekä etu- että taka-akselit, vaikka suunnittelun kohteena olisikin vain auton yhden pään akselisto. Tämän jälkeen jousituksen nivelpisteiden mitat sijoitettiin kolmiakseliseen koordinaatistoon yhdessä renkaiden ja vanteiden koon, ohjausvaihteen tyyppin ja sijainnin sekä jousien tyyppin ja sijainnin kanssa. Näiden lisäksi ohjelmaan piti lisätä ainakin auton akseliväli ja maavara. Näillä tiedoilla ohjelma piirsi yksinkertaistetun ja havainnollistavan kuvan etuakselistosta.



Kuva 20. Mittojen syöttäminen SusProg3D-ohjelmaan.



Kuva 21. Akseliston mitat SusProg3D-ohjelmassa.

Kun akselisto saatiin näyttämään tältä, alkoi itse simulointi. Mitä enemmän tietoa SusProg3D-ohjelmalle antoi, sitä enemmän ohjelma pystyi laskemaan. Akseliston suunnittelu aloitettiin hakemalla hammastangolle optimaalisin paikka ja leveys. Hammastangon sijoituspaikkaa oli mahdollista säätää melko paljon. Tukivarsien muotoon ja pituuteen ei käytettävissä olevasta tilasta ja osista johtuen voinut merkittävästi vaikuttaa.

#### 5.4 Suunnittelu

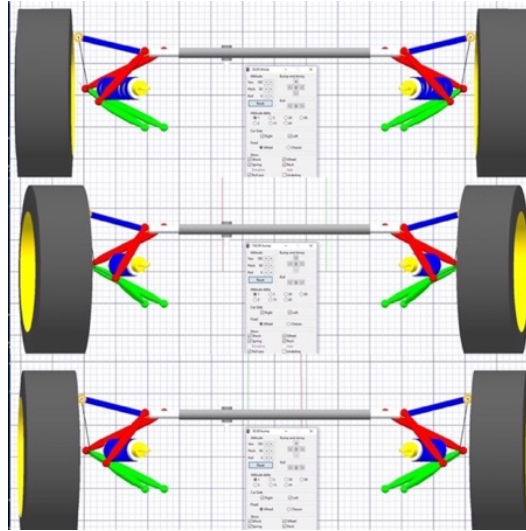
Opinnäytetyön aiheena olevan akselistorakenteen tärkein teema ja samalla suurin haaste on, että sen tulee sopia vakiokuntoiseen Volkswagen Typ 2:n runkoon ilman merkittäviä muokkauksia. Suurimman ongelman aiheuttavat pienet etupyörän holvit ja runkopalkkien sijoitus autossa. Volkswagen on kokonaisleveydeltään melko kapea, runkopalkit taas ovat koriin nähden asemoitu varsin leveälle. Tila, johon yhtäaikaaisesti sijoittuu etupyörä, olka-akseli, etujarru, tukivarret, iskunvaimennin ja jousi, on pieni. Haasteita aiheuttaa myös akselistoon valitut valmiit komponentit, geometrian suunnittelun myötä vasta selviää, miten ne todella soveltuvat tähän käyttötarkoitukseen.

Koska tukivarsien pituus on rajallinen, tulee lopputuloksesta geometrian käytös joustoliikkeen aikana ajo-ominaisuuksien ”hyvyyden” kannalta vähän vajavainen. Lyhyet tukivarret aikaansaavat kallistuskeskiön voimakkaan liikkumisen joustoliikkeen aikana. Pienikin parannus ja päivitys alkuperäiseen akselistorakenteeseen ja ajettavuuteen on tässä tapauksessa työn varsinainen tavoite. Tämä ei silti tarkoita, että kaikki alusta-geometrian säännöt ja opit olisi heitetty roskakoriin, niitä käytetään ohjenuorana ja muualla mahdollisimman tarkasti suunnittelutyössä.

##### 5.4.1 Ominaisohjaus

Akseliston optimointi aloitettiin ominaisohjauksen eliminoinnilla. Koska maavara tulee olemaan säädettävissä ilmajousien ansiosta, eikä ajokorkeus välttämättä aina tule olemaan täysin sama, on tärkeää, että sisään- ja ulosjoustotilanteessa etupyörien aurasukulmat muutu merkittävästi. Kääntövarren ollessa kiinteä osa olka-akselin kanssa, ainoa tapa vaikuttaa ominaisohjauksen minimointiin oli hammastangon leveys ja sijoitus sekä raidetangon pituus.

Koska raidetanko oli peräisin aivan toisen tyyppisestä autosta ei sen leveys ollut lähelläkään optimia. Hammastanko oli liian kapea tukivarsien kiinnityspisteisiin nähden. Sopivan pituiset holkit hammastangon ja raidetangon sisäpään nivelen väliin korjasivat tilannetta huomattavasti. Raidetankojen pituus muuttui täten tukivarsiin nähden sopivaksi. Hammastangon korkeuden säädöllä raidetankojen kulman sai hyvään suhteeseen ylä- ja alatukivarsien kulmien kanssa. Näillä menetelmillä ominaisohjauksen sai hyvin pieneksi (Liite 2).



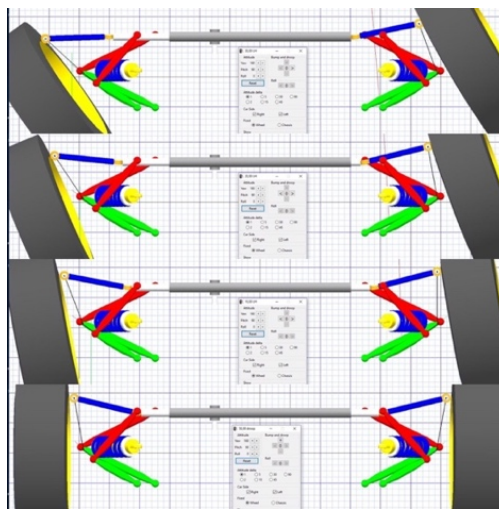
Kuva 22. Minimaalinen ominaisohjaus mittojen hienosäädön jälkeen (50mm ulosjoustolla ja 50mm & 100mm sisäänjoustolla).

#### 5.4.2 Ackermann-ehto

Kuten edellä jo mainittiin, olka-akselit ja kääntövarret ovat kiinteästi toisissaan Mustang II -olka-akseleissa. Tämä seikka teki Ackermann-ehdon optimoinnista tässä akselistossa haastavaa. Kääntövarren muokkaaminen, eli raidetangon ulomman nivelpisteen siirto auton leveyssuunnassa olisi ollut helpoin tapa vaikuttaa Ackermann-ehdon täyttymiseen. Mustang II on Ackermann-ehdton vaikuttavilta mitoiltaan lähellä Volkswagenia. Akseliväli eroaa vain noin 43 mm (Mustang II 2443 mm ja Volkswagen Typ 2 2400 mm). Raideleveys taas eroaa hieman enemmän, noin 91 mm (Mustang II 1461mm ja Volkswagen Typ 2 1370 mm) (Ultimate Specs 2019) (Conceptcarz 2019). Ackermann ehto on tärkein pienillä nopeuksilla ja suurilla kääntökulmilla, ehdon sataprosenttinen täytyminen ei ole niin kriittistä.



Käytännössä ainoaksi tavaksi optimoida Ackermann-ehto oli siirtää sitä auton pituus-suuntaan nähden. Kääntövarren nivelpisteen kohta käännettäessä muuttuu tietenkin auton leveysuuntaan nähden mutta myös auton pituussuuntaan nähden. Käännettäessä pyöriä siis myös raidetanko kääntyy ja tätä myötä ikään kuin sen pituus ”muuttuu”. Tätä seikkaa hyväksikäyttäen Ackermann-ehto saatiin toteutumaan akselistossa melko hyvin. Pyöriä käännettäessä sisäkaarteen puoleinen raidetanko kääntyy hammastangon rungon linjan suuntaiseksi, jolloin se ikään kuin ”pitenee” ja kääntää pyörää enemmän. Ackermann-ehto toteutuu kohtuullisesti, nivelpisteiden optimoinnin jälkeen jopa 60 %:sti (Liite 2).



Kuva 23. Ackerman-ehdon toteutuminen pyöriä käännettäessä.

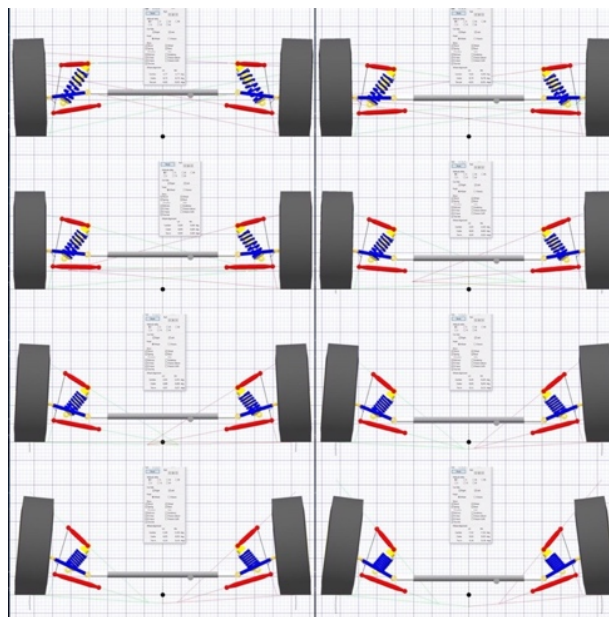
#### 5.4.3 Kääntövierinsäde, *Scrub Radius*

Kääntövierinsäde muodostui pienimuotoiseksi ongelmaksi akselistoa suunniteltaessa. Valittujen olka-akselien myötä kääntövierinsäde kasvoi suureksi, noin 101 mm (Liite 2). Näin suuri kääntövierinsäde aiheuttaa suurella todennäköisyydellä itseohjautumista epätasaisella tiellä ja jarrutustilanteissa. Kääntövierinsäteen pienentäminen olisi mahdollista muuttamalla vanteen offsetia positiivisemmaksi, eli siirtämällä vanteen kiinnitystasoa ulospäin vanteen keskilinjaan nähden. Tämä ei kuitenkaan prototyyppiin suunnitelluilla komponenteilla ole mahdollista. Johtuen vanteen suhteellisen pienestä koosta (15”) ja kääntövarren pituudesta ja sijoituksesta olka-akselissa, raidetangon pää ottaisi kiinni vanteeseen.

Erityyppinen olka-akseli, sellainen jossa kääntövarsi olisi irrotettavissa ja täten muokattavissa, antaisi enemmän vapauksia akseliston suunnitteluun ja optimointiin. Vanteen offsetia olisi näin mahdollista suurentaa ja ajo-ominaisuudet parantuisivat merkittävästi sen myötä. Olka-akselin siirtäminen ulospäin mahdollistaisi myös tukivarsien pidennyksen mikä parantaisi pyöräntuennan käyttäytymistä joustoliikkeen aikana. Esimerkiksi camber-kulman muutos sisään- ja ulosjoustotilanteessa olisi tällöin helpommin hallittavissa.

#### 5.4.4 Camber

Camber-kulman muutos sisään- ja ulosjoustotilanteessa oli suunnitelluista leveistä pyöristä johtuen tärkeä. Koska maavaraa pystyy säätämään ilmajousien avulla, on tärkeää, että etupyörä mahtuu olemaan pyöränkotelossa. Tämän takia camber-kulma muuttuu sitä negatiivisemmaksi, mitä enemmän pyörä joustaa sisäänpäin. Tällöin pyörä ei ota kiinni pyöränkotelon ulkoreunaan. Camber-kulman haluttu suuri muutos, joka selviää liitteestä 2, johtuu olosuhteiden pakosta varsin lyhyestä ylätukivarresta.

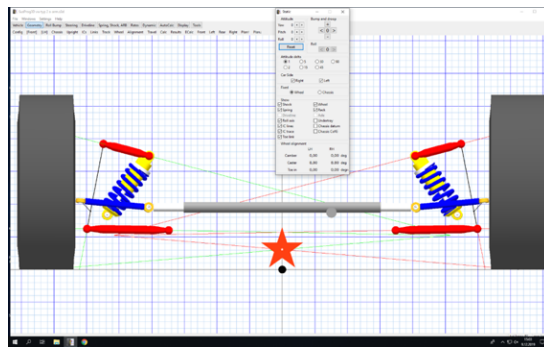


Kuva 24. Camber-kulman muutos, ulos- ja sisäänjouston eri vaiheissa.

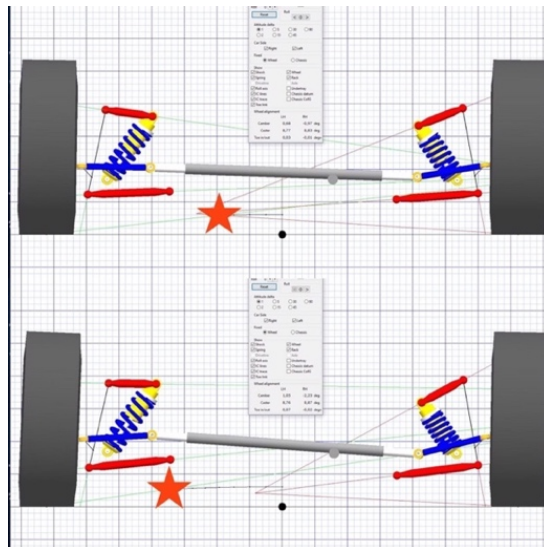
Jos edellä mainittu kääntövierinsäteen korjaaminen erilaisilla olka-akseleilla tulisi ajankohtaiseksi, olisi myös syytä tarkastella enemmän tukivarsien pituuksia, jolloin camber-kulman muutosta saisi varmasti hillitymmäksi.

### 5.4.5 Roll center

Tukivarsien hieman epäedullisista asennoista johtuen, akseliston kallistuskeskiö sijoittuu melko alas. Tämä yhdistettynä auton mahdollisesti korkeaan massakeskipisteeseen saattaa aiheuttaa korin suurtakin kallistelua kaarreajossa, mikä ei matkustusmukavuuden kannalta ole eduksi. Tukivarsien pituuden muutoksella ja sitä myötä niiden kiinnityspisteiden siirrolla olisi suuri vaikutus kallistuskeskiön korkeusasemaan. Ajokorkeuden muutoksella on kuitenkin myös vaikutusta asiaan. Ajokorkeuden muuttaminen onnistuu suunniteltavassa akselistossa ilmajousituksen avulla.



Kuva 25. Kallistuskeskiö merkittynä tähdellä.



Kuva 26. Kallistuskeskiön siirtymä auton kallistuessa. Kahden ja neljän asteen kallistuma.

#### 5.4.6 Anti dive

Kolmiotukivarsien takakiinnityspisteiden siirrolla olisi mahdollista saada aikaan ns. anti dive -ominaisuus. Tämä ominaisuus vähentää auton etupään taipumusta painua alaspäin jarrutustilanteessa. Varsinkin voimakkaissa jarrutuksissa tällainen käyttäytyminen olisi toivottavaa. Jo pienellä kiinnityspisteiden siirrolla ylöspäin oli anti dive -ominaisuus huomattava, mutta kiinnityspisteiden siirron negatiivinen puoli oli saatua hyötyä suurempi. Esim. ominaisohjaus muuttui hyvin suureksi. Parhaimman ja tarkoituksenmukaisimman lopputuloksen saamiseksi anti dive -ominaisuus jätettiin akselistosta kokonaan pois.

## 6 LOPUKSI

Opinnäytetyön aihe osoittautui varsin laajaksi kokonaisuudeksi. Aiheesta olisi helposti saanut toteutettua useampiakin opinnäytetöitä. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin enimmäkseen akseliston geometriaan ja sen soveltuvuudesta kohdeautoon. Toisen opinnäytetyön aihe voisi olla esim. akseliston materiaalit ja valmistustekniikat. Lisäksi opinnäytetyön aiheeksi soveltuisi prototyypin valmistus ja testaaminen sekä lujuuden että ajominaisuuksien kannalta. Myös kustannuksiin ja akselin tuotteistamiseen liittyviä seikkoja olisi mielenkiintoista selvittää.

Yhteistyö NeniFabian kanssa jatkuu. Geometriaan tullaan perehtymään lisää, jonka jälkeen on vuorossa toimivan prototyypin valmistus ja testaus. Opinnäytetyö on tuonut NeniFabille paljon tietoa, jota on mahdollista hyödyntää akseliston valmistuksessa.

Opinnäytetyö toimi hyvänä perehtymisenä akseliston suunnitteluun, esimerkiksi SusProg3D-ohjelman käyttö on varmasti hyödyllinen taito tulevaisuutta ajatellen. Hankitulla taidolla ja kokemuksella on hyvä tarttua uusiin vastaaviin suunnittelutehtäviin.

## LÄHTEET

- Autozone 2019. 1949-1969 Ilmajäähdytteisen Volkswagenin korjauskäsikirja. Viitattu 10.12.2019 [https://www.autozone.com/repairguides/Volkswagen-Air-Cooled-1949-1969-Repair-Guide/Front-Suspension/Introduction/\\_/P-0900c1528026773a](https://www.autozone.com/repairguides/Volkswagen-Air-Cooled-1949-1969-Repair-Guide/Front-Suspension/Introduction/_/P-0900c1528026773a)
- CarThrottle 2019. Kaksoisheilurituenta. Viitattu 5.12.2019 <https://www.carthrottle.com/post/what-actually-is-double-wishbone-suspension/>
- Conceptcarz 2019. 1961 Volkswagenin mitat. Viitattu 22.11.2019 <https://www.conceptcarz.com/s9573/volkswagen-transporter.aspx.aspx>
- Dyler 2019. VW Type 2 historia. Viitattu 5.11.2019 <https://dyler.com/posts/59/vw-type-2-the-most-important-van-in-the-history>
- Hagerty 2019. Mustang II -etuakselisto. Viitattu 8.11.2019 <https://www.hagerty.com/articles-videos/articles/2017/08/18/mustang-ii-suspension>
- Hale, James 2018. How to Modify Volkswagen Bus Suspension, Brakes & Chassis for High Performance. Englanti: Veloce Publishing Limited
- Hot Rod 2007. Ilmajousitus. Viitattu 3.12.2019 <https://www.hotrod.com/articles/hrdp-0701-air-suspension/>
- iMohr 2019. VW Typ 2 etuakselisto kaksoisheilurituennalla. Viitattu 10.11.2019 <https://imohr.com.br/en/products/8/vw-bus-t1t2-double-aarm-front-suspension>
- Pining 2019. Viitattu 7.11.2019 [https://i.pining.com/originals/2d/c2/be/2dc2be6c0101998817ac-dcf4f5616fa.jpg?fbclid=IwAR1lmfjYyFobVY\\_-EixaJsjOOcNDUYenUv7AUPRE-AbuH3UtM-vAQq51eoE](https://i.pining.com/originals/2d/c2/be/2dc2be6c0101998817ac-dcf4f5616fa.jpg?fbclid=IwAR1lmfjYyFobVY_-EixaJsjOOcNDUYenUv7AUPRE-AbuH3UtM-vAQq51eoE)
- Red9Design 2019. VW Typ 2 etuakselisto kaksoisheilurituennalla. Viitattu 10.11.2019 <https://www.red9design.co.uk/buswishbones.htm>
- Suspension Secrets 2019. Ackermann. Viitattu 8.12.2019 <https://suspensionsecrets.co.uk/ackermann/>
- The Telegraph 2019. Rare VW Camper rescued from watery grave. Viitattu 5.11.2019 <https://www.telegraph.co.uk/motoring/classiccars/6753575/Rare-VW-Camper-rescued-from-watery-grave.html>
- Traficom 2016. Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen. Annettu 28.4.2016. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/muutoskatsastus>
- Tyre Size Calculator 2019. Wheel offset. Viitattu 19.12.2019 <https://www.tyresizecalculator.com/wheels/wheel-offset>
- UltimateSpecs 2019. Ford Mustang II mitat. Viitattu 22.11.2019 <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Ford/21006/Ford-Mustang-II-V8.html>
- VW Heritage 2019. VW Typ 2 historia. Viitattu 16.12.2019 <https://es.vwheritage.com/split-history>

Ajoneuvon akseliston muutokset on tehtävä niin, että renkaat eivät muutosten jälkeen osu ajoneuvon rakenteisiin missään ohjauksen eivätkä jousituksen asennossa.

### 3.3 Ohjauslaitteet

Olka-akseleita, raidetankoja, ohjausvarsia, ohjausvaihteen osia, ohjausakselia ja jousia sekä näihin verrattavia osia, joiden murtuminen tai muodonmuutos voi aiheuttaa ohjaushäiriön, ei saa korjata tai muuttaa hitsaamalla tai muulla niiden alkuperäistä lujuutta heikentävällä menetelmällä.

Ohjausvaihteen vaihtaminen tyyppiin kuulumattomaan on seuraavin edellytyksin sallittu:

- a) ajoneuvon asennettava ohjausvaihteeseen kuuluu ajoneuvossa olevaan tai siihen vaihdettavaan akselistokokonaisuuteen tai asennettava ohjausvaihteeseen vastaa toiminnalliselta mitoitukseltaan ajoneuvossa olevaan tai siihen vaihdettavaan akselistokokonaisuuteen kuuluvaa ohjausvaihtetta;
- b) ajoneuvon asennettava ohjausvaihteeseen on tarkoitettu akselimassaltaan tai valmistajan sallimalla akselimassaltaan vähintään muutoksen kohteena olevaa ajoneuvoa vastaavaan ajoneuvon;
- c) ajoneuvon asennettava ohjausvaihteeseen kiinnitetään ruuviliitoksella ajoneuvon korissa, runkopalkissa tai muussa riittävän lujuuden omaavassa rakenteessa olevaan alkuperäiseen kiinnityspisteeseen taikka johonkin näistä kiinnitettyyn tähän tarkoitukseen valmistettuun kiinnikkeeseen; omavalmisteisten kiinnikkeiden lujuudesta, mahdollisista hitsauslisäaineista sekä hitsausuudesta on esitettävä selvitys;
- d) jos ajoneuvon asennettava ohjausvaihteeseen sijaitsee alkuperäistä edempänä, on ohjausakseliin oltava nivelöity; kokoonpainuvaa tai nivelöityä ohjausakselia ei saa vaihtaa jäykkään; ja
- e) ohjauslaitetta tai sen osia, mukaan lukien ohjauspyörä, joiden on edellytetty ajoneuvon käyttöönottoajankohtana olevan E-säännön, direktiivin tai FMVSS-standardin mukaiset, tulee muutoksen jälkeen osoittaa sanotut vaatimukset täyttäväksi.

Ajoneuvon saa asentaa ohjausvalmentimen tai ohjaustehostimen edellyttäen, että se on ajoneuvotyyppiin soveltuva ja muutos ei lisää olennaisesti ohjauslaitteisiin kohdistuvia rasituksia eikä rajoita ohjauslaitteiden liikeratoja. Jos ajoneuvo on alun perin varustettu ohjausvalmentimella tai ohjaustehostimella, ei kyseistä laitetta saa poistaa, paitsi jos ajoneuvo muutoksen jälkeen vastaa ilman kyseistä laitetta hyväksyttyä ajoneuvoa.

### 3.4 Jarrut

Ajoneuvon nestetoimisten jarrujen vaihtaminen on seuraavin edellytyksin sallittu:

- a) jarrut ovat alkuperäisiä tehokkaammat ja peräisin ajoneuvosta tai tarkoitettu ajoneuvon, jonka akselimassa tai valmistajan sallima akselimassa ja moottoriteho vastaavat vähintään muutettavaa ajoneuvoa;
- b) jarrusatula tai -kilpi on kiinnitetty ruuviliitoksella suoraan tai asianmukaista sovitteosaa käyttäen olka-akseliin tai vastaavaan taikka taka-akselistoon; omavalmisteisten sovitteosien lujuudesta on esitettävä selvitys;

c) akselistosta johtuva raideväli muuttuu korkeintaan 100 mm;

d) mahdollisesti tarvittavat uudet tukivarsien tai jousien kiinnikkeet tai akselisto kokonaisuutena on voitava kiinnittää luotettavasti ajoneuvon runkopalkkeihin tai muihin riittävän lujuuden omaaviin rakenteisiin; ja

e) muutoksastuksessa on esitettävä selvitys hitsauslisäaineista ja hitsaustyöstä sekä muutettujen rakenteiden ja omavalmisteisten kiinnikkeiden lujuudesta; hitsausaummat on esitettävä pintakäsittelymättöminä, ellei katsastajan kanssa ole muuta sovittu.

Ajoneuvon akselivälin jatkaminen tai lyhentäminen tai akselin poistaminen tai asentaminen ajoneuvon tyyppiin puitteissa on sallittua. Muutos on tehtävä ajoneuvon valmistajan tai valmistajan edustajan ohjeiden mukaisesti, jos tällaiset ovat saatavilla. Ajoneuvon kantavien rakenteiden lujuus ei saa muutoksen seurauksena heikentyä.

Kuitenkin kokonaismassaltaan yli 6000 kg:n N<sub>2</sub>-luokan ajoneuvon sekä N<sub>3</sub>-, O<sub>3</sub>- ja O<sub>4</sub>-luokan ajoneuvon akselistomuutokset edellyttävät aina valmistajan tai valmistajan edustajan luvan ja ohjeet, jos ajoneuvo on käyttöönotettu 31.12.1979 jälkeen. Luvan ja ohjeiden perusteella muutoksen lopputulos voi poiketa myös ajoneuvon tyyplistä.

Myös jarrujen voimansiirron laitteet on muutettava siten, ettei aiheuteta ylimääräisiä liitoksia tai jatkoksia.

Jos voimansiirron nivelakselia muutetaan, se on tasapainotettava.

Jos akselistoa muutetaan siten, että muutosten jälkeen ajoneuvossa ei enää vaadita pakolliseen elektronista ajonvakautusjärjestelmää, kehittynyttä hätäjarrutusjärjestelmää, kaistavahti-järjestelmää tai muuta vastaavaa järjestelmää, tulee järjestelmä joko kytkeä pois päältä tai osoittaa, ettei siitä ole tullut vaarallista tai epävakaa.

Ajoneuvon heilahduksenvaimentimet saa muuttaa tyyppiltään alkuperäisestä poikkeaviksi ja niiden määrää saa lisätä. Jos muuttaminen tai lisääminen edellyttää uusien kiinnikkeiden asentamista, eivät ne saa lisätä akselisto-, kori- tai runkorakenteisiin kohdistuvia rasituksia. Jos alkuperäiset heilahduksenvaimentimet eivät toimi jousituksen rajoittimina joustovaran loppuessa, muutetut tai lisätyt heilahduksenvaimentimet eivät saa myöskään toimia niin.

Ajoneuvon alustan korkeuden muuttaminen on sallittua käyttämällä ajoneuvotyyppiin soveltuvia alustan madallussarjoja, korotussarjoja tai korkeussäädettäviä alustasarjoja, jousia säätämällä, takomalla tai vaihtamalla taikka asentamalla jousen ja akselin väliin tai jousen korin puoleiseen kiinnityspisteeseen korotus- tai madalluskappaleet. Korkeutta saa muuttaa verrattuna pyörien keskiöön enintään 51 mm, maastoajoneuvojen alaluokissa kuitenkin enintään 77 mm. Ajoneuvon kokonaiskorkeuden lisäys yhdessä mahdollisen korin korottamisen ja renkaiden muutoksen kanssa saa olla enintään 100 mm, maastoajoneuvojen alaluokissa kuitenkin enintään 150 mm. Korkeuden muutosten rajoja ei kuitenkaan vaadita sovellettavaksi ajoneuvoluokissa M<sub>3</sub>, N<sub>3</sub>, O<sub>3</sub> ja O<sub>4</sub>. Sellaisella akselistorakenteella, jossa jousituksen korkeuden muutos vaikuttaa oleellisesti pyörien asentokulmiin, varustetun ajoneuvon alustaa ei kuitenkaan saa korottaa.

Ajoneuvon alustan korkeuden alentamisen jälkeen on maavaran ajoneuvon ollessa kuormamaton oltava ainakin niin suuri, että yhden akseliston joustovaran loppuessa tai toisen puolen renkaiden tyhjentyessä mikään alustan osa ei osu maahan. Maavaran on kuitenkin oltava vähintään 80 mm.



### 3 ALUSTAMUUTOKSET

#### 3.1 Vanteet ja renkaat

Ajoneuvoon asennettavat vanteet eivät saa merkittävästi lisätä pyöränlaakereihin tai ohjauslaitteisiin kohdistuvia rasituksia verrattuna ajoneuvon alkuperäisiin vanteisiin. Vanteiden vaihdon seurauksena ajoneuvon kunkin akseliston raideväli saa muuttua enintään 30 mm alkuperäiseen verrattuna, ellei ajoneuvon valmistaja muuta ilmoita. Vanteiden on asennusmitoiltaan oltava pyörännapaan sopivat. Vanteita, joissa on soikeat, eri jakoympyröille sopivat pultinreiät, ei saa käyttää. Vanteiden tulee olla ajoneuvon akselimassoille sopivat.

Ajoneuvoa ei tarvitse muutoskatsastaa, jos:

a) vanteen nimellishalkaisija poikkeaa alkuperäisestä enintään 26 mm; tai

b) renkaan leveys poikkeaa alkuperäisestä enintään 30 mm.

Renkaan ulkohalkaisijaa ei saa muuttaa alkuperäiseen renkaaseen nähden enempää kuin 10 % tai 51 mm suuremman arvon ollessa määräävä. Maastoajoneuvojen alaluokissa (ajoneuvoluokassa lisäkirjain G) jälkimmäinen arvo on kuitenkin 77 mm. Kun renkaan ulkohalkaisijaa muutetaan, on nopeusmittarin näyttämä tarvittaessa korjattava ja ajopiirturi tarvittaessa kalibroitava.

Renkaan leveyttä ei saa muuttaa alkuperäiseen renkaaseen nähden enempää kuin 102 mm.

Renkaan leveydellä tarkoitetaan renkaaseen merkittyä leveyttä. Renkaan ulkohalkaisijalla tarkoitetaan STRO:n (Scandinavian Tire & Rim Organization) rengasnormin mukaista kyseiselle rengaskoolle ilmoitettua normaalihalkaisijaa.

Ajoneuvon pyörännavan ja vanteen väliin saa asentaa vain ajoneuvon tai vanteen valmistajan vanteen ja kyseisen ajoneuvomallin yhteydessä käytettäväksi tarkoitettuja sovituskappaleita.

Ajoneuvon vanteiden ja renkaiden muutokset on tehtävä niin, että renkaat eivät muutosten jälkeen osu ajoneuvon rakenteisiin missään ohjauksen eivätkä jousituksen asennossa.

Renkaiden ja vanteiden on oltava yhteensopivia muodon ja mitoituksen puolesta.

#### 3.2 Akseliston ja akselivälin muutokset

Ajoneuvon akseliston tai akseliston osien vaihtaminen ajoneuvotyyppiin kuuluvaan akselistoon, ajoneuvotyyppiin tarkoitettuihin akseliston osiin tai akseliston perustyyppiin muutoksen kohteena olevaa ajoneuvoa vastaaviin ajoneuvoihin tarkoitettuihin akselistorakenteen muutososiin on sallittu, jos:

a) ajoneuvoon vaihdettava akselisto, akseliston osat tai akselistorakenteen muutososat on tarkoitettu akselimassaltaan tai valmistajan sallimalta akselimassaltaan sekä teholtaan vähintään muutoksen kohteena olevaa ajoneuvoa vastaavaan ajoneuvoon;

b) ajoneuvoon vaihdettavien tai lisättävien akseliston osien tai akselistorakenteen muutososien tulee kiinnikkeitä lukuun ottamatta olla tehdasvalmisteisia ja soveltuvia muutoksen kohteena olevassa ajoneuvossa yleisessä tieliikenteessä käytettäviksi; asiasta on esitettävä selvitys muutoskatsastuksessa;

Geometry [Front]			
Double A-arm, steering link			
Vehicle lateral datum (X):	Vehicle centreline		
Vehicle vertical datum (Y):	Ground		
Vehicle longitudinal datum (Z):	Front axle centreline		
Chassis pivot points (from vehicle X, Y, Z datum)			
- top A-arm chassis pivot (front/rear)	- X	408,00	408,00
	- Y	347,50	347,50
	- Z	-138,77	101,23
- bottom A-arm chassis pivot (front/rear)	- X	348,00	348,00
	- Y	120,00	120,00
	- Z	-138,77	101,23
- tie rod	- X	410,00	
	- Y	190,42	
	- Z	-132,86	
Upright pivot points (from vehicle X, Y, Z datum)			
- top A-arm upright pivot	- X	548,17	
	- Y	384,36	
	- Z	20,30	
- bottom A-arm upright pivot	- X	598,17	
	- Y	124,45	
	- Z	-19,93	
- tie rod (steering arm)	- X	618,17	
	- Y	210,36	
	- Z	-182,70	
- spindle reference point	- X	708,17	
	- Y	260,83	
	- Z	1,18	
- spindle / wheel c1 point	- X	723,17	
	- Y	260,83	
	- Z	1,18	
Instant centre			
Front view swing axle length (at IC point)		1238,77	
Front view swing axle height (at IC point)		104,64	
Roll centre height		61,09	
Roll centre offset		0,00	
Side view IC length (at IC point)		0,00	
Side view IC height (at IC point)		0,00	
Side view IC height (at rear axle centreline)		0,00	
Side view IC angle (from tyre centre)		0,00	
suspension roll axis		0,0%	
Brake force split 60% front 40% rear			
Brake anti-dive %		0,0%	
Track (wheel c1 on ground)		1446,34	
Top A-arm link lengths (front/rear)		215,20	166,00
Top A-arm (normal length)		144,94	
Top A-arm (base length)		240,00	
Bottom A-arm link lengths (front/rear)		277,00	278,00
Bottom A-arm (normal length)		250,21	
Bottom A-arm (base length)		240,00	
Steering tie rod length		214,98	
Tyre contact c1 from Z datum		1,18	
Tyre contact c1 from vehicle c1		723,17	
Tyre rolling radius (effective radius)		260,83	
Tyre diameter (overall)		546,00	
Rim diameter		15,000 in	
Rim width		7,000 in	
Rim mounting inset		-5,00	
wheel mounting spacer		10,00	
Wheel alignment in straight ahead position			
Camber angle		0,00	
Top king pin point (actual)	- X	548,17	
	- Y	384,36	
	- Z	20,30	
Bottom king pin point (actual)	- X	598,17	
	- Y	124,45	
	- Z	-19,93	
Upright pivot inclination (kpi) and scrub radius		10,89	101,06
Caster angle and trail		8,80	40,37
Steering offset		108,82	
Spindle offset from kingpin axis (side/front view)		0,00	148,51
Static toe (degree) toeIn		0,00	
Ride height ref point (from vehicle X, Y, Z datum)	Front LH		Rear LH
	- X	0,00	0,00
	- Y	100,00	100,00
	- Z	0,00	2400,00
Ride height (ref point to ground)			
Datum reference dimensions			
Chassis lateral datum (X):	Chassis centreline		
Chassis vertical datum (Y):	Ground		
Chassis longitudinal datum (Z):	Front axle centreline		
Ride height ref point (from chassis X, Y, Z datum)	Front LH		Rear LH
	- X	0,00	0,00
	- Y	80,00	80,00
	- Z	0,00	2400,00
Chassis pivot points (from chassis X, Y, Z datum)			
- top A-arm (front/rear)	- X	408,00	408,00
	- Y	327,50	327,50
	- Z	-138,77	101,23
- bottom A-arm (front/rear)	- X	348,00	348,00
	- Y	100,00	100,00
	- Z	-138,77	101,23
- tie rod	- X	410,00	
	- Y	170,42	
	- Z	-132,86	
Upright pivot points (from upright X, Y, Z datum)			
- top A-arm	- X	160,00	
	- Y	125,00	
	- Z	0,00	
- bottom A-arm	- X	110,00	
	- Y	-138,00	
	- Z	0,00	
- tie rod (steering arm)	- X	90,00	
	- Y	-78,00	
	- Z	-174,00	
- spindle reference point	- X	0,00	
Upright pivot points (from chassis X, Y, Z datum)			
- top A-arm	- X	548,17	
	- Y	364,36	
	- Z	20,30	
- bottom A-arm	- X	598,17	
	- Y	104,45	
	- Z	-19,93	
- tie rod (steering arm)	- X	618,17	
	- Y	190,36	
	- Z	-182,70	
- spindle reference point	- X	708,17	
	- Y	240,83	
	- Z	1,18	

Steering

Vehicle lateral datum (X): vehicle centreline  
 Vehicle vertical datum (Y): Ground  
 Vehicle longitudinal datum (Z): Front axle centreline

Chassis pivot points (from vehicle X, Y, Z datum)

- tie rod	- X	410,00
	- Y	190,42
	- Z	-132,86
- tie rod (steering arm)	- X	618,17
	- Y	210,36
	- Z	-182,70

Steering tie rod length 214,98  
 Steering arm length (actual) 176,71  
 Steering arm length (effective) 161,12  
 Steering arm - tie rod angle (effective, degrees) 65,95

Rack c-factor 40,00  
 Steering ratio - nominal (straight ahead) 26,68  
 Turning radius (tyre contact centre) LH/RH 4799,00  
 Turning circle (curb-to-curb) LH/RH 9774,00  
 Steering wheel turns, lock to lock 4,66

Bump steer absolute degree

100,00 bump	0,18	toe in
90,00 bump	0,16	toe in
80,00 bump	0,14	toe in
70,00 bump	0,11	toe in
60,00 bump	0,09	toe in
50,00 bump	0,07	toe in
40,00 bump	0,05	toe in
30,00 bump	0,04	toe in
20,00 bump	0,02	toe in
10,00 bump	0,01	toe in
static	0,00	
10,00 droop	-0,01	toe out
20,00 droop	-0,01	toe out
30,00 droop	-0,01	toe out
40,00 droop	-0,02	toe out
50,00 droop	-0,02	toe out

Steering turn angle Toe out wheel toe angle Rack Steering Ratio:1 Ackermann  
 in turn LH RH travel LH RH %

30,00 LH	-5,69	-35,69	30,00	93,24	20,96	27,99	60,71
25,00 LH	-4,01	-29,01	25,00	77,69	22,03	28,37	61,64
20,00 LH	-2,57	-22,57	20,00	61,93	23,16	28,43	62,55
15,00 LH	-1,43	-16,43	15,00	46,13	24,28	28,20	63,50
10,00 LH	-0,63	-10,63	10,00	30,46	25,34	27,74	64,43
5,00 LH	-0,15	-5,15	5,00	15,05	26,29	27,09	65,10
Straight	0,00	0,00	0,00	0,00	26,68	26,68	0,00
5,00 RH	-0,15	5,00	-5,15	15,05	27,09	26,29	65,10
10,00 RH	-0,63	10,00	-10,63	30,46	27,74	25,34	64,43
15,00 RH	-1,43	15,00	-16,43	46,13	28,20	24,28	63,50
20,00 RH	-2,57	20,00	-22,57	61,93	28,43	23,16	62,55
25,00 RH	-4,01	25,00	-29,01	77,69	28,37	22,03	61,64
30,00 RH	-5,69	30,00	-35,69	93,24	27,99	20,96	60,71

Steering turn angle Camber (actual) Camber (change) Caster (actual) Caster (change)  
 LH RH LH RH LH RH LH RH

30,00 LH	6,57	-2,63	6,57	-2,63	13,93	2,35	5,13	-6,45
25,00 LH	5,11	-2,40	5,11	-2,40	13,24	3,51	4,44	-5,29
20,00 LH	3,79	-2,09	3,79	-2,09	12,45	4,65	3,65	-4,15
15,00 LH	2,62	-1,69	2,62	-1,69	11,58	5,75	2,78	-3,05
10,00 LH	1,61	-1,20	1,61	-1,20	10,67	6,81	1,87	-1,99
5,00 LH	0,74	-0,64	0,74	-0,64	9,74	7,83	0,94	-0,97
Straight	0,00	0,00	0,00	0,00	8,80	8,80	0,00	0,00
5,00 RH	-0,64	0,74	-0,64	0,74	7,83	9,74	-0,97	0,94
10,00 RH	-1,20	1,61	-1,20	1,61	6,81	10,67	-1,99	1,87
15,00 RH	-1,69	2,62	-1,69	2,62	5,75	11,58	-3,05	2,78
20,00 RH	-2,09	3,79	-2,09	3,79	4,65	12,45	-4,15	3,65
25,00 RH	-2,40	5,11	-2,40	5,11	3,51	13,24	-5,29	4,44
30,00 RH	-2,63	6,57	-2,63	6,57	2,35	13,93	-6,45	5,13

Steering turn angle Jacking effect Caster trail KPI offset Steering offset  
 LH RH LH RH LH RH LH RH

30,00 LH	16,03	-7,37	68,54	10,39	98,54	102,61	120,03	103,13
25,00 LH	12,76	-6,71	64,28	15,60	98,93	102,46	117,98	103,65
20,00 LH	9,67	-5,81	59,64	20,74	99,37	102,27	115,89	104,35
15,00 LH	6,82	-4,67	54,82	25,81	99,82	102,02	113,88	105,23
10,00 LH	4,25	-3,31	49,94	30,77	100,26	101,73	112,01	106,28
5,00 LH	1,98	-1,75	45,10	35,64	100,68	101,41	110,32	107,49
Straight	0,00	0,00	40,37	40,37	101,06	101,06	108,82	108,82
5,00 RH	-1,75	1,98	35,64	45,10	101,41	100,68	107,49	110,32
10,00 RH	-3,31	4,25	30,77	49,94	101,73	100,26	106,28	112,01
15,00 RH	-4,67	6,82	25,81	54,82	102,02	99,82	105,23	113,88
20,00 RH	-5,81	9,67	20,74	59,64	102,27	99,37	104,35	115,89
25,00 RH	-6,71	12,76	15,60	64,28	102,46	98,93	103,65	117,98
30,00 RH	-7,37	16,03	10,39	68,54	102,61	98,54	103,13	120,03

Datum reference dimensions  
 Chassis lateral datum (X): Chassis centreline  
 Chassis vertical datum (Y): Ground  
 Chassis longitudinal datum (Z): Front axle centreline

Chassis pivot points (from chassis X, Y, Z datum)

- tie rod	- X	410,00
	- Y	170,42
	- Z	-132,86

Upright pivot points (from upright X, Y, Z datum)

- tie rod (steering arm)	- X	90,00
	- Y	-78,00
	- Z	-174,00

Upright pivot points (from chassis X, Y, Z datum)

- tie rod (steering arm)	- X	618,17
	- Y	190,36
	- Z	-182,70