

Juha Kahelin

**JÄYKÄN TAKA-AKSELIN AKSELITUENNAN SUUNNITTELU
ILMAJOUSILLE**

JÄYKÄN TAKA-AKSELIN AKSELITUENNAN SUUNNITTELU ILMAJOUSILLE

Juha Kahelin
Opinnäytetyö
Syksy 2019
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutusohjelma, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Juha Kahelin

Opinnäytetyön nimi: Jäykän taka-akselin akselituennan suunnittelu ilmajousille
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Engineering suspension linkage for solid rear axle with airsprings

Työn ohjaaja: Janne Ilomäki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2019

Sivumäärä: 74 + 8 liitettä

Opinnäytetyön aihe syntyi, kun halusin asentaa omaan harrasteautooni ilmajousituksen. Työssä suunniteltiin jäykällä taka-akselilla varustettuun vuoden 1939 Chevrolet Master Deluxeen ilmajousien kanssa yhteensopiva taka-akselituenta niin, että auton saa muutoskatsastettua sen kanssa. Lisäksi auton ajo-ominaisuudet eivät saisi huonontua.

Työssä käydään läpi erilaisia akselientavaihtoehtoja ja niiden geometrian vaikutuksia ajokäyttäytymiseen. Vartenotettavia vaihtoehtoja olivat erilaiset kolmella ja neljällä tukivarrella toteutetut monivarsituennat. Kohdeauton rungon takaosa mitattiin ja mittojen perusteella mallinnettiin 3D-kuva rungon takaosasta Catia V5 -ohjelmalla, jonka avulla simuloitiin erilaisia akselin tuentamalleja jousituskorkeuden muuttuessa ± 100 mm. Arviointikohteita olivat akselivälin muutos, taka-akselin sisäänmenoakselin kulman muutos ja suhteellinen nosto.

Simulointien perusteella valittiin akselientamalliksi nelivarsituenta, jossa ylätukivarret ovat 28° kulmassa runkolinjaan nähden eikä erillistä sivuttaistuenta ole. Ylätukivarsi on myös $4,5^\circ$ kulmassa alaspäin ja alatukivarsi on vaakatasossa. Ylätukivarsista tulee noin 470 mm:n pituiset ja alatukivarsista 608 mm:n pituiset. Tukivarsien kiinnikkeistä mallinnettiin 3D-kuvat. Tämän jälkeen kiinnikkeisiin kohdistuvat voimat laskettiin ja kiinnikkeiden mittojen perusteella niihin tehtiin muutamia lujuuslaskelmia. Lopuksi 3D-kuville suoritettiin lujuusanalyysi Catian lujuusanalyysiominaisuutta käyttäen, jotta kiinnikkeiden rakenteista tulee varmasti tarpeeksi lujat. Lujuuslaskelmien ja FEM-analyysin perusteella kiinnikkeiden lopulliseksi materiaaliksi valittiin S355-rakenneteräs.

Tukivarsien kiinnikkeistä tehtiin mittapiirroksot niiden tulevaa valmistusta ajatellen. Kohdeauto tullaan muutoskatsastamaan ilmajousille ja nelivarsituennalle lopputyössä tehtyjen laskelmien pohjalta. Lujuusanalyysin tulokset esitetään muutoskatsastuksessa todisteena kiinnikkeiden riittävästä lujuudesta.

Asiasanat: autotekniikka, lujuuslaskenta, FEM, pyöräntuenta

SISÄLLYS

JÄYKÄN TAKA-AKSELIN AKSELITUENNAN SUUNNITTELU ILMAJOUS	1
TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 LAKI JA VAATIMUKSET	7
3 PYÖRIEN ASENTOKULMAT	9
3.1 Auraus ja haritus	9
3.2 Camber	10
3.3 Kulkukulma	11
3.4 Nivelristikoiden kulmat	12
4 AJODYNAMIIKAN PERUSTEET	15
4.1 Painopiste	15
4.2 Kallistuskeskiö	15
4.3 Nyökkäyskeskiö	17
4.4 Ominaisohjaus	17
5 GEOMETRIA JA ANTIGEOMETRIA	19
5.1 Anti-dive	19
5.2 Anti-squat	20
6 JÄYKKÄ TAKA-AKSELI	22
7 JOUSITUS	23
7.1 Lehtijouset	23
7.2 Kierrejouset	25
7.3 Ilmajouset	25
7.4 Jousiyhdistelmät	30
8 JÄYKÄN TAKA-AKSELIN AKSELITUENNAT	31
8.1 Pitkittäiset akselituennat	31
8.2 Erilliset poikittaiset akselituennat	37
9 TUENTAGEOMETRIAN SUUNNITTELU	44
9.1 Rungon mittaukset	44
9.1.1 Painopisteen paikan mittaus	44
9.1.2 Painopisteen korkeuden arviointi	45

9.2 Geometrian suunnittelu	46
9.3 Kiinnikkeiden suunnittelu	46
9.4 Geometrian simulointi	47
9.5 Geometrian arviointi	49
10 LUJUUSLASKELMAT	51
10.1 Akselipainojen laskenta kokonaispainolla	51
10.2 Kiinnikkeisiin kohdistuvat pitkittäiset voimat	53
10.3 Kiinnikkeiden poikkileikkauksen vetolujuus	58
10.4 Kiinnikeruuvien lujuuden laskenta	59
10.5 Hitsausliitokset	61
11 FEM-ANALYYSI	63
12 MATERIAALIN VALINTA	67
13 YHTEENVETO	68
LÄHTEET	70
LIITTEET	
Liite 1 Mittapiirros, ylempi takakiinnike	
Liite 2 Mittapiirros, alempi takakiinnike	
Liite 3 Mittapiirrokset, etukiinnike	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunnitellaan jäykällä taka-akselilla varustettuun autoon ilmajousien kanssa yhteensopiva akselituenta. Aihe syntyi, kun oman auton taka-akselin tuennan muutos tuli ajankohtaiseksi ilmajousituksen asennuksen myötä. Internetissä on ohjeita taka-akselituennan toteuttamiseksi, mutta niissä ei juurikaan paneuduta tuentageometrian vaikutuksiin.

Kohdeauto on vuoden 1939 Chevrolet Master Deluxe Town Sedan -henkilöauto, jossa taka-akseli on tuettu pitkittäisillä lehtijousilla eikä erillisiä akselituloja ole. Tavoitteena on saada aikaan ratkaisu, joka soveltuu tieliikennekäyttöön sekä parantaa vanhan auton ajo-ominaisuuksia. Laki asettaa suuntaviivat tälle työlle.

2 LAKI JA VAATIMUKSET

Asetus ajoneuvon rakenteen muuttamisesta muuttui 19.12.2002 siten, että se mahdollistaa jousitustyyppin muuttamisen. Tämän ansiosta lehtijouset voidaan korvata ilmajousilla ja erillisillä tukivarsilla. Jousitustyyppiä muutettaessa ajoneuvon korkeus saa muuttua korkeintaan 51 mm. Maavaran pitää kuitenkin olla vähintään 80 mm, ja toisen puolen renkaiden tyhjentyessä tai joustovaran loppuessa mikään alustan osa ei saa osua maahan. (1, s. 184; 2, 15 §.)

Tukivarsien tulee olla tehdasvalmisteiset ja tarkoitettu vähintään saman panoiseen autoon. Tukivarsien tarkoituksenmukaisuus on pystyttävä todistamaan muutokatsastuksessa. Tukivarsien kiinnityspisteet saa olla omavalmisteiset, mutta myös niiden kestävyys pitää voida todistaa. (2, 15 §.)

Ajoneuvolainsäädäntö asettaa myös minimivaatimukset lujuuslaskelmille. Laki määrittää, että ajoneuvon kokonaisjarrutussuhteen tulee olla vähintään 0,48 ajoneuvossa, joka on rekisteröity ennen 1.10.1990. Tämä tarkoittaa, että jarruvoiman täytyy olla noin puolet auton kokonaismassasta, mikä tarkoittaa noin 4,8 m/s² hidastuvuutta kitkakertoimen ollessa sama kuin kuivan asfaltin 0,8. (3, s. 12.)

Katsastusviranomaisille ei ole annettu yksiselitteistä ohjetta akselirakenteiden muutoksen arviointiin, vaan katsastusviranomaiset soveltavat määräyksiä oman katsomuksensa mukaan. Kaikkien muiden osien tulee kuitenkin olla tehdasvalmisteisia lukuun ottamatta akseliston kiinnikkeitä, jotka voi valmistaa itse. Katsastuksessa todennäköisesti joutuu esittämään seuraavaksi lueteltuja todistuksia, jotta muutokatsastus voidaan hyväksyä (4, s. 7; 5):

- Tehdasvalmisteisista tukivarsista vaaditaan valmistajan, maahantuojan tai myyjän todistus, että tukivarret soveltuvat kyseessä olevaan autoon tai vastaavan teho- ja painoluokan autoon tieliikennekäytössä (5).
- Omavalmisteisten tukivarsien kiinnikkeiden riittävä lujuus on pystyttävä todistamaan esimerkiksi vertaamalla kiinnikkeitä alkuperäiseen rakenteeseen tai lujuuslaskelmilla (5).

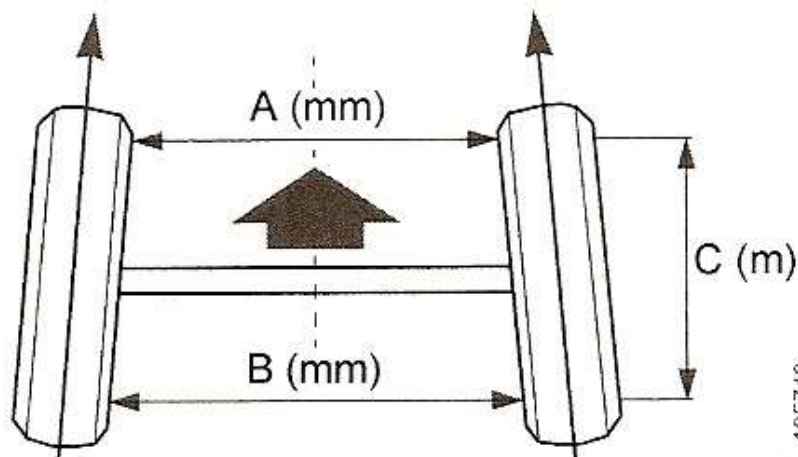
- Hitsauksissa käytetyn täyteaineen soveltuvuutta kyseessä olevaan kohteeseen voi todistaa esimerkiksi luokkahitsarin tai valmistajan edustajan asiantuntijalausunnolla (4, s. 8; 5).
- Hitsaussaumojen riittävä lujuus on voitava todistaa esimerkiksi luokkahitsarin asiantuntijalausunnolla (5).

3 PYÖRIEN ASENTOKULMAT

Pyörien asentokulmat ovat yksi tekijä mikä vaikuttaa auton ajomukavuuteen ja turvallisuuteen. Väärin säädetyt asentokulmat saattavat aiheuttaa epävakautta ja renkaiden ennenaikaista kulumista (6, linkit tekninen tuki -> pyörän asentokulmien perusteet). Koska lopputyössä käsitellään taka-akselinripustuksen suunnittelua, ei työssä käsitellä kaikkia etuakselin pyörien asentokulmia.

3.1 Aoraus ja haritus

Aurauksella ja harituksella tarkoitetaan auton renkaan pitkittäisvinoutta auton keskilinjaan nähden (kuva 1). Jos renkaiden etuosa on lähempänä toisiaan kuin takaosa, on akseli auraava, ja jos takaosa on lähempänä kuin etuosa, on akseli harittava. Aurauksen yksikkö on millimetriä metrin matkalla tai astetta. (7, s. 20.)



- $\text{Aoraus/haritus} = (B-A) / C \text{ mm/m}$

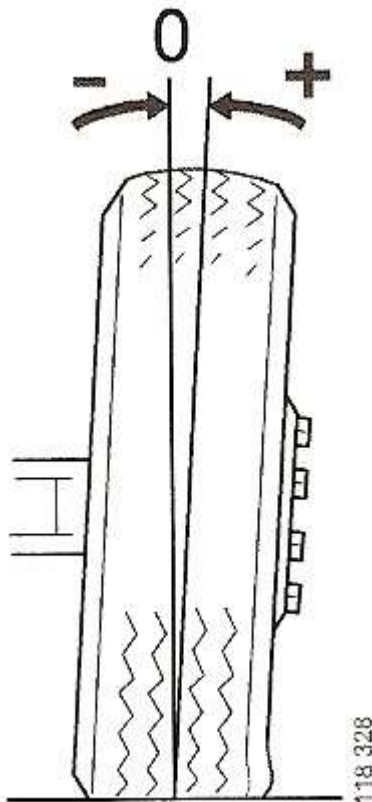
KUVA 1. Havainnekuva auraavasta akselistä ja aurauksen laskentaperiaate (8, 13:00-5 s. 6)

Jäykällä akselilla auraus tai haritus ei juuri muutu ajon aikana, lukuun ottamatta akselin taipumasta aiheutuvaa pientä vaihtelua. Jäykän taka-akselin auraus tulisi olla kutakuinkin nollassa tai hivenen auraava, sillä harittava taka-akseli aiheuttaa kiihdytyksessä epävakautta. (9, s. 81.)

Scanian korjaamokäsikirjan ohjearvo jäykän taka-akselin auraukselle ja haritukselle on ± 2 mm/m. Jäykällä akselilla ainut aurauksen säätökeino on akseliputken taivuttaminen lämmön avulla. (8, 13:00-03 s. 36.)

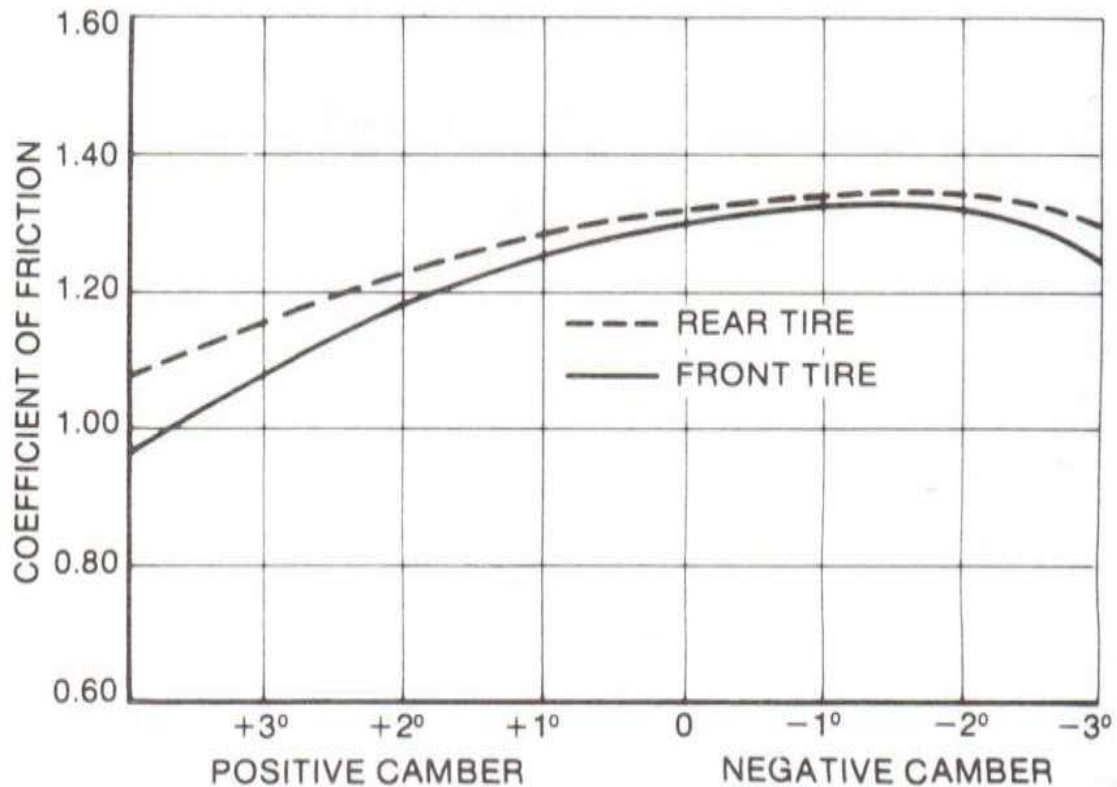
3.2 Camber

Camber-kulmalla tarkoitetaan renkaan sivuttaiskallistumaa. Camberin yksikkö on astetta. Kun rengas on kallistuneena yläpäätänsä sisäänpäin, puhutaan negatiivisesta camber-kulmasta, ja kun rengas kallistuu yläpäätänsä ulospäin, on kyse positiivisesta camber-kulmasta (kuva 2). (8, 13:00-5 s. 6.)



KUVA 2. Esimerkki positiivisesta camber-kulmasta (8, 13:00-5 s. 6)

Camber-kulmalla on suuri vaikutus renkaan veto- ja kaarrepitoon. Tehdasautoissa camber on nollan tietämillä $\pm 1^\circ$. Rata-autoissa käytetään vähän suurempaa negatiivista camberia (kuva 3). Kaarteissa ajettaessa ulkokaarten puoleinen rengas tulisi olla täysin pystysuorassa korin maksimikallistuksella, koska tällöin renkaan kosketuspinta-ala ja kitka on suurimmillaan. (7, s. 8.)

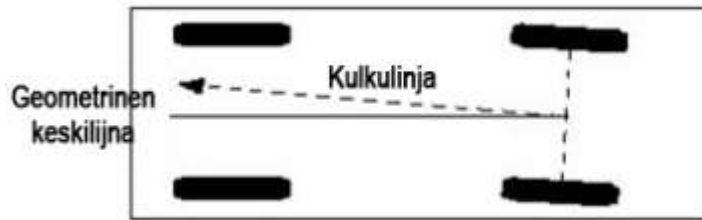


KUVA 3. Camber-kulman vaikutus etu ja taka-akseleiden kaarrepitoon rata-autoilussa (10, s. 18)

Camber-kulma pysyy jäykässä taka-akselissa kutakuinkin vakiona akseliin nähden. Jäykässä akselissa ainut camberin säätökeino on taivuttaa akseliputkea lämmön avulla. (9, s. 81.)

3.3 Kulkukulma

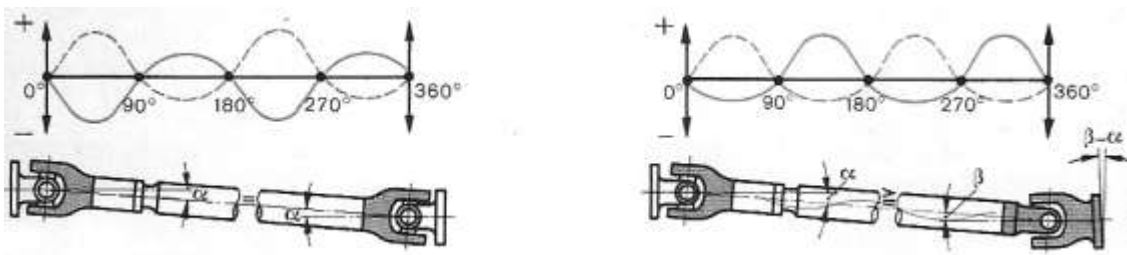
Kulkukulmalla tarkoitetaan ajoneuvon kulkulinjaa suhteessa auton keskilinjaan (kuva 4). Vinoutta ilmoitetaan millimetriä metrille tai asteina, käytettävän mittalaitteiston mukaan. Taka-akselin tulisi säätää suoraan auton keskilinjaan nähden. Mikäli taka-akselin suoraan säätäminen ei ole mahdollista, tulee etuakselin keskiasento säätää samaan suuntaan taka-akselin kanssa. (6, linkit tekninen tuki -> pyörän asentokulmien perusteet.) 2-akselisissa autoissa, joilla ei vedetä perävaunua, akselin vinous ei aiheuta renkaiden epätavallista kulumista, auto vain kulkee hieman sivuttain. Scanian korjaamokäsikirjan ohjearvo kaksiakselisen ajoneuvon vetävän akselin maksimi vinoudelle on 2 mm/m. (8, 13:00-5 s. 7.)



KUVA 4. Esimerkkikuva akselin kulkukulmasta, suhteessa auton keskilinjaan (6, linkit tekninen tuki -> pyörän asentokulmien perusteet)

3.4 Nivelristikoiden kulmat

Jousituksen liikkeiden takia vaihteiston ulostuloakseli, kardaanin ja vetopyörästä sisäänmenoakseli eivät voi olla yhtä jäykkää akselia, vaan akseleiden väliin on laitettava murrosniveliä. Yksittäisen murrosnivelen sisään- ja ulostuloakselit pyörivät samalla kulmanopeudella vain suorassa linjassa, mutta tämä vaurioittaa murrosnivelet enneaikaisesti. Jotta murrosnivelen kupin ja laakerin painevaurioilta välttyttäisiin, tulee murrosnivelen kulma olla vähintään 1° . Kulmassa olevan murrosnivelen puolikkaat eivät kuitenkaan pyöri samalla kulmanopeudella. Kulmanopeuksien erot tuntuvat ajossa epämiellyttävinä värinäinä. Tästä syystä ajoneuvoissa akseli on toteutettu vähintään kahdella murrosnivelellä, joiden kulmanopeudet tasapainottavat toisiaan. Kuvassa 5 on esitetty kulmanopeuksien vaihteluiden tasapainottava vaikutus. (11, s. 82; 12, 12:00-01 s. 5.)



KUVA 5. Vasemmalla oikein asennettu nivelakseli, jonka nivelristikoiden kulmat tasapainottavat toisensa ja oikealla nivelakseli, joka on epätasapainossa (11, s. 82)

Vetopyörästä sisäänmenoakselin murrosnivelen kulmasta käytetään myös nimitystä pinjoninkulma. Ilmajousituksella varustetun ajoneuvon nivelkulmien py-

symisessä vakiona on mahdollista, koska ajoneuvon ajokorkeus pysyy vakiona kaikilla kuormilla ja ainoat poikkeustilanteet tulevat joustotilanteissa sekä mahdollisissa vikatilanteissa. Koska tavanomaisella lehti tai kierrejousella nivelristikoiden kulmien pysyminen samana kaikissa ajotilanteissa on mahdotonta, on sallitulle nivelkulmaerolle olemassa laskentakaava (kaava 1). (13, s. 117; 14, s. 174; 12, s. 06:01-01 s. 8.)

$$\alpha^2 - \beta^2 \dots = \pm 0 \dots 25$$

KAAVA 1

α = vaihdelaatikon ulostuloakselin nivelkulma

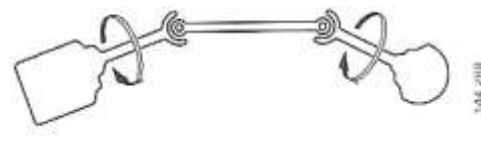
β = vetopyörästä sisäänmenoakselin nivelkulma

Suurin sallittu erimuotoisuus täydellä kuormalla on $\pm 0 - 25$ yksikköä ja erimuotoisuuden etumerkillä ei ole merkitystä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että akselille on kaksi mahdollista asennustapaa, Z-asennus ja W-asennus (kuva 6). (12, 06:01-01 s. 5.)

Z-asennus



W-asennus



KUVA 6. Nivelakselin Z- ja W-asennusten malliesimerkit (13, 06:01-01 s. 5)

Mikäli ajoneuvossa on useampi kuin kaksi nivelristikkoa, tulee niidenkin asennot suunnitella niin, että niiden kulmanopeudet kumoavat toisensa. Asennuksessa voidaan käyttää Z- ja W-asennustapojen yhdistelmiä (kuva 7). (12, 06:01-01 s. 5.)

Z- ja W-asennus yhdessä



KUVA 7. Nivelakselin yhdistetty Z- ja W-asennus (12, 06:01-01 s. 5)

Kiihdytysautossa nivelristikoiden kulmat pyritään säätämään siten, että nivelristikoiden kulma on nolla kiihdytyksen aikana, ei paikoillaan ollessa. Useimmilla jousituentaratkaisuilla vetopyörästä pyrkii pyörähtämään akselinsa ympäri kiihdytettäessä ja tämän takia kiihdytysautoissa vetopyörästä etupää osoittaa alaspäin. Eri akselituennolle suositellaan erisuuruisia nivelkulmia tuentaratkaisun jäykkyyden perusteella. Ladder bar -tuennalle suositellaan noin $0,5^{\circ}$:n, monivarsituennalle noin $1 - 2,5^{\circ}$:n ja lehtijousille noin $6 - 7^{\circ}$:n nivelristikkokulmia (13, s. 119; 15, articles-> how to set pinion angle.)

4 AJODYNAMIIKAN PERUSTEET

Ajodynamiikassa tutkitaan voimien kuten kiihtytys-, jarrutus- tai kaarto-vaikutusta auton käyttäytymiseen. Tässä luvussa perehdytään muutamisiin ajodynamiikan peruskäsitteisiin, jotka ovat olennainen osa lopputyötä. (16, s. 377 - 401.)

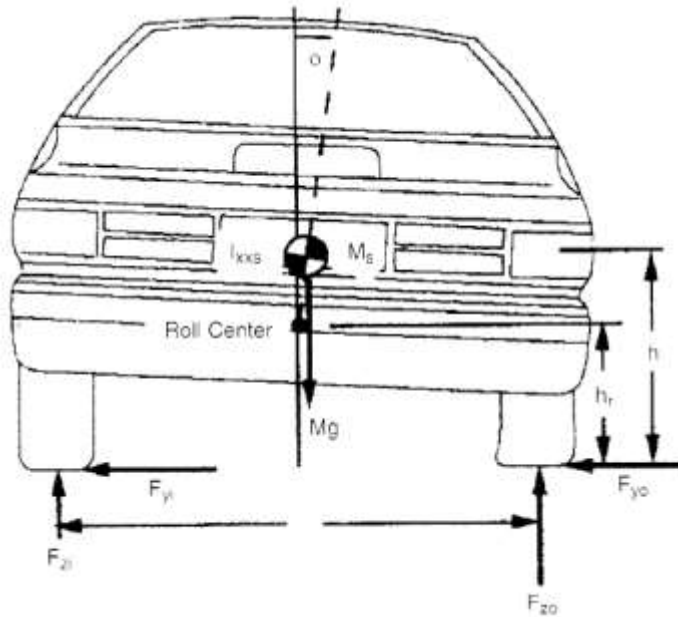
4.1 Painopiste

Kaikilla esineillä on painopiste. Sillä tarkoitetaan pistettä, josta tuettaessa esine on täysin tasapainossa missä vain asennosta. Painopisteen sijainnilla on suuri merkitys auton käyttäytymiseen kaarteissa, kiihdytyksissä ja jarrutuksessa. Keskipakovoima vaikuttaa auton koriin painopisteen välityksellä. Tämän takia kutakuinkin kaikissa autourheilulajeissa, pois lukien kiihdytysautoilu, painopiste pyritään saamaan mahdollisimman lähelle maata ja näin pienentämään painon siirtymistä. (7, s. 28 - 29.)

Painopisteen pituussuuntainen paikka vaikuttaa myös auton yli- ja aliohjautuvuuteen. Etupainoisen ajoneuvon käytös on aliohjautuvaa ja siirtämällä painopistettä taaksepäin saadaan auton käytöksestä yliohjautuvampaa. (7, s. 30.)

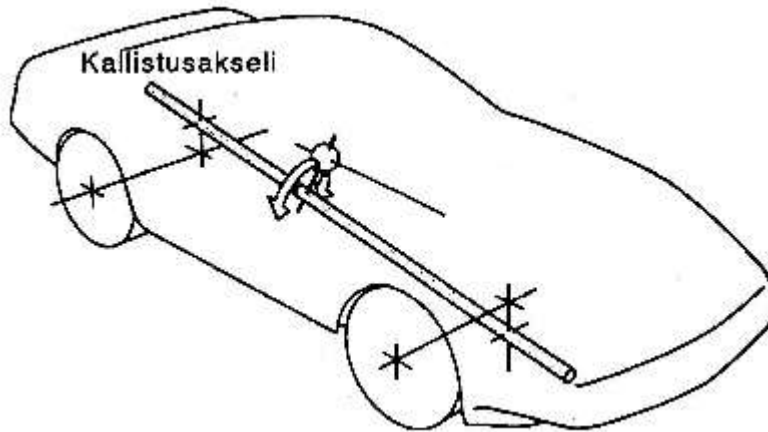
4.2 Kallistuskeskiö

Kallistuskeskiöllä tarkoitetaan pistettä, jonka ympäri auto pyrkii kallistumaan kaarteessa, keskipakovoiman vaikuttaessa painopisteen välityksellä auton koriin. Kallistuskeskiötä tarkasteltaessa katsontasuunta on kohtisuoraan auton takaa. Kuvassa 8 on esitetty ajoneuvon kallistuminen kallistuskeskiön ympäri keskipakovoiman vaikutuksesta vasemmalle kaartuvassa kaarteessa. (7, s. 34.)



KUVA 8. Ajoneuvon kallistuminen kallistuskeskiön (Roll Center) ympäri, musta-vaikoinen ympyrä kuvassa kuvaa painopisteen korkeutta (15, s. 339)

Kaikilla pyöräntuentamalleilla on sen geometrian perusteella määräytyvä hetkellinen kallistuskeskiö. Kallistuskeskiön paikka on yleensä se, missä tukivarsien kuvitteelliset keskilinjojenjatkat risteävät. Juuri kallistuskeskiön sijainnilla vaikuttaa suuresti auton käyttäytymiseen eri ajotilanteissa, ja näin ollen sen sijainnilla on suuri vaikutus alustan suunnittelussa. Kallistuskeskiön korkeus vaihtelee myös suuresti eri tuentaratkaisuissa. Joissakin ratkaisuissa kallistuskeskiö on mahdollista sijoittaa jopa maan alle. Mitä kauempana kallistuskeskiö on painopisteen korkeudesta, sitä voimakkaampaa kallistelu on. Etu- ja takakseleiden kallistuskeskijöiden välistä akselia sanotaan kallistusakseliksi (kuva 9). (7, s. 32 - 39)



KUVA 9. Ajoneuvon kallistusakseli, jossa pallo kallistusakselin yläpuolella kuvaa painopistettä (7, s. 33)

Katuautossa auton kaarrekäyttäytymisen tulisi olla neutraalia tai aliohjautuvaa, jotta auton hallinta olisi helppoa ja johdonmukaista myös suurilla nopeuksilla. Tästä syystä taka-akselin kallistuskeskiön tulisi sijaita samassa tasossa tai korkeammalla kuin etuakselin kallistuskeskiön. Yleensä kallistuskeskiön paikka vaihtelee jouston aikana, ja joillakin tuentaratkaisulla ajokäyttäytyminen saattaa muuttua aliohjautuvasta yliohjautuvaksi. (17, s. 622; 18, s. 62.)

4.3 Nyökkäyskeskiö

Nyökkäyskeskiöllä tarkoitetaan vastaavaa pistettä kuin kallistuskeskiöllä, mutta sivultapäin autoa tarkasteltaessa. Siinä tarkastellaan auton nyökkäämistä ja niaamista jarrutuksissa ja kiihdytyksissä. (14, s. 268.)

4.4 Ominaisohjaus

Ominaisohjauksella tarkoitetaan pyöräntuennan geometrian takia tapahtuvaa ohjausta kaarteeseen ajettaessa tai toispuoleisessa joustossa. Vaikka ominaisohjauksella ei olekaan niin suurta vaikutusta kaksiakselisen auton jäykässä taka-akselissa, kuin ohjaavassa etuakselissa, voi yllättävä ominaisohjaus aiheuttaa vaaratilanteita liikenteessä. Tämän takia ominaisohjauksesta pyritään saamaan neutraali tai aliohjaava. Sijoittamalla tukivarsien tukipiste akselin keskilinjan alapuolella on ominaisohjaus aliohjaava. Jos tukivarsien tukipiste sijaitsee akselin keskilinjan yläpuolella, on ohjauskäyttäytyminen yliohjaava. Mikäli tuki-

piste on akselin keskilinjan korkeudella, ei ali- tai yliohtautuvuutta esiinny. Myös tukivarsien pituuksilla on vaikutusta ominaisohjaukseen. Pitkittäisillä tukivarsilla varustetussa ajoneuvossa akselin liikuessa ylöspäin liikkuu se silloin myös eteen- tai taaksepäin. Tämä voi aiheuttaa toispuoleisessa joustossa akselin kääntymistä ja ominaisohjausta. Pidentämällä tukivarsia voidaan tätä akselin kääntymistä vähentää. (18, s. 62 - 63; 14, s. 231; 18, s. 69.)

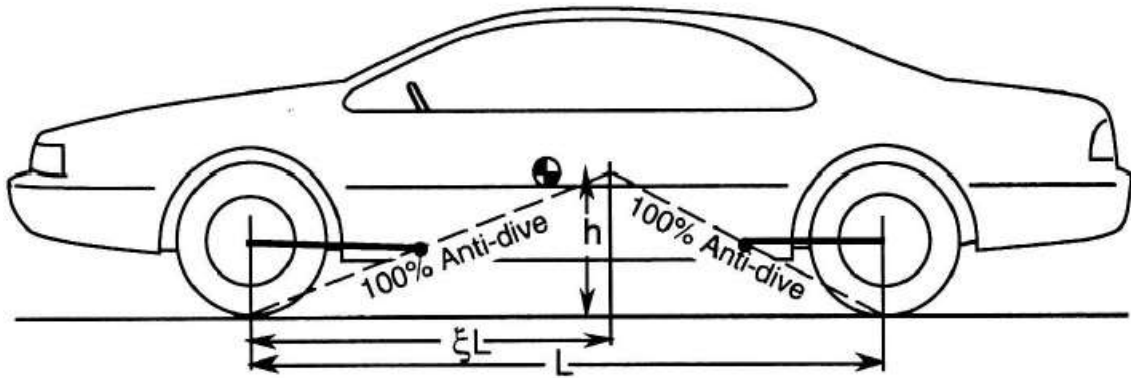
5 GEOMETRIA JA ANTIGEOMETRIA

Pyöräntuennan geometrialla tarkoitetaan tuentaratkaisun asemointia autossa. Pyörän tuenta ja sen geometria muodostaa yhteyden autonkorin ja renkaiden välille ja kaikki ajoneuvoon kohdistuvat voimat välittyvät ajoneuvon koriin pyörien tuennan kautta. (16, s. 684.)

Antigeometrialla tarkoitetaan pyöräntuennan geometrian takia tapahtuvaa pyrkimystä vastustaa jarrutuksessa ominaista korin nyökkäystä, kiihdytyksessä niiausta ja kaarteissa kallistelua. Tarpeeksi suurella antigeometrialla voidaan aikaansaada jopa vastakkaisen suuntainen reaktio. Kiihdytys- ja rata-autoilussa antigeometriaa käytetään hyväksi parantamaan renkaiden pitokykyä kaarteissa ja kiihdytyksissä. Esimerkiksi kiihdytysautoilussa, antigeometrian avulla voidaan takarenkaille saavuttaa hetkellisesti koko auton massaa suurempi massa. (18, s. 64; 19, s. 82 – 85.)

5.1 Anti-dive

Anti-dive -ominaisuudella tarkoitetaan akselin tuentageometrian aiheuttamaa pyrkimystä vastustaa auton niiaamista jarrutustilanteessa. Teoriassa kun akselilla on 100 % anti-dive -ominaisuus, on sillä myös 100 % anti-squat -ominaisuus. Todellisuudessa akseleiden jarrutussuhde muuttaa sitä vähän 100 % anti-dive -ominaisuuden sijaintia. Kuvassa 10 on esitetty ajoneuvo, jossa on edessä ja takana 100 % anti-dive -ominaisuus. (20, s. 255.)



KUVA 10. Etu ja taka-akseleilla 100 % anti-dive -ominaisuuden omaava ajo-neuvo (20, s. 255)

5.2 Anti-squat

Anti-squat -ominaisuudella tarkoitetaan vastaavasti akselin ripustusgeometrian vuoksi aiheutuvaa pyrkimystä vastustaa auton niaamista kiihdytyksessä. Suhteellisella nostolla tarkoitetaan Anti-squat -ominaisuuden laskettavaa lukuarvoa prosentteina. Suhteellinen nosto voidaan laskea kaavalla 2. Laskentakaavan pisteet on esitetty kuvassa 11. (19, s. 85.)

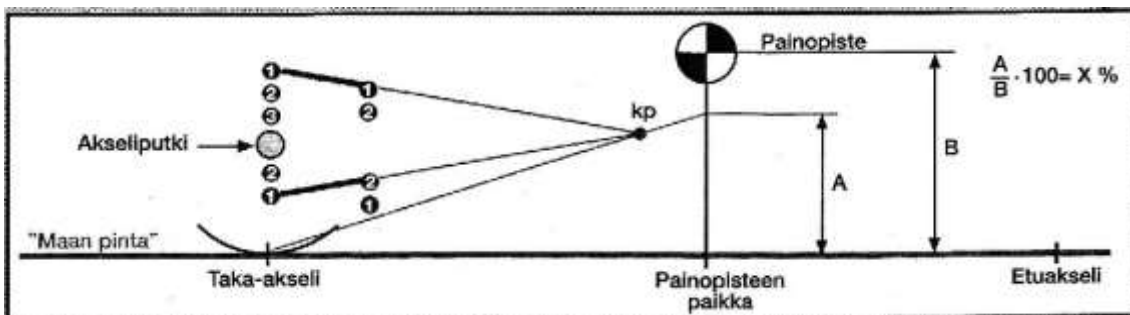
$$X = \frac{A}{B} * 100$$

KAAVA 2

X = suhteellisen noston arvo (%)

A = renkaasta IC:n kautta painopisteelle menevän viivan korkeus painopisteen kohdalla (m)

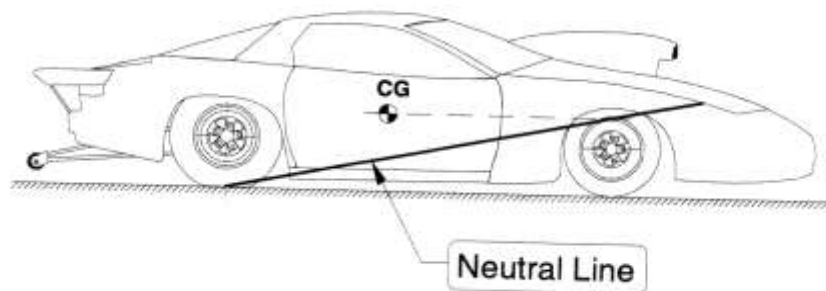
B = painopisteen korkeus (m)



KUVA 11. Nelivarsituennan suhteellisen noston laskentaperiaate nyökkäyskeskiön ja painopisteen sijainnin avulla (19, s. 85)

Suuritehoisien kiihdytysautojen alustan säädöissä hyödynnetään tukivarsien kiertymäpisteen aikaansaamaa suhteellista nostoa. Usein matalatehoisilla, painavilla ja kapeilla renkailla varustetuissa kiihdytysautoissa hyödynnetään painon siirtymän aikaansaamaa lisäpitoa. (19, s. 84.)

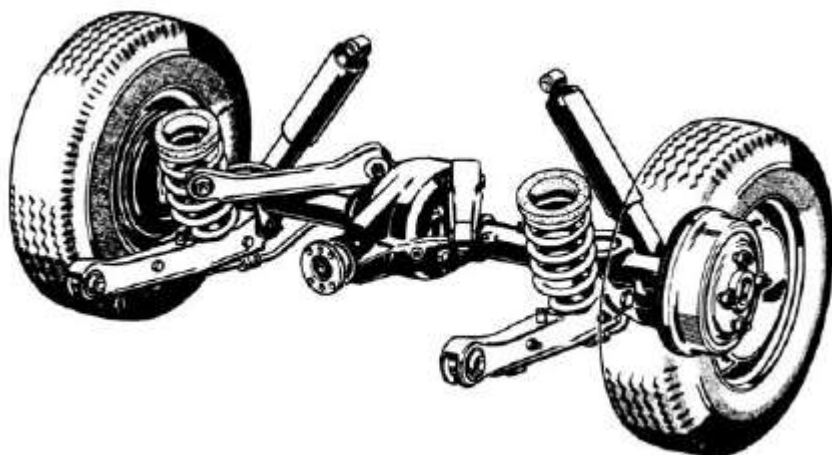
Tieliikenteessä käytettävän auton tuentaratkaisu olisi hyvä olla sellainen, joka ei vastusta, eikä aiheuta nyökkäystä. Tukivarsien tulisi olla yhdensuuntaiset ja yhtä pitkät. Jos tämä ei ole mahdollista, tulisi anti-squat -arvon olla suhteellisen pieni ja kuvassa 11 esitettävän kp-pisteen osua suunnilleen neutraalille linjalle tai sen alapuolelle. Neutraali linja on viiva, joka lähtee takarenkaan kosketuspinnasta ja on etuakselin kohdalla painopisteen korkeudella (kuva 12). Kiihdytysautoissa käytetään huomattavasti suurempia suhteellisen noston arvoja kuin katuautoissa noin 50 - 90 %. (21, linkit Tech -> Tech articles -> Figure four: A guide to tuning your four-link suspension system; 19, s. 82 - 85.)



KUVA 12. Anti-squat -neutraali linja, jossa korin niausta tai nostoa ei tapahdu kiihdytyksen aikana (21, Tech -> Tech articles -> Figure four: A guide to tuning your four-link suspension system)

6 JÄYKKÄ TAKA-AKSELI

Jäykällä akselilla tarkoitetaan akselia, joka on yhtä putki- tai palkkimaista akselia, jossa aeraus, raideleveys ja renkaan sivukallistuma pysyy akseliin nähden samana akselin kallistumisesta tai sivuttaissiirtymästä huolimatta. Jäykässä vetävässä akselissa vetopyörästä on sijoitettu akselin sisälle (kuva 13). Jäykän akselilla hyviä puolia on hyvä urasietokyky ja halpa rakenne. Huonoja puolia on suuri jousittamaton massa ja toisen puolen rankaan liikkeen vaikutus myös toisen puolen tiekosketukseen. Jäykkiä akseleita on käytetty autoissa etu ja taka-akseleina. Nykyään niitä käytetään lähinnä hyötyajoneuvojen, kuorma-autojen ja työkoneiden akseleina. (16, s. 686.)



KUVA 13. Perinteinen Fordin valmistama jäykkä taka-akseli, jossa kierrejouset ja monivarsituenta (22, s. 21)

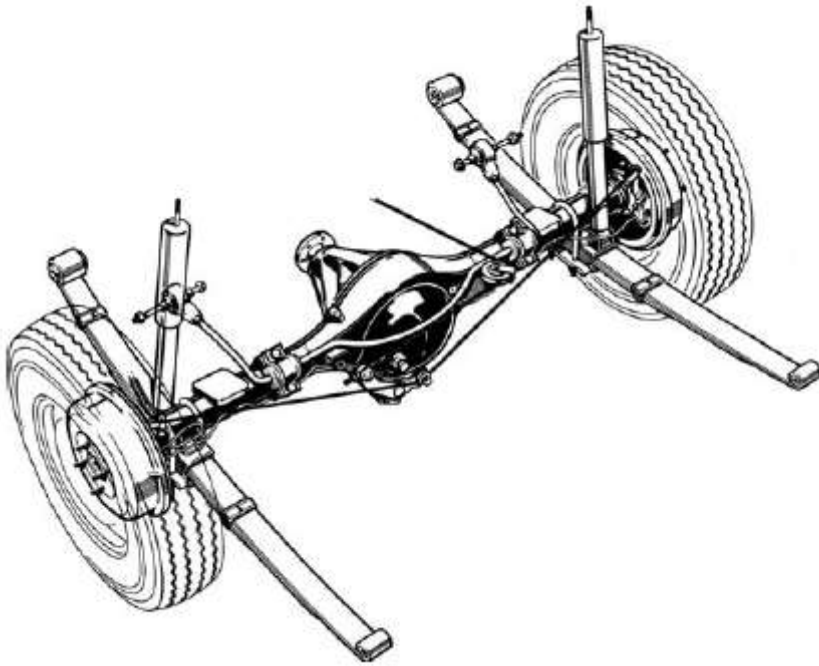
7 JOUSITUS

Jousituksen tehtävä on tasoittaa epätasaisuuksia tienpinnan ja korin välillä sekä säilyttää renkaiden jatkuva kosketus maahan. Jousitus parantaa ajoturvallisuutta ja - mukavuutta, suojelee auton rakennetta sekä kuljetettavaa materiaalia ja ihmisiä teräviltä iskuilta. Perinteisissä jousitusmenetelmissä jousielementti valmistetaan jousiteräksestä. Parhaiden jousitusominaisuuksien saavuttamiseksi jouset on sijoitettava mahdollisimman kauas akselin poikittaisesta keskilinjasta. Tällä ei ole vaikutusta tasaisessa joustossa, mutta kaarreaajossa sillä on iso merkitys. (23, s. 2; 14, s. 106.) Jousitus osiossa käsitellään vain niitä jousitus-tyyppejä, jotka soveltuvat käytettäväksi jäykän taka-akselin kanssa.

7.1 Lehtijouset

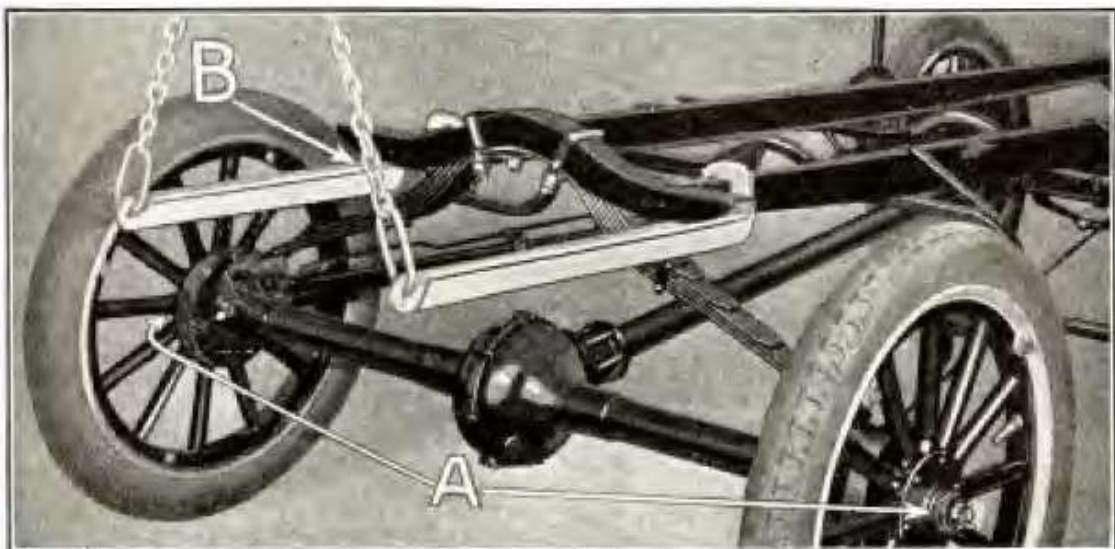
Lehtijousi on vanhin ajoneuvoissa käytetty jousitustyyppi. Lehtijousessa on yksi tai useampi taivutetusta jousiteräksestä valmistettu levy. Levy on useimmiten kiinnitetty päistään autonrunkoon ja keskeltä akseliin. Lehtijouset toimivat samalla akselin kiinnityselimenä, eivätkä lehtijouset välttämättä vaadi erillisiä tukivarsia akselin paikoillaan pitämiseksi. (14, s. 107.)

Yleensä autoissa on kaksi pitkittäin sijoitettua lehtijousta, kuten kuvassa 14 esitettyssä Ford Caprin takajousituksessa. Tämä on hyvin yleinen rakenne vanhemmissa ajoneuvoissa ja maasto ja hyötyajoneuvoissa vielä tänäkin päivänä. Pitkittäisillä lehtijousilla varustetussa taka-akselissa jousen etupää toimii tukivar-tena, ja takapään jousiriipuke tasaa joustossa syntyvää jousen pituuden vaihtelun, sekä pitää akselin sivuttaissuunnassa paikoillaan. Lehtijousituksen huonoja puolia ovat raskas rekenne jousituskykyynsä nähden, suuri tilantarve ja lineaarinen jousienergian kasvu. Taka-akselin nivelkulman säätö tapahtuu jousen ja akselin väliin laitettavilla kiilamaisilla säätölevyillä. (7, s. 52; 11, s. 132; 14, s. 107; 22, s. 7.)



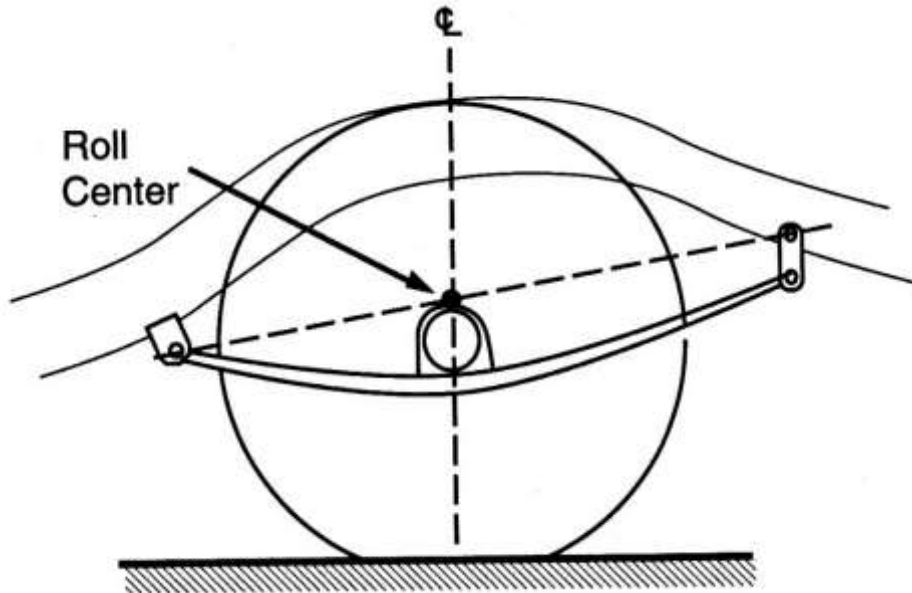
KUVA 14. Perinteinen pitkittäisin lehtijousin tuettu jäykkä taka-akseli (22, s. 7)

Joissakin vanhoissa autoissa kuten T-Fordeissa on yksi poikittain sijoitettu lehtijousi, jolloin vaaditaan pitkittäinen tukivarsi, ettei akseli pääse liikkumaan pituussuunnassa. Tukivarsi on toisesta päästään kiinni akseliputkessa ja toisesta päästään auton rungossa (kuva 15). (24, s. 16.)



KUVA 15. Ford T-mallin takajousen vaihdon ohje vuodelta 1925 (24, s. 16)

Lehtijousitetussa jäykässä akselissa kallistuskeskiö sijaitsee lehtijousen runko-kiinnikkeiden välisen viivan ja akselin keskipisteen risteyskohdassa (kuva 16) (20, s. 263).



KUVA 16. Pitkittäin sijoitetun lehtijousituksen kallistuskeskiön paikka (20, s. 263)

7.2 Kierrejouset

Kierrejousissa jousiteräslanka on taivutettu spiraalille. Kierrejouset ovat vääntöjousia. Vääntöjousissa joustoenergia on jopa kaksinkertainen lehtijouseen verrattuna. Kierrejousen ominaisuudet määräytyvät jousilangan paksuuden, kierteiden määrän, nousun ja jousenhalkaisijan mukaan. Kierrejouset eivät kuitenkaan tue akselia mitenkään muuten kuin pystysuunnassa, joten kierrejouset tarvitsevat erillisen tukirakenteen akselin pitämiseksi paikoillaan kuten kuvassa 13 olleessa Fordin akselissa. (14, s. 125; 18, s. 133.)

7.3 Ilmajouset

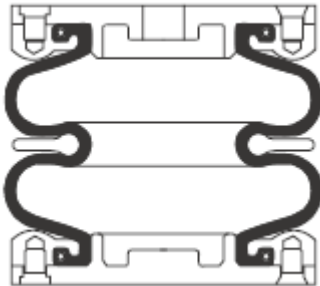
Ilmajousilla tarkoitetaan järjestelmää, jossa jousien tehtävää hoitaa ilmalla täytettävät jousipalkeet. Jousipalkeet on valmistettu kudoksetuksella vahvistetusta kumista, jousipalkeiden päädyt ovat usein valmistettu teräksestä, alumiinista, tai

komposiittimateriaalista. Perinteiset ilmajouset ovat siis kaasujousen ja kumijousen yhdistelmä.

Ilman painuessa kasaan jousipalkeessa syntyy progressiivisesti kasvava paine. Ilmajousitus vaimentaa heikosti heilahtelua, koska ilmalla on pieni sisäinen kitka. Ilmajousien kanssa vaaditaan siis jäykät heilahduksenvaimentimet. Näin ilmajousituksella saavutetaan erinomainen ajomukavuus ja siksi niitä käytetäänkin yleisesti kalliimmissa henkilöautoissa ja hyötyajoneuvoissa. (14, s. 174.)

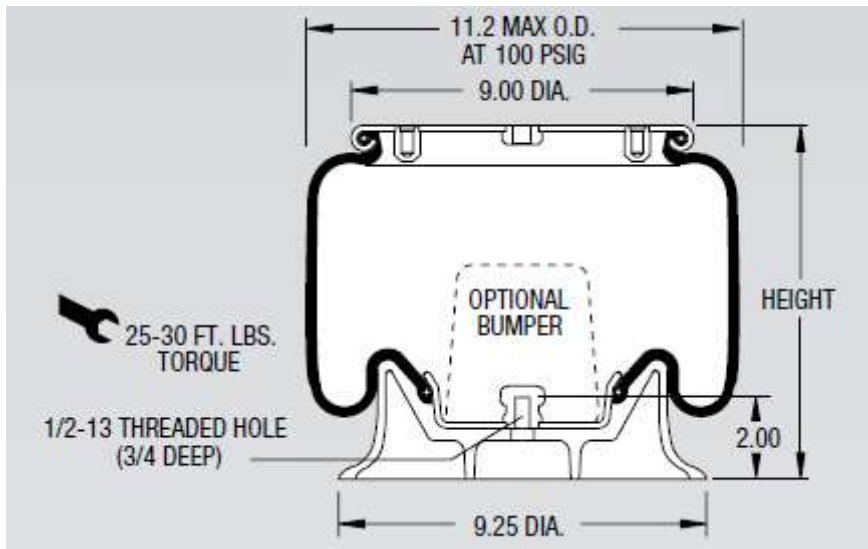
Yleisimmät jousimallit ovat rengaspalje ja rullapalje. Osa ilmajousista on purettavia ja niihin voi vaihtaa päädyt tai ilmapalkeen tarvittaessa, lisäksi joissakin ilmajousissa on sisäänrakennettu pohjauskumi, joka estää ilmapalkeen vaurioitumisen sen tyhjentyessä kokonaan. Ilmajouset vaativat erilliset tukivarret jousituksen pitämiseksi paikoillaan. (11, s. 141; 14, s. 174.)

Rengaspaljejousi on rakenteeltaan jäykempi kuin rullapaljejousi, koska ilmapalkeiden välissä on metalliset tukirenkaat (kuva 17). Rengaspalkeen ajomukavuutta voi parantaa kasvattamalla paljetta tai asentamalla lisäilmasäiliön samaan piiriin jousen kanssa. (14, s. 166; 24, s. 2; 25, s. 90.)



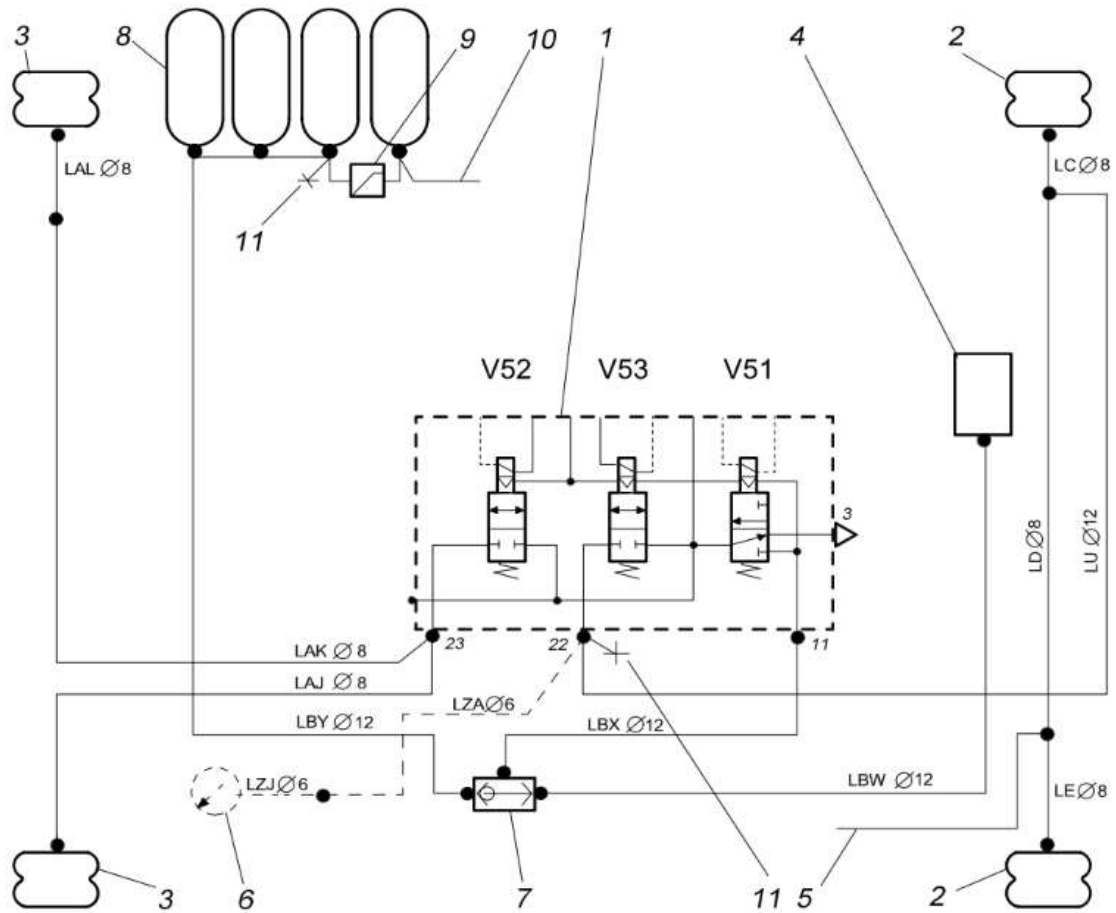
KUVA 17. Firestonen valmistama 2-palkeinen rengaspalje purettavilla alumiinipäädyillä (24, s. 2)

Nimensä mukaisesti rullapaljejousessa palje rullautuu alalautasen päälle ilmajousen tyhjentyessä (kuva 18). Rullapalkeella saavutetaan sopiva joustojäykkyys huomattavasti pienemmällä jousella kuin rengaspaljejousella. (16, s. 682.)



KUVA 18. Firestonen rullapalje kiinteillä yläpäädyillä. Alalautaseen voi asentaa integroidun pohjaanlyöntikumin (25, s. 90)

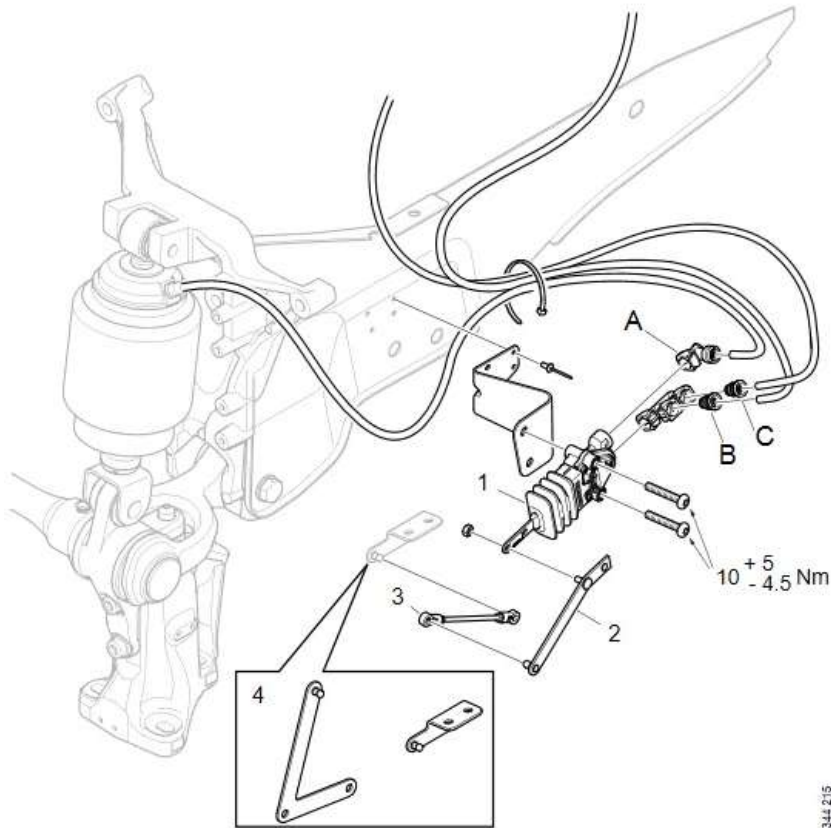
Jousituksen paineilmajärjestelmässä ilmakompressori pumpkaa ilmaa kuivaimen kautta varastoitavaksi paineilmasäiliöön ja magneettiventtiililohkon välityksellä ilma menee jousipalkeille tai sieltä pois, mikäli taso on liian alhaalla tai ylhäällä. Magneettiventtiilit ovat suljettuina, kun haluttu ajokorkeus saavutetaan. Ohjainyksikkö säättää ajotason tasoantureiden signaalien perusteella. Järjestelmässä voi olla lisäksi akselipainojen seurantajärjestelmä, joka on toteutettu paineantureilla. Ilmajousitus mahdollistaa ajotason säilyttämisen vakiona jousien kuormituksesta lisääntyessäkin. Jousituksen ohjaus voi olla akseli tai rengaskohtainen. (18, s. 141.) Kuvassa 19 on kaksiakselisen Scania-kuorma-auton paineilmakaavio, josta käy ilmi paineilmajärjestelmä perus rakenne.



KUVA 19. Kaksiakselisen Scanian jousitusjärjestelmän paineilmakaavio jonka komponentit ovat: 1 magneettiventtiiliryhmä, 2 vetoakselin ilmapalje, 3 etuakselin ilmapalje, 4 jakokappale, 5 kuormantunteva jarrujen suoventtiili, 6 painemittari, 7 kaksois takaiskuventtiili, 8 lisäilmasäiliöt, 9 ohivirtausventtiili, 10 kompressor ja 11 mittausliitin (7, 12:03-03 s. 26 - 27)

Jousijärjestelmä voidaan myös toteuttaa täysin mekaanisella tasonsäädöllä, kuten Scanian R-sarjan ohjaamoiden ilmajousitus on toteutettu (kuva 20). (27, 18-60 -> Tasoventtiili -> Vaihto - Tasoventtiili s. 7)

R-ohjaamo, jonka etupään leveys on 1140 mm



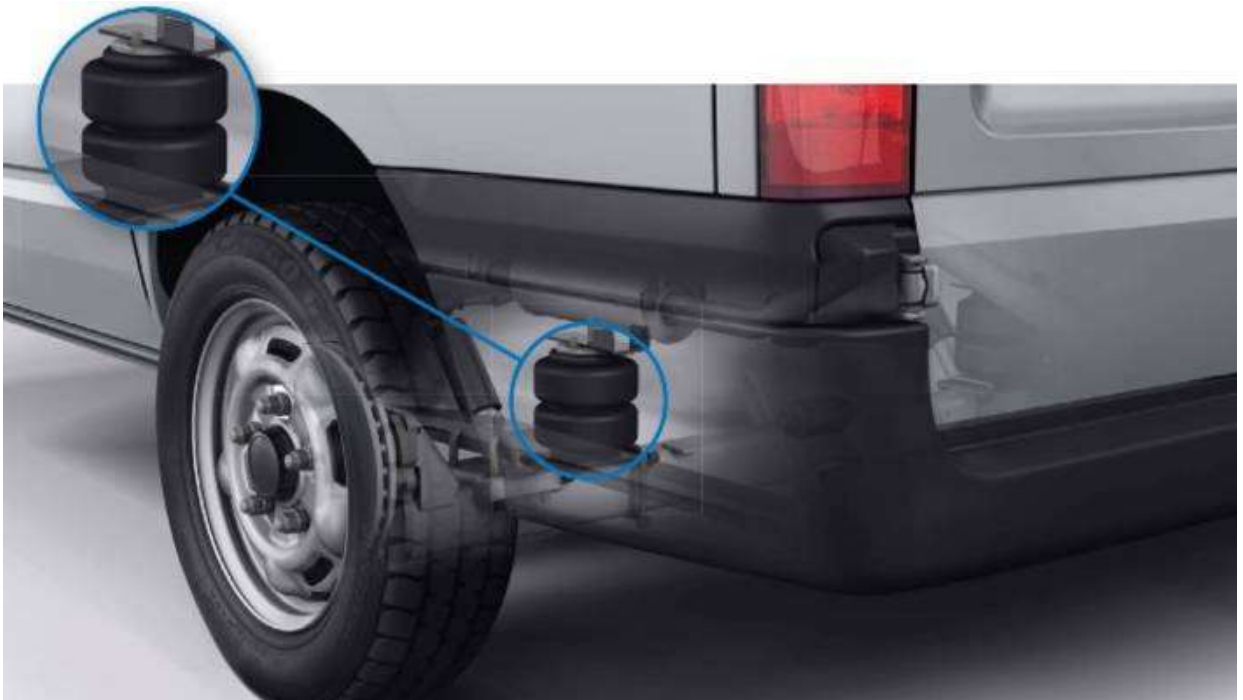
- A. Ilmansyöttö 1. Tasoventtiili
- B. Ilmajousi, oikea puoli 2. Vipu
- C. Ilmajousi, vasen puoli 3. Yhdystanko
4. Kannatin (oikea ja vasen puoli)

KUVA 20. Scania -kuorma-auton R-ohjaamon tasosäätöventtiilin asennuskuva (27, 18-60 -> Tasoventtiili -> Vaihto - Tasoventtiili s. 7)

Scanian ohjaamon jousituksessa on neljä ilmapaljetta, ja etu- ja takapäässä on omat tasosäätöventtiilit, jotka tyhjentävät ja täyttävät omia ilmajousiaan. Kun jousituksen taso laskee liian alas, yhdystanko nostaa tasoventtiilin vipua, joka aukaisee venttiilin ja ilma pääsee virtaamaan ilmajousiin. Kun taso on liian korkealla, yhdystanko vetää tasosäätöventtiilin vipua alaspäin. Tämä aukaisee poistoventtiilin, jolloin ilmaa pääsee virtaamaan ilmajousista pois. (27, 18-60 -> Tasoventtiili -> Vaihto - Tasoventtiili s. 7)

7.4 Jousiyhdistelmät

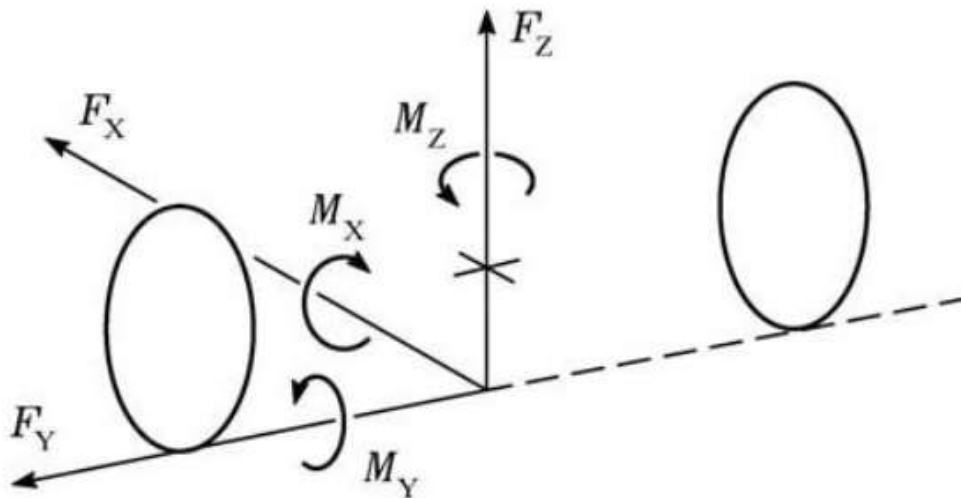
Jousiyhdistelmillä tarkoitetaan edellä mainittujen jousityyppien yhdistelmiä, yleisiä ovat mm. kierrejousen ja lehtijousen yhdistelmät sekä lehtijousen ja ilmajousen yhdistelmät. Näissä lehtijousi toimii myös akselia tukevana rakenteena. Kuvassa 21 on Vallilan takomon myymä lisäilmajousilisäjousijärjestelmä, jossa ilmajousitus asennetaan hyötyajoneuvon lehtijousen lisätueksi. (11, s. 134; 28, Jouset ja Jousisarjat -> Lisäilmajousisarjat; 14, s. 172.)



KUVA 21. Vallilan takomon myymä VB-semiair-lisäilmajousisarja (28, Jouset ja Jousisarjat -> Lisäilmajousisarjat)

8 JÄYKÄN TAKA-AKSELIN AKSELITUENNAT

Pyörätuennan tehtävänä on pitää akseli omalla paikallaan ja estää akselin kaikkia muita vapausasteita, paitsi pystysuuntaista joustoliikettä F_z , korin kallistelua ja toispuoleista joustoa M_x (kuva 22). Kaikkien liikkeiden estäminen on teknisesti mahdotonta ja pyöräntuennoissa pitää aina tyytyä jonkinlaiseen kompromissiin. (23, s. 187; 14, s. 220.)



KUVA 22. Jäykän taka-akselin vapausasteet (23, s. 187)

Tukivarret ovat usein metalliputkia tai profiileja, joiden päissä on joustavat puslat, jotka mahdollistavat toispuoleisen jouston M_x ja myös epäsuotuisan sivuttaisliikkeen F_y . Kumipuslat myös vaimentavat ääniä ja koriin kohdistuvia teräviä kuormituksia. Kilpa-autoissa, jossa ajomukavuus on toissijainen asia, kumipuslat on usein korvattu jäykemmällä polyuretaanipuslilla tai metallisilla uni-ball-nivelillä, joilla savutetaan tarkempi akselin sijoittelu kuin joustavilla kumipuslilla. (7, s. 154.)

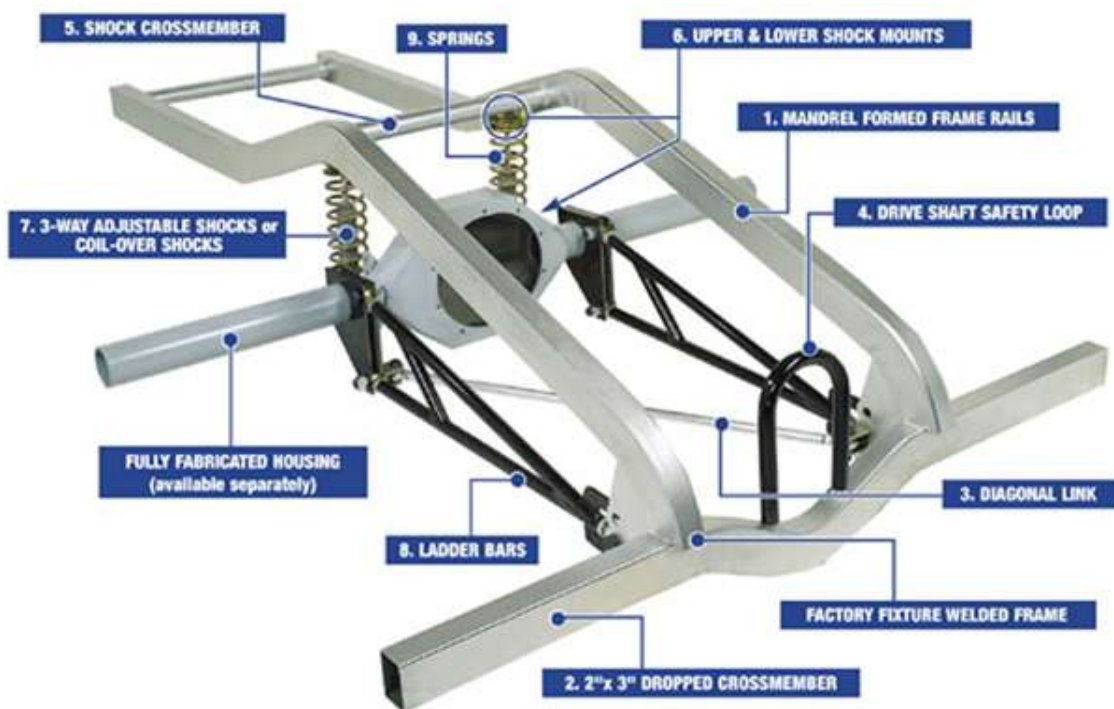
8.1 Pitkittäiset akselituennat

Pitkittäisellä tuennalla pyritään rajoittamaan akselin liikkumista pituussuunnassa F_x , kiertymistä akselin ympäri M_y sekä pystysuuntaista kiertymää M_z . Lehtijousi-

tuennan lisäksi pitkittäinen akselituenta on mahdollista toteuttaa myös erilaisilla monivarsituennoilla. Jäykkä taka-akseli rajoittaa kuitenkin tuennat erilaisiin pitkittäisien tukivarsien variaatioihin. (22, s. 188.)

Pitkittäinen monivarsituenta voidaan toteuttaa kahdella tai useammalla tukivarrella. Pitkittäisillä tuentatavoilla auton akseliväli muuttuu aina hieman. Pitkittäisien tukivarsien asennolla ja pituuksilla on myös suuri merkitys auton nyökäykseen ja painonsiirtoon jarrutuksessa ja kiihdytyksessä. (22, s. 253; 14, s. 272.)

Kahdella tangolla tuettaessa tukivarret sijoitetaan pitkittäin taka-akselin etupuolelle ja varsien takapäät ovat kiinteästi akselissa kiinni. Tämä aiheuttaa sen, että akseli kiertyy tukivarsien mukana suunnassa M_y , mikä ei ole toivottua (kuva 23).

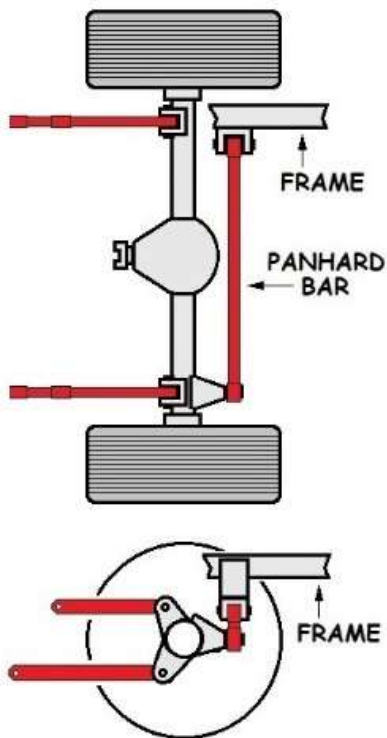


KUVA 23. Competition Engineering Inc:n valmistama ladder bar / takarunko sarja (29, Steering and suspension -> Subframe easy kits -> Competition Engineerin Ladder bar rear frame kit 26" wide -> overview.)

Kiinteistä tukivarsien takia ei toispuoleinen jousto ole suurissa määrin mahdollista, mutta kiihdytysautoissa ajoradan tasaisuus mahdollistaa tällainen ns.

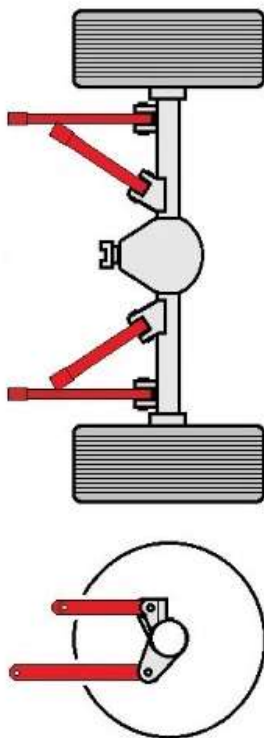
ladder bar tuentaratkaisun käytön ja ne ovatkin melko yleisiä. Taka-akselin nivelkulman muutokset onnistuvat helposti säätöruuveilla. (9, s. 83.)

Kolmella ja neljällä pitkittäisellä tukivarrella toteutetut tuentamallit sallivat toispuoleisen jouston paremmin ja oikein mitoitettuna estävät akselin kiertymisen M_y kokonaan. Kolmella tai neljällä tukivarrella tuetun taka-akselin liike suunnassa F_x on myös huomattavasti pienempää joustossa kuin kahdella tukivarrella tuetun. Kuvassa 24 on esitetty nelivarsituenta toteutettuna yhdensuuntaisilla tukivarsilla. Tämä tuentamalli vaatii kuitenkin erillisen tuen F_y -suuntaisen liikkeen estämiseksi, kuvassa toteutettu panhard-tangolla. Useimmissa jälkiasennussarjoissa taka-akselin nivelakselikulman muutokset onnistuvat helposti säätöruuveilla. (7, s. 261.)



KUVA 24. Neljällä yhdensuuntaisella tukivarrella ja panhard-tangolla tuettu taka-akseli (30, Suspension -> Parallel 4 Link Suspension System.)

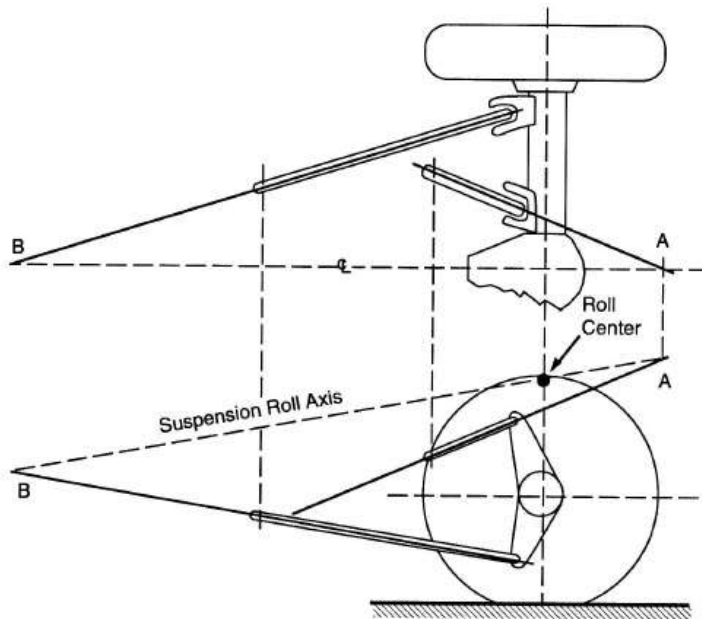
Nelivarsituennat voidaan toteuttaa myös siten, että se rajoittavat akselin sivuttaista liikettä, eikä tällöin erillistä poikittaista tukea tarvita ollenkaan (kuva 25). Ylhäältä katsottuna ylätukivarret sijoitetaan 20 - 45°:n kulmaan suhteessa auton keskilinjaan. Mitäs suurempi kulma on, sitä paremmin sivuttaisliike rajoittuu. Kulmaan sijoitetut tukivarret voi myös korvata yhdellä kolmiotukivarrella tai T-tangolla, kuten joissakin Alfa Romeoissa. Poikittainen kallistuskeskiö vinoilla ylätukivarsilla sijaitsee noin ylätukivarsien korkeudella. Mitä lähempänä taka-akselin keskikohtaa vinoon sijoitettujen tukivarsien kuvitteelliset keskiviivojen jatkeet kohtaavat, sitä vähemmän tuentamalli rajoittaa akselin kiertymistä suunnassa M_x . (20, s. 333; 18, s. 192.)



KUVA 25. Nelilinkkituenta, jossa ylätukivarret on sijoitettu vinoon (30, Suspension -> Triangulated 4 Link Suspension System.)

Sivuttaistuen antavat vinot tukivarret on myös mahdollista sijoittaa akselin alle. Tällä tuentamallilla saavutetaan matalampi kallistuskeskiö, mikäli tukivarret eivät ole yhdensuuntaiset. On myös mahdollista sijoittaa alatukivarret vinoon vastakkaiseen suuntaa ylätukivarsiin nähden, mikä parantaa sivusuuntaisen aseman säilymistä entisestään, mutta jäykistää akselin liikettä M_x -suuntaan. Vinolla

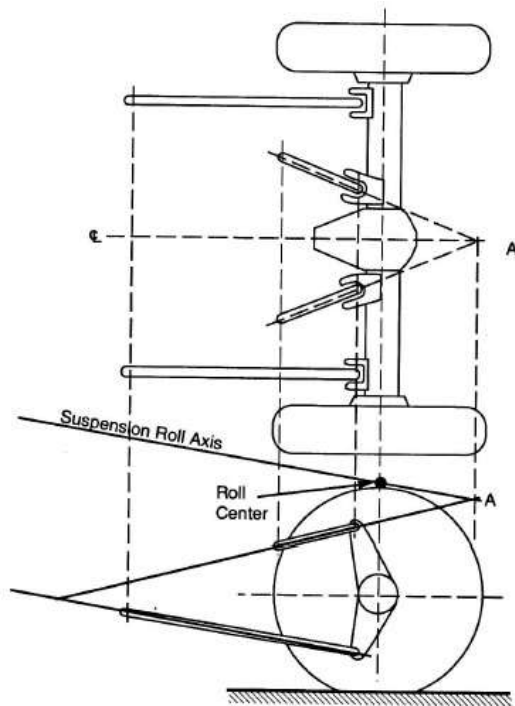
nelivarsituennalla kallistuskeskiön paikka määritellään tukivarsien kuvitteellisten jatkojen risteyskohtien avulla (kuva 26). (9, s. 62; 20, s.260.)



KUVA 26. Nelivarsituennan kallistuskeskiön paikan määrittäminen, jos sekä ylä- että alatukivarret on sijoitettu vinoon rungon keskilinjaan nähden (20, s. 260)

Ylhäältä katsottuna ylätukivarret risteävät pisteessä A ja alatukivarret risteävät pisteessä B. Näiden pisteiden väliin piirretään viiva, joka on kyseisen rakenteen kallistusakseli. Kallistuskeskiö sijaitsee siinä pisteessä, missä kallistusakseli risteää taka-akselin keskipisteestä kohtisuoraan ylöspäin piirretyn viivan kanssa. (20, s. 260.)

Vinossa nelivarsituennassa jossa ylä- tai alatukivarret eivät ole yhdensuuntaisia, kallistuskeskiön paikka määritellään myös tukivarsien kuvitteellisten jatkojen leikkauspisteiden avulla (kuva 27). (20, s. 262.)



KUVA 27. Vinon nelivarsituennan kallistuskeskiön paikan määrittäminen yhdensuuntaisilla alatukivarsilla (20, s. 262)

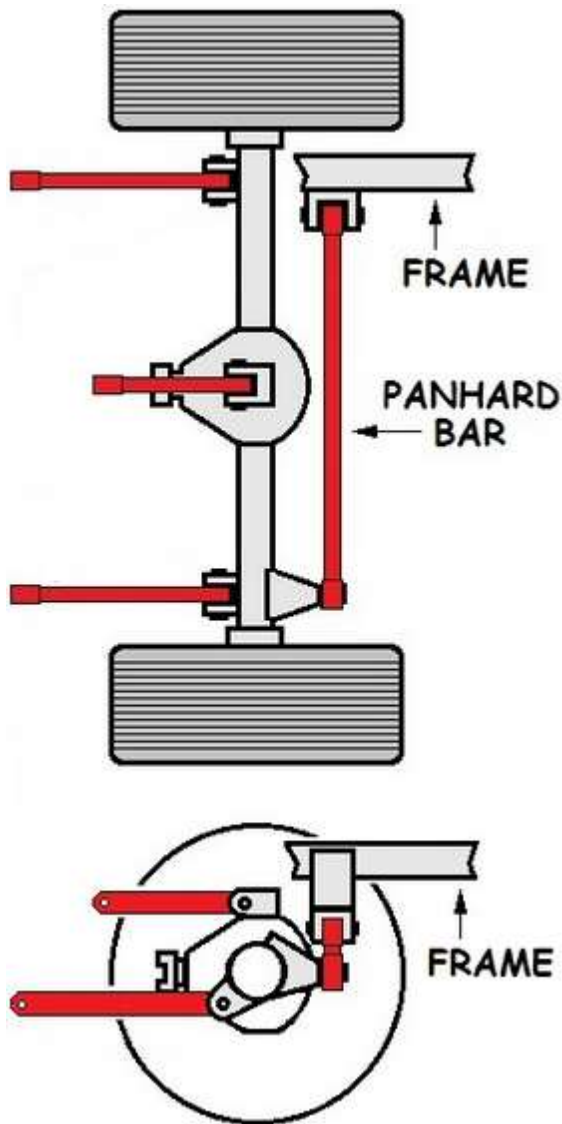
Ylätukivarsien kuvitteelliset jatkot kohtaavat pisteessä A. Koska toinen tukivarsipari on yhdensuuntainen, eikä niiden kuvitteelliset jatkot kohtaa, kallistuskeskiö sijaitsee pisteessä, jossa akselin keskipisteestä pystysuoraan ylöspäin piirretty viiva ja pisteestä A alatukivarsien suuntaan piirretty viiva risteää. (20, s. 262.)

Useissa internetin nelivarsituennan rakennusohjeissa suositellaan ylempien tukivarsien pituudeksi 70 - 100 % alatukivarsien pituudesta. Tällä pituudella saavutetaan kohtalaisen pieni taka-akselin sisäänmenoakselin kulman muutos. (30, Suspension -> Triangulated 4 Link Suspension System)

Pitkittäiset ylä- ja alatukivarret on mahdollista sijoittaa myös eri suuntiin, mutta se kuitenkin aiheuttaa taka-akselin kiertymistä M_y -suunnassa, joka ei ole suotavaa jäykällä akselilla (14, s. 232).

Kolmella tukivarrella toteutetussa tuennassa ylätukivarsi sijoittuu taka-akselin keskelle, vetopyörästä päälle. Tämä tuentamalli rajoittaa vähemmän taka-akselin liikkeitä M_x -suunnassa, kuin yhdensuuntaiset tai vinoon asennetut neli-

varsituenta, mutta vaatii huomattavasti tukevamman ylätukivarren, koska akselin yläpuoliset voimat välittyvät vain yhden tukivarren kautta, lisäksi tämä tuentamalli vaatii erillisen tuen, joka estää akselin liikkeen F_Y -suunnassa, esimerkiksi panhard-tanko (kuva 28). (9, s. 62.)



KUVA 28. Kolmella tukivarrella ja panhard tangolla tuettu taka-akseli (30, Suspension ->3 Link Rear Suspension)

8.2 Erilliset poikittaiset akselituennat

Nimensä mukaisesti poikittaisella akselituennalla pyritään estämään akselin poikittaista liikettä F_y . Kun halutaan tarkkaa taka-akselin sijoitusta, ei pelkkä pitkittäisten tukivarsien vinoon sijoitus riitä. Tällöin pitää akseli tukea myös poikit-

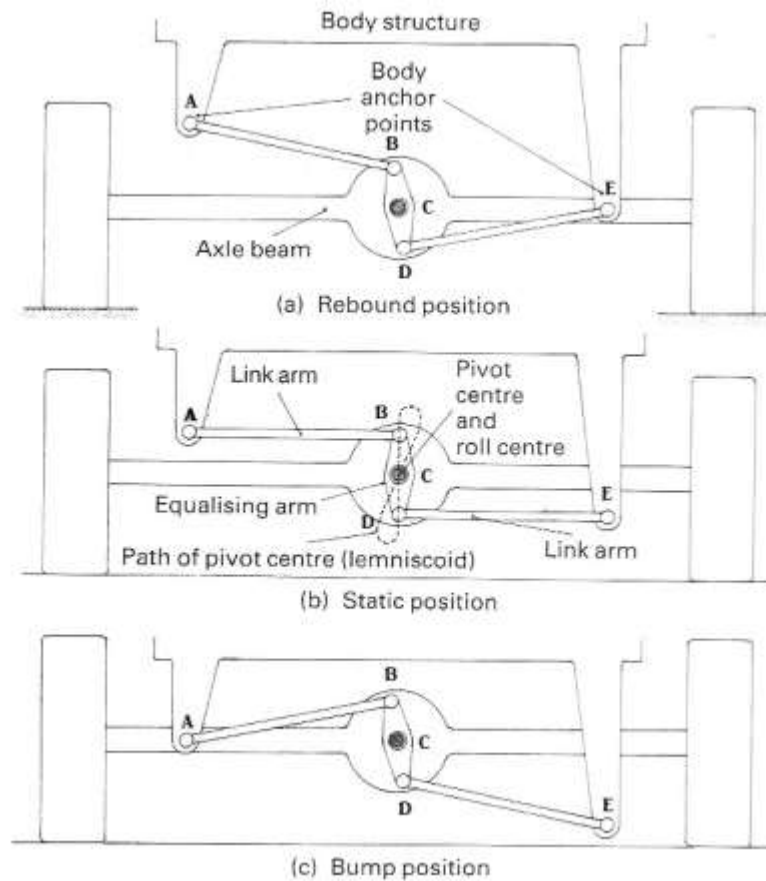
taista liikettä erikseen estävällä tukivarrella tai varsilla. Myös lehtijousien kanssa voidaan käyttää erillistä poikittaista tukea. Alustassa tulisi käyttää ainoastaan yhtä sivuttaistuentamallia, koska kahden tuentamallin eriävät liikeradat alkavat rajoittamaan akselin liikkeitä. Poikittainen tuentamalli määrittää myös jäykän taka-akselin kallistuskeskiön korkeuden. (31, s. 232.)

Panhard-tuenta on varmasti yleisin poikittainen tuentamalli, mutta se ei kuitenkaan estä poikittaista liikettä kokonaan. Kuvassa 29 on esitetty panhard-tangon liikerata. Tangon molemmissa päissä on pusla- tai uniball-nivel, joiden avulla tangon toinen pää kiinnittyy akseliin pisteessä C ja toinen pää auton runkoon pisteessä A. Auton akseli liikkuu tangon pään kuvitteellisesti piirtämää ympyrän kaarta pitkin. Sijoittamalla pangard-tanko vaakasuoraan saadaan sivuttaisliike kohdistumaan vain toiseen suuntaan. Mitä pidempi panhard-tanko on, sitä pidempi on ympyrän säde ja akselin sivuttainen liike on pienempi. Panhard-tuennalla kallistuskeskiö sijaitsee tangon keskipisteessä. (18, s. 197; 31, s. 232.)



KUVA 29. Panhard-tangon liikkuminen joustossa (18, s. 187)

Wattin-linkissä akseli on tuettu kahdella poikittaistangolla, joiden ulommat päät kiinnittyvät koriin/runkoon ja toinen pää kiinnittyy auton keskellä olevaan niveleen. Catialla tehtyjen kokeiden perusteella totesin että, kun joustomatkan pysyy alle $\frac{1}{4}$ -tukivarsien A - B ja D - E pituuksista, pysyy sivuttaissiirtymä hyvin pienenä, tämän rajan jälkeen sivuttaisliike suurenee huomattavasti (kuva 30). (20, s. 332.)



KUVA 30. Wattin-linkki -tuenta(32, s. 332, muutettu)

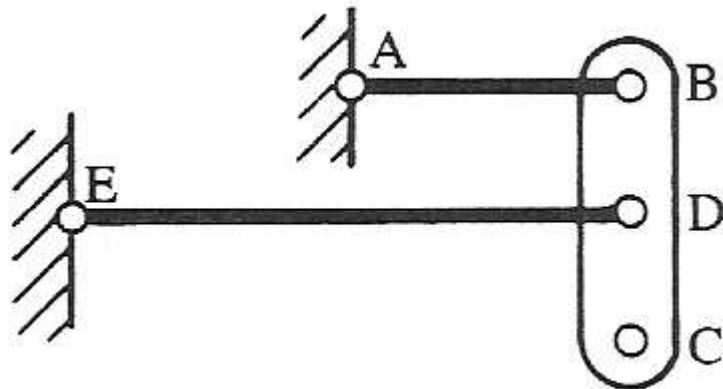
Wattin-linkissä ei tukivarsien A - B ja D - E tarvitse välttämättä olla saman mitaiset, vaan niiden pituuseroa voidaan kompensoida muuttamalla keskinivelen kiinnityskohtien B - C ja C - D pituuseroa. Pituuksien suhteen voi laskea kaavalla 3 (18, s. 188) Wattin tuenta estää sivuttaisliikkeen lähes kokonaan tiettyyn pisteeseen asti. Watt-linkillä kallistuskeskiö sijaitsee taka-akselin kiinnikekohdassa pisteessä C. (32, s. 332.)

$$\frac{BC}{CD} = \frac{DE}{AB}$$

KAAVA 3

Wob-linkki on muunnos Wattin-linkki. Siinä kaksi poikittaista tukivartta mutta ne on sijoitettu samalle puolelle koria ja ne ovat keskenään eri pituiset (kuva 31). Tukivarsien toiset päät ovat kiinnitettynä koriin pisteistä A ja E ja toiset päät auton keskellä sijaitsevaan niveleen pisteisiin B ja D. Taka-akseli on kiinnitetty nivelakselin alimpaan reikään pisteeseen C. Wob-linkillä voidaan saavuttaa ma-

talampi kallistuskeskiö kuin Wattin-linkillä. Kallistuskeskiö sijaitsee pisteessä C. (18, s. 188.)



KUVA 31. Wob-link -tuenta (18, s. 189)

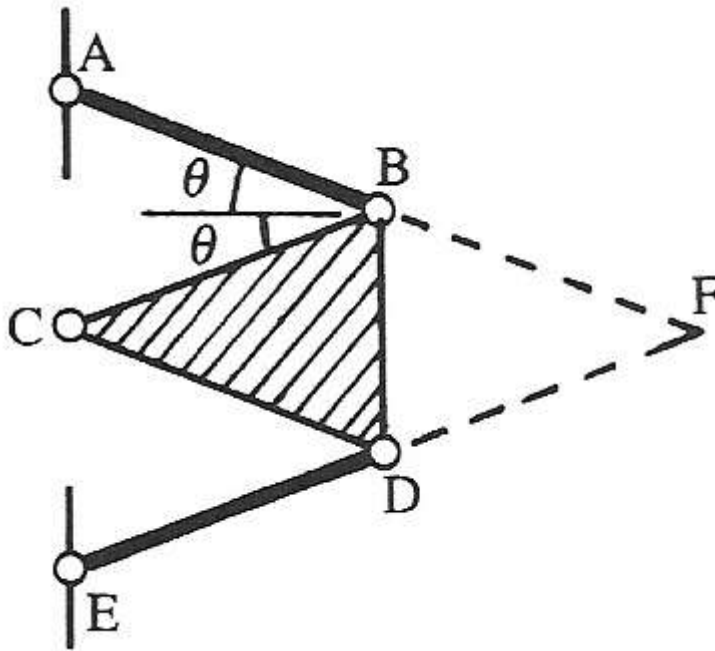
Woblinkin varsien pituuksien suhteen laskennassa käytetään kaavaa 4 (24, s. 44).

$$\frac{DC}{BD+DC} = \frac{AB}{ED}$$

KAAVA 4

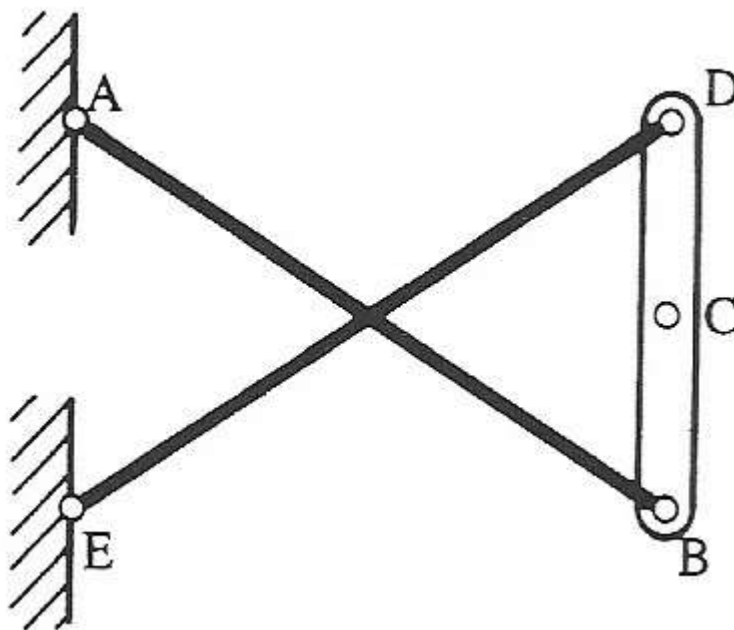
Wob-link on myös mahdollista toteuttaa toisinpäin, jossa tukivarren päät A ja E kiinnittyvät akseliin ja kääntönivelen piste C runkoon (24, s. 44).

Robertsin linkissä akseli kiinnittyy kolmiomaiseen levyyn (kuva 32). Tukivarret kiinnittyvät kolmion ylä- (B) ja alakärkeen (D) ja akseli kiinnittyy sivulle osoittavaan terävimpään kärkeen pisteeseen (piste C). Terävän kärjen kulman suuruus tulisi olla alle 50°. Robertsin linkillä saavutetaan todella hyvä poikittainen tuenta, kun piste C pysyy pisteiden A ja E välissä. Tuennan geometrian takia pystysuuntainen tilantarve on melko suuri ja maavara jää melko pieneksi. Lisäksi kallistuskeskiö on kohtalaisen ylhäällä pisteessä C. (22, s.188; 18, s. 189.)



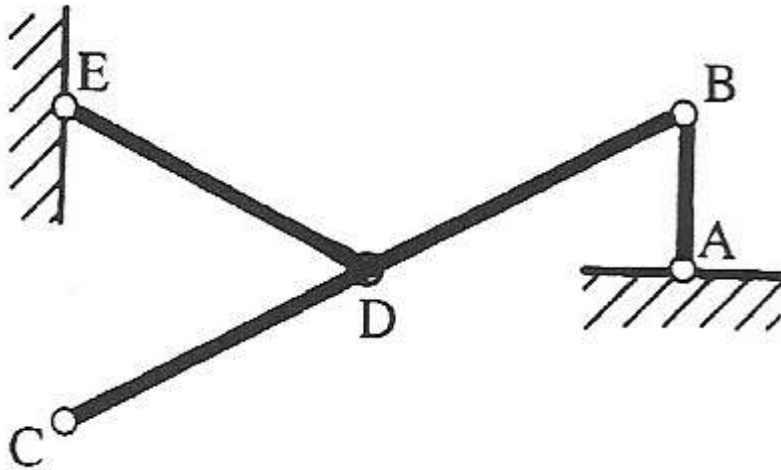
KUVA 32. Roberts-link-tuenta (18, s. 189)

Tchebichef-link –tuennassa pisteet A ja E kiinnittyvät runkoon ja Piste C kiinnit-
 tyy taka-akseliin kääntönivelen D - C - B avulla (kuva 33). Kallistuskeskiö sijait-
 see pisteessä C. Tchebichef-linkki on kuitenkin huomattavasti huonompi estä-
 mään akselin sivuttaissiirtymän joustossa kuin Watt- tai Wob-linkki (18, s. 190.)



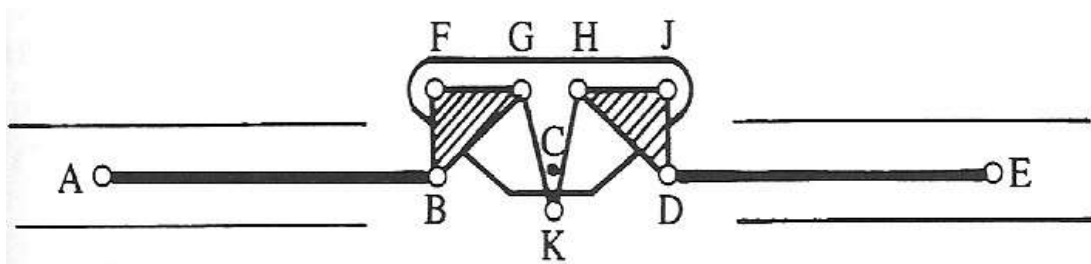
KUVA 33. Tchebichef-link -tuenta (18, s. 190)

Evans-linkissä pisteet E ja A kiinnittyvät auton runkoon ja piste C taka-akseliin. kääntönivelen B - D - C avulla (kuva 34). Evans-linkissäkin tulee ongelmaksi huono sivuttaissiirtymän esto, etenkin ulosjoustossa. Kallistuskeskiö sijaitsee pisteessä C. (18, s. 190.)



KUVA 34. Evans-link -tuenta (18, s. 190)

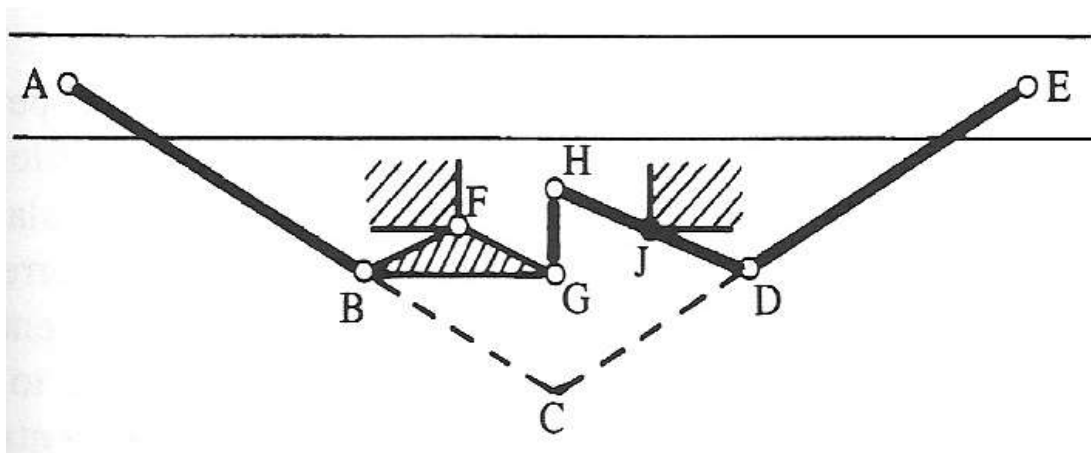
Aston Martin -linkki on rakenteeltaan pykälää monimutkaisempi. Kuvassa 35 näkyvä F - C - J levy kiinnittyy auton runkoon ja pisteet A ja E kiinnittyvät akseliin. Kolmiotuki F - G - B ja H - J - D kiinnittyvät runkoon pisteistä F ja J. Yksinkertaistetussa versiossa voidaan pisteet G ja H yhdistää kumipuslalla, joka sallii pituuden vaihtelun. Kallistuskeskiö sijaitsee pisteessä C. (18, s. 190.)



KUVA 35. Aston Martin-link -tuenta (18, s. 191)

Aston Martin-linkin tapaan myös Mumford-link - tuenta on hivenen monimutkaisempi. Pisteet A ja E kiinnittyvät akseliin ja pisteet J ja F koriin. Oikein mitoitetuna Mumford-linkillä voidaan saavuttaa jopa alle 0,1 mm:n sivuttaisliike koko

joustoputkella ja kallistuskeskiö piste C voidaan sijoittaa jopa maanpinna alapuolelle (kuva 36). (18, s. 191.)



KUVA 36. Mumford-link -tuenta (18, s. 191)

9 TUENTAGEOMETRIAN SUUNNITTELU

Akselin geometrian suunnittelulla on suuri vaikutus auton toimintaan eri ajotilanteissa. Jälkikäteen akselituntoja suunniteltaessa rajoittavana tekijänä toimii auton muut rakenteet, kuten polttoainetankin sijainti, matkustajien jalkatila, takapenkki ja rungon rakenteet. Suunnittelussa sääntönä voidaan pitää, että mitä pidemmät tukivarret ovat, sitä pienempinä pysyvät akseligeometrian muutokset.

9.1 Rungon mittaukset

Geometriasuunnittelun ensimmäisenä vaiheessa otetaan auton rungosta mitat 3D-mallinnusta varten. Mittauksessa käytetään apuna digitaalista vesivaakaa, luotilankaa, rulla- ja työntömittaa sekä eripituisia metalliprofiileja. Mittapisteiksi valitaan kiinteitä pisteitä rungosta kuten kiinnikereikiä ja -pultteja. Mittausta helpottaa se, että autosta on leikattu pois vanhat lähes kokonaan ruostuneet lattiatiepellit. Mittatietoja saadaan myös Chevroletin vuoden 1939 ohjeavokirjasta. Rungon mittauksessa käytetään ohjeena vuoden 1939 Chevroletin korjaamokäsikirjan ohjetta. (32, s. 32; 33, s. 56.)

6.00-16 -ristikudosrenkaiden tekniset tiedot saadaan katsastajien käyttämästä STRO rengasnormista. Renkaan halkaisija on 730 mm. (34, s. 145)

9.1.1 Painopisteen paikan mittaus

Painopisteen pituussuuntainen paikka saadaan mittaamalla auton akselipainot etu- ja taka-akseleilta. Sijoittamalla painotiedot kaavaan 5 saadaan laskettua painopisteen etäisyys etuakseliin. (19, s. 84.)

$$l_{pp} = \frac{m_2}{m} * l$$

KAAVA 5

l_{pp} = painopisteen etäisyys etuakseliin

m_2 = taka-akselin massa

m = ajoneuvon kokonaismassa

l = auton akseliväli

Myös painopisteen korkeuden määrittämisessä tarvitaan vaakoja. Auto punnitaan tasaisella alustalla ja tämän jälkeen auton eturenkaat nostetaan korokkeiden päälle ja akselipainot punnitaan uudelleen. Eturenkaiden alle laitettavien korokkeiden korkeus on mitattava. Sijoittamalla nämä arvot kaavaan 6 saadaan laskettua painopisteen korkeus. (35, s. 390.)

$$h_{pp} = \frac{l}{m} * \frac{\Delta m_1}{\Delta h} * (l^2 - \Delta h^2)^{\frac{1}{2}}$$

KAAVA 6

h_{pp} = painopisteen korkeus (m)

l = akseliväli (m)

m = kokonaismassa (kg)

Δm_1 = akselimassan muutos (kg)

h = korokepalojen korkeus (m)

Koska kohdeauto on tällä hetkellä osina, ei todellista painopisteen korkeutta päästä mittaamaan ja laskemaan, vaan painopisteen korkeus pitää arvioida.

9.1.2 Painopisteen korkeuden arviointi

Painopisteen korkeudenarviointiin on useita menetelmiä. Yksi Amerikan autoharrastajien keskuudessa yleinen menetelmä on arvioida painopisteen korkeuden olevan 20 % akselivälistä, mutta omien tutkimuksien perusteella, tämä ei ole kovinkaan lähellä todellisuutta vanhemmissa henkilöautoissa, joissa maavara on suuri ja kori on rakenteeltaan korkea. Esimerkiksi laskettu painopisteen korkeus vuosimallin 1976 Saab 96:ssa on noin 570 mm, mutta tällä arviointimenetelmällä akselivälin ollessa 2498 mm, 20 % akselivälistä on 499 mm, joka on melko kaukana todellisesta arvosta. (16, s. 85; 19, s. 84.)

Autoharrastajien keskuudessa toinen yleisesti käytössä oleva menetelmä painopisteen korkeuden arvioimiseksi työntötankomootorilla varustetussa ajoneuvossa on arvioida sen sijaitsevan nokka-akselin korkeudella. Käyttäen esimerkkinä taas Saab 96 -mallia, jossa nokka-akseli sijaitsee noin 590 mm:n korkeudella. Tällä arviointimenetelmällä päästään jo huomattavasti lähemmäksi todellista 570 mm:n korkeutta. Opinnäytetyössä käytetäänkin nokka-akselin korkeutta arviona painopisteen korkeudesta. Chevroletissa nokka-akselin korkeus maasta on noin 670 mm. (19, s. 84.)

9.2 Geometrian suunnittelu

Kohdeautossa akselin etupuolella ylöspäin tilaa rajoittaa takapenkkiläisten jalkatila ja takapenkki. Kolmella tukivarrella toteutettu akselituenta on hankala toteuttaa, koska ylätukivarsien akselin puoleinen korvake sijoittuu liian korkealle. Lisäksi myös se, että autossa on uudemman Chevroletin taka-akseli, jossa vetopyörästö on valurautaa, aiheuttaa omat haasteensa hitsaamisen suhteen. Vaihtoehtoiksi jää erilaiset neljän tukivarren rakenteet ja tarvittaessa poikittainen tuenta, jossa tukivarret hitsataan akseliputkeen vetopyörästökotelon sijaan.

Geometrian suunnittelussa pyrkimyksenä on tehdä auton ajokäyttäytymisestä johdonmukaista ja ennalta-arvattavaa. Johdonmukaista käyttäytymistä edesauttaa kun taka-akselin kallistuskeskiö sijoitetaan etuakselin kallistuskeskiötä korkeammalla.

Geometrian suunnittelussa tärkeimpänä arvosteluperusteena pidettiin akselivälin muutoksen minimointi toispuoleisessa joustossa ± 100 mm, jotta minimoidaan taka-akselin ohjaava vaikutus. Tämä saavutetaan, kun tukivarsista tehdään mahdollisimman pitkät.

Toinen arvosteluperuste on taka-akselin sisäänmenoakselin kulma, jonka tulisi säilyä kutakuinkin saman suuruisena jousitusmatkalla ± 100 mm. Tällä vältytään epämiellyttäviltä värinöiltä ajon aikana, myös jousipalkeen rikkoutuessa. Suurin sallittu nivelristikoiden erimuotoisuus saa olla enintään 25 yksikköä. Murrosnivelen kulma tulee olla kuitenkin vähintään 1° , jotta murrosnivelen laakerit eivät vaurioituisi ennenaikaisesti.

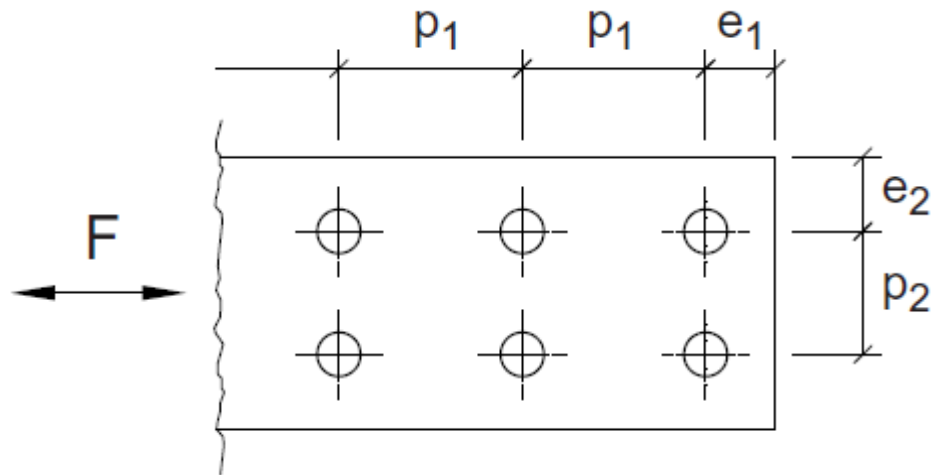
Viimeisenä arvosteluperusteena tutkitaan eri tuentaratkaisujen suhteellisen noston arvoja. suhteellisen noston arvojen tulisi olla neutraalilla linjalla tai sen alapuolella.

9.3 Kiinnikkeiden suunnittelu

Akselin kiinnikkeet suositellaan kiinnitettäväksi noin 7 - 18 cm etäisyydelle akselin keskipisteestä. Mitä lähempänä kiinnityspiste on akselin keskipistettä, sitä isompia ovat niihin kohdistuvat voimat. Teenkin kiinnikkeistä säädettävien, jotka

joudun itse valmistamaan, jotta voin kokeilla eri asetusten vaikutusta ajokäyt-
täytymiseen. (9, s. 69.)

Kiinnikkeet suunnitellaan Eurocode 3:n ohjeiden mukaan. Kiinnikkeiden minimi
reuna- ja keskiöetäisyyksien merkitykset käyvät ilmi havainnekuvasta 27.



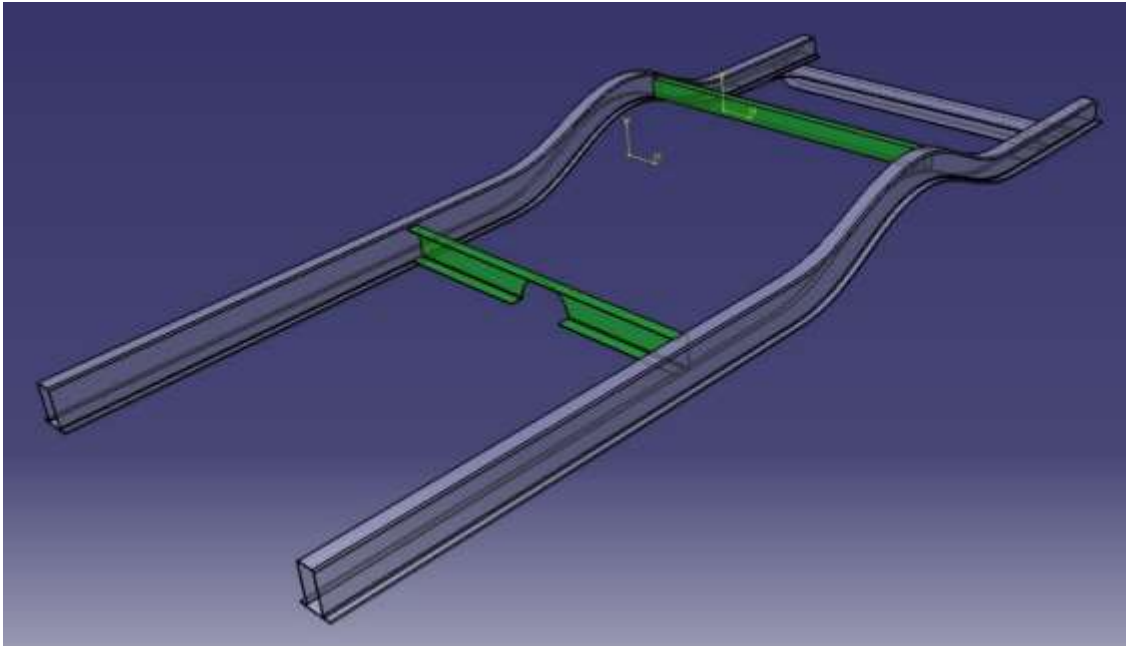
KUVA 37. Kiinnitysreikien reikävälit Eurocode 3:n mukaan: $e_1 = 1,2 * d_0$,
 $p_1 = 2,2 * d_0$, $e_2 = 1,2 * d_0$, $p_2 = 2,4 * d_0$ (36, s. 4)

Myös kiinnikkeiden materiaali ja kiinnikepulttien vahvuus valitaan lujuuslaskel-
mien perusteella. Alustavaksi kiinnikkeiden materiaaliksi valitaan S355-
rakenneteräs.

Pultin valinnassa tukivarren 12,5 mm halkaisijalla oleva kiinnikereikä rajoittaa
pultin koon M12-pulttiin, jonka lujuudeksi valitaan alustavasti 10,9.

9.4 Geometrian simulointi

Geometriasuunnittelussa käytetään apuna Catia V5R21 CAD -
suunnitteluohjelmaa, jolla on mallinnettu Chevroletin rungon takaosa ja taka-
akseli. Auto on varustettu pitkittäisillä lehtijousilla, joten rungossa ei ole kaikkia
tukivarsien kiinnikkeitä vaan ne pitää valmistaa. Runkoon tehdyt uudet tukipalkit
on esitetty kuvassa 38 vihreällä.



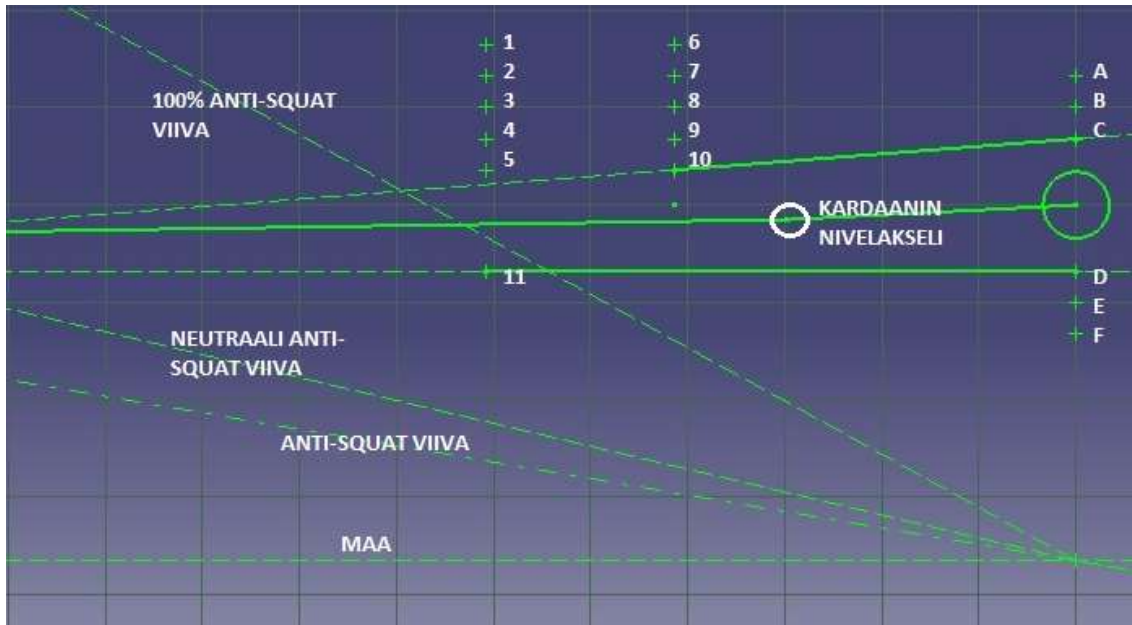
KUVA 38. Catia V5R21 -ohjelmalla piirretty rungon takaosa

Runkopiirustusta hyödynnettiin tulitikkumallin tekemisessä, jonka avulla eri akselivaihtoehtojen ripustusmalleja simuloitiin. Tulitikkupiirrosta tehdessä havaittiin, että ylä- ja alatukivarret eivät voineet olla yhtä pitkät koska lattiarakenteet tulevat eteen. Tämä rajasi tukivarsien kiinnikepisteiden määrää. Takapenkin alla oleva kolo oli looginen ylätukivarsien kiinnikepisteen paikan, joka mahdollisti ylätukivarren siirtämisen ylöspäin tarvittaessa. Takapenkki ja matkustajien jalkatila rajoittavat ylempien tukivarsien pituuden noin 414 mm:iin runkolinjan suunnassa mitattuna.

Auton alkuperäinen lehtijousen etukiinnike on noin 608 mm:n etäisyydellä taka-akselin keskikohdasta. Kun alatukivarresta tehdään yhtä pitkän kuin jousen etuosaa, ei taka-akselin ominaisohjaus muutu juurikaan alkuperäisestä. Myös ylätukivarsien ja alatukivarsien pituuden suhde rajoittaa alatukivarsien pituuden lisäämistä. Ylätukivarsien pituuden ollessa jo tällä kokoonpanolla 68 % alatukivarsien pituudesta on tarpeetonta alkaa suunnittelemaan uutta alatukivarren etukiinnikettä.

Tukivarsien kiinnikepisteet nimettiin siten että tukivarsien etupään kiinnikepisteet olivat numeroita 1 - 11 ja takapään kiinnikkeet kirjaimia A - F (kuva 39). Si-

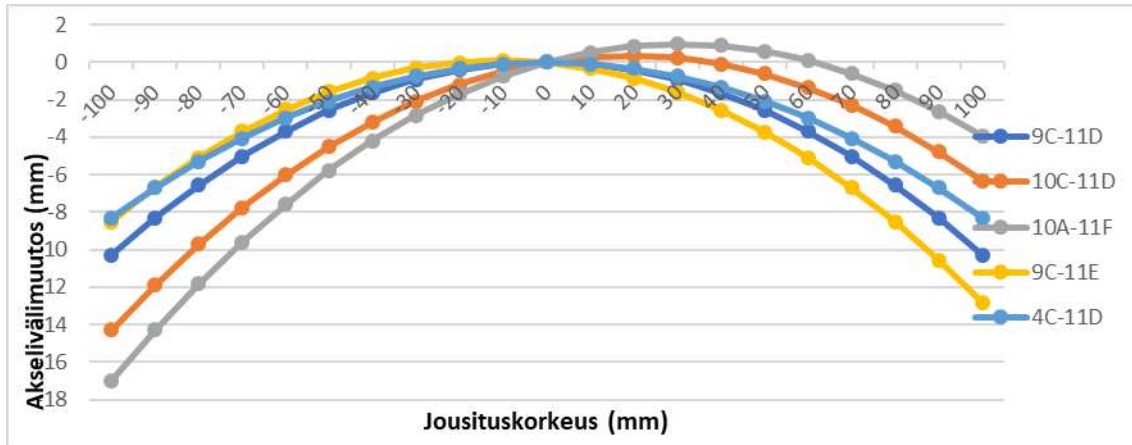
muloinnin 3D-kuvista saadut mitat siirrettiin Excel-taulukkoon, jossa niitä voitiin vertailla helpommin.



KUVA 39. Tulitikkupiirros, jossa tukivarret asennossa 10C - 11D

9.5 Geometrian arviointi

Tulosten analysoinnissa käytetään apuna Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaa. Mitattavia arvoja olivat akselivälin muutos, kardaanin nivelristikoiden kulmat ja suhteellinen nosto. Mittatulokset kirjataan ylös Excel-taulukkoon ja niistä piirretään kuvaajat vertailun helpottamiseksi. Kuvassa 40 esitetään erilaisten neljällä pitkittäisellä tukivarrella varustettujen ripustusten käyttäytymistä tasaisessa joustossa.



Kuva 40. Muutamien tuentavaihtoehtojen akselivälimuutoksia ± 100 mm jousituskorkeudella

Alatukivarren saamiseksi vaakasuoraan tulee taka-akselin kiinnike sijoittaa akseliputken etupuolelle, jotta tämä on mahdollista tulee jousituksen tasoa laskea. Koska autoon tulee ilmajousitus sekä eteen että taakse, ei ajotason laskeminen lain sallimissa puitteissa ole ongelma. Samalla myös päätettiin, että autoon ei tule erillistä poikittaistukea akselille, vaan poikittainen tuenta toteutetaan vinoilla ylätukivarsilla. Valurautainen vetopyörästökotelo rajoittaa ylätukivarsien kulman maksimissaan 28° kulmaan runkoaisoihin nähden. Tällä tuentaratkaisulla saavutetaan tarpeeksi jäykkä tuenta katuautoon.

Lopullisessa mallissa sijoitettiin ylätukivarret pisteisiin 10 - C ja alatukivarret vaakatasoon pisteisiin 11 - D, jolloin tukivarsien pituuksiksi tulee 470 mm ja 608 mm. Taka-akselin vetopyörästön nokkaa käännetään niin että, se osoittaa $2,5^\circ$:n kulmassa alaspäin. 10 - D, 11 - C akselistotuennalla nivelakseleiden erimuotoisuuden maksimiarvo ylittyy niukasti ääriasennoissa, mutta tällä ei ole merkitystä, koska autolla ei ole tarkoituksenmukaista ajaa normaalisti jousituksen ollessa ääriasennoissa. Tuentamallilla taka-akselin kallistuskeskiö on 475 mm:n korkeudella maasta suoraan akseliputken yläpuolella, kun etuakselilla se on suunnilleen maan tasossa. Kallistusakseli laskee auton keulaa kohti, joten ajokäyttäytyminen aliohjautuvaa, mikä on tässä tapauksessa toivottua. Suhteellisen nosteen arvon vaihtelee välillä 26 - 40 %. Ajokorkeudessa suhteellisen noston arvo on noin 31 %, Kun neutraalin linjalla suhteellisen noston korkeus vakio ajokorkeudessa on noin 39 %. Suhteellisen nosteen arvo voisi olla hieman pienempi, mutta se on sallituissa rajoissa.

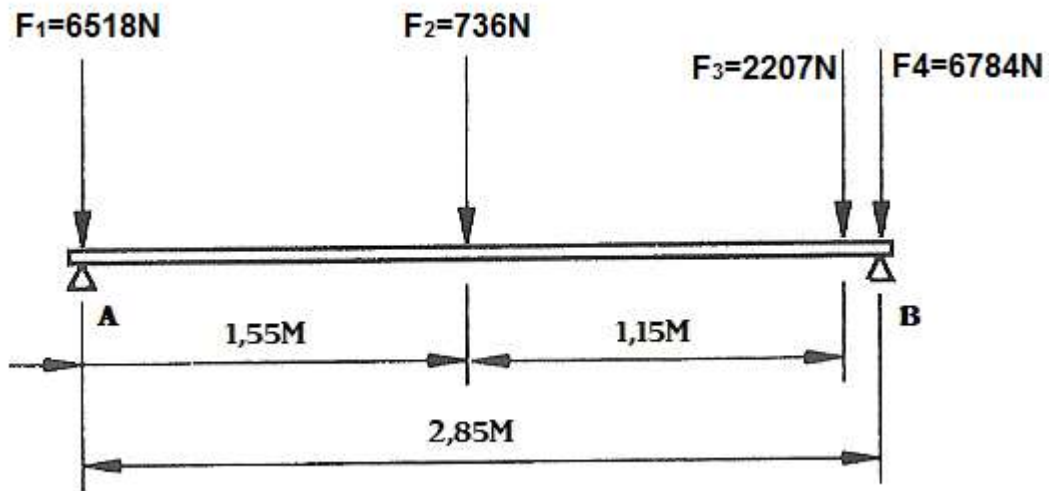
10 LUJUUSLASKELMAT

Koska tukivarsien tulee olla tehdasvalmisteiset, ei lopputyössä keskity niiden lujuuslaskentaan. Tukivarsien kiinnikkeet joudutaan valmistamaan itse, jotta halutut tukivarsien kulmat saavutetaan ja niiden kestävyys on pystyttävä todistamaan katsastuksessa. Lujuuslaskelmissa ei oteta huomioon kiihdytyksessä ja jarrutuksessa tapahtuvaa painon siirtymää, joka pienentäisi taka-akselille kohdistuvia voimia. Tästä syystä todellinen varmuusluku on vieläkin suurempi, kuin lujuuslaskelmissa.

Vuoden 1955 rekisteriotteissa ei ole ilmoitettu ajoneuvon kokonaismassaa, mutta mainitaan, että autossa saa olla kuljettajan lisäksi neljä matkustajaa. Rekisteriotteessa ilmoitettu omamassa on 6 kg teknisten tietojen omamassaa pienempi, joten opinnäytetyön laskuissa käytetään teknisten tietojen antamaa arvoa 1 356 kg. Ajoneuvon kokonaismassa lasketaan M₁-luokan moottoriajoneuvojen massoista ja mitoista annetun neuvoston direktiivin perusteella, jossa määritellään matkustajan painoksi 75 kg. Ajoneuvon kokonaismassa saadaan, kun lisätään ajoneuvon omamassaan matkustajien massa 300 kg. Ajoneuvon yhteenlasketuksi kokonaismassaksi tulee 1 656 kg. Teknisissä tiedoissa mainitaan auton painojakaumaksi omalla painolla etuakselilla 49 % ja taka-akselilla 51 %. Ottaen huomioon, että suurin osa matkustajien painosta kohdistuu taka-akselille, muuttuu painopisteen paikka huomattavasti ajoneuvon kokonaispainolla. (32, s. 14; 37, s. 44.)

10.1 Akselipainojen laskenta kokonaispainolla

Akselipainot lasketaan lujuusopin taivutusmomentin määrittämiskaavoilla. Akselipainot saadaan ratkaisemalla uudet tukivoimat A ja B kuvasta 41. (38, s. 3.1.2.3.)



KUVA 41. Ajoneuvon runkoon kohdistuvat voimat ja tukivoimat (38, s. 3.1.2.3, muutettu)

Kuvan 41 momenttiyhtälöstä voidaan ratkaista tukivoimien A ja B yhtälöt.

$$\sum M_B = F_1 * 2,85m + F_2 * (1,15m + 0,15m) + F_3 * 0,15m + F_4 * 0m - A * 2,85m = 0$$

$$A = \frac{F_1 * 2,85m + F_2 * (1,15m + 0,15m) + 2207 * 0,15m + F_4 * 0m}{2,85}$$

Sijoittamalla voimat yhtälöön, saadaan laskettua tukivoimat A ja B.

$$A = \frac{6518N * 2,85m + 736N * (1,15m + 0,15m) + 2207N * 0,15m + 6784N * 0m}{2,85m} = 6970N$$

$$B = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 - A = 6518N + 736N + 2207N + 6784N - 6970N = 9275N$$

Akselimassat saadaan jakamalla tukivoimat maan vetovoimalla 9,81 m/s. Jolloin etuakselimassaksi saadaan 710,5 kg ja taka-akselimassaksi 945,5 kg. Näiden massojen ja kiihtyvyyden avulla voidaan laskea takaripustuksiin kohdistuvat voimat. Uudeksi painojakaumaksi saadaan etuakselilla 43 % ja taka-akselilla 57 %. (38, s. 3.1.2.3)

10.2 Kiinnikkeisiin kohdistuvat pitkittäiset voimat

Takavetoisen auton teoreettisen maksimi kiihtyvyyden rajattomalla vääntömomentilla voidaan laskea kaavalla 7 (39, s. 116).

$$a_{t\max} = \frac{\mu_{\max} \frac{l_e}{l} - f \frac{l_t}{l}}{1 - (\mu_{\max} + f) \frac{h}{l}} g \quad \text{KAAVA 7}$$

a_{\max} = teoreettinen maksimi kiihtyvyys (m/s²)

μ_{\max} = maksimi kitka

l_e = etäisyys etuakselista painopisteeseen (m)

l = akseliväli (m)

f = ei-vetävän akselin vierintävastusvoima (N)

h = painopisteen korkeus (m)

g = putoamiskiihtyvyys (m/s²)

Kaavalla 5 saadaan ratkaistua painopisteen etäisyys etuakselista (19, s. 84).

$$l_{pp} = \frac{945,5 \text{ Kg}}{1656 \text{ Kg}} * 2,85 \text{ m} = 1,63 \text{ m}$$

Ei-vetävän akselin vierintävastusvoima f , voidaan jättää huomioimatta sen pienyyden takia. Ajoneuvon tiedoilla laskettaessa maksimi kiihtyvyydeksi saataisiin (39, s. 116)

$$a_{t\max} = \frac{0,8 * \frac{1,63 \text{ m}}{2,85 \text{ m}}}{1 - (0,8 + 0) \frac{0,52 \text{ m}}{2,85 \text{ m}}} * 9,81 = 5,26 \text{ m/s}^2.$$

Verrataan tätä kiihtyvyyttä seuraavaksi laskettavaan jarrutuksessa saavutettavaan hidastuvuuden arvoon ja suoritetaan lujuuslaskut niistä suuremmalla arvolla.

Auton tämänhetkisestä kunnosta takia auton maksimi hidastuvuutta ei voida mitata. Siksi opinnäytetyössä suoritetaan laskut Tekniikan maailma -lehdessä tehdyn henkilöautovertailun tietojen perusteella. TM:n henkilöautovertailussa

10/2016 keskiverto henkilöautot pysähtyivät kuivalla asfaltilla sadan kilometrin-tuntinopeudesta keskimäärin 40 m:n matkalla. Kun tiedetään auton ajonopeus ja jarrutusmatka kaavalla 8 voidaan laskea keskimääräinen hidastuvuus. (40, s. 24; 6, s. 206.)

$$a = \frac{v^2}{2s}$$

KAAVA 8

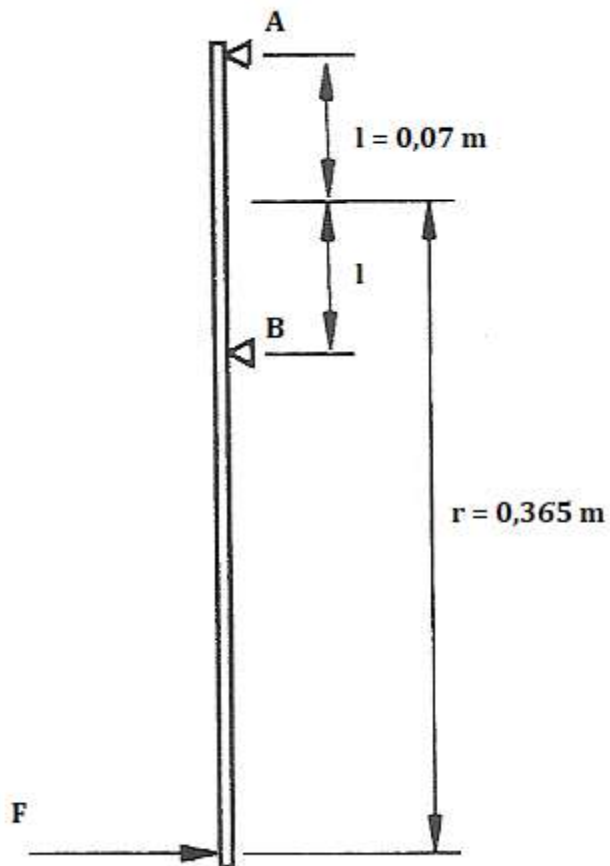
a = kiihtyvyys (m/s²)

v = nopeus (m/s)

s = aika (s)

Kun sijoitetaan arvot kaavaan, saadaan hidastuvuuden keskiarvoksi noin 9,64 m/s². Hidastuvuudesta voidaan havaita, että suurimmat rasitukset tukivarsille tulee jarrutuksen aikana. Koska auton moottoriteho on vain 85 hv, niin maksimi kiihdytyksessä syntyvät voimat ovat todella paljon pienempi, kuin teoreettinen rajattomalla teholla laskettu maksimiarvo. Tekniikanmaailmasta saatujen jarrutushidastuvuudella laskettaessa saavutetaan varmasti riittävä lujuus 30-luvun autolle, jonka jarrut ja renkaiden pito eivät ole likimainkaan samaa luokkaa kuin nykypäivän autoissa. (7, s. 268.)

Jarrutustilanteessa akselin tukivarsiin ja niiden kiinnikkeisiin kohdistuvien voimien suuruus määräytyy tukivarsien kiinnikkeiden sijainnin perusteella. Akseli-putken alapuolella vaikuttava voima pyrkii venyttämään tukivartta ja yläpuolella vaikuttava voima pyrkii puristamaan ylätukivartta kasaan. Kuvassa 42 on esitetty vaikuttavat voimat ja tukivoimat.



KUVA 42. Tukivarsien kiinnikkeisiin kohdistuvat voimat ja tukivoimat (38, s. 3.1.2.3, muutettu)

Lasketaan jarrutuksen aiheuttama voima Newtonin toisen lain kaavalla 9 (41, s. 91).

$$F = ma$$

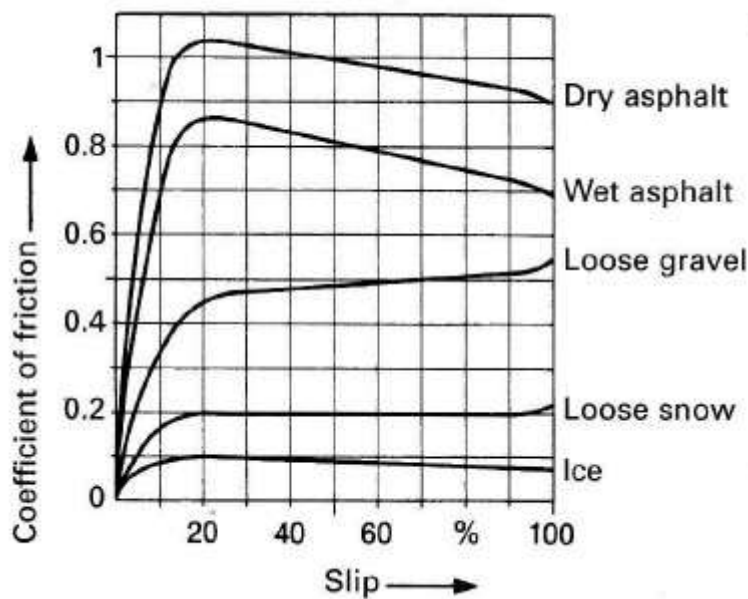
KAAVA 9

F = voima (N)

m = kappaleen painovoima (kg)

a = kiihtyvyys (m/s^2)

Todellisuudessa kaavaan kuuluu vielä renkaankitka μ , joka vaihtelee tienpinnan, renkaan ja nopeuden ym. muuttujien perusteella kutakuinkin välillä 0,0 - 1,1 (kuva 43).



KUVA 43. Renkaan kitkaominaisuudet (35, s. 125)

Rata- ja kiihdytysrenkailla voidaan saavuttaa kitkakertoimia, jotka ovat jopa yli kaksi. Kun otetaan kitkaominaisuudet huomioon, lasketaan keskimääräinen jarrutusvoima kaavalla 10. (39, s. 118.)

$$F = m\mu g$$

KAAVA 10

F = voima (N)

m = kappaleen massa (kg)

μ = kitkakerroin

g = putoamiskiihtyvyyys (m/s^2)

Tieliikennelaissa määrätään käytettäväksi minimi kitkakertoimeksi 0,8, mutta kun kaavan 10 ja Tekniikan maailman jarrutuskokeen tietojen perusteella rata-kaistaan kitkakerroin (μ), tulee arvoksi likimain 1. Käytän lujuuslaskuissa arvoa $\mu = 1$. Kohdeauton taka-akselimassa $m = 945,5$ kg. Yhtälön summa jaetaan kahdella, jolloin saadaan jarrutuksessa yhdelle renkaalle kohdistuva voima.

$$F = \frac{945,5 \text{ kg} * 1 * 9,64 \text{ m/s}^2}{2} \approx 4557 \text{ N}$$

Tukivarsien kiinnikkeiden tulee kestää jarrutustilanteen aiheuttamat voimat. Voimat lasketaan lujuusopin taivutusmomentin perusteella. Muodostetaan kuvasta 42 momenttiyhtälö tukipisteen A suhteen, jossa voimien summa on 0 (kaava 11). Tästä yhtälöstä voidaan ratkaista tukivoimat A ja B. (38, s. 3.1.2.3.)

$$\Sigma M_a = (r + l) * F - 2 * l * B = 0 \quad \text{KAAVA 11}$$

M_a = Taivutusmomentti pisteen A suhteen (Nm)

F = voima (N) = 4557 N

r = renkaan säde (m) = 0,365 m

l = tukivarren etäisyys akselin keskeltä = 0,07 m

A = ylätukivarren tukivoima (Nm)

B = alatukivarren tukivoima (Nm)

$$\Sigma M_A = (0,365 \text{ m} + 0,07 \text{ m}) * 4557 \text{ N} - 2 * 0,07 \text{ m} * B = 0$$

$$B = \frac{(0,365 \text{ m} + 0,07 \text{ m}) * 4557 \text{ N}}{2 * 0,07 \text{ m}} = 14159,25 \text{ N}$$

$$A = 14159,25 \text{ N} - 4557 \text{ N} = 9602,25 \text{ N}$$

Koska ylätukivarret on sijoitettu vinoon runkoon nähden, on ylätukivarsiin kohdistuva voima suurempi, kuin laskettu tukivoima A. Ylätukivarteen todellisudessa kohdistuva voima lasketaan trigonometrian suorakulmaisen kolmion cosin-lausekkeella (kaava 12). (41, s.12.)

$$\text{Cos } \alpha = \frac{b}{c} \quad \text{KAAVA 12}$$

α = ylätukivarsien kulma rungon keskilinjaan nähden = 28°

b = Tukivoima A = 9602,25 N

c = Todellinen voima tukivarren suunnassa (N)

Ratkaistaan yhtälöstä todellinen voima c.

$$c = \frac{b}{\text{Cos } \alpha} = \frac{9602,25 \text{ N}}{\text{Cos } 28^\circ} = 10875,22 \text{ N}$$

10.3 Kiinnikkeiden poikkileikkauksen vetolujuus

Kiinnikkeiden kiinnityskohdan reiän vetolujuus lasketaan käyttämällä keskimääräisen leikkausjännityksen kaavaa 13 (42, s. 60).

$$F_{sall} = A * \tau_{sall}$$

KAAVA 13

F_{sall} = sallittu voima (N)

A = leikkauskohdan pinta-ala = $(30 - 12,5 / 2) * 4 = 95 \text{ mm}^2$

τ_{sall} = suurin sallittu leikkausvoima = $c * \sigma_{sall}$

c = leikkauskestävyyden varmuusluku = 0,6

σ_{sall} = suurin sallittu vetolujuus = $355 \text{ N/mm}^2 / 1,5 = 236,7 \text{ N/mm}^2$

Koska tukivarren pää on tuettu molemmin puolin ja leikkauskohtia on kaksi, tulee kaavasta muotoa

$$F_{sall} = 2 * 2 * A * \sigma_{sall} * 0,6$$

$$F_{sall} = 2 * 2 * 95 \text{ mm}^2 * 236,7 \text{ N/mm}^2 * 0,6 = 53944,8 \text{ N}$$

Kun jarrutustilanteessa syntyvä maksimivoima oli 14159,25 N, on varmuuskerroin yli 3.

Tarkistetaan kaavalla 14, ettei suurin sallittu reunapuristuman arvo ylity. Se lasketaan jakamalla voima reiän halkaisijan pinta-alalla, mutta koska reikiä on kaksi, puolittaa se reunapuristuman.

$$\bar{p} = \frac{F}{A * 2}$$

KAAVA 14

p = reunapuristuma

F = reiän reunaan kohdistuva voima (N/mm²)

A = reiän reunan ala (mm²)

Maksimi reunapuristuman arvoksi saadaan:

$$\bar{p} = \frac{14159,25 \text{ N}}{4 \text{ mm} * 12,5 \text{ mm} * 2} = 141,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kun S355-teräksen suurin sallittu keskimääräinen reunapuristuma on 380 N/mm², reunapuristuman varmuusluvuksi tulee yli 2 (42, s. 59).

10.4 Kiinnikeruuvien lujisuuden laskenta

Myös tukivarsien kiinnikepulttien tulee kestää jarrutustilanteen aiheuttamat voimat. Eurocode 3:n mukaan leikkausvoimarasitusliitokset jaotellaan kolmeen luokkaan A, B ja C. A on reunapuristustyyppinen kiinnitys, jossa pultti itsessään kantaa kaikki voimat, B on käyttörajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys ja C on murtorajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys. (43, s. 30.)

Tukivarsien kiinnikereivät ovat 12.5 mm halkaisijalla, joten tulevat kiinnikepultit tulevat olemaan M12-pultteja. Eurocode 3:n mukaan normaali M12-pultin kiinnikereian välyys on 1 mm pois lukien tornit, mastot ja muut vastaavat sovellukset. Pienemmällä reikävällyksellä tasataan pultin aiheuttamaa reunapuristus jännitystä kiinnitettäviin kappaleisiin. (44, s. 90.)

Ruuviin vaikuttava esijännitysvoima lasketaan kaavalla 15 (43, s. 45).

$$F_{p,C} = 0,7 * f_{ub} * A_s$$

KAAVA 15

$F_{p,C}$ = ruuvissa vaikuttava esijännitysvoima (N)

f_{ub} = ruuvien vetomurtolujuus 10,9 (1000 N/mm²) (43, s. 24.)

A_s = ruuvien jännityspoikkipinta-ala (84 mm²) (43, s. 24.)

$$F_{p,C} = 0,7 * 1000 \frac{N}{mm^2} * 84 mm^2 = 58000 N$$

Esijännitysvoiman avulla voidaan laskea pultin liukumiskestävyys käyttörajatilassa (kaava 16) (43, s. 45).

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{Ms,ser}} * F_{p,C}$$

KAAVA 16

$F_{s,Rd}$ = ruuviin vaikuttava esijännitysvoima

k_s = ruuvien perusaineen ja välyksen huomioon ottava kerron (normaaleissa pyöreissä reissä reissä 1) (43, s. 46)

n = kitkapintojen lukumäärä = 2

μ = kitkakerroin = 0,2 (käsittelemättömät pinnat) (43, s. 46)

$\gamma_{M3,ser} =$ ruuvi kiinnitysluokan osavarmuusluku = 1,1 (43, s. 20)

$$F_{s,Rd} = \frac{1 * 2 * 0,2}{1,1} * 58000 \text{ N} = 21090,9 \text{ N}$$

Kun maksimi pulttiin kohdistuva voima on 14160 N pitää pultti, kiinnikkeen ja tukivarren pään paikoillaan, eikä tukivarsi pääse liikkumaan kiinnikkeessä jarrutuksen aikana.

Tarvittava esijännityksen saavuttamiseksi tulee pultit kiristää tarpeeksi suurella momentilla. Esijännitetyt ruuvit kiristetään SFS-EN 1090-2: 2008 [10] mukaan on esitetty taulukossa 1. (43, s. 97.)

TAULUKKO 1. 8.8 ja 10.9 lujuusluokkien pulttien kiristystiukkuudet SFS-EN 1090-2: 2008 [10] mukaan momenttikiristysmenetelmällä (44, s. 97)

Ruuvien halkaisija (mm)	Lujuusluokka	Vaiheen 1 momentti (Nm)	Vaiheen 2 momentti (Nm)
12	8.8	55	81
	10.9	69	101
16	8.8	137	201
	10.9	171	251
20	8.8	267	392
	10.9	335	491
22	8.8	365	535
	10.9	455	667
24	8.8	463	680
	10.9	578	848
27	8.8	677	992
	10.9	845	1239
30	8.8	918	1347
	10.9	1150	1686
36	8.8	1608	2358
	10.9	2008	2945

Taulukosta 1 nähdään, että M12-10,9 ruuvi kiristetään kahdessa osassa, ensimmäisen kiristysvoiman ollessa 69 Nm ja lopullinen kiristystiukkuus 101 Nm. 10,9 lujuusluokan hiiliteräspultin maksimi kiristysmomentti on noin 137 Nm. (44, s. 97; 45, s. 2.)

Varmuuden vuoksi lasketaan että pultin lujuus on tarpeeksi suuri, mikäli pultti löystyy tai jää löysälle. Eurocode 3:n mukaan reunapuristustyypisen pultin kärkeä pultin mitoitus tapahtuu taulukon 2 avulla, josta valitaan lähimmästä suu-remmasta voimasta 2 pykälää alempana oleva voima-arvolle soveltuva pultti, koska kuormitus on väsyttävää ja epäkeskeistä. (46, s. 91.)

TAULUKKO 2. Karkea pultin valitsemisen taulukko Eurocode 3:n mukaan (46, s. 91)

F [N]	12.9	10.9	8.8	F [N]	12.9	10.9	8.8
250				16 000	6	8	8
400				25 000	8	10	10
630				40 000	10	12	14
1 000				63 000	12	14	16
1 600	3	3	3	100 000	16	16	20
2 500	3	3	4	160 000	20	20	24
4 000	4	4	5	250 000	24	27	30
6 300	4	5	5	400 000	30	36	
10 000	5	6	8	630 000	36		

Kun pulttiin kohdistuva leikkausvoima on aiemmin laskettu 14160 N, valitaan taulukosta 2 pykälää alempana oleva voima arvo, joka on 40000 N ja sille sopiva M12-pultti on lujuusluokaltaan 10,9 (46, s. 91).

10.5 Hitsausliitokset

Hitsausliitoksista pyritään suunnittelemaan tasalujia perusmateriaalin kanssa, jolloin niiden lujuuksia ei tarvitse laskea. Tästä syystä ylätukivarsia ei kiinnitetä valurautaiseen vetopyörästöön, vaan akseliputkeen, joka ei ole valurautaa, vaan terästä. Eurocode 3:n mukaan S355-teräkselle kaksipuoleisen pienahitsin minimi a-mitta saadaan laskettua kaavalla 17. Kantavan pienan a-mitan tulee kuitenkin olla vähintään 3 mm. (43, s. 106.)

$$a = 0,636 * t$$

Kaava 17

a = pienan a-mitta (mm)

t = hitsattavan materiaalin vahvuus (mm)

Kaavan 17 perusteella 4 mm:n vahvuiselle S355 teräslevylle a-mitta on

$$a = 0,636 * 4 = 2,544.$$

2,544 mm on vähemmän kuin 3 mm, joten pienan a-mitta on 3 mm.

Joissakin kiinnikkeiden kiinnityskohdissa ei ole mahdollista hitsata 2-puoleisesti, nämä kohdat hitsataan puoli v-railohitsillä. Kaikki railohitsit suunnitellaan läpihit-

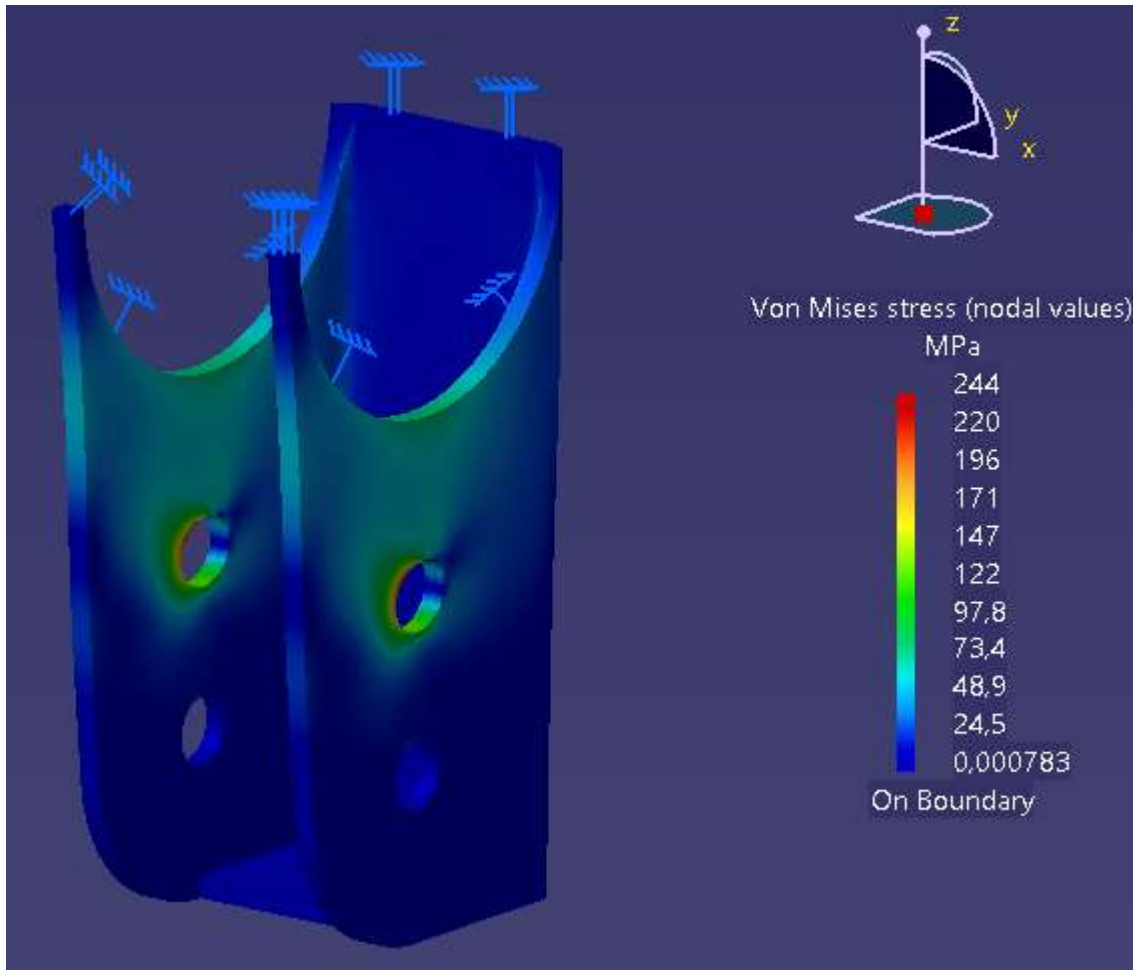
satuiksi, jolloin nekin ovat yhtä lujia kuin liitettävät osat, eikä hitsausliitosten lujuutta tarvitse laskea erikseen. (47, s. 164.)

11 FEM-ANALYYSI

FEM on lyhenne sanoista Finite Element Method tai toiselta nimitykseltään FEA Finite Element Analysis. FEM tarkoittaa elementtimenetelmää, jossa tietokonepohjainen ohjelma tarkastelee monimutkaisen kappaleen lujuutta jakamalla sen pienempiin geometrialtaan tarpeeksi yksinkertaisiin elementteihin. Kun ohjelmaan on syötetty kyseessä olevan materiaalin tiedot, se suorittaa elementeille lukemattoman määrän lujuuslaskuja, joiden perusteella ohjelma piirtää kuvaajan voiman aikaan saamista rasituksista ja pisteiden siirtymistä. (48.)

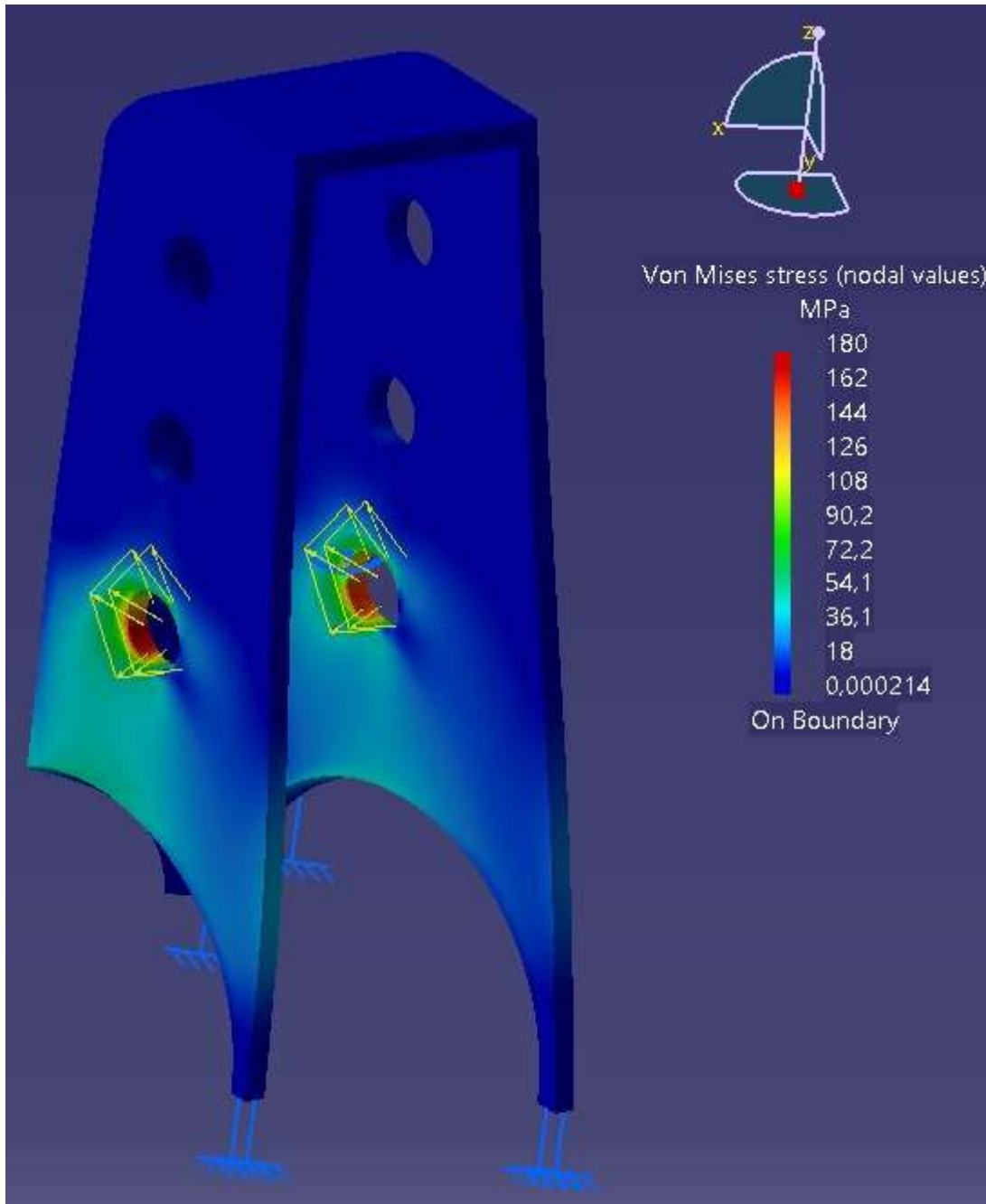
FEM-analyysi suoritetaan Catia V5R21 -ohjelman lujuussimulointiominaisuudella. Käytävissä oleva Catian lisenssi ei tue kuin staattista FEM-simulointia, joka on otettava huomioon varmuuskertoimessa. Opinnäytetyössä käytetään maksimijarrutustilanteessa laskettuja tukivarsille kohdistavia voimia simuloinneissa.

Kuvassa 44 on esitetty akseliin kiinnittyvän alakiinnikkeen FEM-analyysi 14160 N:n voimalla. Kuvasta käy ilmi, että suurimmat jännitykset ovat 244 N/mm², kun S355-teräksen suurin sallittu vetolujuus on 355 N/mm².



KUVA 44. Alatukivarren lujuusanalyysi 14160 N:n voimalla

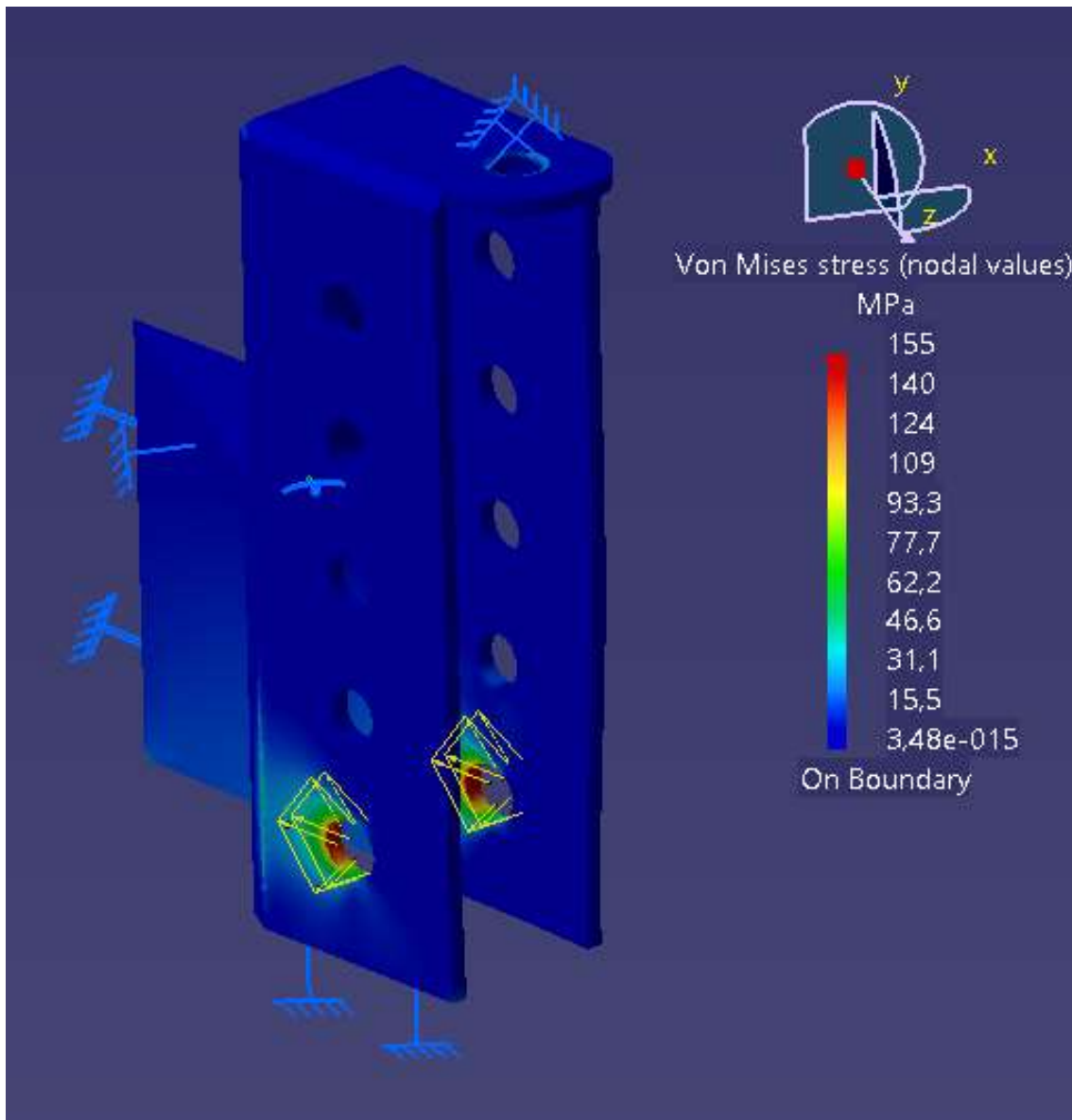
Vastaavasti taka-akselin yläkiinnikkeessä 10876 N:n voima aiheuttaa suurimmat jännitykset kiinnikepulttien alle. Kuvassa 45 on esitetty yläkiinnikkeen FEM-analyysin tulos.



KUVA 45. Ylätukivarren taaemman kiinnikkeen lujuusanalyysi 10876 N voimalla

Ylempi etukiinnike poikkeaa rakenteeltaan huomattavasti muista kiinnikkeistä, sillä se on valmistettu 4 mm:n vahvuisesta levystä hitsaamalla, valmiin putkipal-

kin sijaan. Hitsattu rakenne helpottaa kiinnikkeen kiinnittämistä runkoon 28°:n kulmassa ja hitsausaumoista saadaan varmasti tarpeeksi lujat (kuva 46).



KUVA 46. Ylätukivarren etummaisesta kiinnikkeestä lujuusanalyysi 10876 N:n voimalla

12 MATERIAALIN VALINTA

Kiinnikkeiden suunnittelun alkuvaiheessa materiaaliksi valittiin S355-rakenneteräs sen helpon hitsattavuuden ja saatavuuden perusteella. Tukivarsien kiinnikkeet valmistetaan 4 mm vahvuisesta 100 mm x 50 mm suorakaidepalkista ja 4 mm vahvuisesta levystä. Palkin sisämitta 42 mm on sopiva tuleville tukivarsienpäiden nivelille. Myöhemmissä lujuuslaskuissa havaittiin, että S355-rakenneteräs on sopivan materiaali kiinnikkeiden valmistamiseen. Tämä varmistettiin vielä FEM-analyysin avulla.

Lisäaineena käytetään Esabin hitsausohjeen perusteella valittua OK Autrod 12.51 -lankaa, jonka myötölujuus on 420 Mpa ja se on suurempi kuin S355-rakenneteräksellä. Myös suojakaasuksi valitaan Esabin suosituksien mukainen M21/M20- tai Hiilidioksidi-suojakaasua. (49, s. 10; 50, Tuotteet -> Hitsauslisäaineet -> MIG/MAG-langat -> Seostamattomat teräkset -> OK Autrod 12.51)

Lujuuslaskujen perusteella kiinnikepultiksi valitaan M12-10,9-kuusiokantapultti, jonka pituus on 60 mm ja kierteettömän osuuden pituus 50 mm. Mutteriksi valitaan myös 10,9 lujuusluokan laippamutteri.

13 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella tieliikenteeseen soveltuva akselistotuenta ilmajousitetulle jäykälle taka-akselille, ja tässä onnistuttiinkin saavuttamaan tyydyttävä ratkaisu. Koska Excel-pohjainen taulukko ei kerro ajoneuvon ajokäyttäytymisestä ja etenkin suhteellisen noston vaikutuksesta kuin suuntaa antavaa tietoa, tukivarsien kiinnikkeisiin tehdään muutamia suhteellisen noston säätömahdollisuuksia. Säätöjen vaikutusta ajokäyttäytymiseen kiihdytyksissä tullaan kokeilemaan tulevaisuudessa käytännössä. Akselistotuennan suunnittelussa kaikki vaikuttaa kaikkeen, ja tästä syystä suunnittelu onkin omaan käyttötarkoitukseen vähiten huonon kompromissin löytämistä. Olisi ollut myös mielenkiintoista verrata tehdasvalmisteisen monivarsituentamallin arvoja omaan tuentaratkaisuuni, mutta se jäi nyt tekemättä.

Alempi takakiinnike joutuu lujuusanalyysin perusteella kaikista kovimpaan rasitukseen 244 N/mm^2 , mutta korvakoiden reikään tuleva pultti ja seinämien välissä oleva tukivarrenpään sisäholkki tukee reikää, joka pienentää maksimijännitystä noin 160 N/mm^2 :n tienoille. Koska S355-teräksen myötöraja on 355 N/mm^2 , on varmuuskerroin likimain kaksinkertainen, vaikka hitsausseamit pienentäisivätkin sitä 10 %. Varmuuskertoimen ollessa yli 2 on rakenteen rikkoutumaton kyseisellä voimalla, vaikka sitä kuormitettaisiin äärettömän monta kertaa. Lujuusanalyysit tulosten tulisi kelvata katsastusviranomaisille todistukseksi kiinnikkeiden riittävästä lujuudesta.

Suurin osa opinnäytetyön tekemiseen käytetystä ajasta meni tutkimustyöhön ja Catia-piirustusten tekemiseen. Etummaisena yläkiinnikkeen lujuusanalyysikuvis- sa jouduin tekemään muutamia kompromisseja aikataulullisista syistä. Kulmareikien pois jättäminen ei kuitenkaan pienennä rakenteen lujuutta ratkaisevasti. Valmistusvaiheessa kulmareikien pois jättäminen helpottaa kiinnikkeiden valmistusta huomattavasti, ainakin jos levyt muotoillaan käsin. Hitsausvaiheessa kulmareikien pois jättäminen aiheuttaa jonkin verran päällekkäisiä hitsausseamoja ja sitä kautta pieniä jännityksiä perusmateriaaliin.

Tukivarret sijoittuvat alustassa sivulla 49 näkyvän kuvan 39 mukaisesti. Tukivarret teetätetään suomalaisessa Väisäset Oy:ssä mittatilaustyönä kohdeauton tietojen perusteella. Yritys on erikoistunut tukivarsien valmistukseen mm. ralliautoihin. Ylätukivarret ovat 470 mm:n pituiset ja alatukivarret 608 mm:n pituiset. Tukivarsien kiinnikkeiden mittapiirroksot ovat liitteissä 1, 2 ja 3. Kiinnikkeet tullaan valmistamaan mittapiirrosten mukaan.

Tulevaisuudessa kohdeautoon tullaan rakentamaan ilmajouset ja suunniteltu nelivarsituenta ja auto tullaan muutoskatsastamaan niiden kanssa. Lujuuslaskuja käytetään todisteina tukivarsien kiinnikkeiden riittävästä lujuudesta.

LÄHTEET

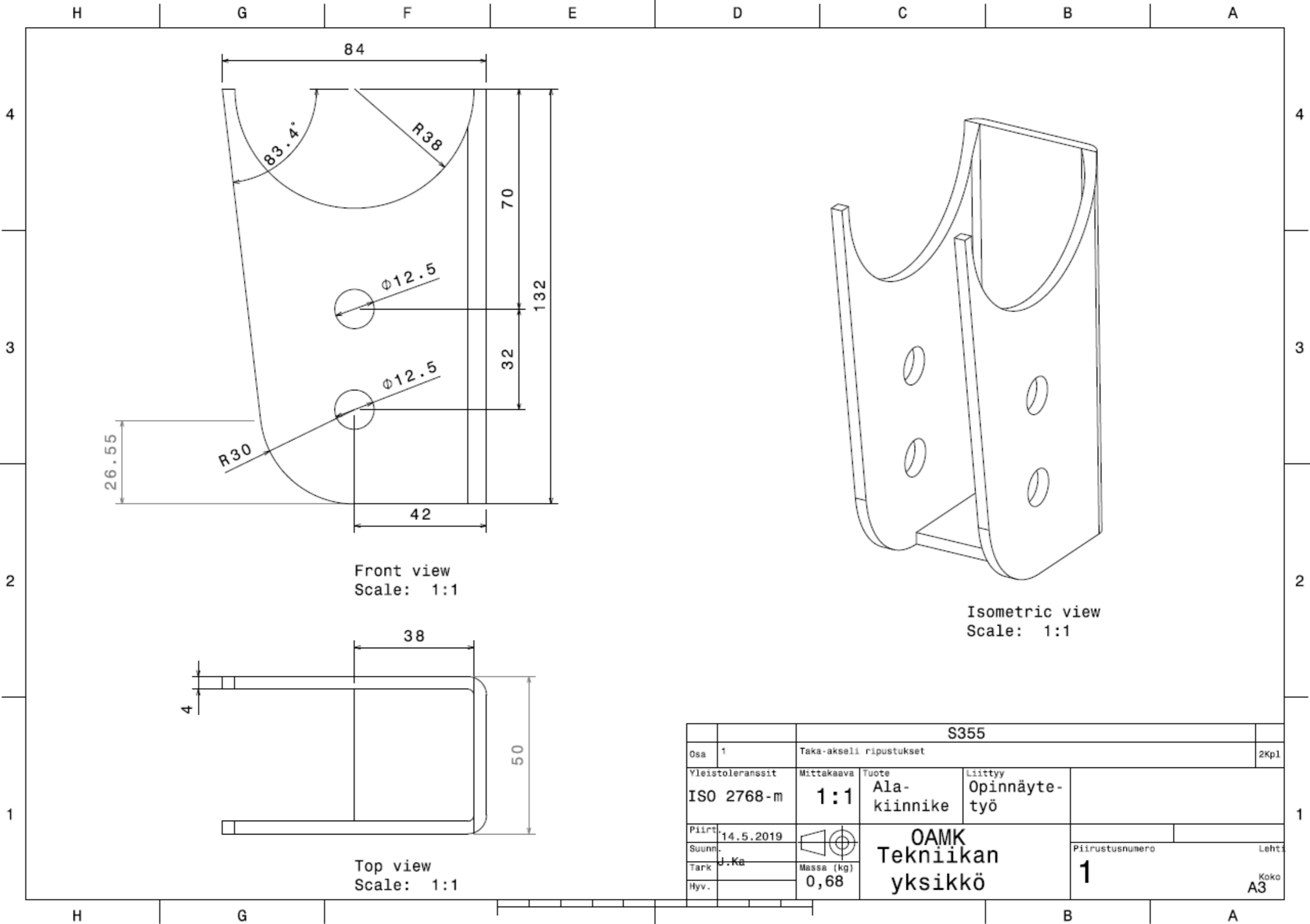
1. Katsastajan käsikirja. Versio 2.0. 2008. Ajoneuvohallintokeskus. Saatavissa:
<https://www.trafi.fi/filebank/a/1325147177/5b3f290101b3430d21e273b03487d636/4733-KatsastajankasikirjaVersio20.pdf> Hakupäivä 14.2.2015.
2. 779/1998. Liikenneministeriön päätös auton rakenteen muuttamisesta. 1998. Helsinki: Liikenneministeriö. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1998/19980779?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=779%2F1998>. Hakupäivä 14.2.2015.
3. Raskaiden ajoneuvojen paineilmajarrujen tarkastus katsastuksessa. 2015. Määräys. TRAFI/15393/03.04.03.00/2015. Trafi. Saatavissa:
http://www.finlex.fi/data/normit/42354-15393-2015_paineilmajarrumaarays_VALMIS_uusi.pdf. Hakupäivä 3.12.2018.
4. Ajoneuvon ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen. 2016. Määräys. TRAFI/66404/03.04.03.00/2015. Trafi. Saatavissa:
https://www.finlex.fi/data/normit/42527/TRAFI_66404_03_04_03_00_2015_FI_Auton_ja_sen_peravaunun_rakenteen_muuttaminen.pdf. Hakupäivä 3.12.2018.
5. Katsastusinsinööri 2017. Oulu: A-katsastus, Rusko. Haastattelu 21.11.2017.
6. Suomen työkalu. Saatavissa: <https://www.suomentyökalu.fi> Hakupäivä 3.12.2018.
7. Mauno, Esko 1991. Virittäjän käsikirja 2. Alusta. Helsinki: Alfamer Oy.
8. Workshop Manual Trucks. 13 - 15. 1995. 4-sarjan kuorma-auto. Södertälje: Scania CV AB.
9. Adams, Herb 1993. Chassis Engineering: chassis design building & tuning for high performance handling. New York: Penguin group Inc.
10. Smith, Carrol 1978. Tune To Win. Fallbrook, CA: Aero publishers, Inc.

11. Schwoch, Werner 1978. Autotekniikan oppikirja 2, Alusta. Porvoo: WSOY.
12. Workshop Manual Trucks. 6 - 9. 1995. 4-sarjan kuorma-auto. Sodertälje: Scania CV AB.
13. Morgan, Dave 1990. Door slammers: The chassis book. Spring City: Lamp-lighter Productions.
14. Laine, Olavi 1981. Autotekniikka: 2. osa, toinen täysin uusittu painos. Tampere: Oy Senator AB.
15. Hotrod Network 2003. How to set a pinion angle. Saatavissa: <https://www.hotrod.com/>. Hakupäivä 3.12.2018.
16. Autoteknillinen taskukirja. 2003. Suom. Autoalan Koulutuskeskus Oy. Robert Bosch GmbH. 6. painos. Jyväskylä: Gummerus.
17. Stanford, Adams 2006. Competition car suspension a practical handbook. Sparkford: Heynes.
18. Dixon, John C. 1996. Tires, Suspension and Handling. Warrendale: Society of automotive engineerin, Inc.
19. Oksanen, Janne - Vaisto, Pekka 1997. Pitoa oikeilla tuennoilla. V8-Magazine 2/97. S. 82-85.
20. Gillespie, Thomas 1992. Fundamendals of wehicle dynamics. Warrendale: Society of automotive engineerin, Inc.
21. Scraba, Wayne 2015. Figure Four: A Guide To Toning Your Four-Link Suspension System. Saatavissa: <https://www.onallcylinders.com/2015/04/23/figure-four-a-guide-to-tuning-your-four-link-suspension-system/> Hakupäivä 5.3.2019.
22. Dixon, John 2009. Suspension Geometry and Computation. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

23. Haataja, Mauri 2014. T331206 Autotekniikka 2 6 op. Opintomateriaali keväällä 2015. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
24. Ford Service Detailed instructions for servicing Ford cars 1925. Detroit: Ford Motor Company.
25. Firestone DR palkeet - Dunlop yhteensopivat, firestone industrial product company. Saatavissa: <https://www.teca.fi/Download/27564/firestone%20%20dr%20sarja%20test.pdf>. Hakupäivä 27.5.2019.
26. Firestone palkeet tuumaisella mitoituksella, firestone industrial product company. Saatavissa: <https://www.teca.fi/Download/27565/firestone%20%20tuumaiset%20palkeet%201.pdf>. Hakupäivä 27.5.2019.
27. Scania MultiWeb 18-120.0.3 2018. Web-Korjaamokäsikirja. P, R, G, T-sarjan kuorma-auto (2003-). Södertälje: Scania CV AB.
28. Vallilan Takomo. Saatavissa: <https://www.vallilantakomo.fi>. Hakupäivä 27.5.2019.
29. JEGS. Saatavissa: <https://www.jegs.com>. Hakupäivä 20.11.2017.
30. How to build hotrods. Saatavissa: <http://www.how-to-build-hotrods.com/>. Hakupäivä 28.5.2019.
31. Heisler, Heinz 1989. Advanced vehicle technology. London: Edward Arnold.
32. Chevrolet Central Office, Engineering department 1938. CHEVROLET 1939 SPECIFICATIONS. Detroit: General Motors Company. Saatavissa: <http://chevy.oldcarmanualproject.com/chevyresto/39index.htm>. Hakupäivä 23.1.2015.
33. General Motors Division 1939. CHEVROLET CHOP MANUAL 1939. Detroit: General Motors Company. Saatavissa:

- <http://chevy.oldcarmanualproject.com/shop/1939/index.html>. Hakupäivä 23.1.2015.
34. STRO Rengasnormit. 2015. Bromma: The Scandinavian Tire & Rim Organization.
35. Betzler, Jurgen - Reimpell Jornsens - Stoll, Helmut 2002. The automotive Chassis: Engineering Principles. Second edition. Warrendale: Society of Automotive Engineering, Inc.
36. Kuula, Kai 2009. T512804 Teräsrakenteet 2 opintomateriaali. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
37. Euroopan neuvoston direktiivi 92/21/ETY 1992. M₁-luokan moottoriajoneuvojen massoista ja mitoista. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:31992L0021&from=FI>. Hakupäivä 31.10.2017.
38. Saarineva, Jarmo 1995. Lujuusoppi Peruskurssi. Tampere: Pressus Oy.
39. Laine, Olavi 1985. Autotekniikka: 1. osa: Ajo-ominaisuudet. Tampere: Oy Senator AB.
40. Robert, Koistinen 2016. Vertailu: Alemman keskiluokan viisioiset. Tekniikan Maailma 18.5.2016. S. 23-24.
41. Mäkelä, Mikko - Soini, Mikko - Tuomola, Seppo - Öistämö, Juhani 2018. Tekniikan Kaavasto. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.
42. Koski, Juhani - Outinen, Hannu - Salmi, Tapio 1999. Lujuusopin Perusteet. Tampere: Pressus Oy.
43. Kouhi, Jouko 2016. Eurocode 3, Teräsrakenteiden suunnittelu, 1-8 Liitokset. Helsinki: Teräsrakennusyhdistys ry.
44. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurocode 3 -oppikirja 2010. Helsinki: Teräsrakennusyhdistys ry.

45. Ruuviliitokset. Imatra: Ferrometal Oy. Saatavissa: http://www.imatranpultti.fi/images/pdfs/tietoa_ruuviliitoksista.pdf) Hakupäivä 29.5.2019.
46. Blom, Seppo – Lahtinen, Pekka – Nuutio, Erkki – Pekkola, Kari – Pyy, Seppo – Rautiainen, Hannu – Sampo, Arto – Seppänen, Pekka – Suosara, Eero 2006. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita Prima Oy.
47. Björk, Timo – Haatala, Pekka – Huhtala, Kalevi – Kivioja, Seppo – Klemola, Matti – Lavi, Markku – Martikka, Heikki – Miettinen, Juha – Ranta, Aarno – Rinkinen, Jari – Salonen, Pekka 2016. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
48. Kontio, Esa 2017. Elementtimenetelmät kurssin oppimateriaali. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
49. Esab lisäainesuositukset. Saatavissa: http://www.esab.fi/fi/fi/support/documentation/educational/upload/korjaus_ja_kunnossapitohitsaus.pdf. Hakupäivä 29.5.2019.
50. ESAB tuotteet. Saatavissa: <http://www.esab.fi/>. Hakupäivä 29.5.2019.

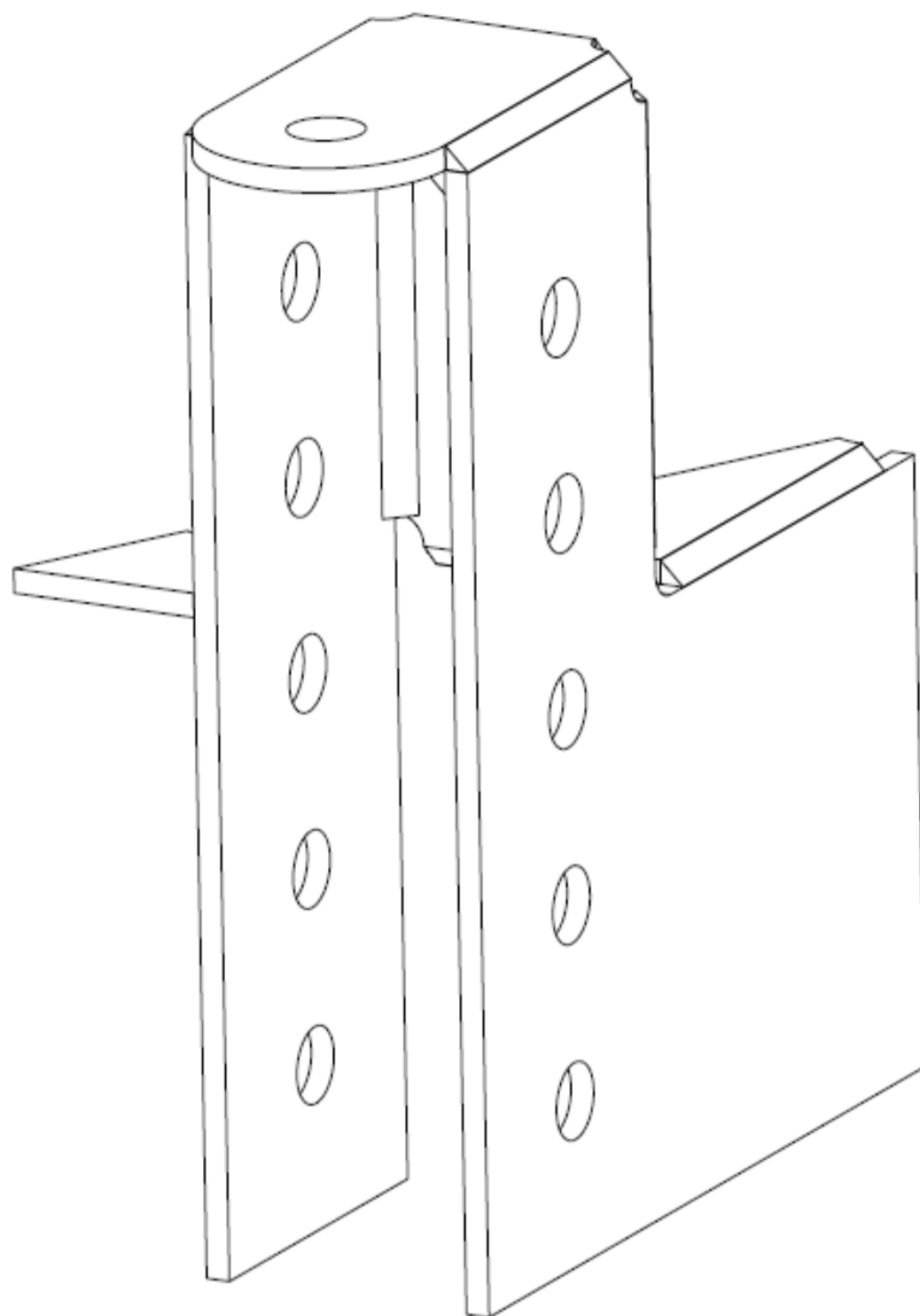


D

C

B

A

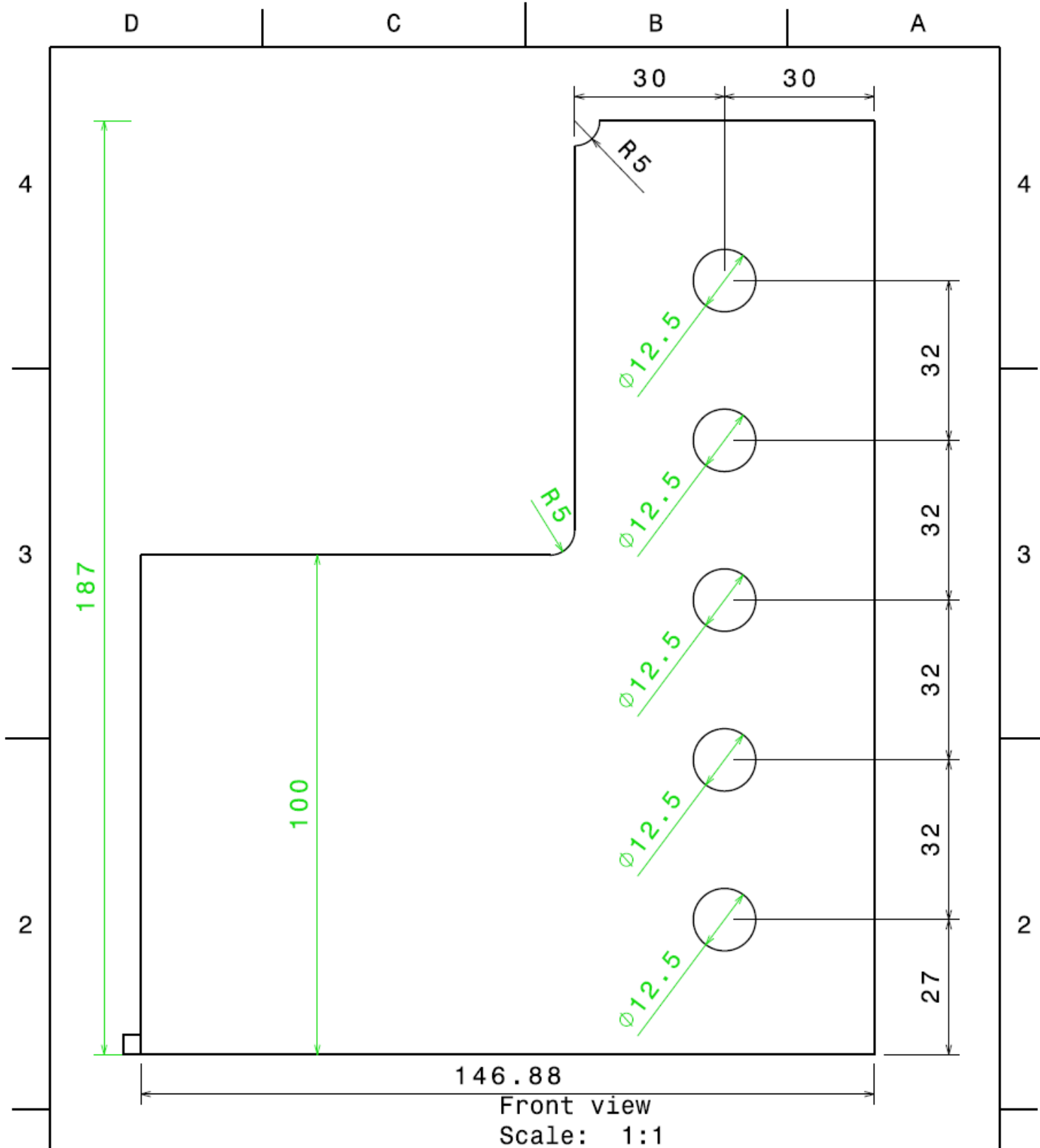


Isometric view
Scale: 1:1

		S355				
Osa	3	Taka-akseli ripustukset		Ainevahvuus 4 mm	Laatu	
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy		
ISO 2768-m		1:1	Etu- kiinnike	Opinnäyte		
Piirt.	16.5.2019		OAMK Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero	
Suunn.					3	Lehti
Tark.	J. Ka					Koko A3
Hyv.						
		Massa (kg)				
		1,316				

D

A



S355

Osa	3	Tala-akseli ripustukset	Ainevahvuus 4 mm	2Kpl
-----	---	-------------------------	------------------	------

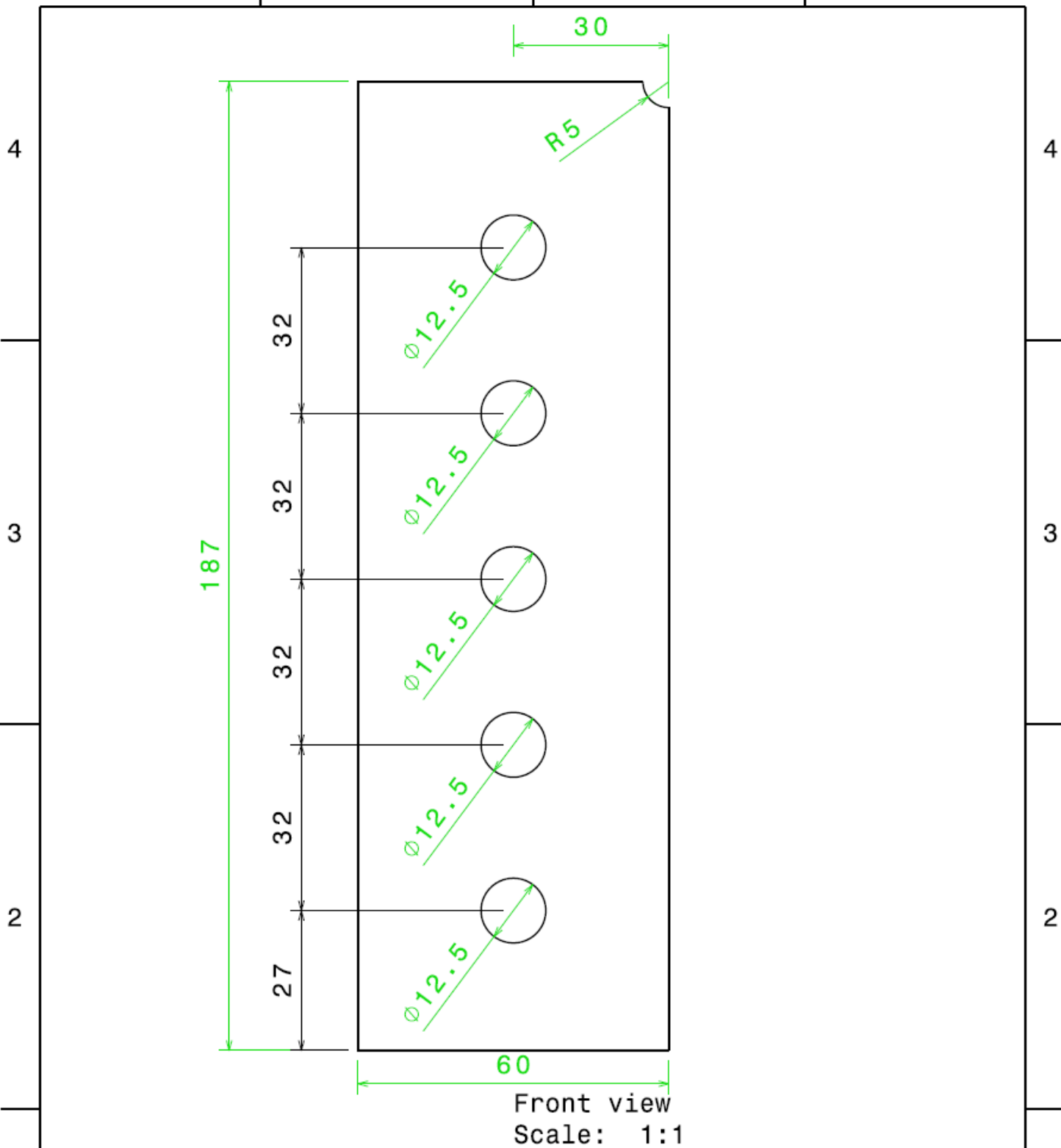
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy
ISO 2768-m	1:1	Etu-kiinnike	Opinnäyte

Piirt.	16.5.2019		OAMK Tekniikan yksikkö	Piirustusnumero	Lehti
Suunn.				3	1 Koko A4
Tark.	J. Ka				
Hyv.					
		Massa (kg)	XXX		

D

A

D C B A



S355			
Osa	3	Taka-akseli ripustukset	Ainevahvuus 4mm
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy
ISO 2768-m	1:1	Etu-kiinnike	Opinnäyte
Piirt.	16.5.2019	OAMK Tekniikan yksikkö	Piirustusnumero
Suunn.	J. Ka		3
Tark.			Lehti
Hyv.			2 Koko A4

D A

D C B A

4

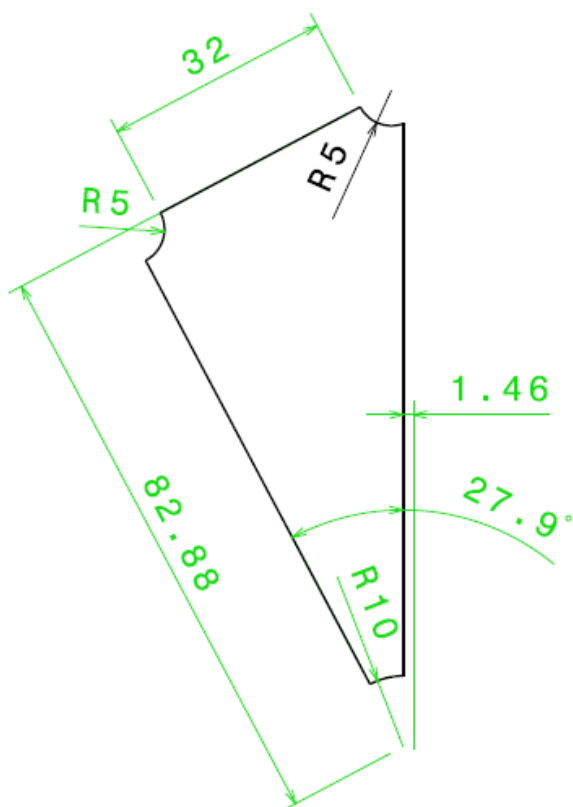
4

3

3

2

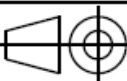
2



Front view
Scale: 1:1

1

1

		S355					
Osa	3	Taka-akseli ripustukset		Ainevahvuus 4 mm	2Kpl		
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy				
ISO 2768-m	1:1	Etu- kiinnike	Opinnäyte				
Piirt.	16.5.2019	 <p>OAMK Tekniikan yksikkö</p>		Piirustusnumero	Lehti		
Suunn.	J. Ka			3	3	3	
Tark.	Massa (kg)						A4
Hyv.	XXX						

D

A

D C B A

4

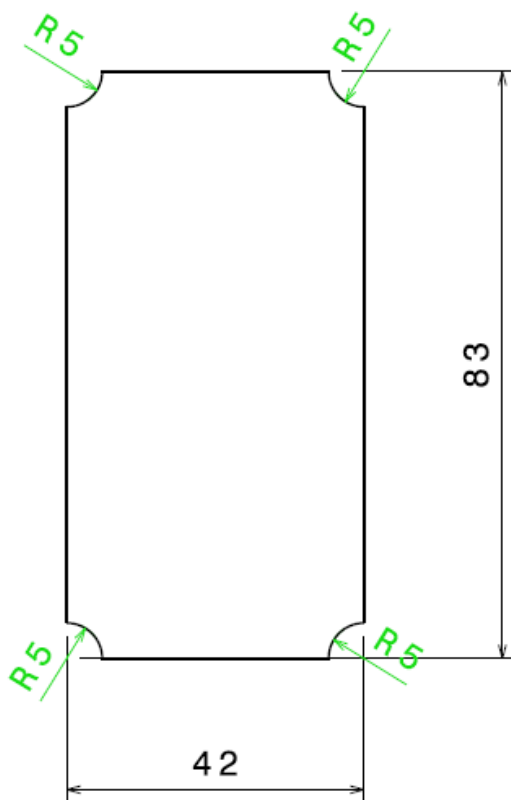
4

3

3

2

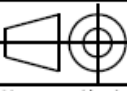
2



Front view
Scale: 1:1

1

1

		S355				
Osa	3	Taka-akseli ripustukset		Ainevahvuus 4 mm	2Kpl	
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy			
ISO 2768-m	1:1	Etu- kiinnike	Opinnäyte			
Piirt.	16.5.2019	 OAMK Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero	Lehti	
Suunn.	J. Ka			3	4	
Tark.	Massa (kg)					A4
Hyv.						

D

A

D C B A

4

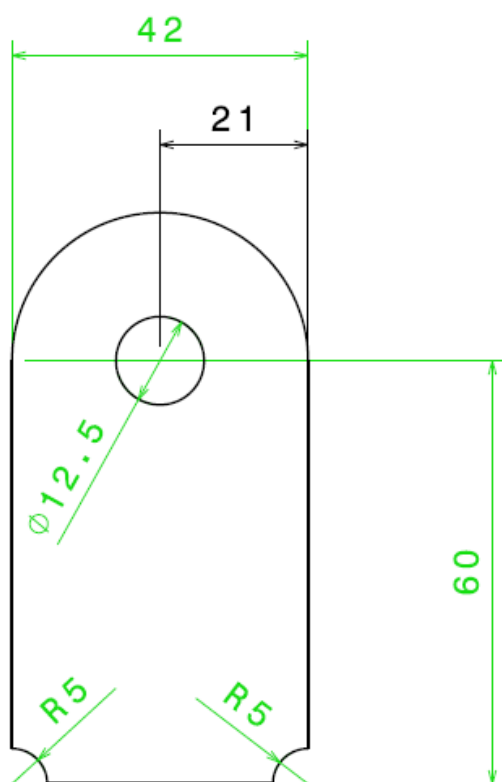
4

3

3

2

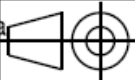
2



Front view
Scale: 1:1

1

1

		S355				
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Etuka-akseli ripustukset		Ainevahvuus 4 mm	2Kp1	
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy			
ISO 2768-m	1:1	Etukiinnike	Opinnäyte			
Piirt.	16.5.2019 Ka	 <p>OAMK Tekniikan yksikkö</p>		Piirustusnumero	Lehti	
Suunn.				3	A4	
Tark.	XXX					Koko
Hyv.	XXX					
	Massa (kg)					
	XXX					

D

A

D C B A

4

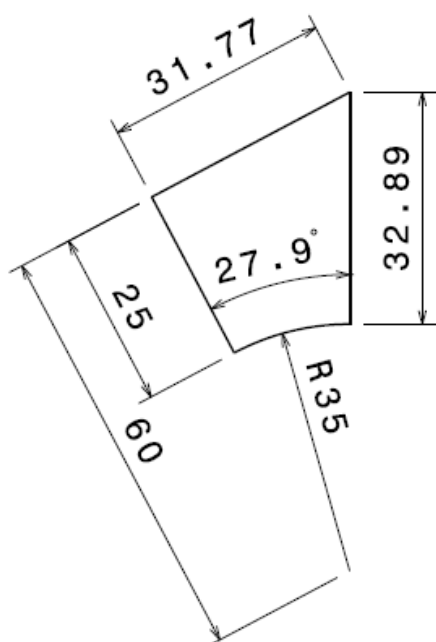
4

3

3

2

2



Front view
Scale: 1:1

1

1

		S355				
Osa	3	Taka-akseli ripustukset		Ainevahvuus 4 mm	2Kp1	
Yleistoleranssit	ISO 2768-m	Mittakaava	1:1	Tuote	Etukiinnike	
				Liittyy	Opinnäyte	
Piirt.	16.5.2019		OAMK Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero	Lehti
Suunn.					3	6 Koko A4
Tark.	J. Ka					
Hyv.						

D

A