

Lauri Leppänen

# RaceAbout - Alustageometria ja ripustukset

Takapää

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Lauri Leppänen RaceAbout – Alustageometria ja ripustukset Takapää 49 sivua + 2 liitettä 8.5.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja	Projekti-insinööri Harri Santamala, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>RaceAbout on Helsingin ammattikorkeakoulu Stadian (nykyisin Metropolia Ammattikorkeakoulu) vuonna 2000 valmistunut kaksipaikkainen avoauto. Autoon on tehty vuosien saatossa lukuisia parannuksia. Autossa on alumiinimonokokki sekä edessä ja takana teräsputkesta valmistetut apurungot. RaceAboutissa käytetään Saabin turbomoottoria, joka on sijoitettu taakse.</p> <p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli suunnitella takapyöränripustukset ja alustageometria Saab 9-3 Aeron pulttikiinnitteiselle navalle sopivaksi. Tuentana käytettiin hyväksi havaittua päällekkäiskolmitukirakennetta. Alustageometrian uudelleen suunnittelulla pyrittiin parantamaan auton ajo-ominaisuuksia ja minimoimaan mm. aerausmuutos sisäänjoustossa. Uudet alustakomponentit valmistetaan alumiinista jousittamattoman massan minimoimiseksi. Uudessa konstruktiossa on pyritty hyödyntämään jo olemassa olevia taka-apurungon kiinnikkeitä sekä uniball-niveliä.</p> <p>Työssä on keskitytty geometrian suunnitteluun, osien mallintamiseen ja suunnitteluun tilankäytön puitteissa sekä kriittisten osien lujuussimulointiin. Työn aikana tehtiin lukuisia eri versioita konstruktiosta.</p> <p>Insinöörityön tavoitteisiin päästiin suurimmaksi osin ja uusi alusta toimineekin vanhaa paremmin. Pyörän kulmamuuтокset jouston funktiona saatiin asetettujen tavoitteiden mukaisiksi ja lisäksi jotkin vanhassa konstruktiossa olleet ongelmat saatiin ratkaistua. Lopullinen testaus on valmistuksen ohella rajattu pois tästä insinöörityöstä ja todellinen onnistuminen nähdään kesällä 2012, kun uudet alustakomponentit saadaan asennettua autoon.</p>	
Avainsanat	Alustageometria, RaceAbout, tukivarsi, olka-akseli

Author Title Number of Pages Date	Lauri Leppänen Rear Suspension Geometry and Rear Ruspension Design of RaceAbout 49 pages + 2 appendices 8 May 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor	Harri Santamala, Project Engineer, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences
<p>RaceAbout is a roadster made by Helsinki Polytechnic Stadia (nowadays Helsinki Metropolia University of Applied Sciences) in 2000. Since 2000 the car has been updated multiple times. The car has an aluminum monocoque and front and rear sub frames made of stainless steel tube. RaceAbout is powered by a turbocharged Saab engine.</p> <p>The objective of this Bachelor's thesis was to redesign the rear suspension geometry and components including double wishbones and uprights to fit Saab 9-3 Aero's wheel hubs. The purpose of redesigning the suspension geometry was to improve the driving features. New components will be made of aluminum to minimize the unsprung mass of the suspension. Already existing components such as rod-end-uniballs and sub frame brackets have been used in the new construction.</p> <p>The main focus of this Bachelor's thesis was on design engineering and FEM simulation. Several different designs were made and the final result turned out as it was meant to be. The new design will most likely work better than the old one but the final results will be seen when the new parts will be manufactured and assembled in the vehicle. The goals were achieved and the new suspension geometry is better than the old one. Toe-in and camber angles have been optimized and some of the components have been updated.</p>	
Keywords	RaceAbout, suspension geometry, wishbone, upright

## Sisälllys

1	Johdanto	1
1.1	RaceAbout	1
2	Lähtötilanne	3
2.1	Ongelma	3
2.2	Rajaus	3
2.3	Lähtöarvot	4
2.4	Tuotetekniikan innovaatioprojekti	5
2.5	3D-mittaukset	5
3	Alustageometrian suunnittelu	7
3.1	Adams 3D	7
3.2	Saavutetut kulmamuutokset	9
4	Osien suunnittelu	10
4.1	Catia V5	10
4.2	Vertailua eri konstruktioiden välillä	11
4.2.1	Alkuperäinen konstruktio	11
4.2.2	Tuotetekniikan innovaatioprojektin mukainen suunnitelma	14
4.2.3	Häränsilmä-tyyppinen pallonivel	16
4.2.4	Lopullinen konstruktio	17
4.3	Suunnittelua rajoittaneet ongelmat	18
4.4	Olka-akseli	19
4.5	Alatukivarsi	20
4.6	Ylätukivarsi	21
4.7	Raidetanko	23
4.8	Iskunvaimentimen kiinnitys	25
4.9	Nivelet	26
4.9.1	Uniball-nivelet	28
4.9.2	Nissanin pallonivel	29
4.10	Kokoonpano	31
4.11	Materiaalivalinnat	34
4.12	Mittapiirroukset	35

4.13	Säädöt	35
5	Lujuuslaskelmat ja -simulointi	37
5.1	Abaqus-simulaatio	37
5.2	Simuloinnissa käytetyt voimat	39
5.3	Pitkittäisvoimat	41
5.4	Sivuttaisvoimat	43
5.5	Kiristysmomenttien laskeminen maksimikitkavoiman avulla	45
5.6	Navan kiristysmomentti	46
6	Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet	47
6.1	Tavoitteiden saavuttaminen	47
6.2	Aikataulu	47
6.3	Jatkokehitys	48
	Lähteet	49
	Liitteet	
	Liite 1. Takaolka-akselin lähtötiedot, Mikko Karppinen	
	Liite 2. Valmistettavien osien mittapiirrokset	

## 1 Johdanto

RaceAbout on Helsingin ammattikorkeakoulu Stadian (nykyisin Metropolia Ammattikorkeakoulu) oppilastyönä rakentama kaksipaikkainen roadster-tyyppinen avoauto. Tämä insinöörityö on jatkoa yhdeksälle RaceAboutista aiemmin tehdyille insinöörityöille. Työn lukijalta odotetaan ymmärrystä ajoneuvon auras- ja camberkulmista sekä hieman yleistä teknistä tietämystä.

Tässä työssä pyrittiin suunnittelemaan toimiva konstruktio uusien pyörännapojen ympärille sekä parantamaan ajo-ominaisuuksia optimoimalla alustageometriaa. Myös jotkin vanhat alustakomponentit haluttiin korvata laadukkaammilla ja paremmin toimivilla osilla.

Tässä työssä selvitetään aluksi lähtötilannetta ja suunnittelussa huomioitavia seikkoja sekä käydään läpi tavoitteita. Seuraavissa luvuissa käsitellään alustageometrian suunnittelua sekä osien mallinnusta sekä vertaillaan eri konstruktioita. Työssä selvitetään myös jokainen suunniteltu komponentti. Sen jälkeen käydään läpi voimien ja kiristysmomenttien laskentaa sekä lujoussimulointia. Lopuksi pohditaan työn onnistumista sekä tavoitteiden saavuttamista. Viimeiseksi käsitellään auton jatkokehitystä.

### 1.1 RaceAbout

RaceAbout painaa kuljettajan ja apukuljettajan kanssa n. 1000 kg, ja siinä on Saabin noin 280-hevosvoimainen turbomoottori. Auton teho-paino-suhde on siis varsin hyvä ja, sillä ajetaankin paljon rata-ajoa. Autossa on alumiinimonokokki sekä ruostumattomasta teräsputkesta valmistetut etu- ja taka-apurungot. Auto valmistui vuonna 2000, ja siihen on sen jälkeen tehty useita parannuksia. Vuosina 2002 ja 2005 autoon tehtiin suuremmat päivitykset, jolloin mm. taka-apurunko suunniteltiin uudelleen. Auto on ollut myös Valmet Automotivella Geneven autonäyttelyssä, jota ennen auto sai nykyisen oranssin värin ja uudet kevyemmät vanteet. Auto on Suomen tieliikenteeseen hyväksytty ja rekisteröity rekisterinumerolla RA-2.

Auton käytöstä ja ylläpidosta vastaa RaceAbout Club Ry, joka on myös vastaavana op-pilastyönä valmistetun E-RA-sähköautohankkeen idean takana. RaceAbout Club Ry oli tämän insinööriyön tilaaja.

## 2 Lähtötilanne

### 2.1 Ongelma

Ratkaistava ongelma oli takapyöränlaakereiden väljistyminen muutaman sadan ajokilometrin jälkeen. Suunnittelun lähtökohtana oli rakentaa uusi olka-akseli Saab 9-3 Aeron pulttikiinnitteisen navan ympärille vanhan Saab 9000 -mallin navan sijaan. Uudemman mallin navan toivottiin ratkaisevan laakeriin liittyvä ongelma. Uuden olka-akselin myötä katsottiin järkeväksi suunnitella myös tukivarret ja raidetanko uudelleen.

Saab 9-3:n navat hankittiin ensimmäisenä projektin käynnistyessä, jotta ne voitiin mallintaa tietokoneella ja aloittaa osien suunnittelu niiden ympärille.

Vanhassa konstruktiossa alatukivarsi ja raidetanko muodostivat yhdessä ns. Z-tukivarren, jossa raidetangon kiinnitys oli suoraan alatukivarressa ja väliin vaadittiin uniball-nivel, mikä teki tukivarresta turhan monimutkaisen näköisen.

Takatuentojen katsottiin muilta osin toimivan riittävän hyvin, joten jo olemassa olevia kiinnityspisteitä päätettiin hyödyntää myös uudessa konstruktiossa. Myös alustageometrian säätöjen katsottiin olevan vähintäänkin riittävät ja päätettiinkin, että uudessa konstruktiossa tulee olla noin vastaavat säätömahdollisuudet.

### 2.2 Rajaus

Insinööriytyö päätettiin rajata osien ja geometrian suunnitteluun, joten valmistus ja koaminen rajattiin pois. Myös lopullisen konstruktion ratatestaus päätettiin rajata insinööriytyön ulkopuolelle lähinnä aikataulun vuoksi. Suunnittelussa on toki kiinnitetty huomiota valmistusteknisiin seikkoihin, mutta itse valmistus jätettiin Metropolian kone-tekniikan laboratorion tehtäväksi.

Tämän insinööriytyön tekijä tulee todennäköisesti olemaan mukana uuden alustan koamisessa ja testauksessa mutta itse insinööriytyössä aiheita ei käsitellä.



### 2.3 Lähtöarvot

RaceAbout Club Ry:n puheenjohtaja Mikko Karppinen toimitti syksyllä 2010 listan olka-akselin suunnittelussa huomioitavista asioista (liite 1). Materiaaliksi Karppinen oli jo valinnut EN AW-7075 -alumiiniseoksen T6-pinnoitteella, joka valittiin myöhemmin myös tukivarsien materiaaliksi.

Konstruktion tuli kestää täyskiihdytyksen aiheuttama voima, 1,2 G:n jarrutuksessa aiheutuva negatiivinen kiihtyvyys sekä yhdistetty rasitus, joka aiheutuu esimerkiksi kaarteissa esteeseen tai kuoppaan ajettaessa. Järkeväksi arvoksi viimeksi mainittuun Karppinen oli arvioinut 5 G:n pystysuuntaisen kiihtyvyyden ja 5 G:n sivuttaiskiihtyvyyden.

Karppisen vaatimusten mukaan cambermuutoksen tuli olla 50 mm sisäänjoustossa n. 1–1,5 astetta, joka kuitenkin nostettiin myöhemmin 2 asteeseen. Aurasmuutos jouston funktiona tuli minimoida ja tähän käytettiinkin paljon aikaa projektin aikana. KPI-kulman toivottiin olevan negatiivisen puolella hyvän ajokäytöksen saavuttamiseksi. Kalistuskeskiön toivottiin pysyvän suurin piirtein ennallaan.

Jarrulevyt, -satulat ja vanteet tuli säilyttää vanhasta konstruktiosta. Myös tukivarsien sisäkiinnityspisteet tuli pitää ennallaan, kun taas pyörän puoleiset nivelpisteet olivat vapaasti valittavissa.

Iskunvaimentimelle tuli huomioida riittävä tila vetoakseliin nähden mutta sen sijoittelu oli muuten vapaasti valittavissa, kunhan geometria ja iskunvaimentimen liikematka pysyisi järkevänä.

Karppisen mukaan viranomaisille tuli myös toimittaa riittävä todistus lujuudesta eli käytännössä FEM-dokumentti. Insinööriyön puitteissa vaadittava lujuussimulointi ja –laskenta myös suoritettiin.

Myös osan valmistettavuuteen tuli jo Karppisen vaatimusten mukaan kiinnittää huomiota. Olka-akselista olisi haluttu symmetrinen, jotta kerralla ei olisi tarvittu kuin yksi varaosa, joka olisi käynyt kummalle puolelle tahansa. Symmetrisyydestä päätettiin kuitenkin luopua kolmannen vuoden innovaatioprojektin jälkeen sen rajattua osan suunnittelua liikaa. Symmetrisyys olisi myös aiheuttanut ylimääräistä painoa ja kun kyseessä on au-

tossa jousittamattomaksi massaksi laskettava komponentti, tulee se saada mahdollisimman kevyeksi.

Olka-akselissa tuli käyttää isoja säteitä, jotta se olisi helppo koneistaa ja myös muotoiluun tuli kiinnittää huomiota siten, ettei osaa tarvitsisi kääntää liian montaa kertaa koneistettaessa. Kaikki tämä vaikuttaa oleellisesti valmistettavan osan hintaan, joten suunnittelussa tuli paneutua myös näihin asioihin.

Valmistajaksi kaavailtiin Sarlin Race Teamiä, jolla on kokemusta vastaavien komponenttien suunnittelusta ja valmistuksesta mutta lopulta kaikki osat päätettiin valmistaa Metropolian konetekniikan laboratoriossa.

#### 2.4 Tuotetekniikan innovaatioprojekti

Alustan suunnittelu käynnistyi alunperin tuotetekniikan innovaatioprojektina syksyllä 2010. Ryhmään kuului koko projektin ajan ryhmänjohtajana toimineen allekirjoittaneen lisäksi Henri Turunen, Joonas Savolainen, Jaakko Vähäsarja ja Juuso Reinikka. Myös Oskari Åvall oli aluksi ryhmässä jäsenenä mutta hän jäi pois projektista syksyn aikana. Projekti lähti lopulta hyvin käyntiin ja ryhmä saikin puolessa vuodessa paljon aikaan. Tämän työn tekijä vastasi yhdessä Vähäsarjan kanssa alustageometrian suunnittelusta muiden vastatessa 3D-mallinnuksesta. Käytännössä kaikki ryhmän jäsenet tekivät kuitenkin kaikkia tehtäviä ja voidaankin sanoa ryhmän toimineen kaikin puolin hyvin. Loppusyksystä 2010 Turunen sai tehtäväkseen silloisen olka-akselimallin lujuussimuloinnin, missä hän pääsikin hyvään lopputulokseen.

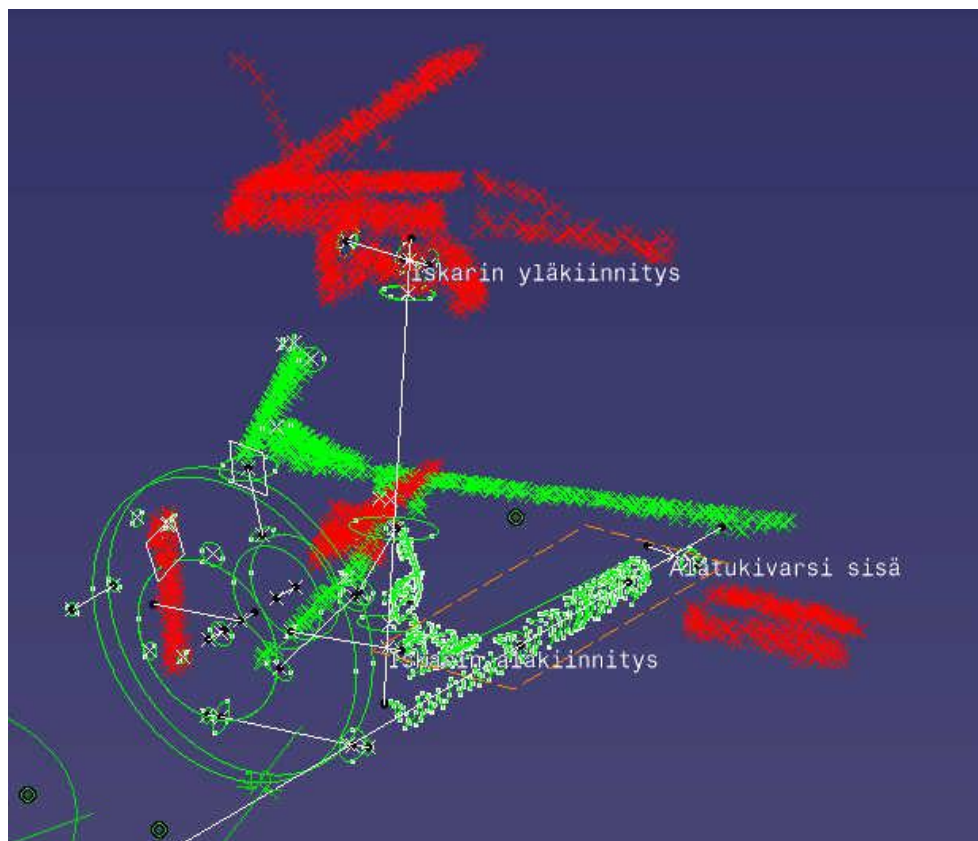
Projektia ei kuitenkaan saatu valmiiksi aikataulussa, joten se päätettiin jatkaa loppuun tässä insinööriyössä. Käytännössä kaikki oleelliset osat ja alustageometria suunniteltiin uudelleen insinööriyön yhteydessä mutta tuotetekniikan innovaatioprojektin puitteissa suunniteltuja osia voitiin käyttää esimerkiksi mitoituksen mallina.

#### 2.5 3D-mittaukset

Suunnittelun lähtökohtana käytettiin kolmannen vuoden innovaatioprojektin puitteissa suoritettuja mittauksia. Aluksi alustageometriaa yritettiin hahmottaa mekaanisin mitta-

laittein mm. rulla- ja työntömitalla mutta nopeasti havaittiin, ettei niillä saavuteta vaadittua tarkkuutta. Helposti irrotettavat osat pystyttiin kuitenkin mallintamaan riittävän tarkasti mekaanisin mittalaittein. Alustamittauksissa päätettiinkin käyttää 3D-mittalaitetta, jolla nivelpisteet saatiin tarkasti mallinnettua reaaliajassa tietokoneelle (kuva 1). Tarkkojen mittausten vaikutus korostuu alustageometrian suunnittelussa, jossa muutamankin millimetrin muutos voi tarkoittaa aurauksen kääntymistä haritukseen. Samasta syystä suunnittelussa ei haluttu tyytyä Rummukaisen ja Vildénin vuonna 2005 tekemään Catia-malliin.

Mittaukset suoritettiin yhdessä Vähäsarjan kanssa. Mittauksissa auto oli nosturilla ja pyörä oli otettu irti, minkä takia alusta oli ulosjoustoasennossa. Osat ja alustageometria haluttiin kuitenkin suunnitella ajokorkeuteen sopivaksi, joten alustageometria mallinnettiin Adams-simulointiohjelmalla ja nostettiin ohjelman avulla ajokorkeuteen.



Kuva 1. 3D-mittalaitteella saadut tulokset Catia-ohjelmassa. Näihin mittaustuloksiin koko suunnitteluprojekti pohjautui.

### 3 Alustageometrian suunnittelu

#### 3.1 Adams 3D

Alustageometrian suunnittelussa käytettiin Adams Aview -ohjelmaa, jonka käyttöön saatiin Teknillisestä korkeakoulusta ohje. Ohjeessa suunniteltiin melko vastaava pyöränripustus, johon voitiin myöhemmin asettaa nivelpisteet 3D-mittausten mukaisesti (kuva 2). Ainakaan autoinsinööriopintoihin ei kuulu Metropoliasa Adams-kurssia, joten sen käyttö jouduttiin opettelemaan itsenäisesti.

Adams ei ole käytettävyydeltään läheskään yhtä hyvä kuin esimerkiksi Catia, mutta silti sillä voidaan kohtalaisen helposti simuloida ja mitata erilaisia liikeratoja ja kulmamuu-  
toksia.

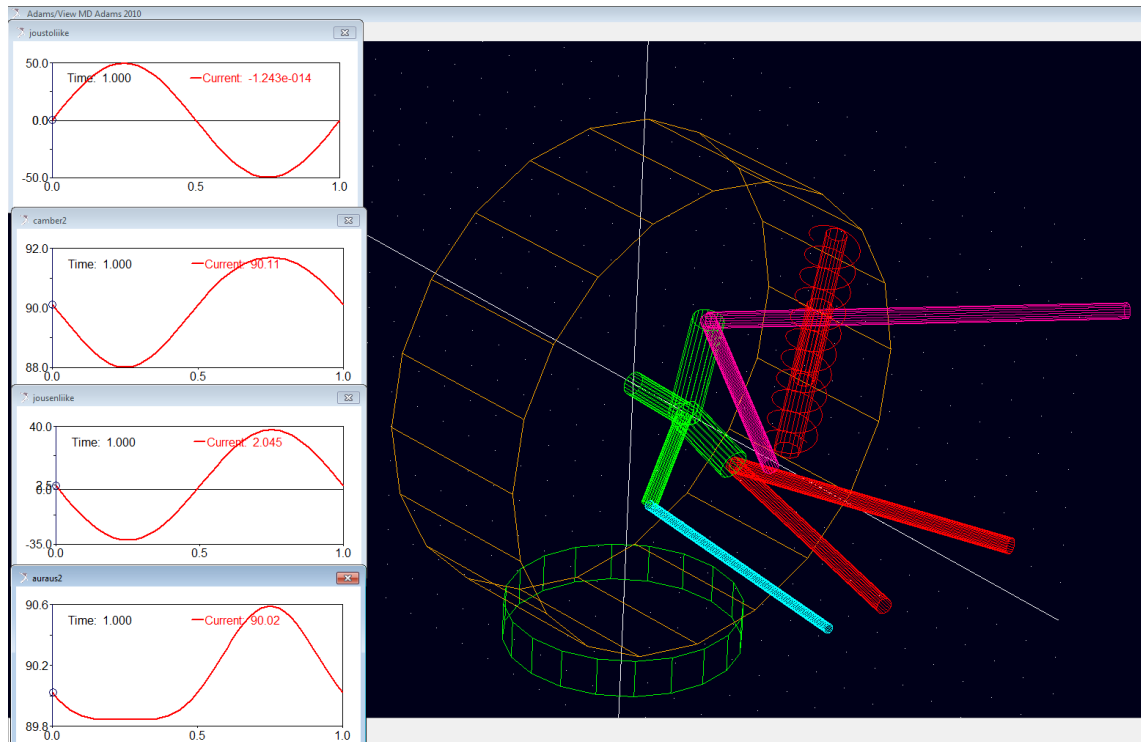
Adamsissa on myös olemassa Adams Car-toiminto, jossa on valmiita alustakonstruktioita, joista on helppo muokata mieleinen. Adams Car olisi ollut simuloinnin osalta parempi mutta myös Aview 'llä päästiin niin ikään hyvään lopputulokseen.

Itse simulaatio rakennettiin siten, että renkaan alla on hydropulsaattori, joka liikuttaa rengasta siniaallon mukaisesti kaavalla

$$50 \times \sin(2\pi t)$$

jossa arvo 50 kuvaa aallon amplitudia millimetreissä. Arvoa muuttamalla renkaan liike-  
matkaa voidaan suurentaa tai pienentää. 50 mm:n joustoliike staattisesta tilanteesta katsottiin järkeväksi arvoksi ja kulmamuu-  
toksia tutkittaessa keskityttiin etenkin 50 mm sisäänjoustotilanteeseen. Sisäänjoustossa renkaan päällä on suurin massa ja kulma-  
muutokset ovat kriittisimpiä. 50 mm:n ulosjoustotilanteessa rengas hädin tuskin kos-  
kettaa maata, joten tilanteen kulmamuu-  
tokset eivät ole niin oleellisia.

Simulaatiossa olka-akselin nivelpisteitä muuttamalla rengas ja korin kiinnityspisteet pysyvät paikallaan mutta tukivarsien ja raidetangon pituus muuttuu, jolloin ohjelma osaa laskea uudet liikeradat oikein.



Kuva 2. Adamsilla mallinnettu auton alustageometria. Nivelpisteet haettiin käyttämällä 3D-mittauksessa saatuja arvoja.

Kun olemassa olevat mittapisteet oli saatu siirrettyä ohjelmaan, voitiin tutkia sen hetkiä kulmamuutoksia. Hyvin nopeasti todettiin, että kulmamuutokset voisivat olla huomattavasti paremmatkin, joten uusia nivelpisteitä alettiin etsiä. Tämä tarkoitti samanaikaisesti myös sitä, että tukivarret oli pakko suunnitella uudelleen, sillä vanhat eivät enää sopisi uusiin mittoihin.

Adamsissa on olemassa optimointityökalu, joka hakee määrättyltä alueelta parhaiten kriteerejä vastaavan pisteen. Ominaisuutta ei kuitenkaan käytetty, vaan nivelpisteet (taulukko 1) etsittiin manuaalisesti kokeillen. Käytännössä esimerkiksi raidetangon rungonpuoleista nivelpistettä muutettiin muutama millimetri suuntaan tai toiseen ja katsottiin simulointiin tehdystä mitasta, muuttuuko geometria parempaan vai huonompaan suuntaan. Paremman suunnan muuttuessa huonommaksi palattiin takaisin edelliseen arvoon ja haettiin pienemmillä muutoksilla optimaalinen nivelpiste.

Yhteinen koordinaatisto Adamsin ja Catian välillä mahdollisti sen, että hyvien nivelpisteiden löytyttyä ne voitiin suoraan siirtää Catiaan ja osia pystyttiin suunnittelemaan oikeille paikoilleen oikeassa mittakaavassa.

Taulukko 1. Lopulliset Adamsilla haetut nivelpisteet, jotka voitiin siirtää suoraan Catiaan. Kaikki oleelliset nivelpisteet nimettiin, jotta niitä oli helppo seurata ja muuttaa.

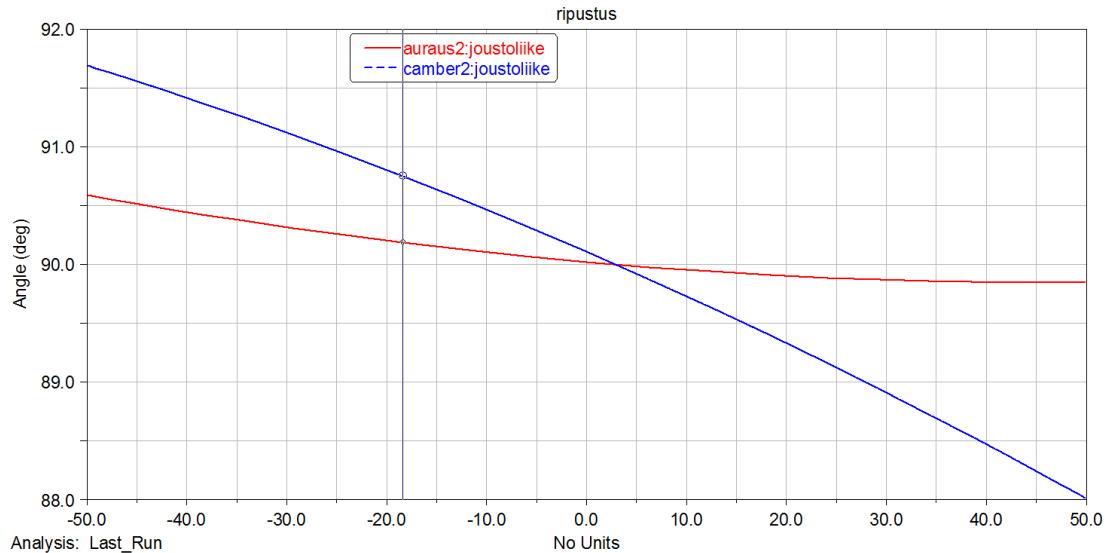
	Loc_X	Loc_Y	Loc_Z
alatukivarsi.jousen_ala_kiinnityspist	380.883	297.277	373.8135
ground.olka_akseli_ulko	315.486	322.227	163.652
ground.POINT_31	315.486	15.0	163.652
ground.olka_akseli_keski	313.641	320.963	260.068
ground.alatukivarsi_ulko	368.5238	246.761	293.189
ground.ylatukivarsi_ulko	310.779	466.187	297.415
ground.alatukivarsi_sisa_taka	274.55	244.663	664.449
ground.alatukivarsi_sisa_etu	478.639	259.704	668.301
ground.ylatukivarsi_sisa_taka	159.457	434.098	576.707
ground.ylatukivarsi_sisa_etu	806.306	415.739	521.142
ground.raidetanko_ulkopaa	233.76099	234.0	290.043
ground.raidetanko_sisapaa	184.55	244.663	664.449
ground.iskarinylakiinnitys	380.881	617.722	439.133

### 3.2 Saavutetut kulmamutokset

Maksimiauhausmuutos on sisäänjoustossa n. 0,2 astetta ja ulosjoustossa hieman yli 0,5 astetta haritusta (Kuva 3). 50 mm:n ulosjoustotilanteessa tulee kuitenkin huomioida, että pyörä on lähes tai kokonaan ilmassa, eikä sen asennolla ole juurikaan merkitystä. Auhausmuutos saatiin geometriaa haettaessa jo 0,04 asteeseen, mutta nivelpisteitä oli pakko muuttaa, sillä pulteja ei olisi saanut kiinnitettyä. Kyseinen seikka ei ollut helposti havaittavissa pelkistä sylintereistä koostuvassa Adams-mallissa vaan se havaittiin vasta myöhemmin Catia-kokoonpanossa. 0,2 asteen auhausmuutos sisäänjoustossa on kuitenkin varsin normaali arvo.

Camberkuvaajasta (kuva 3) saatiin melko lineaarinen, joten se muuttuu tasaisesti jouston kasvaessa. Lopullinen arvo 50 mm:n sisäänjoustossa on noin 2 astetta negatiivista camberia, joka vastaa täysin lähtöarvoissa annettuja vaatimuksia. Negatiivisella camberilla saadaan kaarreaossa ulommalle pyörällä enemmän pitoa, jolloin rata-ajossa saadaan parempia kierrosaikoja. Cambermuutos jouston yhteydessä on parempi kuin suuri lähtöcamber, sillä tällöin suoraan ajettaessa ei jouduta tinkimään pitkäikäispidosta. 50 mm:n ulosjoustossa cambermuutos on noin 1,5 astetta positiivista

camberia, mikä parantaa kaarreaajossa sisemmän pyörän pitoa. Ulosjoustossa tulee kuitenkin huomioida sama seikka kuin aurausmuutoksessa, eli tilanteella ei ole suurta merkitystä sisäänjoustoon verrattuna.



Kuva 3. Kuvaajassa punaisella esitettyä aurausmuutos- ja sinisellä cambermuutos joustoliikkeen funktiona. 0 – arvosta positiiviseen mentäessä simuloidaan sisäänjoustoa ja vastaavasti negatiiviselle mentäessä simuloidaan ulosjoustoa.

KPI-kulma olisi haluttu negatiiviseksi mutta siihen ei päästy. Negatiivinen KPI olisi vaikuttanut merkittävästi kappaleen muotoon ja tehnyt siitä painavamman. Nyt ala- ja yläpallonivelet ovat lähes samalla pystyakselilla, joten jarrutustilanteessa niveliin kohdistuu harituksensuuntainen momentti.

Kallistuskeskiötä ei laskettu uudelleen, sillä sen katsottiin pysyvän lähes ennallaan. Takatuennoissa on hieman positiivista casteria mutta sillä ei ole merkitystä, sillä caster-kulma vaikuttaa lähinnä etupäässä ohjaukseen.

## 4 Osien suunnittelu

### 4.1 Catia V5

Osien suunnittelussa, mallintamisessa ja mittapiirrosten laadinnassa käytettiin Dassault Systems -yhtiön Catia V5 R20 Cad -ohjelmaa. Kyseisen ohjelman käyttöä opetetaan

Metropoliassa kattavasti ja AT-luokille kuuluukin kaksi pakollista kurssia kyseisen ohjelman käyttöön.

Ohjelmalla pystytään helposti mallintamaan osia ja liittämään niitä kokoonpanoon. Myös kinematiikan simulointi onnistuu, mutta tässä työssä se toteutettiin alustageometrian suunnittelun yhteydessä Adams 3D-ohjelmalla.

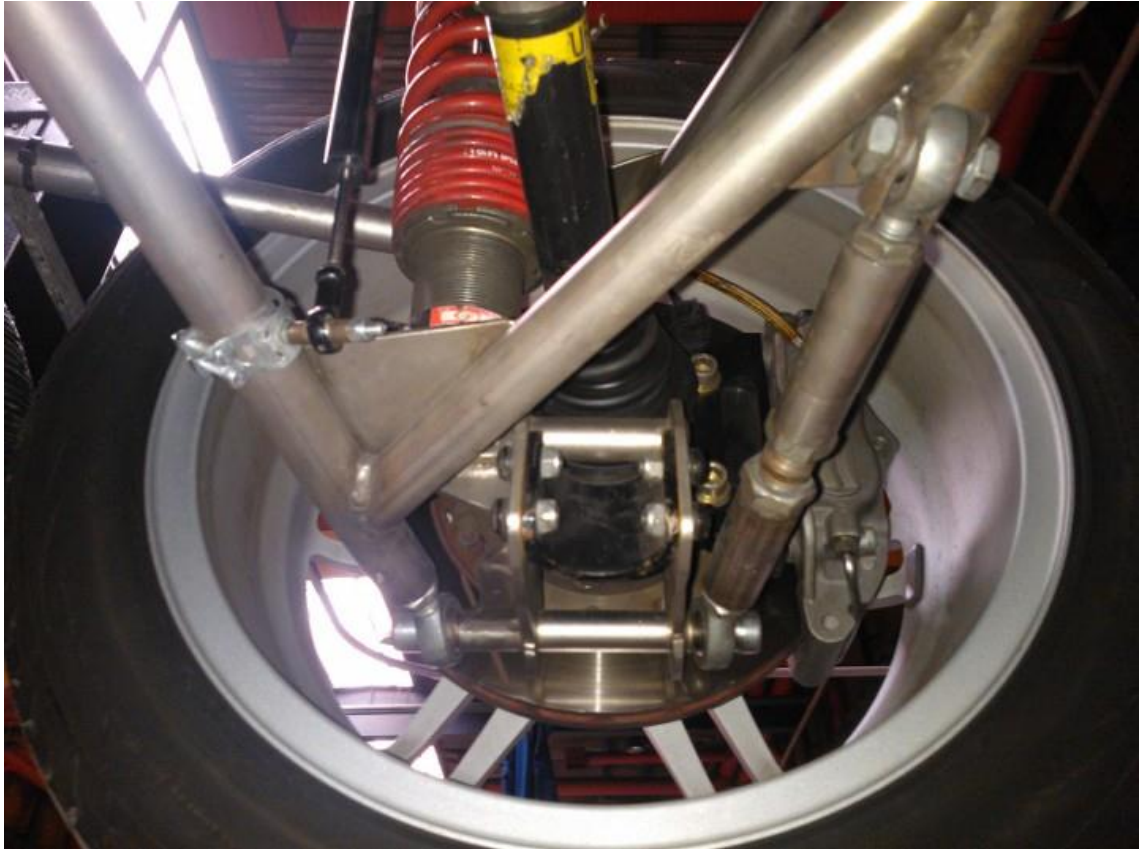
## 4.2 Vertailua eri konstruktioiden välillä

Lopullista konstruktiota edelsi lukuisa määrä erilaisia versioita, joita on esitelty ohessa. Hyvältä vaikuttaneet ideat kariutuivat usein jo olemassa olevien komponenttien sijoitteluun tai nivelten kääntymiskulmien rajoitteisiin.

### 4.2.1 Alkuperäinen konstruktio

Alkuperäisessä konstruktiossa oli käytetty ilmeisesti Saab 9000 -mallin olka-akselia, jonka iskunvaimentimen kiinnityskorvake oli leikattu keskeltä poikki, ja siihen oli tehty iskunvaimentimelle, alatukivarrelle ja raidetangolle erillinen adapterikappale (kuva 4). Myös jarrusatulalle oli tehty erillinen adapterikappale. Kaikki adapterit oli kiinnitetty olka-akseliin pulttiliitoksien.





Kuva 4. Alkuperäinen takaripustus kuvattuna moottorin puolelta alaviistosta. Olka-akseli oli muokattu Saabista ja siihen oli tehty omat adapterikappaleet iskunvaimentimelle, tukivarrelle, raidetangolle ja jarrusatulalle.

Ylätukivarsi oli kiinnitetty olka-akseliin Volkswagen Kuplasta lainatulla pallonivelellä, jolle oli valmistettu ylätukivarteen kiinnitysholkki teräksestä (kuva 5). Saabin alkuperäisessä konstruktiossa olka-akseliin kiinnitetään pallonivelellä RaceAboutista poiketen alatukivarsi eikä ylätukivarsi.

Kaikki tukivarret ja raidetanko oli valmistettu noin 28 mm paksusta rosteriputkesta. Huonona puolena putkea käytettäessä on nivelien sijoitettavuus. Nivelet joudutaan asettamaan suureen kulmaan kiinnitysakseliinsa nähden, jolloin kaikki voima ei välity radiaalisesti.



Kuva 5. Ylätukivarsi kiinnitettyä olka-akseliin Volkswagen Kuplan pallonivelellä.

Alkuperäisessä konstruktiossa raidetanko oli kiinnitetty sisäpäästä alatukivarteen ja tämän vuoksi sen aiheuttamat vaikutukset joustossa tapahtuviin kulmamutoksiin olivat vaikeasti hahmotettavissa. Raidetangon kiinnitys alatukivarteen pallonivelellä aiheuttaa sen, että alatukivarsi vaikuttaa raidetangon kiinnityspisteen sijaintiin ja raidetangon kiinnityspisteessä oleva pallonivel vaikuttaa vielä edelleen raidetangon kulmaan ja etäisyyteen olka-akselin kiinnityspisteeseen verrattuna. Raidetanko oli myös valmistettu useasta erillisestä osasta lähinnä laajojen säätömahdollisuuksien takia. Kuvasta 5 näkee kuitenkin selvästi, että raidetanko taivuu liitoskohdista aiheuttaen sen, että alusta-geometria ei pysy suunnitellunomaisena.

Ylätukivarren etummainen nivel oli alkuperäisessä konstruktiossa suuremmissa kulmassa, kuin mitä nivel olisi pystynyt kääntymään (kuva 6). Tästä syystä ylätukivarteen oli hitsattu holkki, johon nivel oli kiinnitetty. Ongelmana on, että uniball-niveliä ei ole suunniteltu ottamaan vastaan aksiaalista rasitusta, jota suuren kulman seurauksena niveleen kohdistuu. Loiventavana elementtinä mainittakoon kuitenkin, että alustaan vaikuttavat pitkittäiset voimat ovat huomattavasti pienempiä kuin poikittaiset ja pystysuuntaiset.



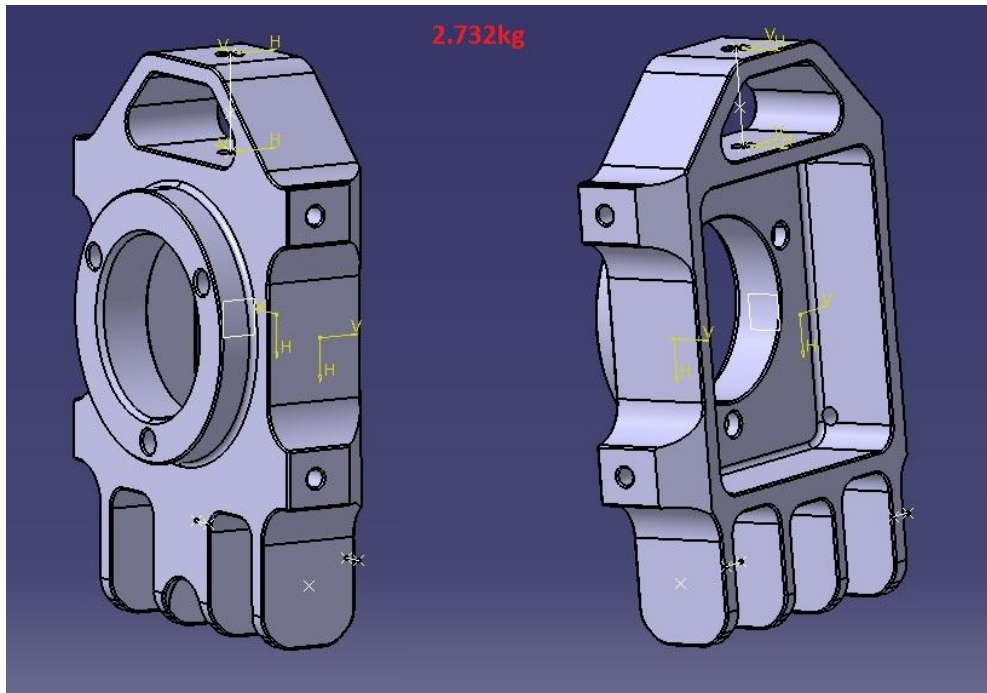
Kuva 6. Ylätukivarteen alkuperäisessä konstruktiossa hitsattu holkki, johon nivel oli kiinnitetty.

#### 4.2.2 Tuotetekniikan innovaatioprojektin mukainen suunnitelma

Tuotetekniikan innovaatioprojektin aikana suunniteltiin symmetristä olka-akselia (kuva 7), jolloin olisi tarvittu vain yksi varaosa kerrallaan. Tukivarret oli tarkoitus valmistaa jo olemassa olevan konstruktion mukaisesti ruostumattomasta teräsputkesta. Ongelmia aiheutti nivelien kääntyminen. On toki olemassa ns. laajakulma-uniball-niveliä mutta ne eivät kestä kuormitusta yhtä hyvin. Symmetrinen muotoilu teki kappaleesta myös raskeamman täysin turhaan.

Ylätukivarren ja olka-akselin väliseksi niveleksi kaavailtiin niin ikään uniballia, joka kiinnitettäisiin eräänlaiseen taskuun. Ylätukivarren nivelen olisi kuitenkin pitänyt kääntyä niin paljon, että olisi jouduttu käyttämään laajakulmaniveltä, ja sellaisen rasituskestävyys todettiin riittämättömäksi. Jotta olisi pystytty käyttämään uniballia, olisi ylätukivarteen jouduttu hitsaamaan jonkinlainen holkki, minkä seurauksena kaikki ylätukivarteen kohdistuvat voimat olisivat välittyneet uniballin kierteen kautta. Voimien välittyminen kierteen kautta aiheuttaa sen, että osien lujuuslaskelmilla ei ole juuri merkitystä, sillä

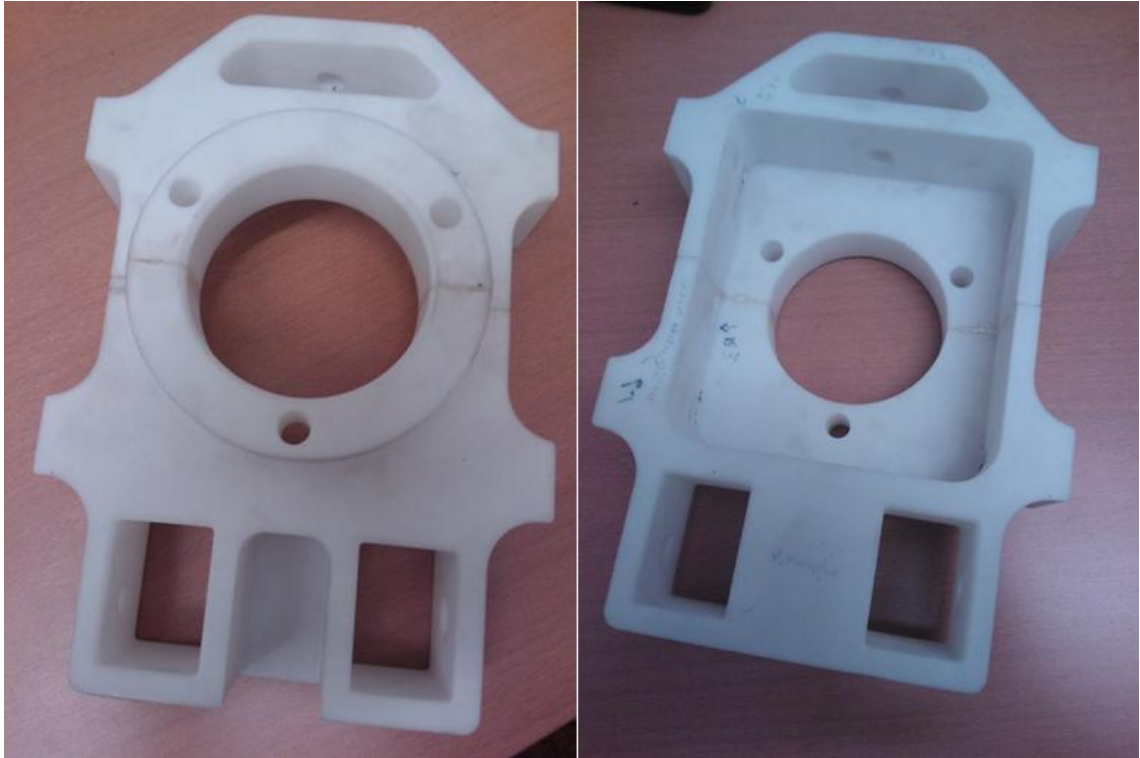
kierre on aina heikoin kohta ja olisi ollut suuri vaara, että liitos olisi rikkoutunut rasituksen seurauksena.



Kuva 7. Tuotetekniikan innovaatioprojektin puitteissa suunniteltu olka-akseli. Osa oli symmetrinen, jolloin se olisi käynyt molemmille puolille. Nivelille on tehty eräänlaiset taskut, jotka vahvistavat rakennetta. Osa olisi painanut n. 2,7 kg.

Olka-akselista valmistettiin koululla muovituloste (kuva 8), jotta voitiin sovittaa mm. navan ja jarrusatulan sopivuutta. Jarrusatulan kiinnitysreikiä päätettiin sovituksen seurauksena siirtää n. 1 mm ulospäin, jotta jarrulevy saadaan keskelle jarrusatulaa. Alkuperäisessä konstruktiossa olleesta jarrusatulan adapterista päätettiin jo projektin alkuvaiheessa päästä eroon ja suunnitelma myös pysyi loppuun asti.

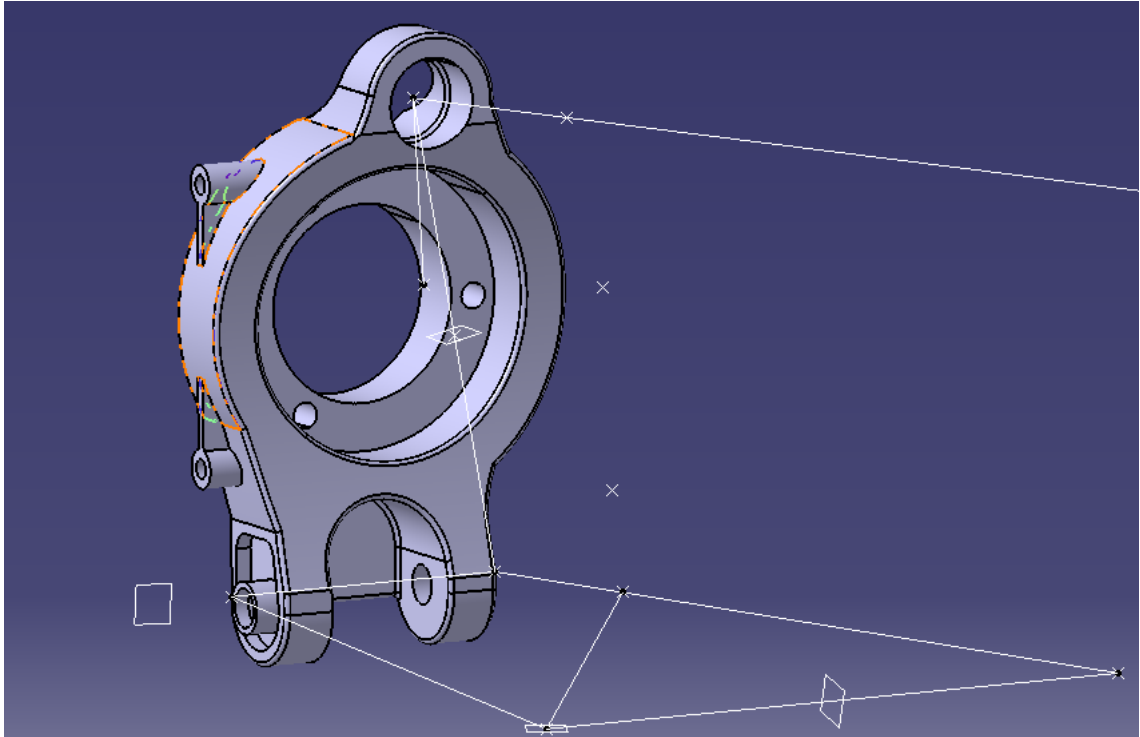
Vaikka lopullinen olka-akselin malli poikkeaaakin täysin muovitulosteesta, voitiin sen mallia käyttää hyödyksi lopullisia mittoja haettaessa (kuva 10, s. 18).



Kuva 8. Tuotetekniikan innovaatioprojektin yhteydessä olka-akselista valmistettiin pikamallit koululla. Malliin oli helppo sovittaa muita kappaleita ja tehdä tarvittavat muutokset.

#### 4.2.3 Häränsilmä-tyyppinen pallonivel

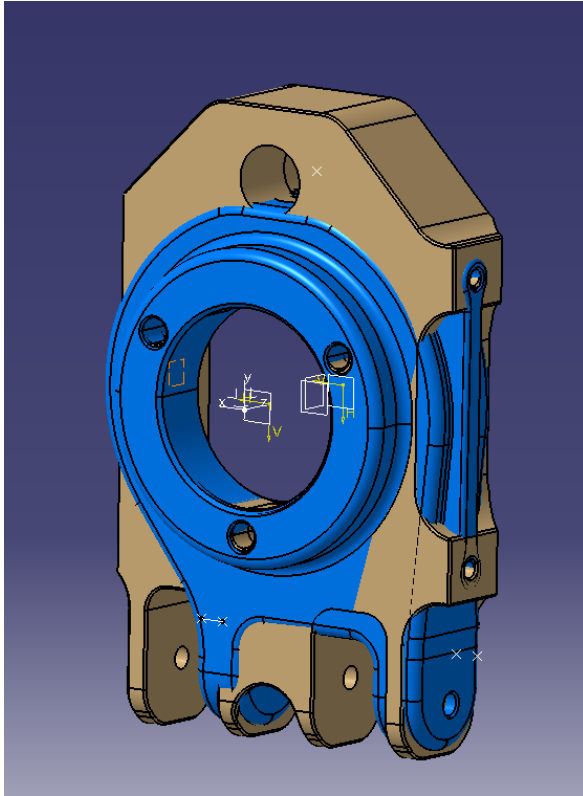
Metropolian teknologiapäällikkö Pekka Hautalan ehdotuksesta tutkittiin mahdollisuutta toteuttaa ylätukivarren ja olka-akselin välinen liitos ns. häränsilmätyyppisellä niveellä (kuva 9). Nivel olisi prässätty suoraan olka-akseliin ja ylätukivarteen olisi koneistettu nivelen reikään sopiva uloke. Tällä toteutuksella olisi vältetty kierteen aiheuttama lujuuden heikkeneminen. Vaihtoehtoa tutkittiin pitkään mutta se haudattiin lopulta nivelen kääntymisen rajoittuneisuuden ja ylätukivarren hankalan muodon takia. Nivel olisi tullut lähtöarvoisesti isoon kulmaan, eikä se olisi enää kääntynyt joustoliikkeen seurauksena tarpeeksi.



Kuva 9. Eräässä suunnitelma. Olka-akseliin ja ylätukivarren välille olisi prässätty häränsilmätyyppinen nivel. Nivel ei kuitenkaan olisi kääntynyt tarpeeksi. Olka-akselin muodot olivat muuten melko lähellä lopullista versiota.

#### 4.2.4 Lopullinen konstruktio

Lopullisessa konstruktiossa käytetään alkuperäisen konstruktion mukaisesti perinteistä palloniveltä eniten ongelmia aiheuttaneessa ylätukivarren kiinnityksessä. Ylätukivartta myös taitetaan, jotta sitä ei jouduta asettamaan liian suureen kulmaan lähtöarvoisesti.



Kuva 10. Sinisellä värillä lopullinen olka-akseli. Osa mallinnettiin kolmannen vuoden innovaatio-projektin pohjalta tehtyä mallia apuna käyttäen. Lopullinen malli on huomattavasti kompaktimpi ja pyöreät muodot vähentävät pintarasiuksia.

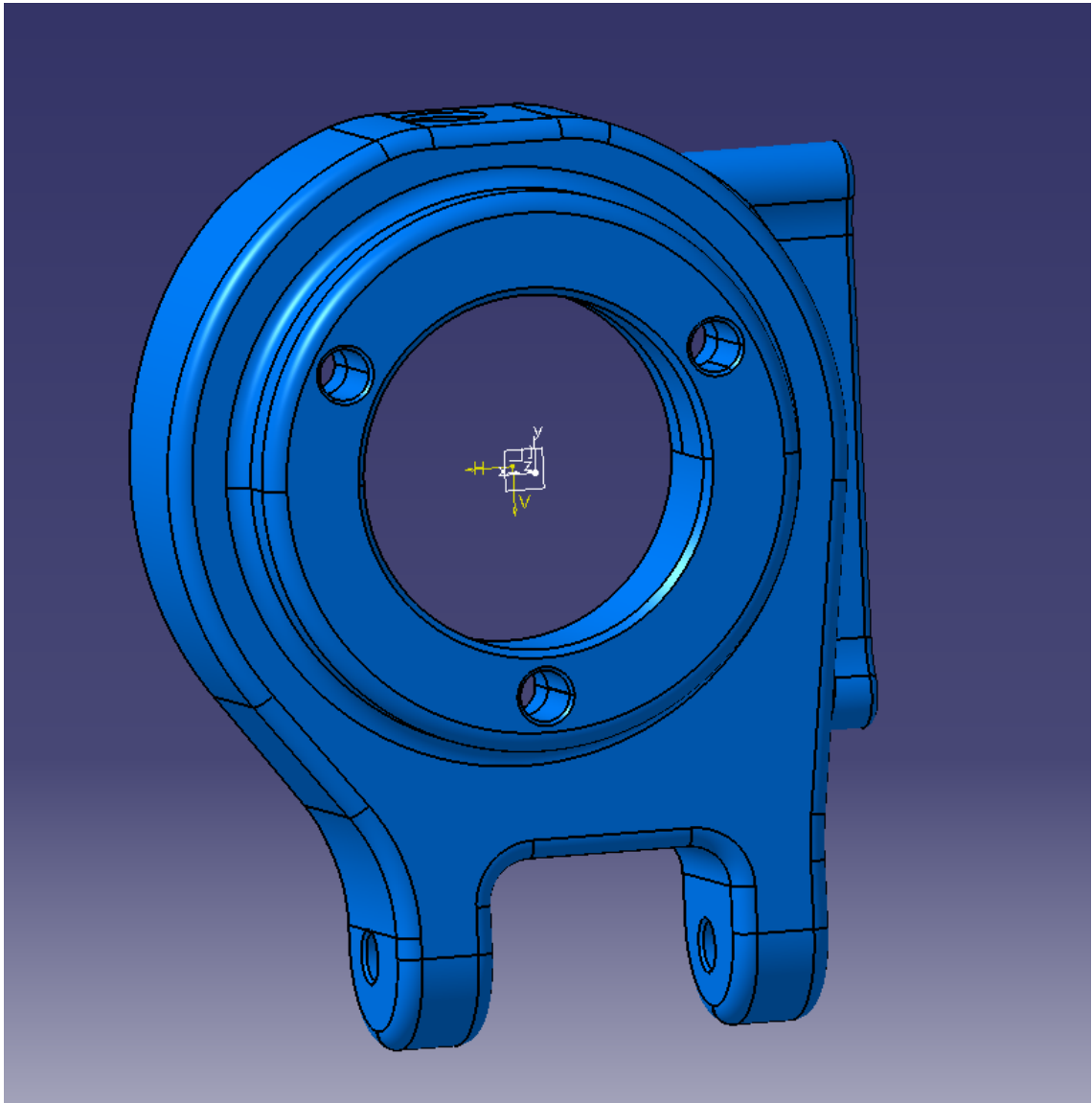
#### 4.3 Suunnittelua rajoittaneet ongelmat

Aluksi olka-akselin toivottiin olevan geometrialtaan symmetrinen, jotta tarvittaisiin vain yksi varaosa mahdollisen rikkoutumisen takia. Ajatuksesta kuitenkin luovuttiin insinööri-työn alkaessa, sillä se rajoitti suunnittelua liikaa. Tässä vaiheessa todettiin, että mikäli uusi olka-akseli tarvitaan, voidaan se edelleenkin koneistaa ja lisäksi osaa lienee järkevää myös muuttaa, mikäli se ei kestä käytöstä aiheutuvaa rasiusta.

Suunnittelua vaikeutti myös se, että aluksi suunniteltiin olka-akseli ja vasta sitten tukivarret. Myöhemmin huomattiin, että suunnitelma olisi kannattanut tehdä päinvastaisessa järjestyksessä, jolloin olisi jouduttu muuttamaan vain yhtä kappaletta kerrallaan. Tukivarren vaikean geometrian seurauksena jouduttiin usein muuttamaan olka-akselia ja sen myötä alustageometriaa, minkä seurauksena kulmamuutoksia piti tarkastella aina uudelleen. Kun tukivarret oli saatu mahtumaan, voitiin keskittyä suunnittelemaan olka-akseli annettuihin nivelpisteisiin sopivaksi.

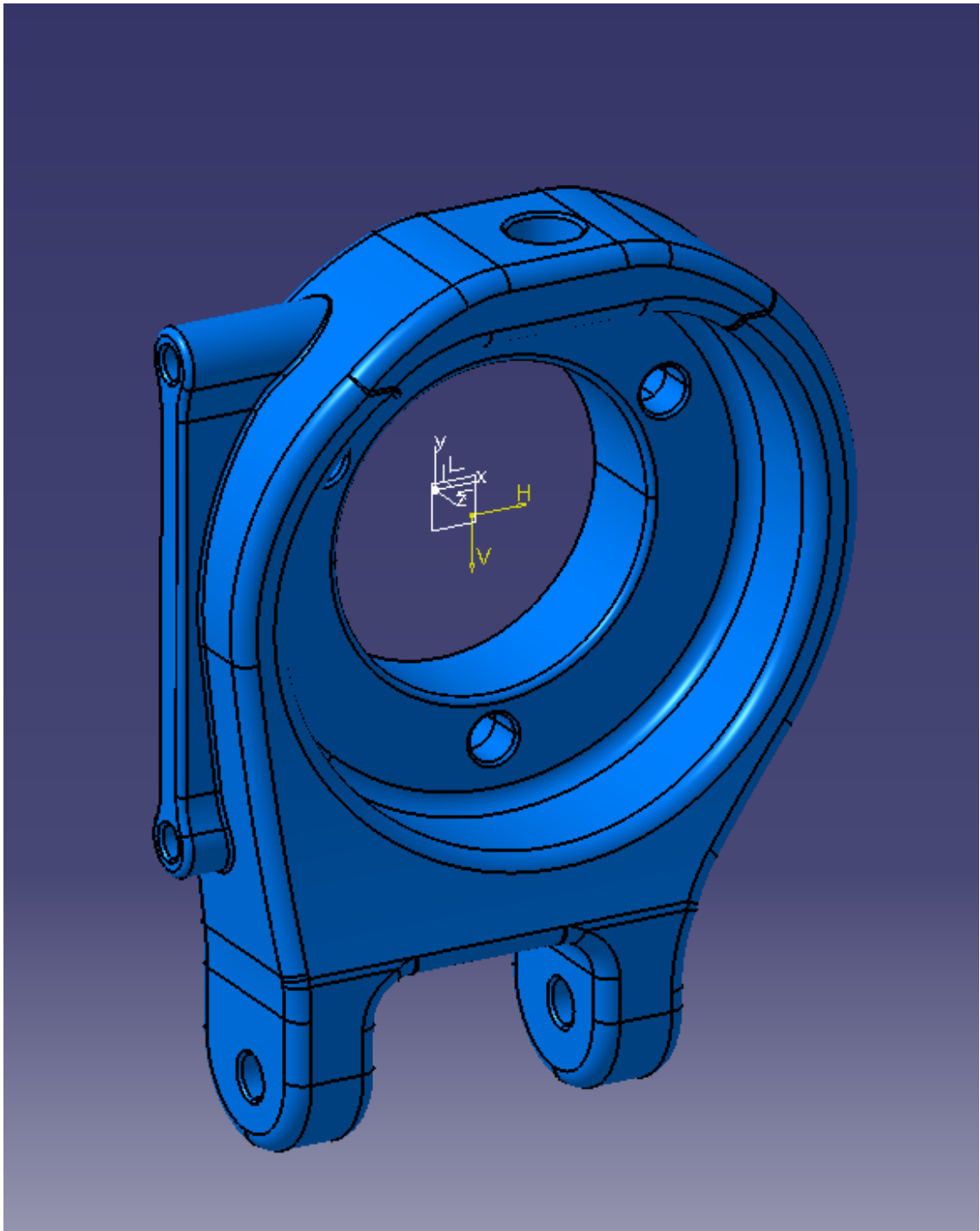
#### 4.4 Olka-akseli

Olka-akseli suunniteltiin yhdestä ahiosta koneistettavaksi (kuvat 11 ja 12). Lopullisessa suunnitelmassa olka-akseli ei ole symmetrinen, vaan toiselle puolelle autoa valmistetaan peilikuva toisen puolen osasta. Olka-akselissa on jarrusatulalle valmis paikka, jossa on kierteet. Olka-akselin muodot ovat pyöreät suurilla säteillä, mikä auttaa osaa kestämään rasituksia hyvin.



Kuva 11. Vasen takaolka-akseli kuvattuna pyörän puolelta. Osassa on valmiit kiinnityskohdat tukivarsille, raidetangolle sekä navalle.



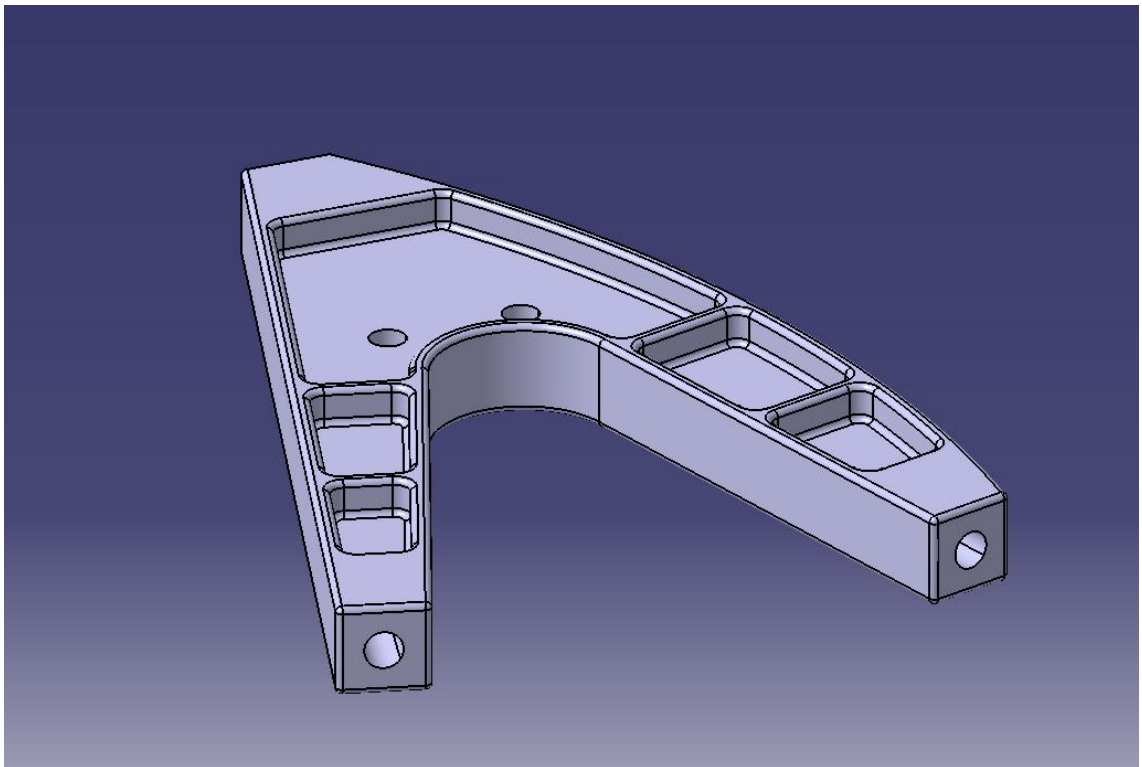


Kuva 12. Vasen taka olka-akseli moottorin puolelta kuvattuna. Kaikki reunat on pyöristetty tai viistetty ja vetoakselin uloimmalle nivelelle on varattu riittävä tila kappaleen sisälle. Ylätukivarsi kiinnitetään olka-akseliin ¼-kartiolla, jonka pohjareikä on noin 15 mm.

#### 4.5 Alatukivarsi

Alatukivarresta jouduttiin suunnittelemaan hieman kaareva, jotta iskunvaimentimen kiinnitys saataisiin tukivarren päälle, ilman että iskunvaimennin koskettaa vetoakselia

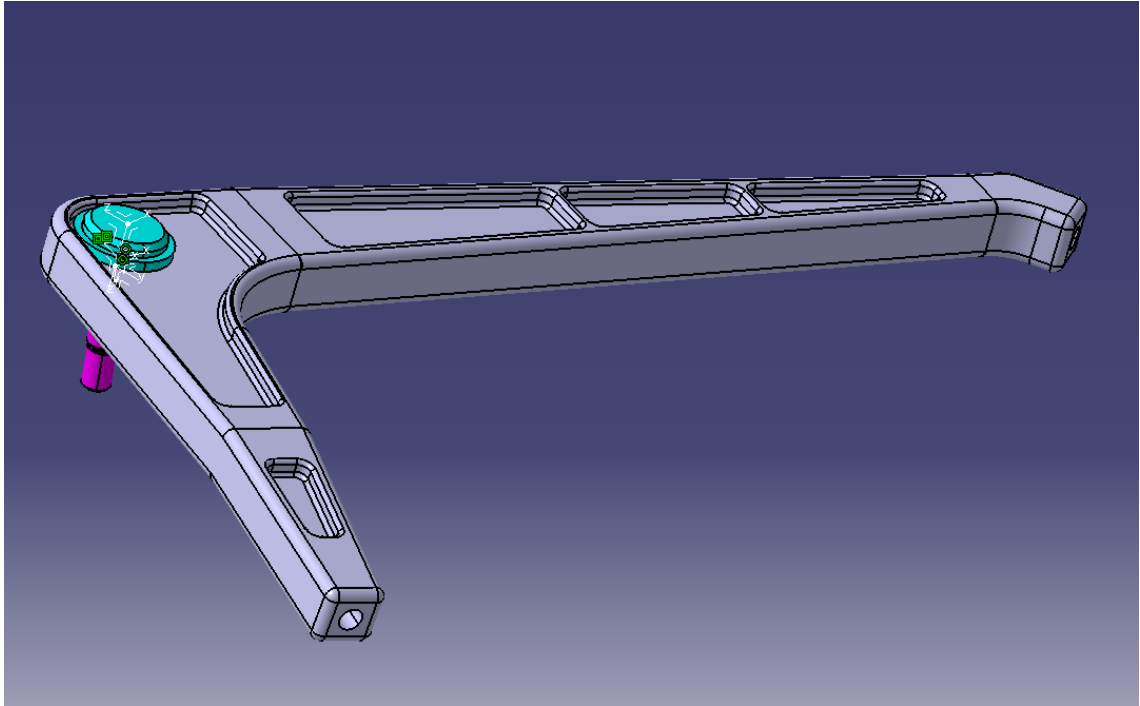
(kuva 13). Samaa tukivartta voidaan käyttää molemmilla puolilla autoa, sillä se on täysin symmetrinen. Alatukivarsi on suunniteltu 30 mm paksusta alumiinilevystä, joka jyrsitään muotoonsa, ja siihen tehdään yläpuolelle 14 mm syvä kevennys sekä alapuolelle vastaava 2 mm:n kevennys. Tukivarteen on suoraan koneistettu M14-kierteet, johon uniballit on kiinnitetty ja lukittu muttereilla paikoilleen. Iskunvaimentimen kiinnityskappaleita varten alatukivarren suurimpaan kevennykseen tehdään kaksi 12 mm reikää, joiden läpi asennettavat pultit lukitsevat iskunvaimentimen kiinnikekappaleen tukivarteen.



Kuva 13. Alatukivarsi, jossa on kierteet valmiina uniball-niveliä varten. Suurimpaan kevennysaukkoon tehdään reiät iskunvaimentimen kiinnityslevyä varten.

#### 4.6 Ylätukivarsi

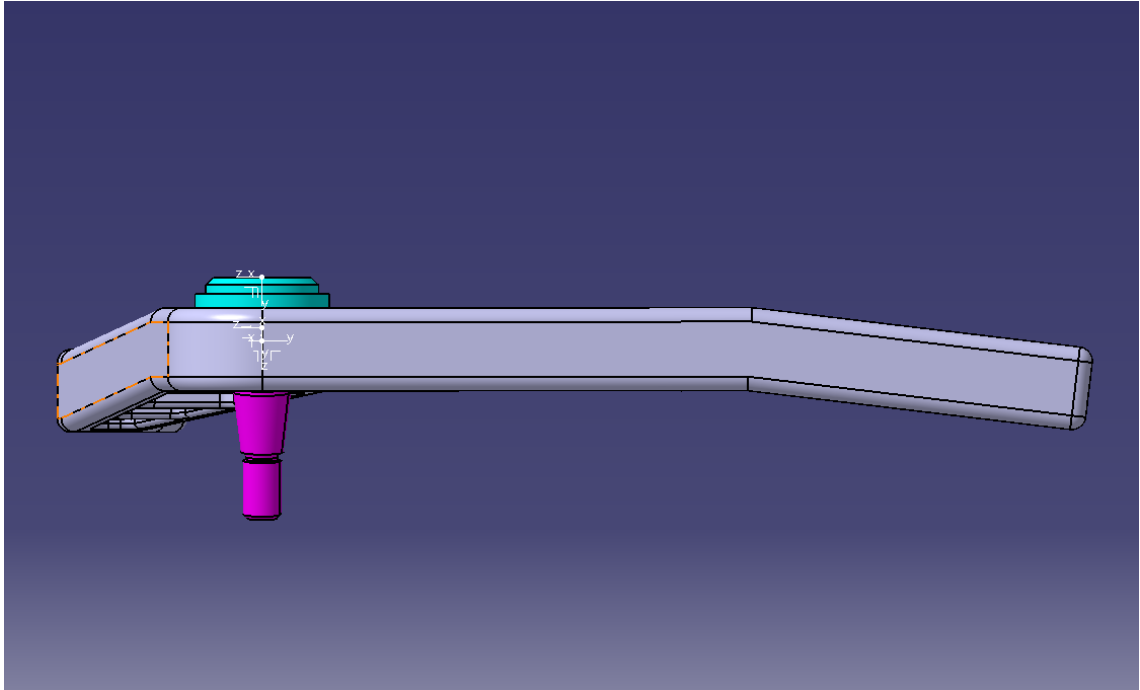
Ylätukivarren suunnittelussa tuli huomioida yläpallonivelen maksimaalinen käänkökulma. Edellä mainitusta syystä ylätukivarresta jouduttiin suunnittelemaan kahteen suuntaan taitettu (kuvat 14 ja 15). Mikäli ylätukivarsi koneistettaisiin vain yksitasoiseksi, tulisi yläpallonivel lähtötilanteessa liian suureen kulmaan, eikä se kääntyisi sisäänjous-tossa enää tarpeeksi ja olisi vaara, että nivel rikkoutuisi.



Kuva 14. Kahteen suuntaan taittuva ylätukivarsi.

Käytettävän alumiinilaadun muovattavuutta pohdittiin ennen varsinaisen osan valmistusta. Tarkoituksena oli selvittää, pystyykö ylätukivarren profiilin taittamaan ilman materiaalin vaurioitumista vai joudutaanko osa valmistamaan paksummasta aihioista. Mikäli taittaminen olisi onnistunut, olisi voitu käyttää noin 30 mm aihiota, jolloin kappaleen myötöraja olisi ollut n. 460 MPa paksumman aihion 360 MPa:n sijaan [1]. Ohuemman aihion etuna olisi ollut hieman huokeampi hankintahinta. Taivuttamista ei kuitenkaan nähty järkeväksi, vaan päädyttiin koneistamaan osa 60 mm:n aihioista. Lopullinen aihio painaa noin 40 kg, mikä tekee osasta noin 100 € kalliimman.

Ylätukivarteen tehdään reikä yläpalloniveltä varten. Pallonivelen valmistaja ilmoittaa nivelen halkaisijaksi 41,07 mm ja vastaavaan ylätukivarren reikään käytetään H7 toleranssia. Asennuksen yhteydessä nivelen ja tukivarren väliin tulee asentaa liimaa, jolla liitos saadaan välyksettömäksi. Nivel lukitaan paikoilleen alapuolelta lukkorenkaalla. Ylätukivarteen tehdään niin ikään rungon puolelle M14 kierteet uniball-niveliä varten.



Kuva 15. Ylätukivarren taitokset kuvattuna auton takaa.

Myös ylätukivarteen tehtiin kevennysaukot mutta taitoksien kohdalle päätettiin jättää hieman pidemmältä matkalta kevennys tekemättä, jotta taittaminen ei vaarantaisi materiaalia muuten.

#### 4.7 Raidetanko

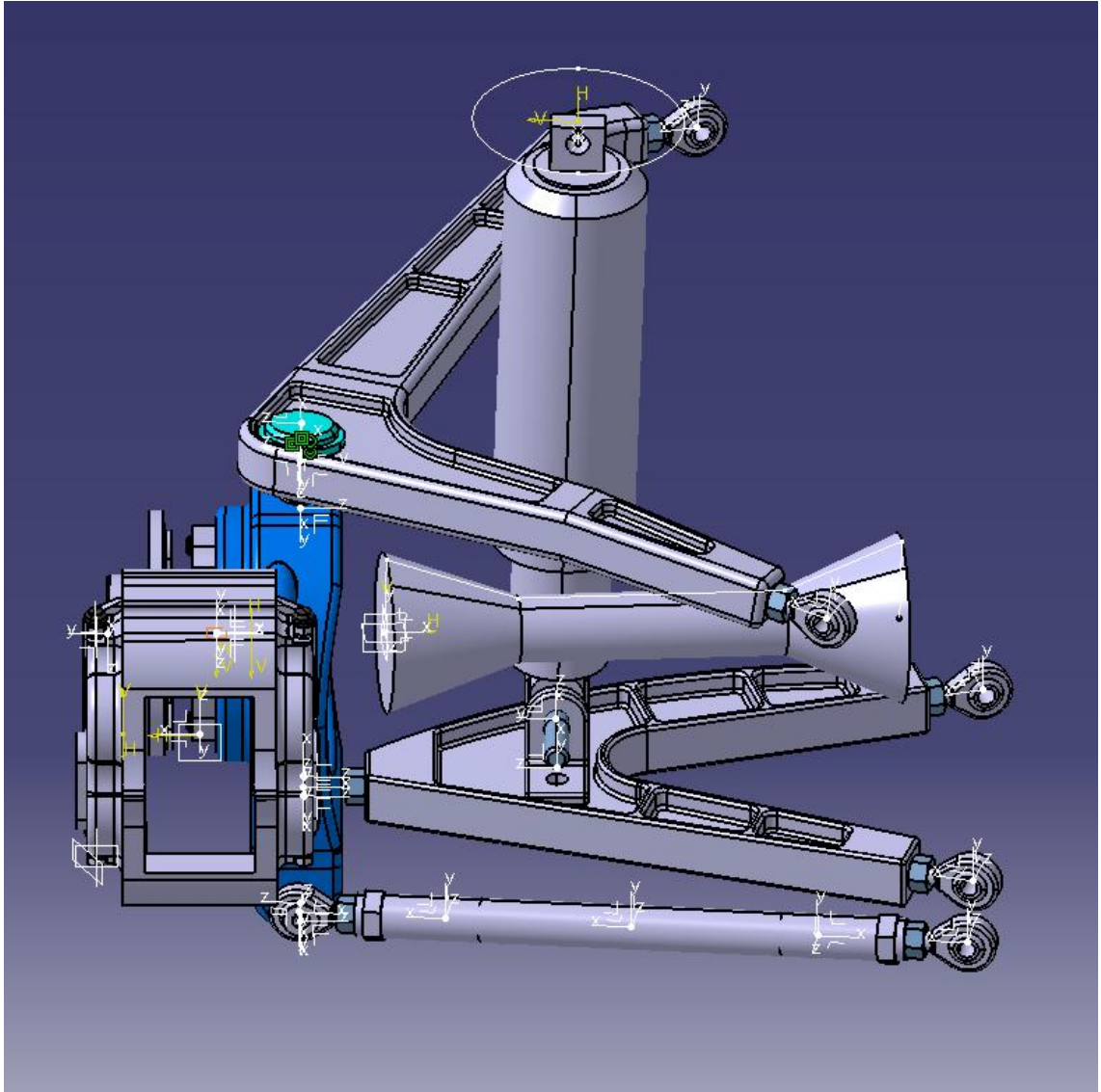
Raidetanko päätettiin erottaa vanhasta Z-tukivarresta ja raidetanko kiinnitetään vanhaan alaturkivarren takakiinnikkeeseen. Tällä ratkaisulla raidetanko pystytään valmistamaan yhdestä putkesta ilman turhia liitoksia. Vanha raidetanko on tuskin toiminut autossa suunnitellulla tavalla, sillä se vaikutti silmin nähden vääntyneeltä (kuva 16). Kulmamuuutosten arviointi on alkuperäisen raidetangon kanssa ollut hyvin vaikeaa, sillä raidetanko on kiinnitetty alaturkivarteen, mikä vaikuttaa raidetangon sisäpään asemaan merkittävästi joustossa. Uudella ratkaisulla (kuva 17) kulmamuuutosten arviointi on huomattavasti helpompaa, ja se todennäköisesti toimii myös suunnitellulla tavalla.



Kuva 16. Alkuperäinen raidetanko, joka oli valmistettu useasta eri kappaleesta ja näytti vääntyneen hieman.

Uudessa konstruktiossa raidetangon ulommainen kiinnityspiste on olka-akselissa muutamien millimetrin alatukivarren vastaavaa kiinnityspistettä alempana. Tästä syystä molempia osia ei voida kiinnittää yhdellä pultilla olka-akseliin. Ratkaisun etuna saavutettiin huomattavasti paremmat kulmamuutokset joustossa, joten sen eteen kannatti tehdä geometriasuunnittelussa töitä.

Uusi raidetanko valmistetaan vastaavasta rosteriputkesta, josta vanhat tukivarretkin oli valmistettu. Putken sisälle hitsataan holkit, joihin tehdään M14-kierteet uniballeja varten.

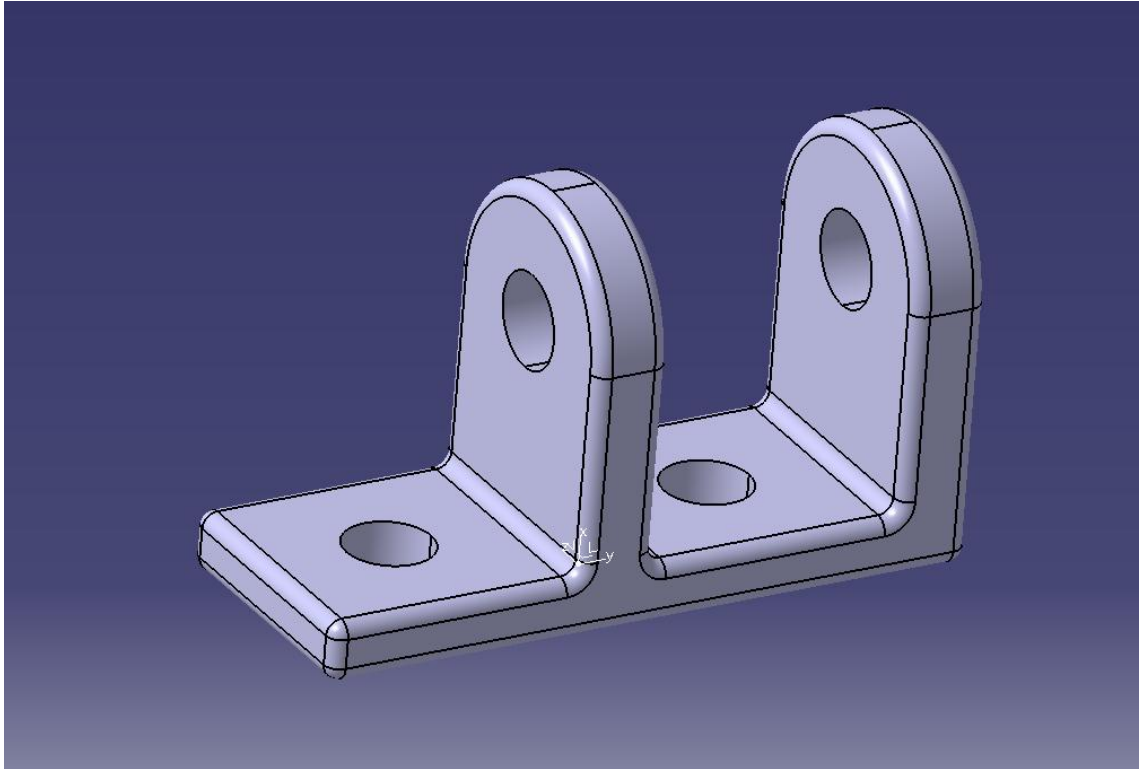


Kuva 17. Kuvassa alimmaisena oleva uusi raidetanko, joka valmistetaan yhdestä putkesta. Au-  
rauskulmaa pystytään säätämään avaamalla raidetangon päissä olevat mutterit ja kiertämällä  
tankoa.

#### 4.8 Iskuvaimentimen kiinnitys

Iskuvaimentimen kiinnitykseen suunniteltiin alatukivarteen kiinnitettävä erillinen osa (kuva 18). Kiinnitysosa sopii suoraan alatukivarren kevennysaukkoihin, ja näin ollen se pysyy hyvin paikoillaan. Kiinnitysosan pohja on 8 mm paksu eli yhtä paksu kuin alatukivarren kevennysreikä on syvä.

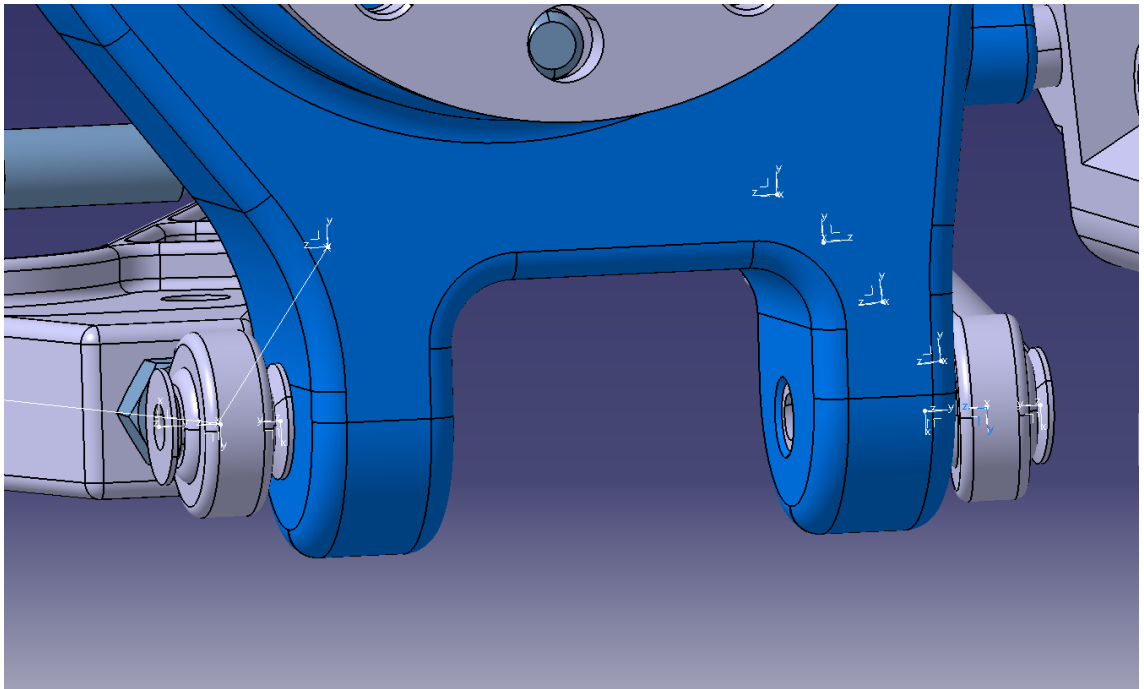
Iskuvaimentimen kiinnityskappale toimii osaltaan myös alatukivartta jäykistävänä osana, mikä onkin tarpeen, sillä siihen kohdistuu huomattavan suuri voima iskuvaimentimelta.



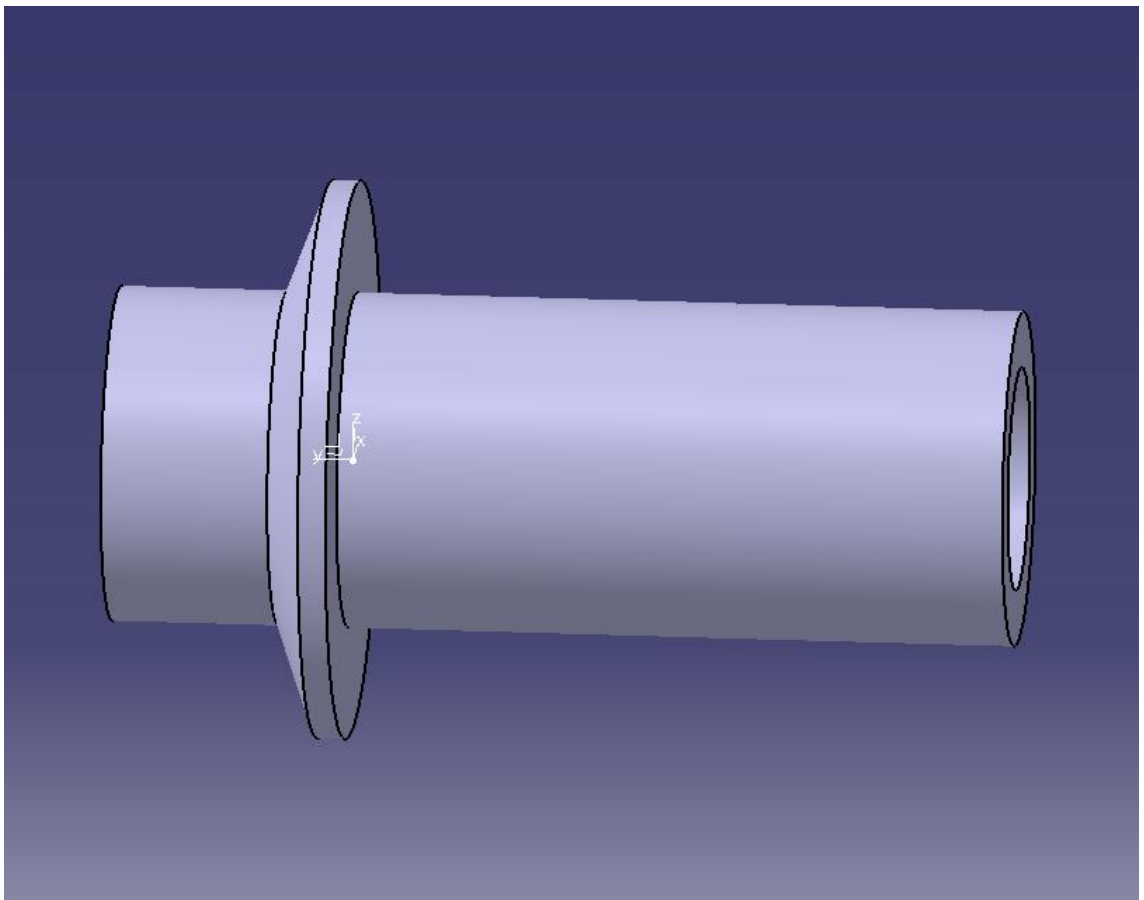
Kuva 18. Iskunvaimentimen kiinnityskappale, joka kiinnitetään alatukivarren kevennysaukkoon pulteilla. Iskunvaimennin kiinnitetään pystyssä oleviin korvakkeisiin, joihin valmistetaan myös sopivan kokoiset holkit.

#### 4.9 Nivelet

Uudessa konstruktiossa alatukivarren ja raidetangon uloimmat nivelet kiinnitetään olka-akseliin holkeilla (kuvat 19 ja 20). Tällä ratkaisulla varmistetaan nivelille riittävä tila kääntyä ja saadaan myös liitettyä tukivarsi ja raidetanko riittävällä tarkkuudella olka-akseliin. Mikäli liitoksessa käytettäisiin pelkkää pulttia, olisi se vaarassa väljistyä ja rikkoutua.



Kuva 19. Alatukivarren ja raidetangon uloimmat nivelet, jotka kiinnitetään olka-akseliin holkeilla. Holkkien läpi tulee lisäksi M10 pultit, jotka lukitaan olka-akselin korvakkeiden väliin aluslevyillä ja muttereilla.

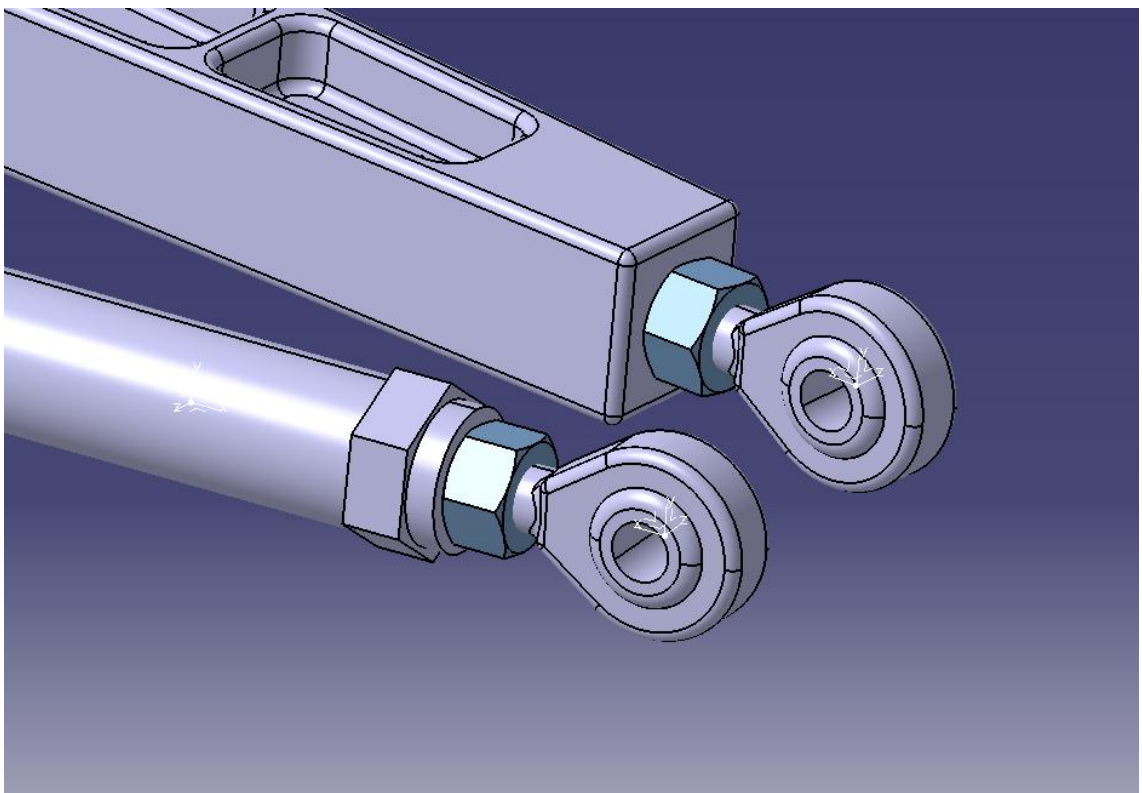


Kuva 20. Olka-akselin alakorvakkeisiin tuleva holkki. Holkin sisälle tulee 10 mm pultti, joka kiristetään mutterilla nivelen vastakkaiselta puolelta.



#### 4.9.1 Uniball-nivelet

Kaikki tukivarsien ja raidetangon nivelet ovat ylätukivarren uloimmaista niveltä lukuunottamatta ns. rod-end uniball-niveliä (kuva 21). Nivelet ottavat hyvin vastaan radiaalista kuormitusta mutta aksiaalinen kuormituksen kestävyys on vain noin kymmenesosa radiaalisesta. Tästä syystä nivelet on pyritty sijoittamaan mahdollisimman kohtisuoraan kiinnitysakseleihinsa nähden. Ylätukivarren etummainen nivel on melko suuressa kulmassa mutta lujuussimuloinnissa sen katsottiin kestävä. Myös vanhassa konstruktiossa kyseinen nivel oli melko suuressa kulmassa, eikä sen kestävydessä havaittu ongelmia.



Kuva 21. Alatukivarren ja raidetangon uniball-nivelet. Nivelet lukitaan paikoilleen muttereilla.

Uniball-niveliä käytetään yleisesti moottoriurheilussa. Nivelen etuna on hyvä sijoitettavuus, sillä ne voidaan kiinnittää kierrelitoksella suoraan kappaleeseen. Kyseisellä liitostavalla voidaan saavuttaa kevyempi rakenne. Etuna on myös säädettävyys, jolloin itse niveltä kiertämällä voidaan kompensoida pieniä valmistustoleransseja.

Uusien nivelien hankkimista harkittiin projektin aikana mutta lopulta päädyttiin käyttämään jo olemassa olevia niveliä uusien korkean hankintahinnan johdosta. Tulokseen

päätymistä edesauttoi myös se, ettei jo olemassa olevissa nivelissä havaittu mitään vikaa.

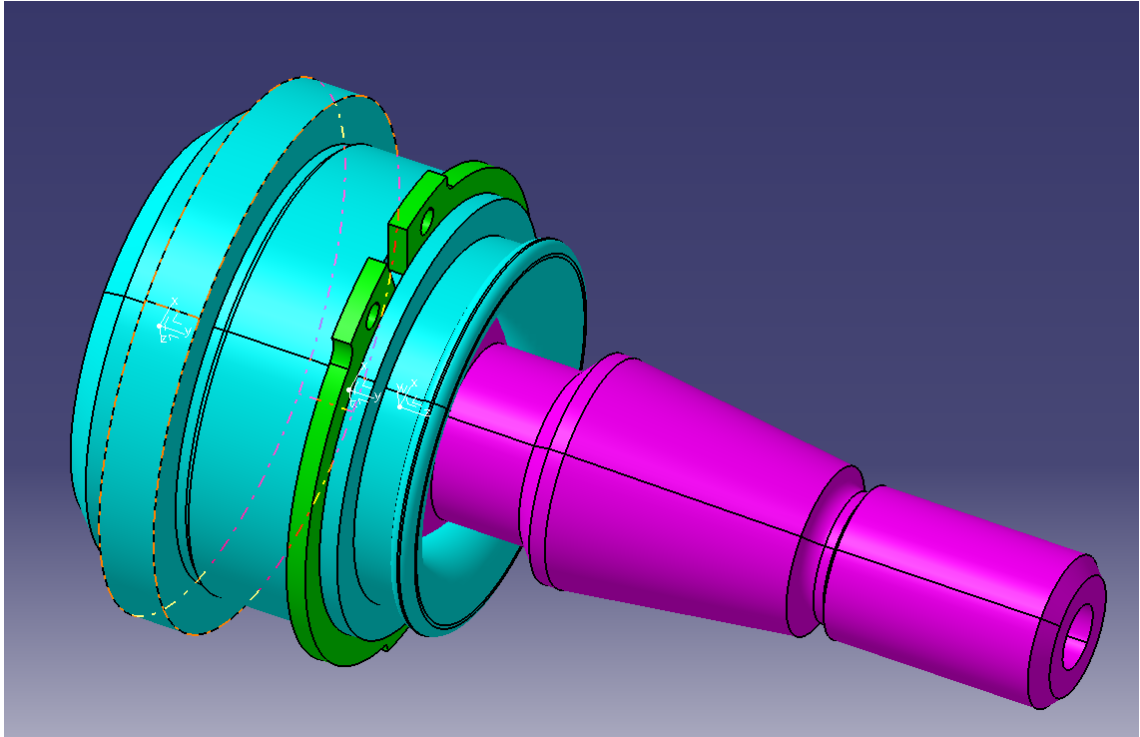
Uniball-niveliä ei mallinnettu lopulliseen konstruktion uudelleen, vaan käytettiin Vildénin ja Rummukaisen vuonna 2005 tekemiä Catia-malleja. Eri kokoonpanoja suunniteltaessa mallinnettiin toki muutamia erikokoisia uniball-niveliä mutta koska lopulta päädyttiin käyttämään jo olemassa olevia niveliä, oli loogista käyttää jo olemassa olevia 3D-malleja. Huhtikuussa 2012 suoritetussa mittauksessa havaittiin kuitenkin Vildénin ja Rummukaisen tekemässä 3D-mallissa olevan erikokoiset nivelet kuin autossa todellisuudessa. Tämän vuoksi Tukivarsiin huomattiin mitoittaa M14-kierteet mallin mukaisien M12-kierteiden sijaan. Esiin tullut asia kuvaa hyvin suunnittelun aikana herännyttä ajatusta siitä, että uusi geometria olisi ollut helpompi suunnitella tyhjästä kuin jo olemassa olevan konstruktion pohjalta, sillä vastaavia tilanteita esiintyi usein.

Uniballit kiinnitetään runkoon jo olemassa olevien kiinnikkeiden avulla. Autossa on myös olemassa ylätukivarrelle ja raidetangolle valmiit kiinnityskorvakkeet mutta alatu-kivarren taaemmalle nivelelle tulee tehdä samanlainen kiinnike, kuin muilla osilla jo on. Alatukivarren etummainen nivel saadaan kiinnitettyä jo olemassa olevaan korvakkeeseen.

#### 4.9.2 Nissanin pallonivel

Ylätukivarren ja olka-akselin väliseksi niveleksi valittiin Nissanin mm. P12-korimallisessa Primerassa käyttämä pallonivel (osanumero 161-9302328)(kuva 22). Pallonivel on tyy-piltään prässättävä, ja sen fyysiset mitat sopivat hyvin suunniteltuun konstruktion. Kyseisen tyyppinen nivel pystyy hyvin ottamaan vastaan pitkittäisiä voimia, joita ylätu-kivarteen kohdistuu, joten valinta oli looginen.

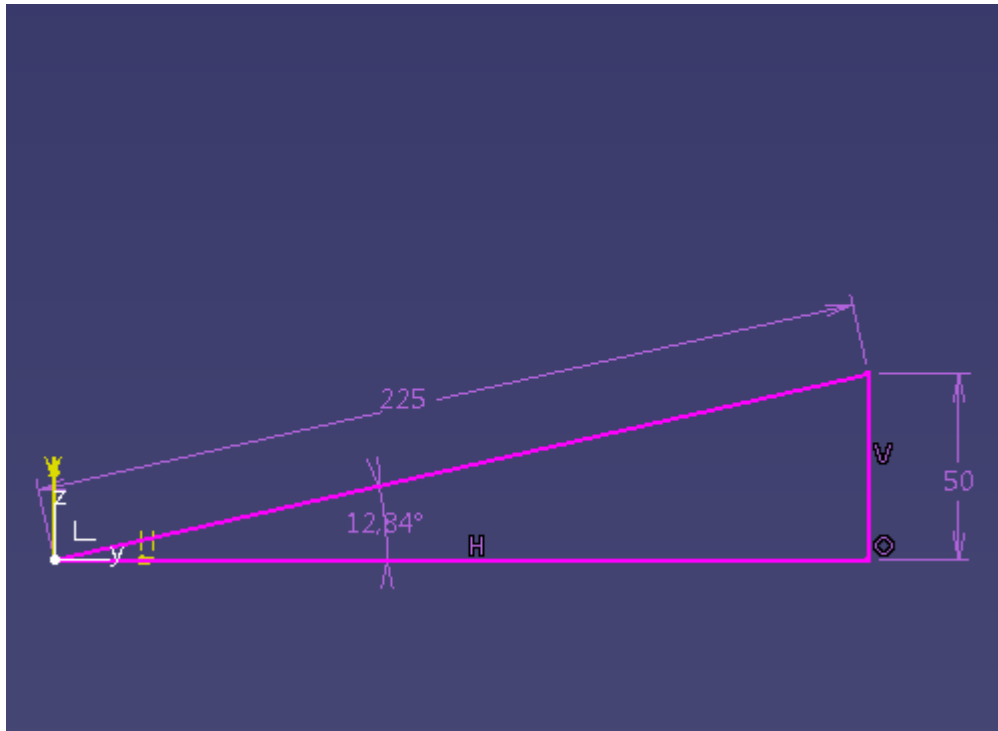
Nivelen valintaa edesauttoi myös se, että nivel saatiin helposti lainaan mallinnusta ja nivelen kääntyvyyden tutkintaa varten. Nivel on hankintahinnaltaan myös varsin edullinen.



Kuva 22. Nissanin pallonivel, joka lainattiin Autokeskukselta ja mallinnettiin Catia-kokoonpanoon.

Primeran kuivapaino on noin 1350 kg [TraFi mallinnustyökalu] ja massasta suurin osa on etu-akselilla, jossa niveltä myös käytetään. RaceAboutin massa kuljettajan ja apukuljettajan kanssa on noin 1000 kg, josta suurin osa on taka-akselilla, jonne nivel myös konstruktiossa sijoitetaan, joten nivelen katsottiin olevan mitoitukseltaan vähintäänkin riittävä.

Nivel joudutaan asettamaan konstruktiossa lähtöasennossa noin 6 astetta vinoon, jotta tukivarsi saadaan oikeaan asentoon. Tästä syystä nivelen kulmamutosta tutkittiin 50 mm:n sisäänjoustossa ja todettiin nivelen kääntyvän noin 13 astetta (kuva 23). Sisäänjoustossa tulee huomioida kuitenkin 2 asteen negatiivinen cambermuutos, joten lopullinen kääntymä on noin 11 astetta. Lähtöarvo huomioiden nivel kääntyy maksimissaan noin 17 astetta, joka on sopiva. Lisäksi on huomioitava, että 50 mm:n sisäänjoustotilanne on maksimiarvo ja auton maavara ei rata-asetuksilla ole juurikaan sen suurempi. Nivel kiinnitetään olka-akseliin  $\frac{1}{4}$  kartioliitoksella, jonka pohjareikä on 15 mm.



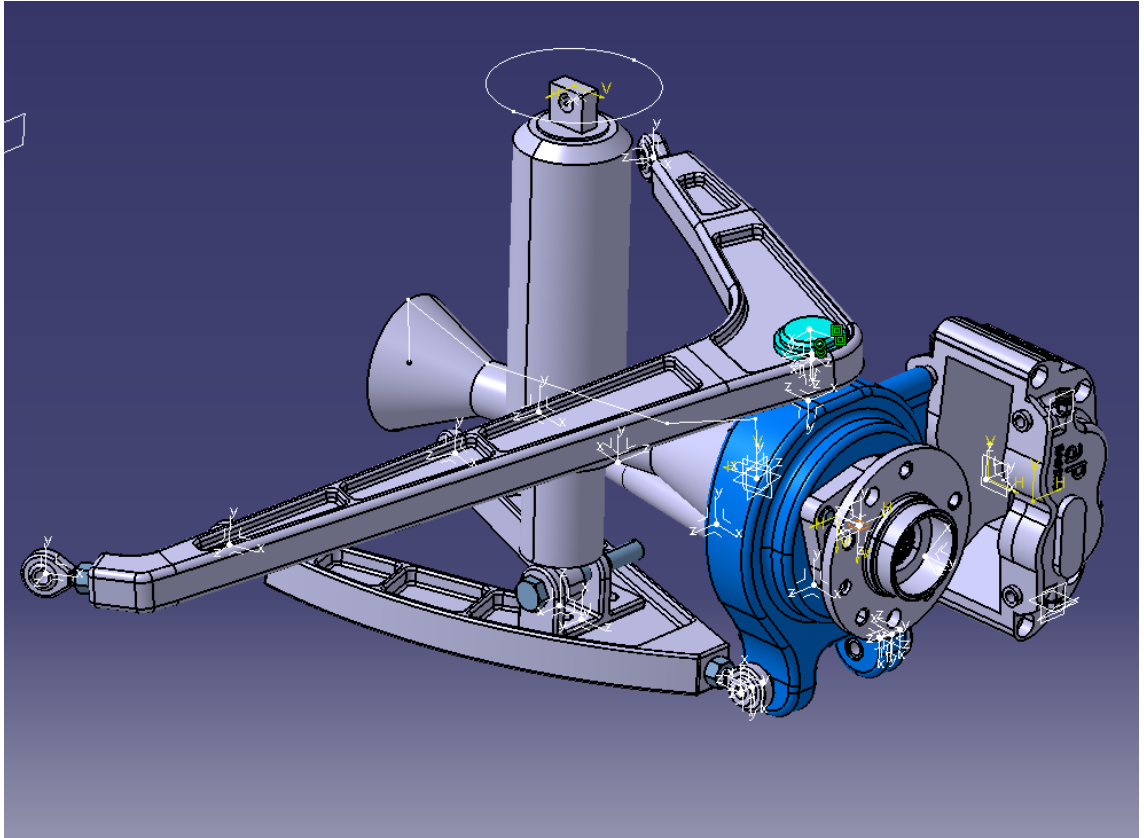
Kuva 23. Catialla piirretty kolmio. Suoraan trigonometrisesti laskettuna nivel kääntyy 50 mm:n sisäänjoustossa 13 astetta ja negatiivinen cambermuutos jouston funktiona huomioituna noin 11 astetta. 225 on kuvassa ylätukivarren uloimman ja sisimmän nivelpisteen etäisyys toisistaan millimetreinä auton poikittaissuunnassa mitattuna.

#### 4.10 Kokoonpano

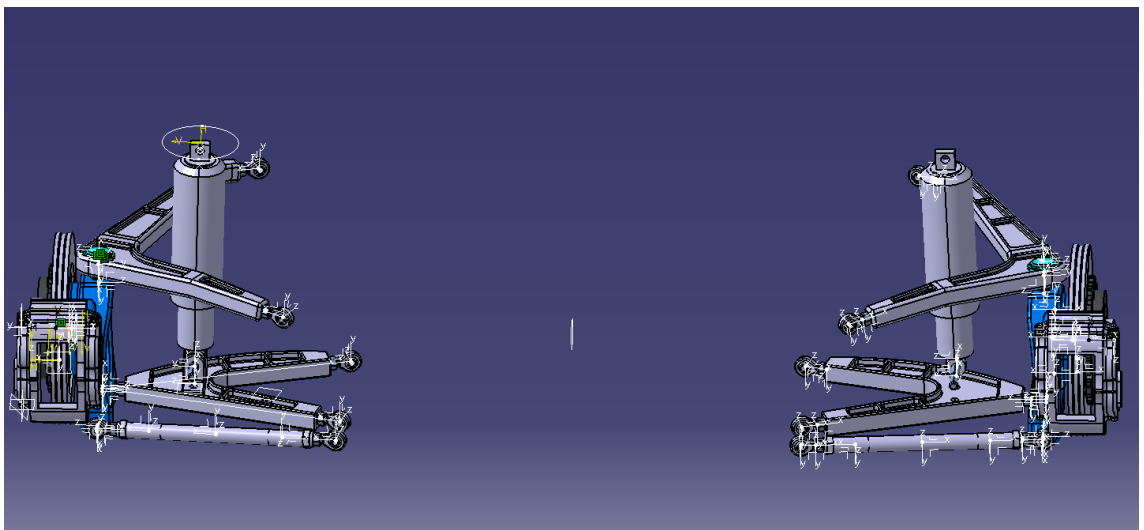
Kaikki suunnitellut osat liitettiin yhteen kokoonpanoon (kuvat 24, 25, 26 ja 27), jossa osien sopivuutta toisiinsa nähden voitiin tarkistella. Myös tilankäyttöä oli helppo seurata, ja esimerkiksi iskunvaimentimen paikkaa osattiin muuttaa ennen osien valmistusta, sillä alun perin suunnitellussa paikassa se olisi osunut vetoakseliin.

Kokoonpanossa oli myös helppo hahmottaa, kuinka paljon pallonivelet joutuvat kääntymään, jotta ne istuvat muihin osiin hyvin. Kokoonpanossa pystyttiin toteamaan niveliä tulevan lähes kohtisuoraan kiinnitysakseliin nähden, ja näin ollen nivelet pystyvät ottamaan vastaan käytöstä aiheutuvat kuormitukset hyvin.

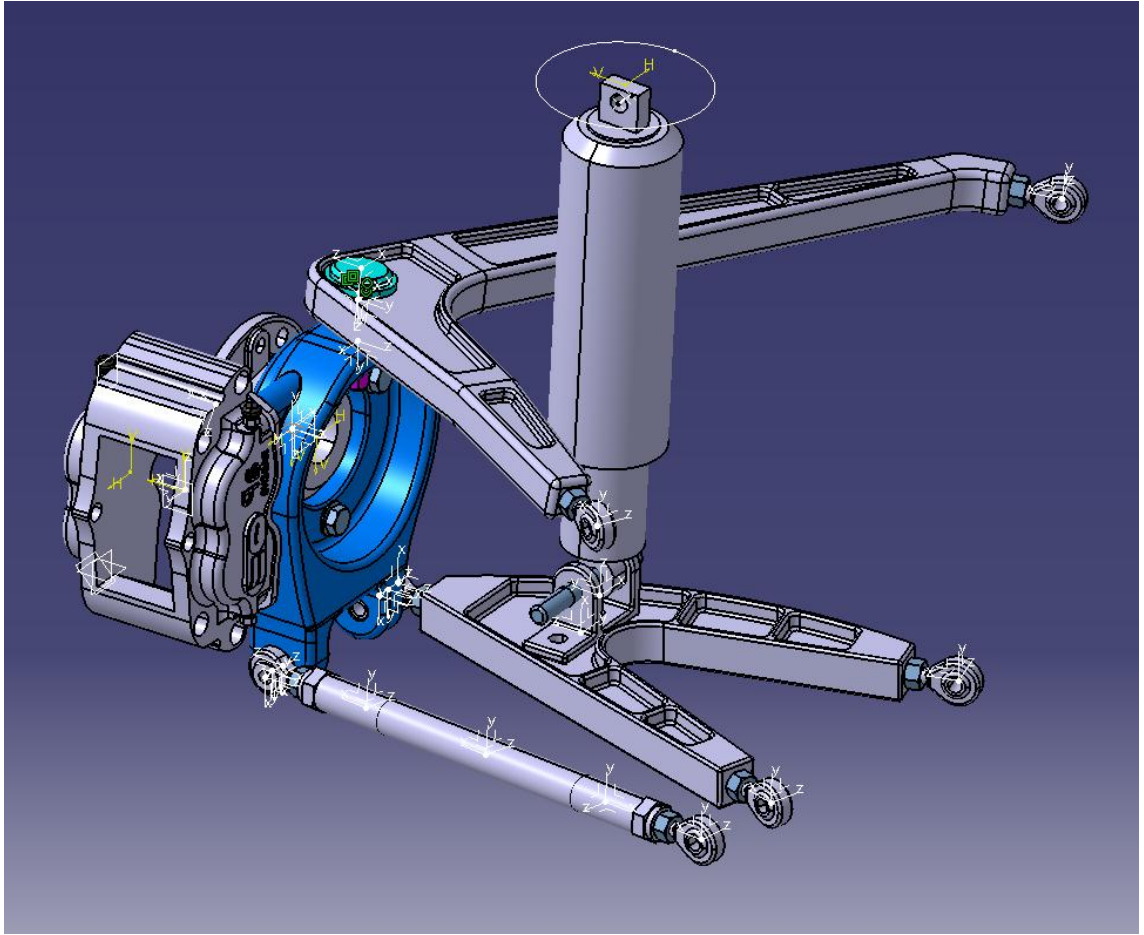
Kun kaikki yksittäiset osat oli suunniteltu vasemmalle puolelle, peilattiin kokoonpano (kuva 25). Myös toisen puolen osista tulee olla omat mallit, sillä ilman niitä osien ko-neistusta ei voida suorittaa.



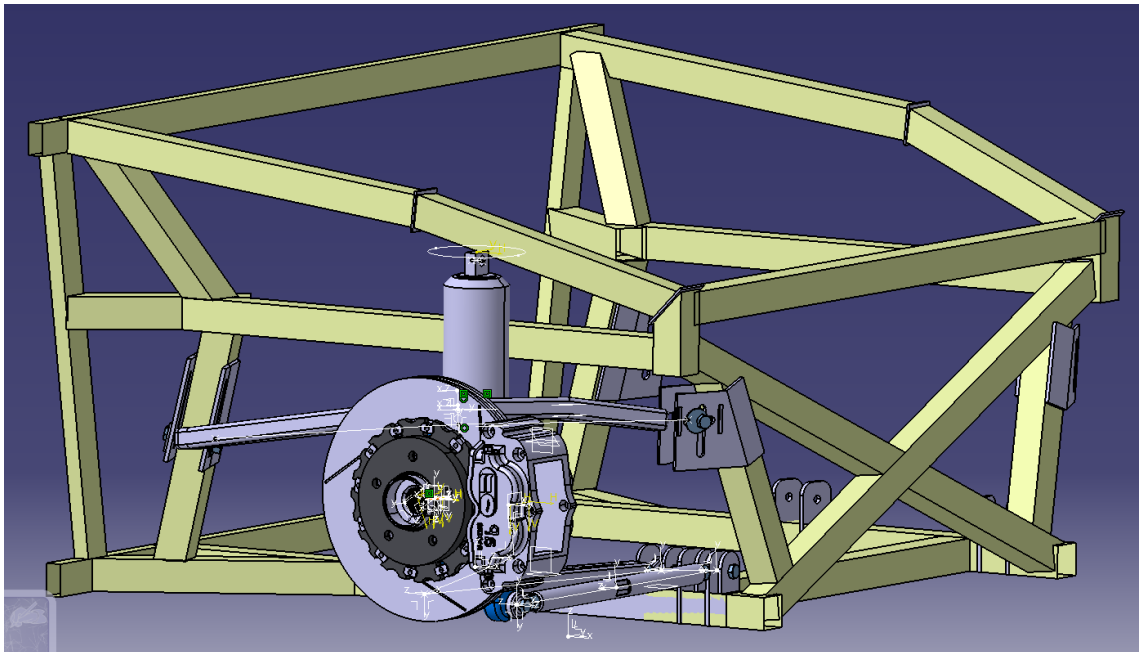
Kuva 24. Uusi takaripustus esitettyä vasemmalta puolelta etuviistosta.



Kuva 25. Uusi kokoonpano peilattuna. Oikean puolen osista tarvitaan mallit koneistusta varten.



Kuva 26. Takaripustusten kokoonpano kuvattuna vasemmalta takaa moottorin puolelta katsottuna.



Kuva 27. Uusi alustarakenne, jota sovitettiin myös Vildénin ja Rummukaisen vuonna 2005 tekemään rungon 3D-malliin. Osat saatiin sopimaan runkoon hyvin.

#### 4.11 Materiaalivalinnat

Olka-akselin materiaaliksi oli jo lähtötiedoissa valittu EN AW-7075 T6 -alumiini. Sama materiaali valittiin myös tukivarsien materiaaliksi. Iskunvaimentimen kiinnityskappaleen materiaalivaihtoehtoina oli teräs ja sama alumiiniseos kuin muissakin kappaleissa. Lopulta päädyttiin käyttämään samaa alumiiniseosta kappaleen paksuuden ja helpomman koneistettavuuden takia. Mikäli tukivarren kiinnikkeessä olisi käytetty terästä, olisi se painanut noin 700 grammaa lopullisen 250 gramman sijaan.

EN AW-7075 T6 -alumiiniseoksen myötöraja on alle 50 mm aihiota käytettäessä n. 460 MPa ja sitä paksummassa aihiossa n. 360 MPa, mitä voidaan pitää hyvin vahvana [1] (taulukko 2). Materiaalin etuna on myös jo aiemmin mainittu hyvä koneistettavuus ja teräkseen verrattuna pieni tiheys. Huonoina puolina kyseisellä materiaalilla on huono hitsattavuus sekä välttävä korroosionkestävyys. Nämä ominaisuudet eivät kuitenkaan ole oleellisia, sillä osia ei hitsata lainkaan ja auto on melko vähällä ajolla. Lisäksi avoauton luonteesta johtuen sillä ei ajeta lainkaan talvella ja märälläkin ajamista joudutaan välttämään.

Materiaalia käytetään yleisesti suurta lujuutta vaativissa rakenteissa, kuten lentokoneissa ja alustarakenteissa, joten se on oiva valinta myös RaceAboutin alustarakenteisiin.

Taulukko 2. Alumiiniseoksien fysikaalisia ominaisuuksia [1].

**Mekaaniset ominaisuudet - EN AW-7075 - 485-2: 2008**

Tila	Paksuus mm	Vetolujuus $R_m$ N/mm <sup>2</sup>		0.2% myötölujuus $R_{0.2}$ N/mm <sup>2</sup> min.	Venymä $A_{30mm}$ A		Brinell kovuus HBS
		min.	max.		% min.	% max.	
T651	1.5-12.5	540-545	-	460-475	7-8		160-163
T651	12.5-50.0	530-540	-	460-470		5-6	158-161
T651	90-100	460	-	360		3	135
T651	100-120	410	-	300		2	119
T651	120-150	360	-	260		2	104

Raidetanko päätettiin tehdä samasta materiaalista, mistä se oli ennenkin tehty, eli n. 27 mm paksusta rosteriputkesta, jonka sisälle hitsataan holkit uniballeja varten. Kyseinen rakenne on hyvin kestävä sekä myös melko helppo valmistaa.

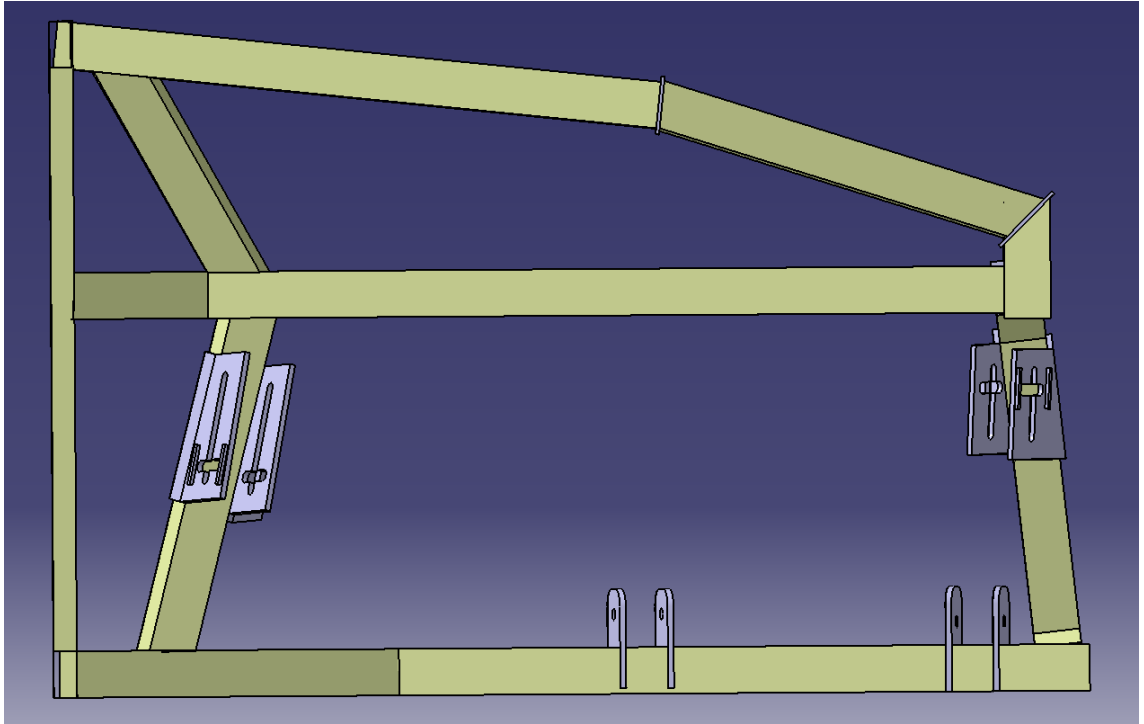
#### 4.12 Mittapiirroksot

Kaikista koneistettavista osista tehtiin mittapiirroksot Catialla (liite 2). Mittapiirroksot tehtiin vasemman puolen osista ja koneistettaessa piirroksia luetaan peilikuvina. Mittapiirrosten avulla voidaan osien valmistusten yhteydessä varmistaa, että osat ovat oikean kokoiset ja esimerkiksi reiät saadaan oikealle etäisyydelle toisiinsa nähden. Mittapiirroksiin merkittiin tärkeimmät mitat ja muut saadaan koneistettaessa suoraan CAD- (tai CAM-) mallista.

#### 4.13 Säädot

Uuden ylätukivarren rungon puoleisiin kiinnikkeisiin oli tarkoitus tehdä epäkeskopultilla toimiva camberkulman säätö, mutta se ei ole mahdollinen jo olemassa olevien kiinnikkeiden takia. Mikäli camberkulmaa yrittäisi säätää ylätukivarren kiinnikekorvakkeista liikuttamalla ylätukivartta ulos- tai sisäänpäin, muuttuisi rungon kiinnityspisteiden välinen etäisyys ylätukivarren nivelien välisen etäisyyden pysyessä vakiona (kuva 28).



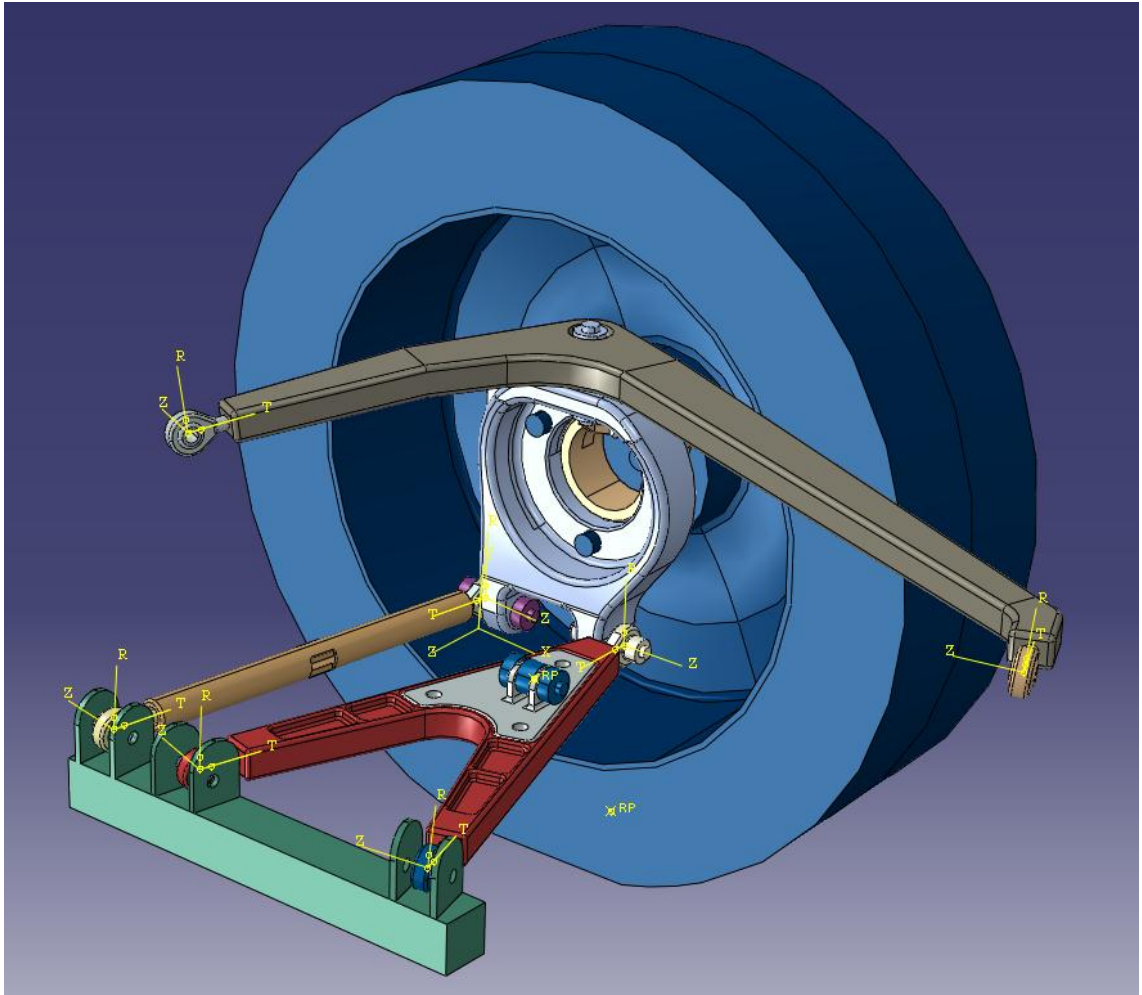


Kuva 28. RaceAboutin taka-apurunko. Rummukaisen ja Vildénin suunnittelemassa rungossa ylätukivarren kiinnityskorvakkeet ovat vinossa, joten epäkeskopultilla toimivaa pikasäätöä ei ole mahdollista toteuttaa nykyisellään.

## 5 Lujuuslaskelmat ja -simulointi

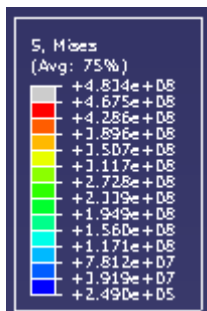
### 5.1 Abaqus-simulaatio

Lujuussimulointi tehtiin Abaqus 6.9 -FEM -ohjelmalla. Simulaation kokoonpanoon liitettiin kaikki oleelliset alustakomponentit palloniveliä myöten (kuva 29). Iskunvaimentimen alakiinnikkeeseen tehtiin holkki, joka määritettiin jäykäksi kappaleeksi, jotta siihen kohdistuvat voimat välittyisivät muihin alustakomponentteihin realistisesti. Myös renkas-vannekappale määritettiin jäykäksi. Voimat voitiin kohdistaa renkaan pohjaan ja iskunvaimentimen kiinnikkeessä olevaan holkkiin ja niiden suuntia pystyttiin vaihtamaan. Rungonpuoleisten palloniveliä vapautasteiksi määritettiin 0, jotta ne eivät päässeet enää liikkumaan mihinkään suuntaan.

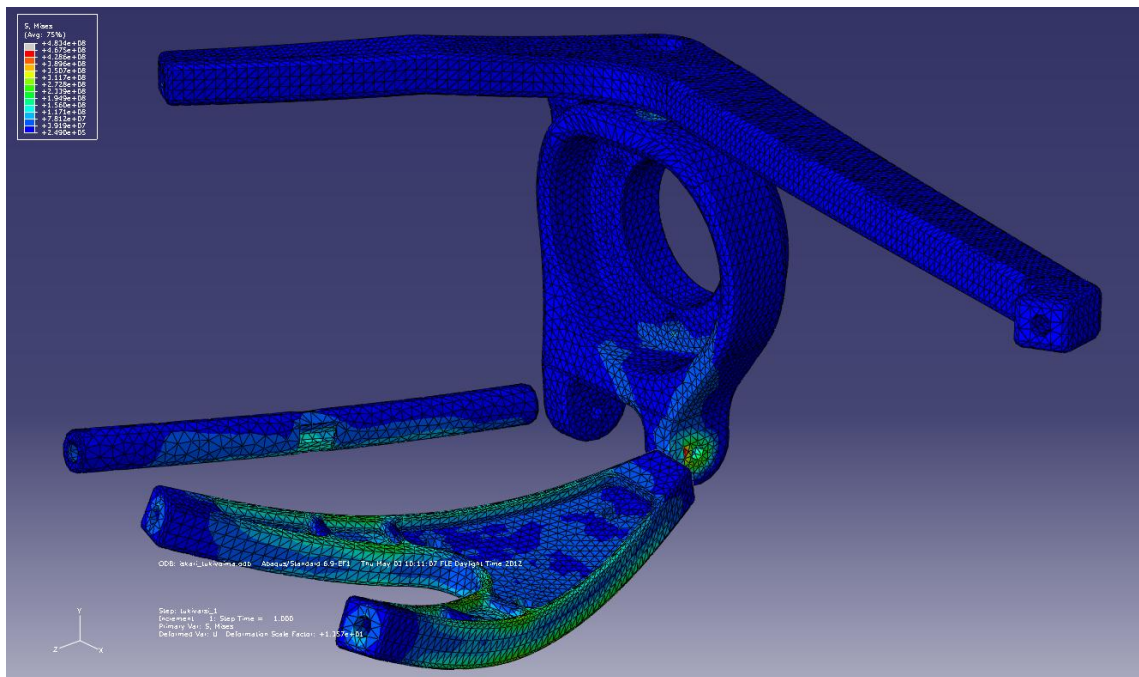


Kuva 29. Abaqus-kokoonpano, johon liitettiin kaikki oleelliset alustakomponentit. Pulttien sijaan käytettiin vastaavan kokosia jäykiksi määriteltyjä kappaleita.

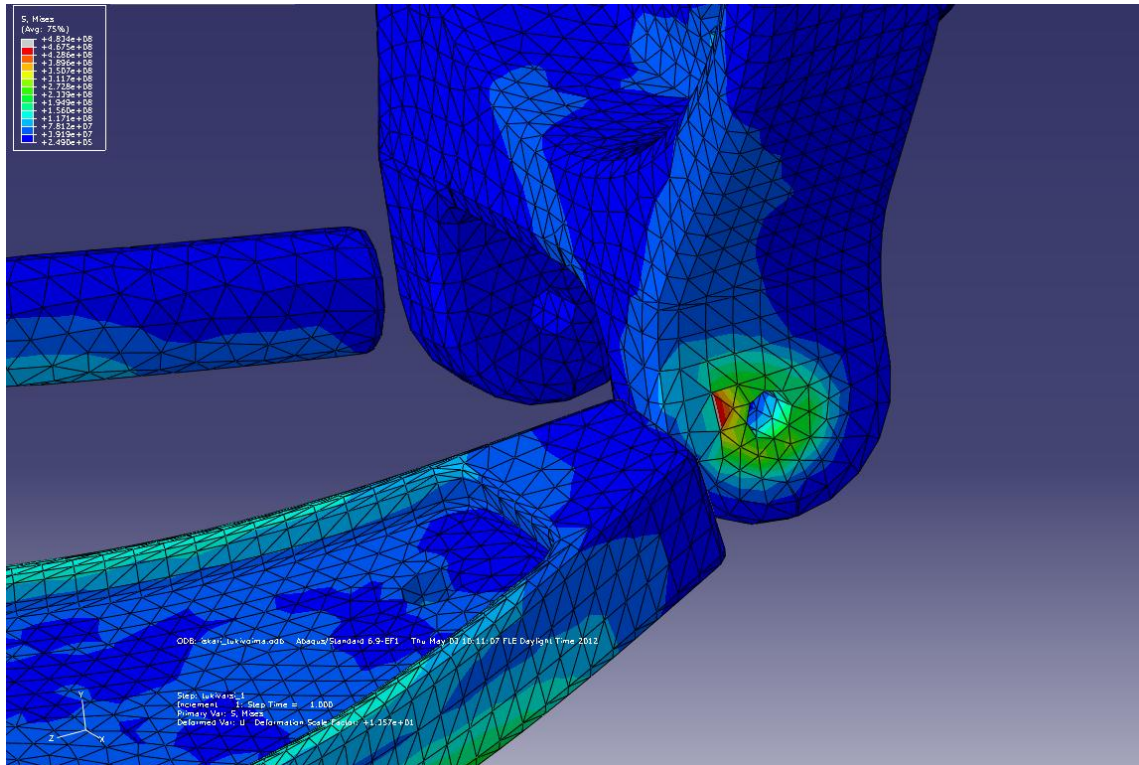
Lopullisessa simulaatiossa tarkasteltiin oleellisia alustakomponentteja (kuva 31). Olka-akselin ja ala-tukivarren väliseen liitokseen kohdistui kaikkein suurin, noin 460 MPa:n paine, joka oli kuitenkin pistemäinen (kuva 32). Suuri pistemäinen kuormitus johtunee olka-akselin korvaketta vastaan tulevasta jäykäksi määritellystä kiinnikeholkista. Alatu-kivarren kuormittuessa, virtuaalisesti jäykkä holkki painuu olka-akselia vasten aiheuttaen suuren paineen. Lisäksi suurin osa voimista välittyy iskunvaimentimelle. Kaikki muut komponentit pysyivät kokonaisuudessaan sallituissa rajoissa ja suurimmat rasitukset olivatkin noin 200 MPa. Kuvassa 30 on esitetty simulaatiossa näkyvät värit arvoina.



Kuva 30. Simulaatiossa näkyvät värit arvoina. 4,675e+08 tarkoittaa 467,5 MPa.



Kuva 31. Simulaation tulos. Olka-akselin ja alatukivarren väliseen liitokseen kohdistui suurin voima, joka oli kuitenkin pistemäinen. Kaikki muualla pinta-paineet pysyivät selvästi sallituissa rajoissa.



Kuva 32. Olka-akselin etummainen korvake, johon kohdistui suurin rasitus.

Simulaation perusteella tukivarsien paksuus päätettiin kuitenkin varmuuden vuoksi kasvattaa 25 millimetristä 30 millimetriin.

## 5.2 Simuloinnissa käytetyt voimat

RaceAbout painaa kuljettajan ja apukuljettajan kanssa pyöreästi 1000 kg, josta n. 600 kg tulee taka-akselille ja yhdelle takapyörälle siis noin 300 kg

$$m_t = \frac{0,6 * 1000 \text{ kg}}{2} = 300 \text{ kg}$$

ja vastaavasti 1 g:n kiihtyvyydellä yhdelle takapyörälle tulee n. 2950 N:n tukivoima

$$G_t = 300 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2943 \text{ N}$$

Lopullisessa simuloinnissa voimina käytettiin renkaalta y-suuntaan (ylös) 10 kN, z-suuntaan (sivuttain) 5 kN ja x-suuntaan (pitkittäin) -5 kN.

Voimilla simuloitiin samaan aikaan kaarreajoa noin 1,7 g:n sivuttaiskiihtyvyydellä, täysjarrutusta n. 1,7 g:n pitkittäishidastuvuudella sekä esteeseen ajoa noin 3,4 g:n pystysuuntaisella kiihtyvyydellä. Tilanne on niin sanottu pahin mahdollinen ja käytännössä täysin mahdoton saavuttaa rata-ajossakaan. Jarrutustapauksessa tulee myös huomioida dynaaminen painonsiirto, joka vähentää taka-akselin kuormaa huomattavasti. Tämä vaikeuttaa entisestään pahimpaan mahdolliseen tilanteeseen pääsyä. Dynaaminen painonsiirto lisää toki taka-akselin painoa kiihdytystilanteessa mutta kiihdytyksestä aiheutuva kiihtyvyys on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin täysjarrutuksesta aiheutuva hidastuvuus.

Iskunvaimentimen kiinnitykseen tulevaksi voimaksi laskettiin alla olevaa kaavaa käyttäen ylöspäin pyörästettynä -16,2 kN.

$$a = 235 \text{ mm}$$

Iskunvaimentimen ja rungon kiinnityspisteiden välinen etäisyys (kuva 33)

$$b = 379 \text{ mm}$$

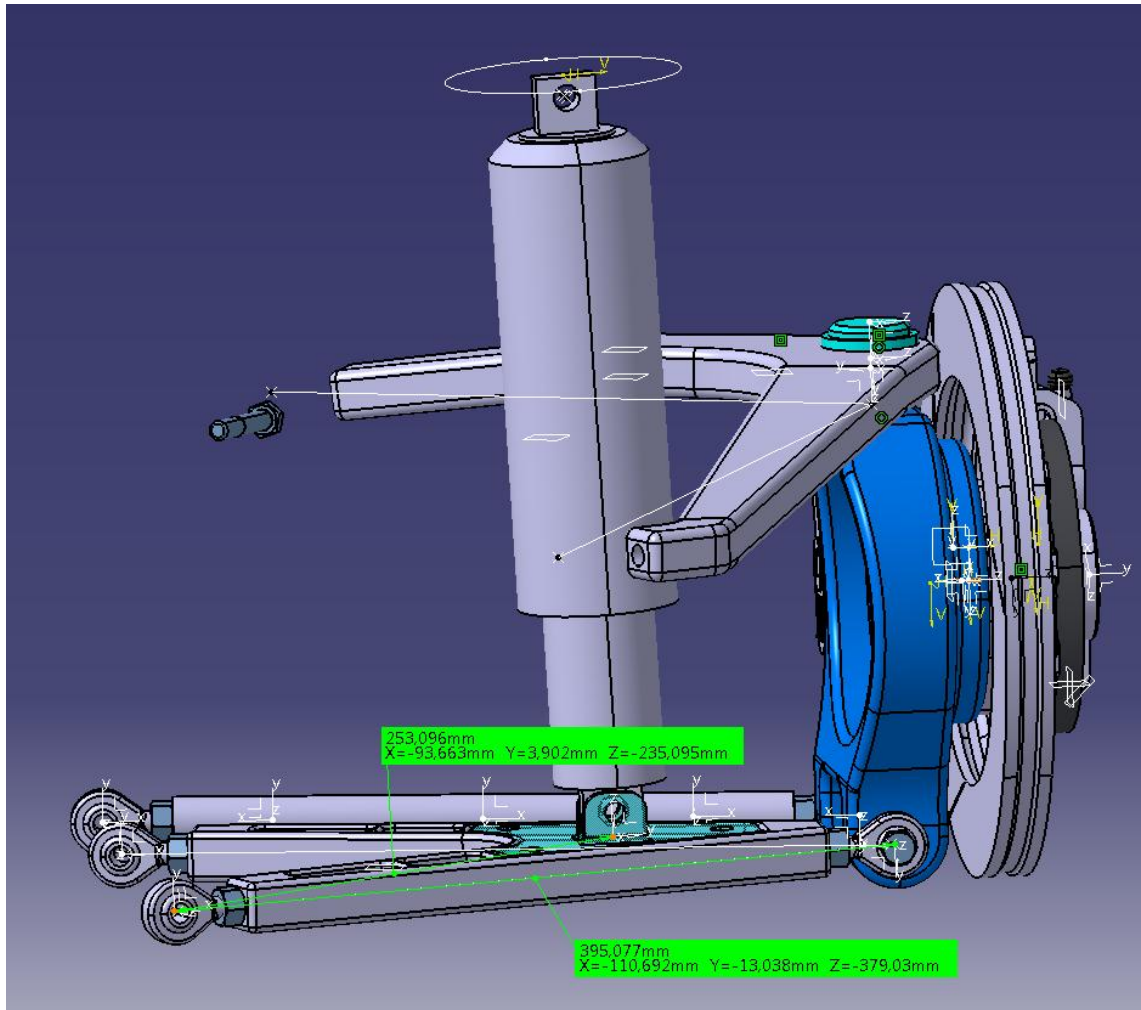
Olka-akselin kiinnityspisteeseen etäisyys rungon kiinnityspisteestä (kuva 33)

$$F_{t2} = 10000 \text{ N}$$

Renkaalta ylöspäin tuleva tukivoima

$$F_i = \frac{b}{a} * F_{t2} = 16,13 \text{ kN}$$

Iskunvaimentimen kiinnityspisteeseen vaikuttava voima.



Kuva 33. Rungon kiinnityspisteen etäisyys iskunvaimentimen kiinnityspisteestä ja olka-akselin kiinnityspisteestä mitattiin Catia-kokoonpanosta z-komponentin avulla. Tästä saatiin yllä olevaan kaavaan a-pituudeksi 379 mm ja b-pituudeksi 235 mm.

### 5.3 Pitkittäisvoimat

Ruuviliitosten ja kiristysmomenttien mitoittamiseksi jouduttiin laskemaan tukivarsien nivelpisteisiin vaikuttavat voimat (kuva 34). Laskennassa käytettiin edelleen kohdassa 5.2. mainittua äärimmäistä ajotilannetta. Seuraaviin laskuihin käytettiin mallina Ilkka Karvosen opinnäytetyötä E-RA-sähköauton apurungon laskelmista. Karvonen oli työsään laskenut täsmälleen samat laskut [2, s. 9–12], joten niiden pohjalta oli helppo tehdä myös RaceAboutin laskelmat.

Pitkittäisvoimia laskettaessa tienpinnan ja renkaan väliseksi kitkakertoimeksi luiston rajalla oletettiin 1. Laskentaa esitetty seuraavassa:

$$\mu = 1$$

Kitkakerroin luiston rajalla

$$G_t = 2943 \text{ N}$$

Pahimman mahdollisen tilanteen mukainen pystyvoima renkaalla

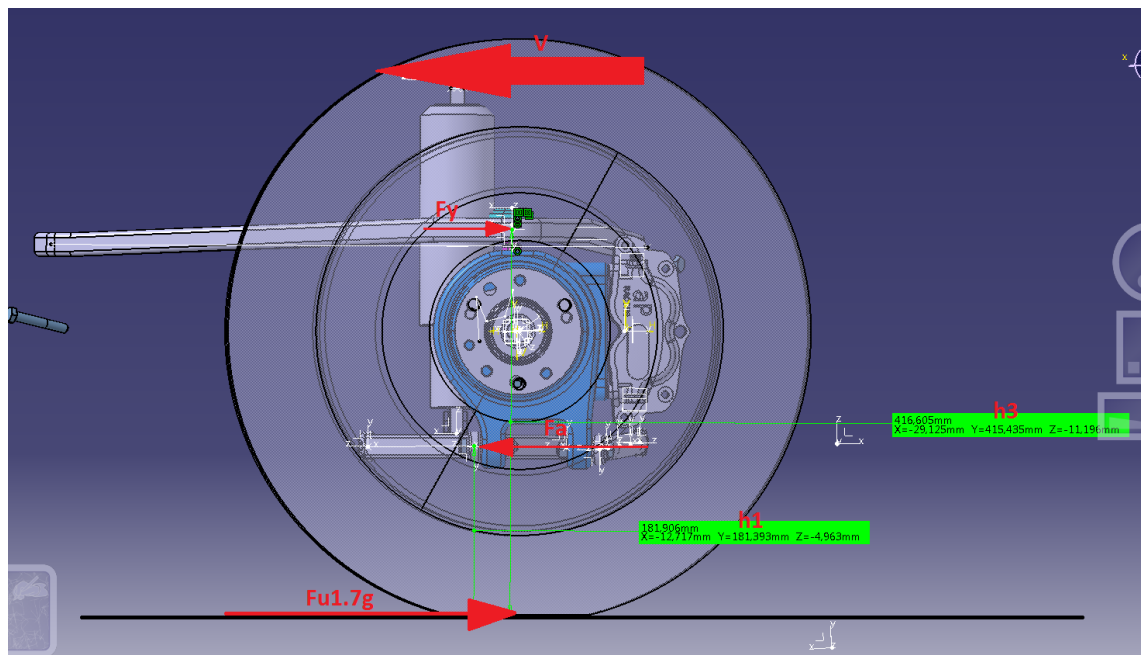
$$F_\mu = G_t * \mu = 2943 \text{ N}$$

Renkaaseen vaikuttava kitkavoima luiston rajalla

Tilanteessa auto on juuri lähdessä luistoon, joten kitkakertoimeksi on oletettu 1, ja tällöin kitkavoimaksi saadaan yllä olevaa mekaniikan kaavaa käyttäen n. 3000 N.

Koska tutkittavassa tilanteessa (kuva 33) pyörään kohdistuu noin 1,7 g:n y-suuntainen kiihtyvyys, käytetään laskennassa seuraavaa voimaa:

$$F_{\mu 1,7g} = F_\mu * 1,7 = 5,003 \text{ kN}$$



Kuva 34. 1,7 g:n jarrutuksessa syntyvät voimat.

Koska voimien summat – ja tässä tapauksessa momenttien summat – ovat 0, saadaan aikaan yhtälö

$$F_{\mu 1,7g} * h1 = F_y * h2$$

jossa

$$h1 = 181,393 \text{ mm} \quad \text{Tienpinnan ja alatukivarren välinen etäisyys}$$

$$h3 = 415,435 \text{ mm} \quad \text{Tienpinnan ja ylätukivarren välinen etäisyys}$$

$$h2 = h3 - h1 = 234,042 \text{ mm} \quad \text{Ala- ja ylätukivarren välinen etäisyys}$$

ja josta voidaan ratkaista

$$F_y = \frac{h1}{h2} * F_{\mu 1,7g} = 3,878 \text{ kN} \quad \text{Ylätukivarteen kohdistuva pitkittäisvoima}$$

ja vastaavasti

$$F_a = F_{\mu 1,7g} + F_y = 8,881 \text{ kN} \quad \text{Alatukivarteen kohdistuva pitkittäisvoima}$$

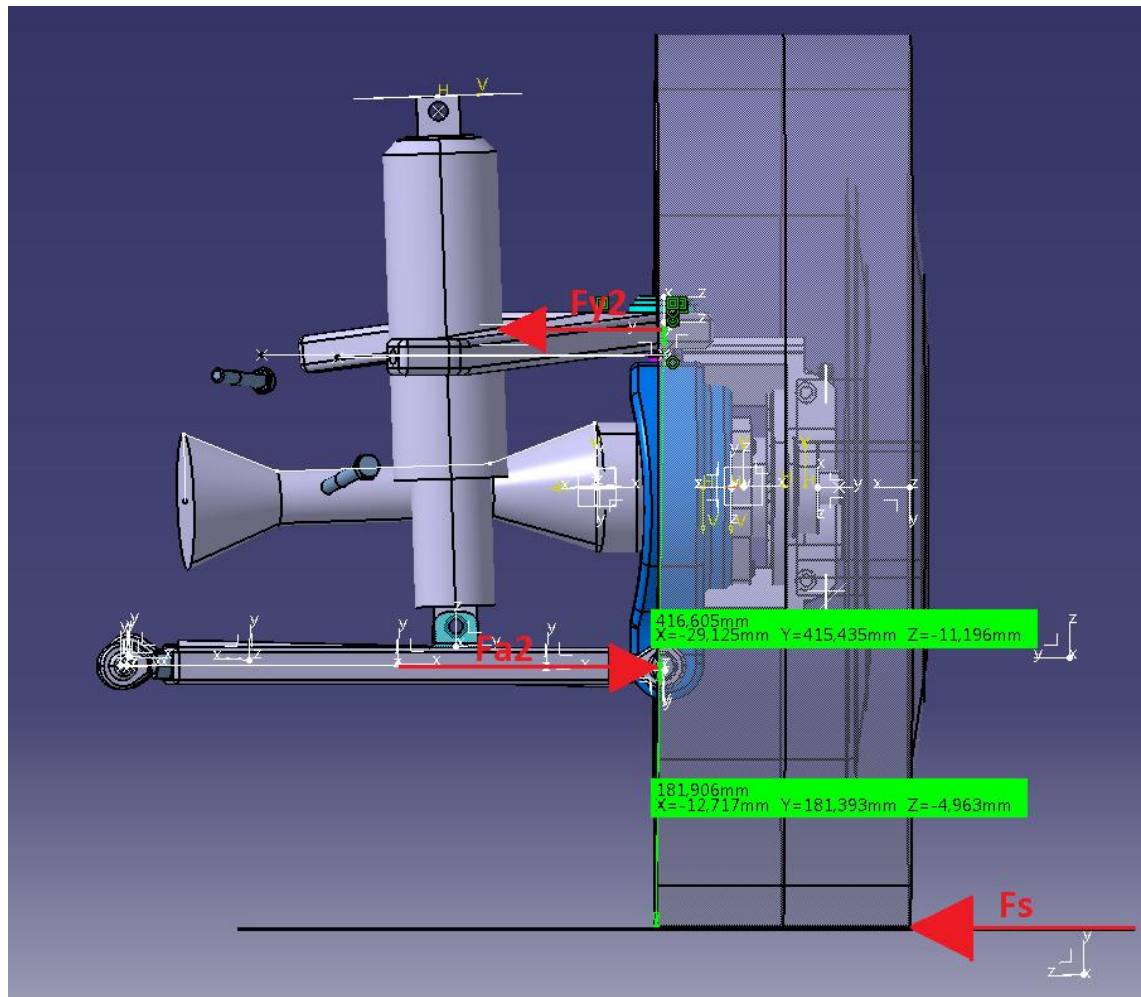
Alatukivarteen kohdistuu siis suurempi, noin 8900 N:n pitkittäisvoima ja ylätukivarteen noin 3900 N:n pitkittäisvoima.

#### 5.4 Sivuttaisvoimat

Myös sivuttaisvoimat laskettiin (kuva 35). Tilanteena käytettiin edelleen äärimmäistä ajotilannetta, joten sivuttaiskiihtyvyyden oletettiin olevan noin 1,7 g mutta painonsiirron johdosta koko taka-akselin massan oletettiin olevan yhdellä pyörällä. Kitkakertoimen oletettiin edelleen olevan maksimissa luiston rajalla eli sen arvoksi asetettiin 1. Tästä saatiin käytettäväksi sivuttaisvoimaksi 2 kertaa pitkittäisvoimaa vastaava arvo.

$$F_s = 2 * G_t * \mu * 1,7 = 10,01 \text{ kN}$$





Kuva 35. Tukivarsiin kohdistuvat sivuttaissuuntaiset voimat edestä kuvattuna.

Momenttien summien ollessa nolla voitiin sivuttaisvoimat laskea käyttämällä kaavaa

$$F_{y2} * h2 = F_s * h1$$

josta ratkaistiin ylätukivarteen kohdistuva voima

$$F_{y2} = \frac{h1}{h2} * F_s = 7755 \text{ N}$$

etäisyyksien ollessa jo edellä mainitut

$$h1 = 181.393 \text{ mm}$$

Tienpinnan ja alatukivarren välinen etäisyys

$$h2 = h3 - h1 = 234,042 \text{ mm}$$

Ala- ja ylätukivarren välinen etäisyys

ja vastaavasti alatukivarteen kohdistuva sivuttaissuuntainen voima

$$F_{a2} = F_{y2} + F_s = 17,76 \text{ kN}$$

Ylätukivarteen siis kohdistuu pienempi n. 7600 N sivuttaisvoima ja alatukivarteen noin 18 kN sivuttaisvoima.

### 5.5 Kiristysmomenttien laskeminen maksimikitkavoiman avulla

Oлка-akseliin asennettavien pulttien kiristysmomenttia tarkasteltiin maksimikitkavoiman avulla [3, s. 228-232]. Pultteja asennettaessa ne tulee kiristää noin laskettuun arvoon. Lisäksi liitokset tulee varmistaa lukkomuttereilla, jotta ne eivät pääse aukeamaan missään tilanteessa. Laskennassa on käytetty M10 taajakierrepulttia.

$$A_S = 61,2 \text{ mm}^2$$

Jännityspoikkipinnan ala

$$\mu_G = 0,15$$

Kierteen kitkakerroin

$$d_2 = 9,188 \text{ mm}$$

Pulttikierteen kylkihalkaisija

$$d_3 = 8,466 \text{ mm}$$

Pulttikierteen sydänhalkaisija

$$d_0 = \frac{d_2 + d_3}{2} = 8,827 \text{ mm}$$

Ruuviliitoksen pienimmän poikkileikkauksen halkaisija

$$v_p = 0,9$$

Tavallisimmissa ruuviliitoksissa suurin myötörajan hyödyntämissuhde

$$R_{p0p,2} = 660 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Pultin myötöraja

$$P = 1,25$$

Kierteen nousu

$$\sigma_M = \frac{v_p \cdot R_{p0p,2}}{\sqrt{\left[1 + 3 \cdot \left[2 \cdot \frac{d_2}{d_0} \cdot \left(1,155 \cdot \mu_G + \frac{P}{\pi \cdot d_2}\right)\right]\right]^2}} = 252,501$$

Vetojännitys [3, s. 229]

$$F_{sp} = \sigma_M * A_S \approx 15450 \text{ N}$$

Maksimiaalinen aksiaalinen ruuvivoima

$$F = \mu_G * F_{sp} = 2318 \text{ N}$$

Maksimaalinen kitkavoima pulttiliitokselle

$$d_K = 14,2 \text{ mm}$$

Kannan kantavan pinnan ulkohalkaisija

$$D_B = 10 \text{ mm}$$

Ruuvien reiän halkaisija

$$D_{km} = \frac{d_K + D_B}{2} = 12,1 \text{ mm}^2$$

Keskimääräinen kitkan vaikutusympyrän halkaisija

$$\mu_K = 0,15$$

Ruuvien tai mutterin kannan ja sen alustan välinen kitkakerroin

$$F_M = F_{sp}$$

Asennuskiristysvoima

$$M_A = 0,5 * F_M * \left( 1,155 * \mu_G * d_2 + D_{km} + \frac{P}{\pi} \right) = 29397 \text{ Nmm}$$

$$\frac{M_A}{1000} \approx 29 \text{ Nm}$$

Pultin kiristysmomentti

Pultit tulee siis kiristää noin 27 Nm:n momenttiin. Todellisuudessa uudessa konstruktiossa ei ole kyse aidosta kitkaliitoksesta, sillä voima tulee pääasiassa kohtisuoraan pultille, eikä siis vetona. Laskennan avulla saatiin kuitenkin selville, millaiseen arvoon pultit tulee suurin piirtein kiristää. Mikäli liitos ei ole riittävän luja, voidaan siinä käyttää suuremman myötörajan omaavaa pulttia, jolloin se voidaan myös kiristää tiukemmalle.

## 5.6 Navan kiristysmomentti

Saab 9-3 Aeron navan kiristysmomentti katsottiin Autodata-ohjelmasta. Navan kolme pulttia tulee kiristää olka-akseliin 230 Nm:n momentilla.

## 6 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

### 6.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Annetut tavoitteet saavutettiin suurimmilta osin. Pyörän kulmamuuutokset ovat vaadituissa arvoissa ja lisäksi esimerkiksi raidetanko saatiin paremmaksi. Olka-akseli on myös kevyempi kuin vanha, mikä omalta osaltaan parantaa myös auton ajo-ominaisuuksia jousittamattoman massan pienentyessä. Uudessa konstruktiossa pystyttiin hyödyntämään olemassa olevia taka-apurungon kiinnikkeitä sekä uniball-niveliä.

Joistakin tavoitteista jouduttiin tinkimään, kuten esimerkiksi KPI-kulmasta ja olka-akselin symmetrisyydestä. KPI-olisi haluttu negatiivisen puolelle mutta siihen ei päästy, sillä se olisi tehnyt olka-akselista turhan massiivisen ja sitä kautta vaikeuttanut muiden alustakomponenttien sijoittelua. Olka-akselista ei myöskään saatu symmetristä, sillä se rajasi suunnittelua liikaa.

Osien lujuussimulointi osoitti komponenttien kestävästä käytöstä aiheutuvat voimat, mikä onkin tärkeää, sillä autolla ajetaan paljon moottoriradalla.

Alustan säädöt ovat kattavat mutta eivät silti aivan niin hyvät kuin olisi toivottu. Auras- ja camberkulmien säätäminen pelkästään alatukivarresta ja raidetangosta ei ole ihanteellinen ratkaisu, mikäli haetaan nopeaa säätömahdollisuutta. Säätöjen osalta jatkokehitysidea on esitetty luvussa 6.3.

### 6.2 Aikataulu

Alkuperäisen suunnitelman mukaan projektin piti valmistua jo talvella 2010–2011. Projektia ei saatu kuitenkaan vietyä läpi tuotekniikan innovaatioprojekti-kurssin aikataulus- sa, joten se päätettiin saattaa loppuun insinööriyönä. Tarkoituksena oli, että auto olisi saatu uusilla komponenteilla ajoon kesällä 2011 mutta tässä ei kuitenkaan onnistuttu ja projekti venähti vuodella.

Työhön on muutenkin käytetty todella paljon aikaa sillä aina uutta ratkaisua yritettäessä jokin jo olemassa oleva tekijä vaikutti negatiivisesti ja ratkaisu jouduttiin hylkäämään. Esimerkkinä mainittakoon ihanteellisen alustageometrian löytäminen ja myö-

hemmin havaittu raidetangon ja alatukivarren yhteisen kiinnityspisteen fyysinen mahdollisuus. Raidetanko olisi kääntänyt palloniveltä eri suuntaan kuin alatukivarsi, ja tästä syystä nivel ei olisi toiminut toivotusti ja olisi ollut vaarassa rikkoutua.

Lopulta suunnittelutyö saatiin kuitenkin valmiiksi neljän vuoden koulutusohjelman mukaisesti toukokuussa 2012 ja osat saatiin valmistukseen.

Jälkeenpäin ajateltuna voi todeta, että tässä insinööriyössä olisi ollut aihetta ja vaikeustasoa tarpeeksi kahdellekin tekijälle ja työparin kanssa projekti olisi mahdollisesti saatu valmiiksi jo huomattavasti aiemmin. Kääntöpuolena on tietysti se, että projektissa oppi hyvin paljon ja lopputulokseen päästyä voikin sanoa ymmärtävänsä aiheesta melko kattavasti.

### 6.3 Jatkokehitys

Myös parannettavaa jäi. Alustan säätäminen tulee olemaan melko työlästä nykyisellä konstruktiolla, sillä sekä camber- että auraus säädetään alhaalta. Camberkulman säätäminen alatukivarren ulointa niveltä kääntämällä on hidasta ja lisäksi alapalloniveltä säätäessä myös aurasukulma muuttuu. Taka-apurungon ylätukivarren kiinnikkeitä muokkaamalla ylätukivarteen olisi mahdollista saada cambersäätö. Säädön voisi toteuttaa esimerkiksi epäkeskopulteilla. Samalla olisi kenties syytä harkita ylätukivarren etummaisesta kiinnityskorvakkeen kääntämistä pitkittäisvoimien suuntaiseksi, jolloin päästäisiin ylätukivarren ylimääräisestä taitoksesta ja voimat välittyisivät nivelten kautta toivotusti.

## Lähteet

[1] Mekaaniset ominaisuudet. 2008. Verkkodokumentti. Alumeco.  
<http://www.alumeco.fi/default.aspx?id=1646>. 2008. Luettu 8.5.2012.

[2] Karvonen, Ilkka. 2010. E-RA-sähköauton apurungot. Insinööriyö. 2010. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

[3] Airila, Mauri ym. 2010. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: WSOYpro OY.

RaceAbout Club Ry



Takaolka-akselin lähtötiedot

Mikko Karppinen

V. 1.0

1/1

13.9.2010

**Suunnittelun lähtötiedot:****Vaativuudet:**

- Kestettävät annetut rasitukset:
  - o Jarrutuksen tukivoimat (1.2G, Gt 100%, N=4)
  - o Kiihdytyksen tukivoimat (max. kiihtyvyyden aiheuttama)
  - o Kiihtyvyydet, yhdistetty maksimi (esm kaarreajo+esteen ylitys/kuoppa ((esm. 5G+5G))
  - o Luotettava selvitys viranomaisille (FEM-raportti)
- Tukivarsien sisänivelien paikkaa ei muuteta
- Ulkonivelten paikka vapaat
  - o Esim. M16 teräsnivelepäät (Aurora, Rodobal)
  - o Sijainti vapaa
  - o Camber Gain noin 1-1,5 ast / 50 mm ( tai muu vastaava)
    - Muutoskäyrä suht. jatkuva
  - o Aurauksen muutos jouston funktiona minimoitava
  - o KPI mielillään negatiivisella puolella
  - o Raideleveys suurin piirtein sama
    - Vetoakselin minimi-maksimi pituus huomioitava
  - o Tukivarret voidaan tehdä uusiksi
  - o Kallistuskeskiön korkeuteen ei suurta muutosta
- Jarrusatula takapuolelle
  - o Satulalle kannattaa tehdä oma adapterikappale
- Jarrulevy
  - o Käytetään vanhaa jarrulevyn keskiötä
- Pyöränlaakeri
  - o Pulttikiinnitteinen Saab 9-3
  - o Pyörän napa alkuperäinen Saab 9-3
- CoilOver
  - Paikka vapaa
  - Asento siten ettei jousivakio muutu degressiiviseksi joustossa
  - Liikematka 50/50, yhteensä 120mm
  - Liikesuhde mahdollisimman suureksi
  - Huomioitava riittävä tila vetoakselille
  - Kiinnityspistettä voidaan muuttaa rungossa tilan rajoissa
  - Kiinnityspisteiden riittävä lujuus

**Valmistus:**

- o Suositeltava materiaali EN AW 7075-T6 pinnoitettuna
- o Olka-akselin ulkomuodoissa kannattaa huomioida:
  - Symmetrisyys
  - Kiinnitettävyyys CNC koneeseen, yhdensuuntaiset tasopinnat
  - Muotojen ajosuunnat (montako kiinnitystä tarvitaan)
  - Syvät muodot, isojen säteiden käyttö (Voidaan ajaa yhdellä kertaa isolla terällä)
- o Sarlin Race Team tekee vastaavia tuotteita, joten koneistus materiaali hankintoinen ja pinnoituksineen onnistuu sitä kautta

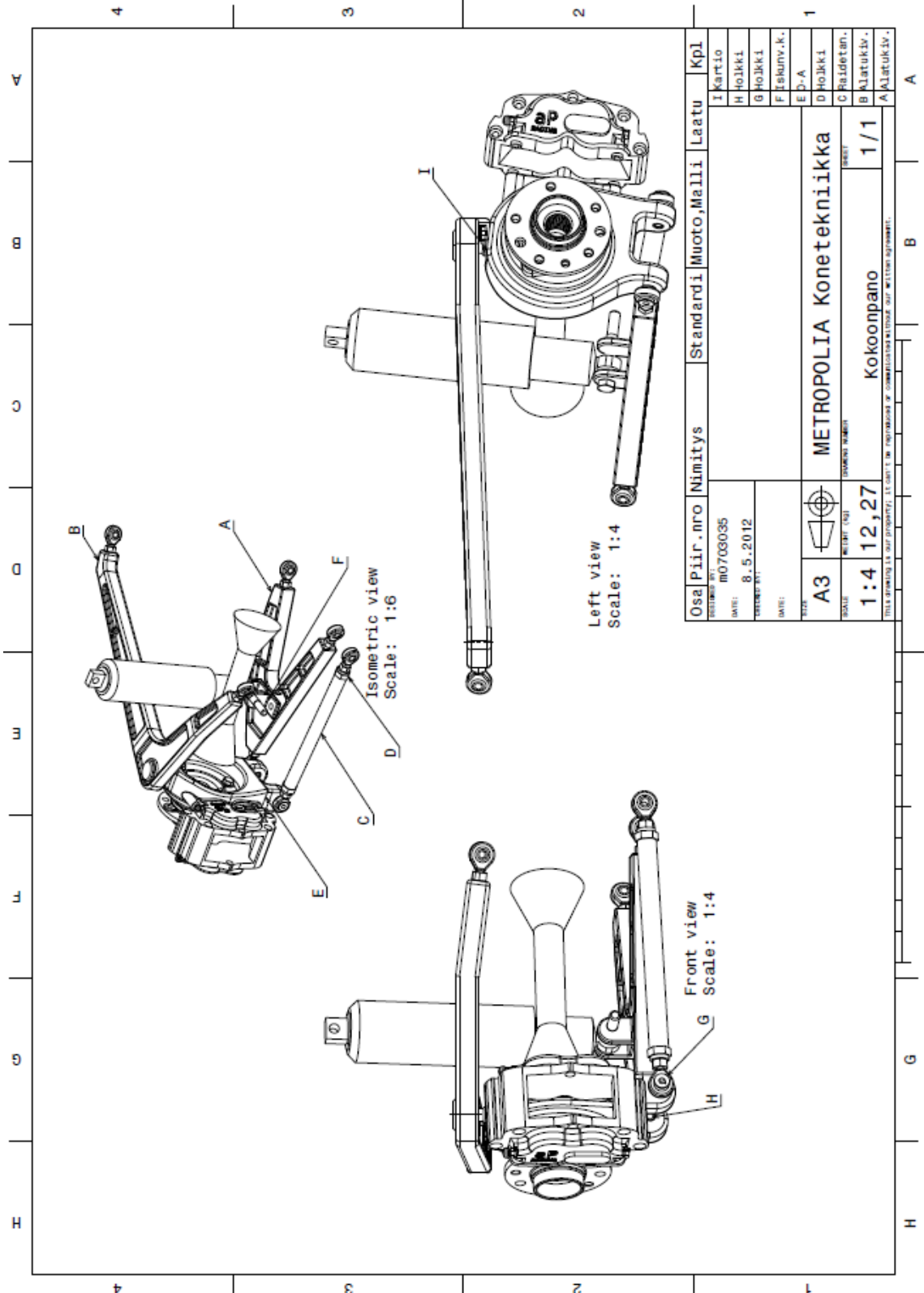
Osoite:  
Vesuriipolku 5 B  
00760 Helsinki

Puhelin:  
050-3561235

Sähköposti:  
mikkok@saunalahti.fi

Pankki:  
Nordea 147030-230253

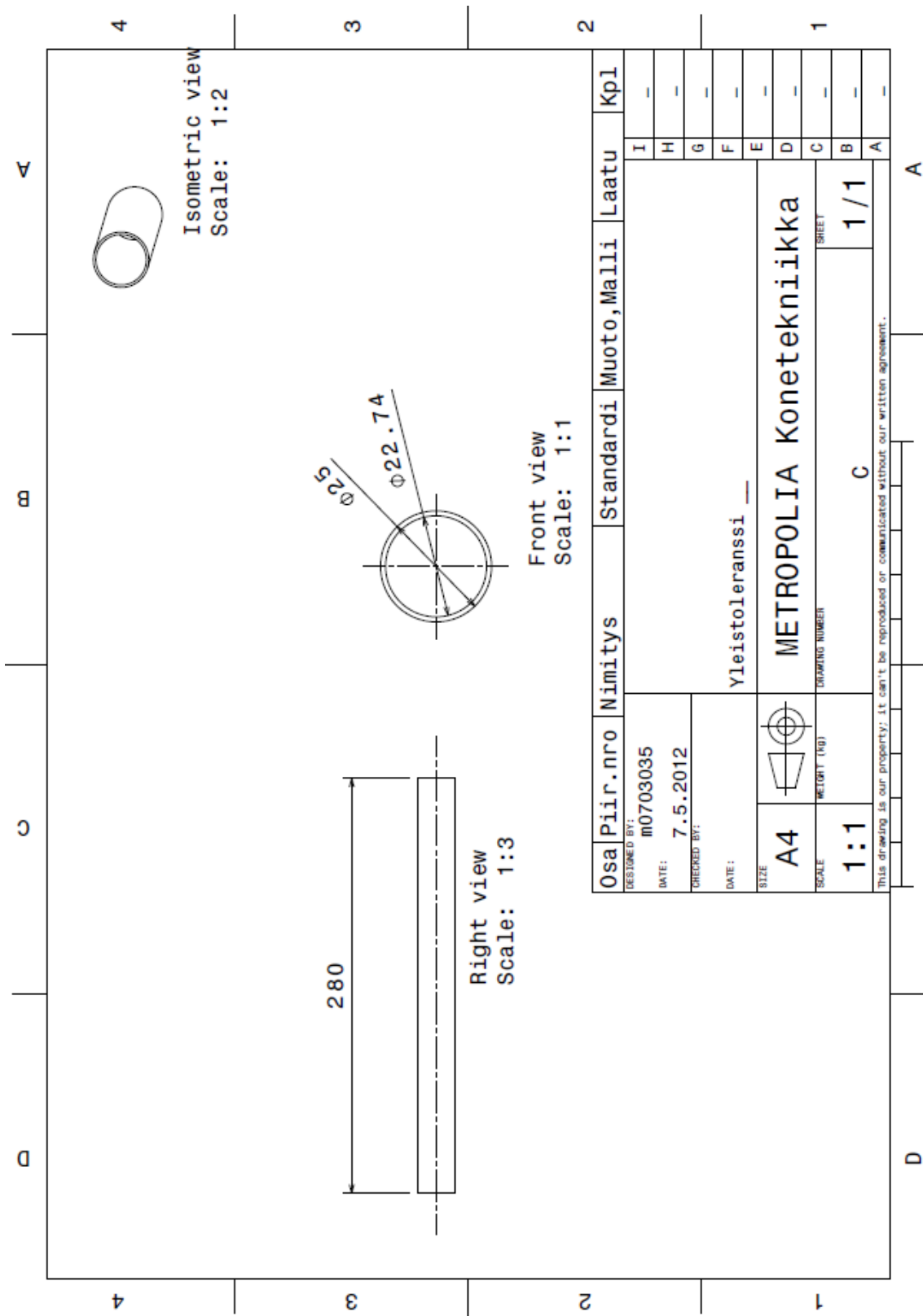
Y-tunnus  
2206182-4









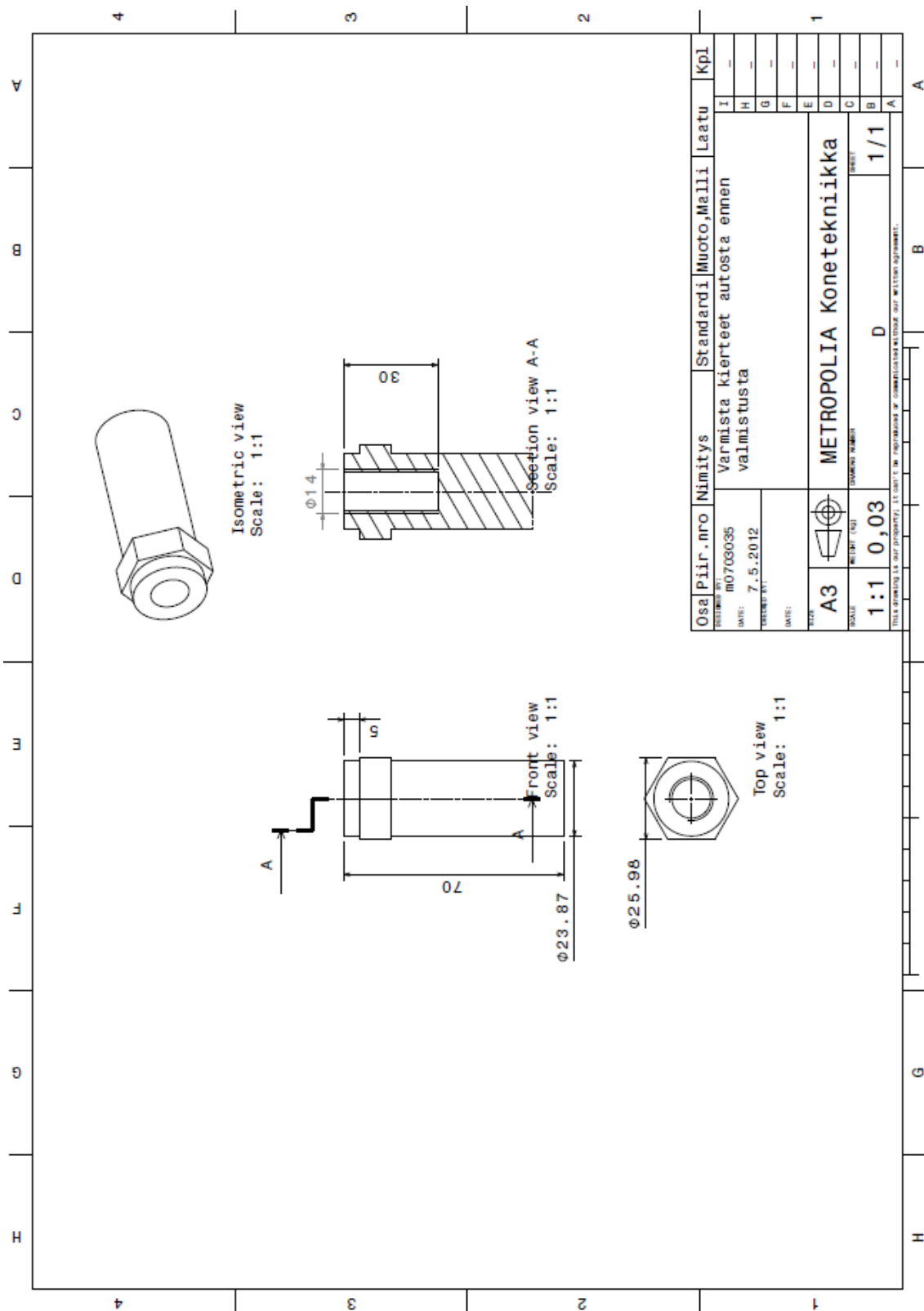


Osa	Piir.nro	Nimitys	Standardi	Muoto,Malli	Laatu	Kpl
DESIGNED BY:	m0703035				I	-
DATE:	7.5.2012				H	-
CHECKED BY:					G	-
DATE:					F	-
SIZE	A4	Yleistoleranssi			E	-
SCALE	1:1	METROPOLIA Konetekniikka			D	-
REPORT (NO)		ORDERING NUMBER			C	-
					B	-
					A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

A

D

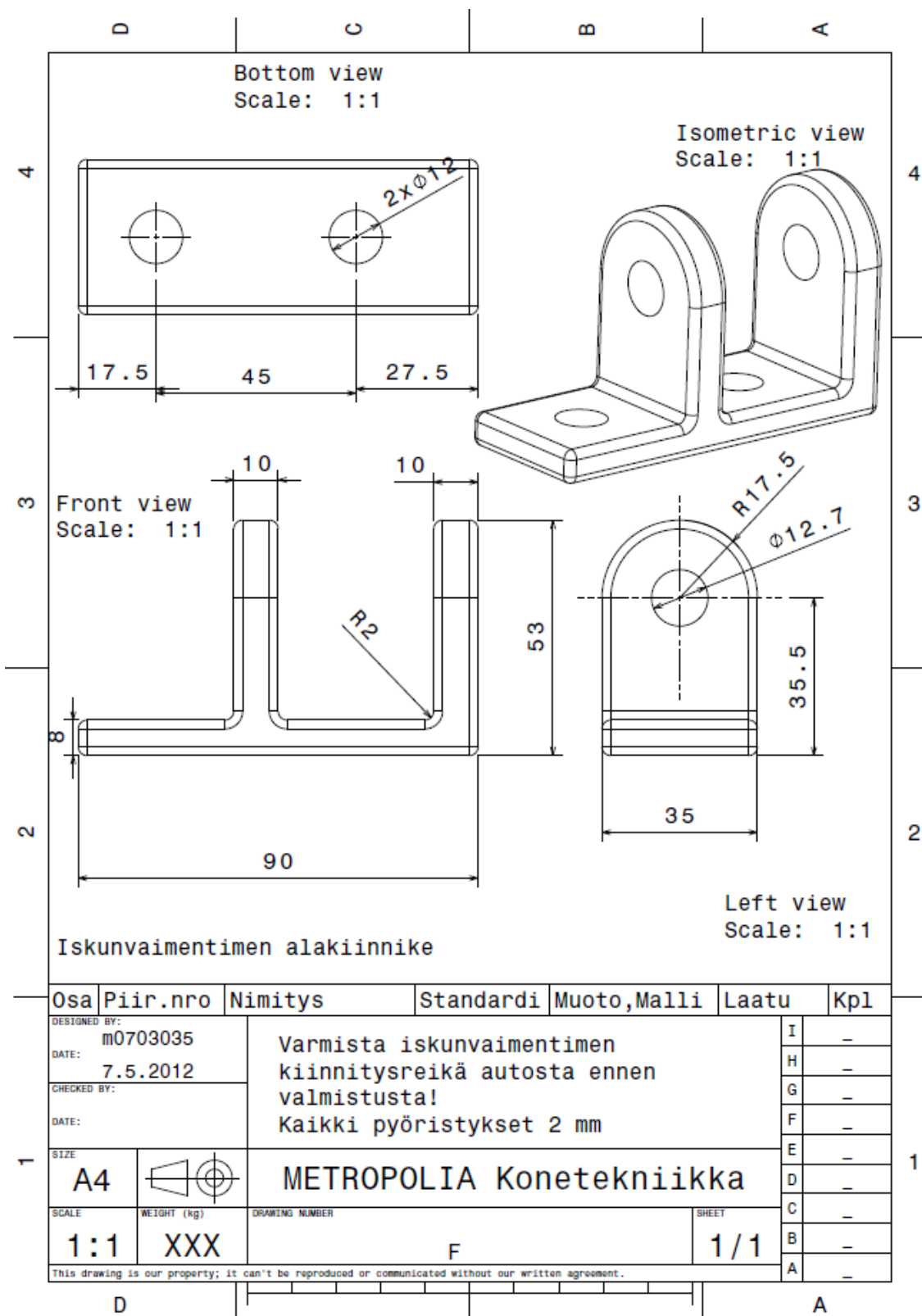


Osa	Piir. nro	Nimitys	Standardi	Muoto, Malli	Laatu	Kpl
	m0703035	Varmista kierreteet autosta ennen valmistusta				I
	DATE: 7.5.2012					H
	PERIOD: 30					G
	DATE:					F
SIZE	A3					E
SCALE	1:1	0,03				D
						C
						B
						A

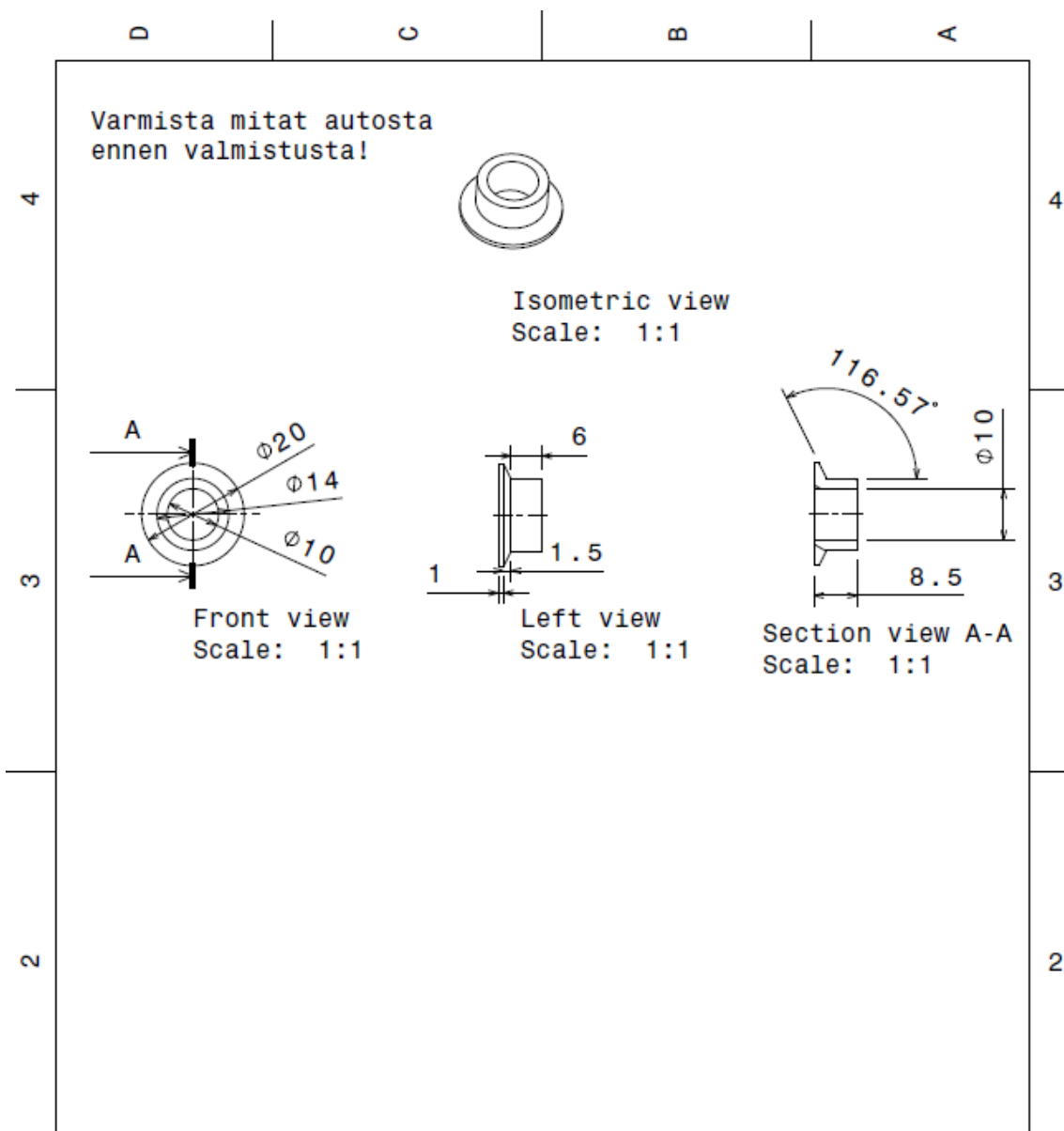
METROPOLIA Konetekniikka  
 DRAWING NUMBER: D  
 SCALE: 1/1

THIS DRAWING IS NOT PROTECTED BY PATENT RIGHTS OR OTHER RIGHTS OF INTELLECTUAL PROPERTY.





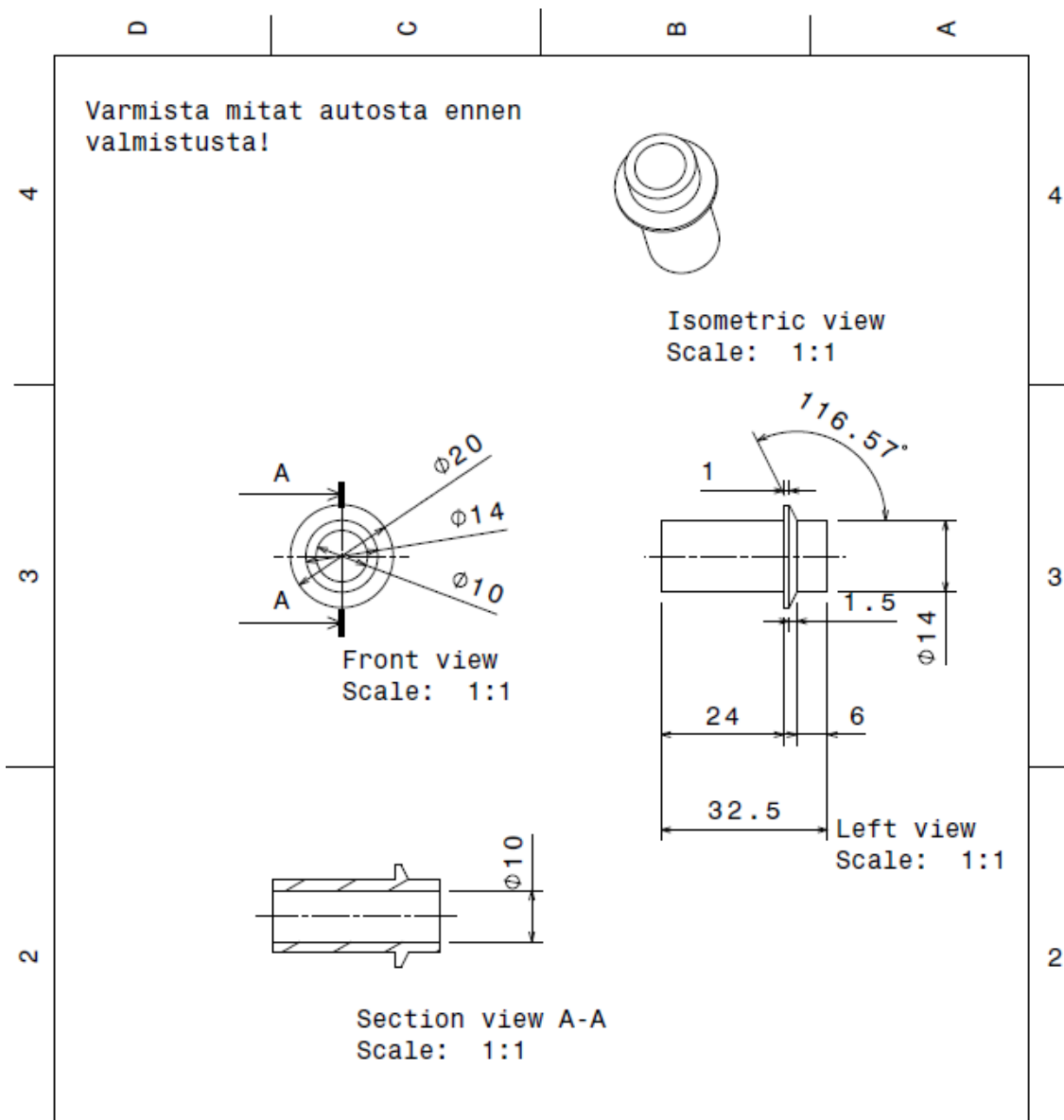
Osa	Piir.nro	Nimitys	Standardi	Muoto,Malli	Laatu	Kpl
DESIGNED BY:	m0703035	Varmista iskunvaimentimen kiinnitysreikä autosta ennen valmistusta! Kaikki pyöristykset 2 mm				I -
DATE:	7.5.2012					H -
CHECKED BY:						G -
DATE:						F -
SIZE	A4	METROPOLIA Konetekniikka				E -
SCALE	1:1					D -
WEIGHT (kg)	XXX	DRAWING NUMBER	F	SHEET		C -
				1/1		B -
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.						A -



Osa	Piir.nro	Nimitys	Standardi	Muoto, Malli	Laatu	Kpl	
DESIGNED BY: m0703035			<b>METROPOLIA Konetekniikka</b>				I
DATE: 4.5.2012							H
CHECKED BY:							G
DATE:							F
SIZE <b>A4</b>						E	
SCALE <b>1:1</b>	WEIGHT (kg) <b>XXX</b>	DRAWING NUMBER <b>G</b>	SHEET <b>1/1</b>		1		
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.						D	

D

A

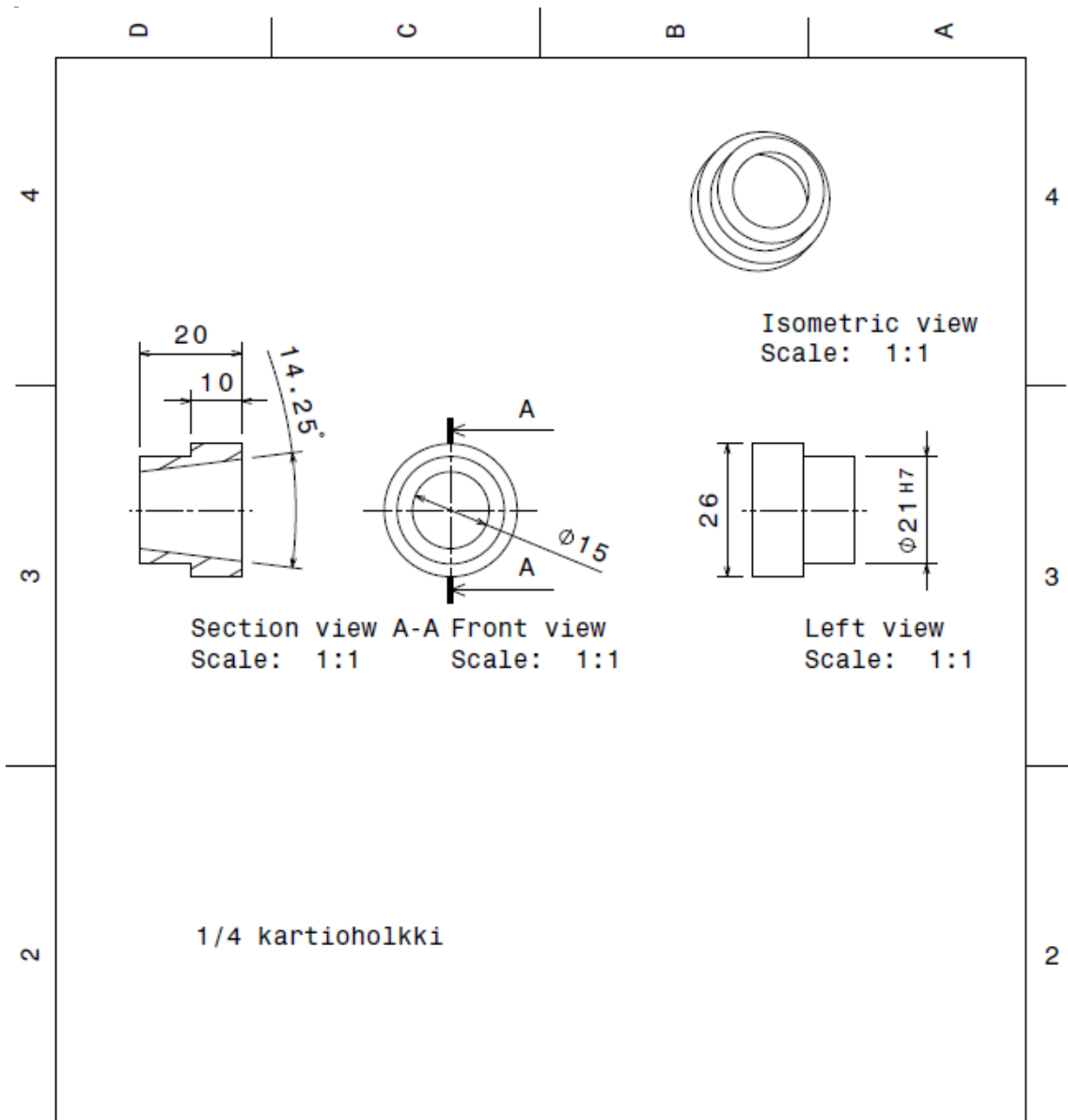


Osa	Piir.nro	Nimitys	Standardi	Muoto,Malli	Laatu	Kpl
DESIGNED BY:	m0703035					I -
DATE:	4.5.2012					H -
CHECKED BY:						G -
DATE:						F -
SIZE	A4	METROPOLIA Konetekniikka				E -
SCALE	1:1	WEIGHT (kg)	0,00	DRAWING NUMBER	H	D -
						C -
						B -
						A -
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.						

D

A





1/4 kartioholkki

Osa	Piir.nro	Nimitys	Standardi	Muoto,Malli	Laatu	Kpl	
DESIGNED BY: m0703035						I	-
DATE: 7.5.2012						H	-
CHECKED BY:						G	-
DATE:						F	-
SIZE A4		METROPOLIA Konetekniikka				E	-
SCALE 1:1	WEIGHT (kg)	DRAWING NUMBER I	SHEET 1/1		D	-	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.						C	-
						B	-
						A	-

D

A