

Janne Laine

RaceAbout - Ajodynamiikan kehitystyö

Peräosa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

3.4.2015

Tekijä Otsikko	Janne Laine RaceAbout - Peräosan ajodynamiikan kehitystyö
Sivumäärä Aika	35 sivua + 1 liite 3.4.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja	Projektipäällikkö Harri Santamala
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli kehittää Metropolia Ammattikorkeakoulun Race-About-urheiluauton ajodynamiikkaa peräosan osalta. Ajodynamiikkaa lähdettiin parantamaan valmistamalla autoon diffuusori ja suunnittelemalla auton peräpäähän uudet ylätukivarret. Diffusorin myötä autossa aikaisemmin rata-ajossa käytetty suora pakoputki ei enää sopinut autoon, joten päätettiin muokata katuajossa käytettävää putkistoa siten, että siihen voitiin asentaa äänenvaimentimen ohittava bypass -venttiili.</p> <p>Diffuusori valmistettiin hiilikuitukomposiitista, jonka lasikuitumuotteja varten suunniteltiin Catia V5 -ohjelmalla muotit, jotka koneistettiin Sika®-polyuretaaniharkosta. Näistä muotteista saatiin kaksipuoleiset muotit varsinaisia osia varten lasikuidusta laminoimalla.</p> <p>Bypass -venttiili ja uusi pakoputkisto suunniteltiin Catia V5 -ohjelmalla. Venttiilin runko koneistettiin hapon kestävästä teräksestä sorvaamalla sekä jyrsimällä. Venttiilin sulkeva läppä leikattiin ruostumattomasta teräksestä. Läpän akseli valmistettiin messingistä, joka materiaalina toimii myös liukulaakerina.</p> <p>Peräosan ylätukivarsi suunniteltiin vanhan tukivarren pohjalta. Geometrioita muutettiin niin, että tukivarsi kiertää paremmin takarenaan. Tukivarteen kohdistuvat voimat mitattiin venymäliuskoja hyväksi käyttäen ja näin saatujen arvojen perusteella optimoitiin tukivarressa käytettävän materiaalin määrää.</p> <p>Kokonaisuudessaan peräosasta tuli siisti ja toimiva paketti. Diffuusori ja pohjalevy istuivat hyvin autoon, ja pakoputkisto asettui erinomaisesti diffusorin kanssa paikalleen. Bypass -venttiilistä tuli mekaanisesti toimiva ja se jäi odottamaan sähköistä ohjausta. Verrattuna RaceAboutin edeltävään versioon, tukivarsista saatiin järkevämmän malliset ja käytännöllisyyttä lisättiin mm. letkujen kiinnityksessä. Painon säästöä saavutettiin karsimalla turhaa materiaalia mahdollisimman paljon pois.</p>	
Avainsanat	RaceAbout, diffuusori, tukivarsi

Author Title	Janne Laine Improving Driving Dynamics in the Rear of the RaceAbout Sports Car
Number of Pages Date	35 pages + 1 appendix 3 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor	Harri Santamala, Project Manager
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to develop driving dynamics in the rear part of the RaceAbout sports car of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. Driving dynamics was improved by manufacturing a diffuser, and by designing new upper wishbones for the rear suspension of the car. After manufacturing and installing the diffuser, the old straight exhaust pipe that was used in racetrack is no longer fitted in the car, so a decision was made to modify the old street pipe in such way that it could be fitted with the muffler passing bypass valve.</p> <p>The diffuser was manufactured from carbon fiber composite. The two-sided fiberglass molds of the diffuser were designed by the Catia V5 design software, and molds for them were machined from Sika®-polyurethane block.</p> <p>The bypass valve and the new exhaust system were designed by Catia V5 software. The valve's body was machined from acid-resistant steel by turning and milling. The closing flap of the valve was cut out from stainless steel. The shaft of the flap was made of brass. The brass also serves as a slide bearing.</p> <p>The upper wishbone design is based on the old wishbone. Geometry was changed so that the wishbone does not contact the rear tire. Forces focused on the wishbone were measured by using strain gauges. On the basis of the values obtained, the new wishbone was optimized for material usage.</p> <p>As a result, the rear section of the car is a nice and functional package. The diffuser and the base plate fit well in the car, and the exhaust system settled in very well with the diffuser in place. The bypass valve became mechanically operative and it was left now to wait for electric control. Compared to the previous version of the RaceAbout, the wishbone is more reasonable and practical. Also the hoses were mounted and fastened in a way that makes the car more practical. Weight saving was achieved by eliminating unnecessary material as much as possible.</p>	
Keywords	RaceAbout, diffuser, wishbone

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Takapään ylätukivarren uudelleensuunnittelu	1
2.1	Tausta	1
2.2	Todellisten tukivarren voimien mittaaminen	2
2.3	Geometrian varmistaminen	8
2.4	Tukivarren optimointi	12
3	Diffuusori	14
3.1	Teoria	14
3.2	Auton peräosan skannaus	14
3.3	Valmistus	15
3.3.1	Muotitus	15
3.3.2	Muotin koneistus	17
3.3.3	Muotin viimeistely ja laminointi	19
3.3.4	Diffusorin laminointi	22
3.4	Sovitus ja asennus	28
4	Pakoputken suoravirtauskanava	30
4.1	Teoria	30
4.2	Suunnittelu	30
4.3	Valmistus	31
4.4	Testaus	34
5	Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet	34
	Lähteet	36
	Liitteet	
	Liite 1. Tukivarren mittapiirros	

1 Johdanto

RaceAbout (RA) on Metropolia Ammattikorkeakoulun vuonna 1998 aloitettu urheiluauto-projekti. RA esiteltiin ensimmäisen kerran vuonna 2000 yleisölle Geneven autonäyttelyssä. Tämän jälkeen kehitystä on jatkettu mm. auton rekisteröinnillä tieliikenteeseen 2002, alustan kehityksellä ja tiedonkeruujärjestelmän asentamisella 2002–2004 sekä moottorin uusimisella 2004, joiden jälkeen auto esiteltiin uudistettuna Geneven autonäyttelyssä 2005.

Tarve tämän insinööriyön tekemiseen syntyi tarpeesta saada autoon diffuusori entisen yksinkertaisen pohjalevyn tilalle. Tämän lisäksi peräosan ylätukivarsien aikaisemmassa suunnittelussa tapahtuneen virheen vuoksi oli tarpeellista tehdä kehitystyötä myös ylätukivarsiin.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli parantaa RaceAbout-urheiluauton peräosan ajodynamiikkaa valmistamalla diffuusori ohjaamaan ilmaa auton alla sekä suunnittelemalla peräpäähän ylätukivarret uudelleen optimoiden materiaalin määrää sekä geometriaa. Diffuusoriin liittyvänä työnä valmistettiin äänenvaimentimen ohittava bypass -venttiili, koska aikaisemmin radalla käytetty kaksoisputki ei enää diffusorin valmistuttua mahdu diffusorin kanssa paikalleen. Työn ulkopuolelle rajattiin ylätukivarsien valmistus työn laajuuden rajaamiseksi.

Diffuusori valmistettiin hiilikuidusta, jota varten tehtiin muotit lasikuidusta. Lasikuitumuotteja varten tehtiin muotit Sika®-polyuretaaniharkoista. Bypass -venttiili valmistettiin teräksestä sorvaamalla ja jyrsimällä. Tukivarren, diffusorin sekä bypass -venttiin suunnittelussa käytettiin Catia V5 -ohjelmaa.

2 Takapään ylätukivarren uudelleensuunnittelu

2.1 Tausta

RaceAboutin takapään tuenta uudistettiin Lauri Leppäsen insinööriyön [1] pohjalta. Insinööriyössä uudistaminen oli tehty suunnittelun ja mallinnuksen osalta valmiiksi, mutta koneistus ja kokoaminen jäivät RaceAboutia ylläpitävän RA-clubin vastuulle. Kokoamisvaiheessa huomattiin koordinaatistovirhe ylätukivarressa, joka oli syntynyt Adams-simu-

lointiohjelmasta nivelpisteitä Catia V5 -ohjelmaan tuotaessa, minkä vuoksi katsottiin tarpeelliseksi ylätukivarren tekeminen uudelleen paremmin autoon sopivaksi. Samalla voitiin optimoida painoa materiaalin määrää vähentämällä.

2.2 Todellisten tukivarren voimien mittaaminen

Tukivarteen kohdistuvia voimia päätettiin mitata tukivarteen kiinnitettävillä venymäliuskaantureilla. Venymäliuskojen datan tallentamista varten tarvittiin HBM:n mx840-tiedonkeruuyksikkö ja kannettava tietokone, johon tämä laite oli kiinnitettyä.

Työ aloitettiin valmistamalla autoon kiinnitettävä pöytä, johon saatiin kiinnitettyä kannettava tietokone datan tallennusta varten. Pöydän materiaaliksi valittiin alumiini sen keveyden vuoksi. Pöydän autoon kiinnitystä varten koneistettiin alumiiniset kiinnikkeet (Kuva 1), jotka hitsattiin 4 mm paksuun alumiinilevyyn.



Kuva 1. Autoon kiinnitettävä teline pöydän jalaksia varten

Kiinnikkeisiin sopivat pöydän ”jalakset” valmistettiin leikkaamalla ensin pahvimalli ”jalaksen” muodosta, minkä jälkeen leikattiin 3 mm paksusta alumiinilevystä vastaavan muotoinen kappale. Jalaksien päälle leikattiin 3 mm paksusta alumiinilevystä pöytätaaso, jonka alalaita kantattiin ylöspäin kannettavan tietokoneen paikallaan pysyvyyttä varten ja sivulaidat alaspäin tietokoneen kiinnikkeiden kiinnitystä varten. Pöytälevy kiinnitettiin jalaksiin hitsaamalla (Kuva 2).



Kuva 2. Tietokonepöydän koko kokoonpano

Tietokoneen kiinnitystä varten koneistettiin Alumecc-työkalualumiinista ”kynnet”, joilla tietokone saatiin tukevasti kiinnitettyä autoon (Kuva 3). Testiajossa huomattiin pöydän olevan epävakaata sivuttaissuunnassa, joten ”jalaksien” väliin lisättiin alumiiniset ristikkäiset.



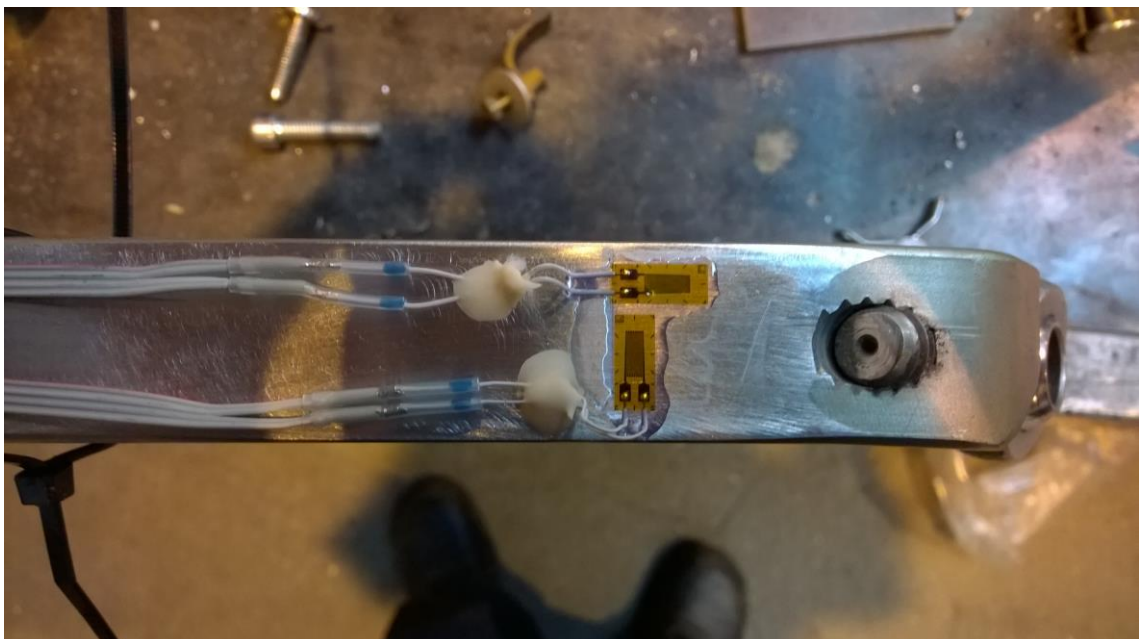
Kuva 3. Tietokone kiinnitettyä alumiinista valmistettuun pöytään koneistetuilla ”kynsillä”.

Invertteriä ja mx840-tiedonkeruuyksikköä varten autoon valmistettiin kiinnikkeet, joilla laitteet pysyvät ajossa paikallaan (Kuva 4). Kiinnikkeet kiinnitettiin autoon kierreniiteillä.



Kuva 4. Invertteri ja mx840 kiinnitettynä autoon.

Venymäliuskojen paikat tutkittiin Catian Analysis-työkalun avulla. Tuennasta tehtiin FEM-malli, jossa renkaalle asetettiin kuormaa ja näin nähtiin, mihin tukivarressa tulee suurin rasitus. Venymäliuskat liimattiin HBM:n venymäliuskojen ohessa tilatulla liimalla toisiaan nähden 90 asteen kulmaan (Kuva 5), jolloin saatiin poistettua lämpötilanmuutoksen vaikutus. Varren suuntainen liuska mittaa venymää, ja toinen liuska kompensoi lämpötilasta aiheutuvan pituuden muutoksen.

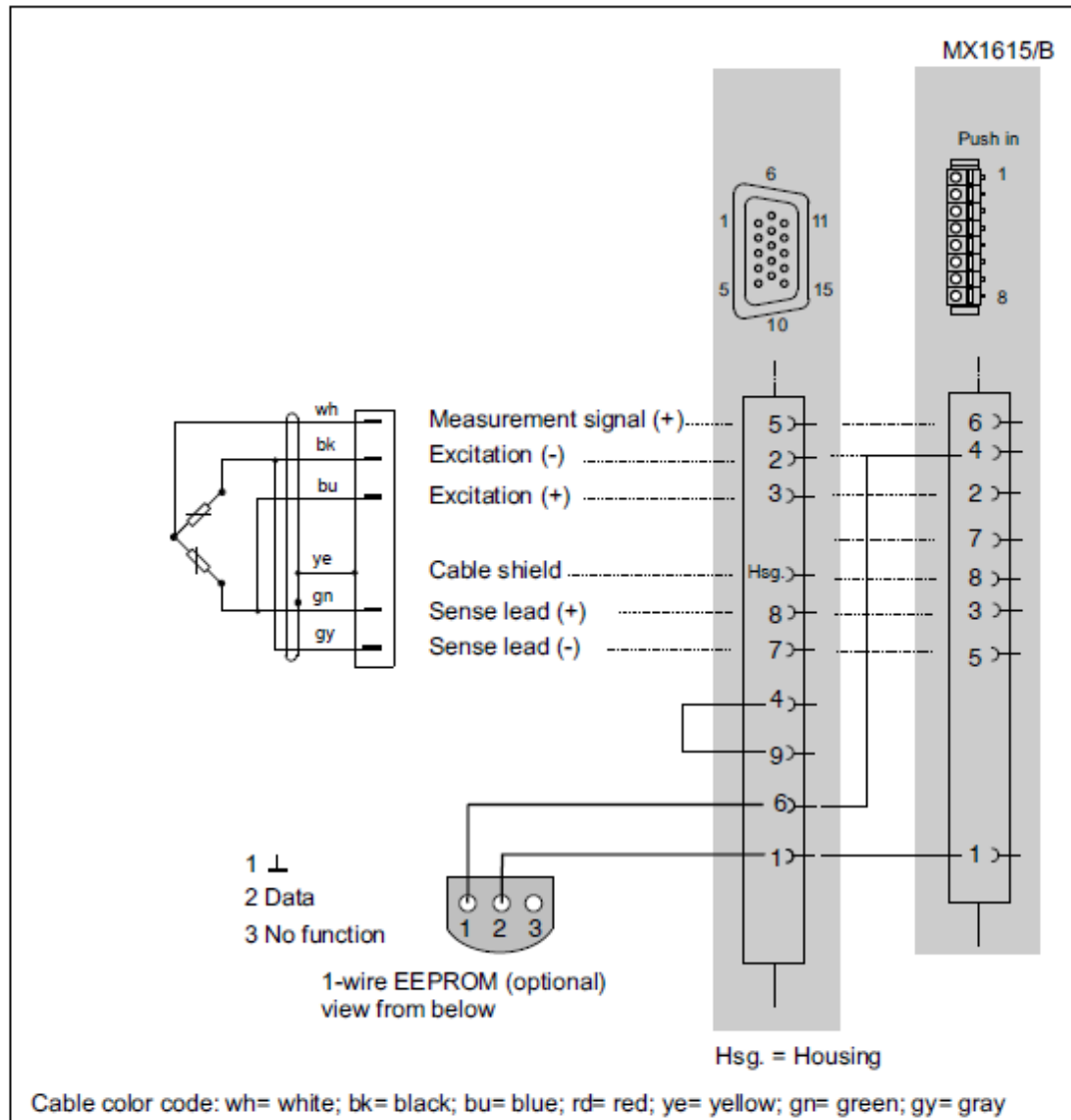


Kuva 5. Venymäliuskat liimattuina ylätukivarteen. Valkoinen X60-liima toimii vedonpoistajana.

KytKentä tehtiin HBM:n ohjeen [2, s. 134] mukaisesti half bridge -kytkennäksi (Kuva 6).

8.4 Half bridge, SG

Supported by the following modules: MX840/A, MX440A, MX410/B, MX1615/B



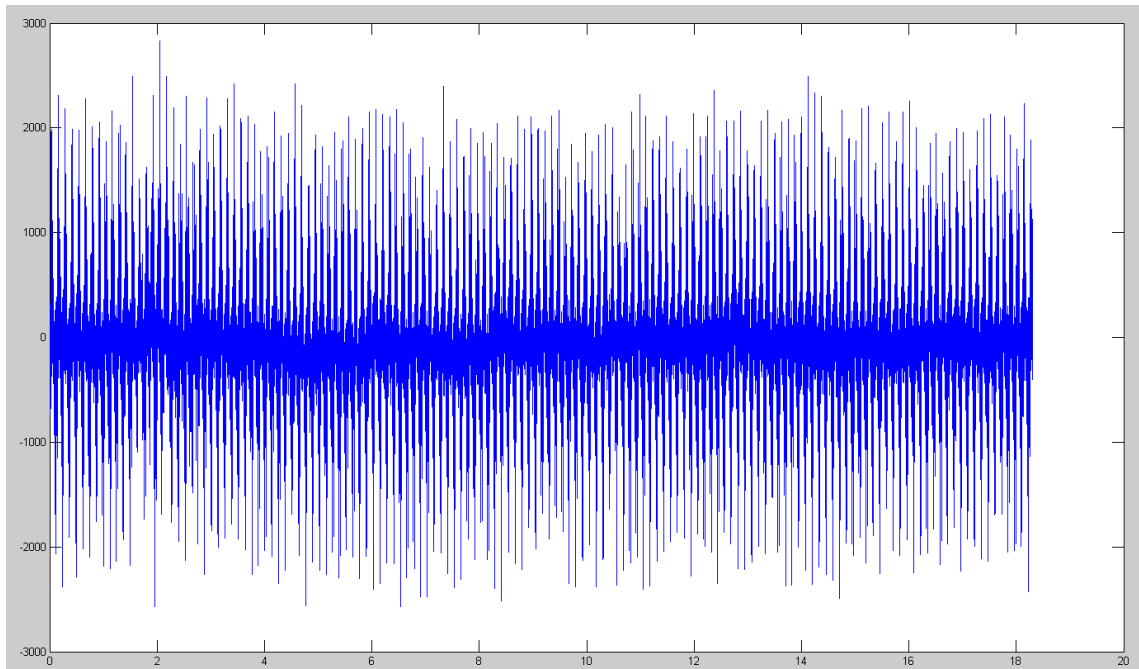
Kuva 6. Venymäliuskojen kytkentäkaavio [2, s. 134].

Mittausta varten autolla ajettiin mahdollisimman suurta nopeutta mutkissa Alastaron moottoriurheilukeskuksen radalla. Tämän lisäksi valmistettiin kanttikiven yli ajamista simuloiva vanerilevyyn kiinnitetty puukoroke (Kuva 7). Tämän korokkeen yli ajettiin maksimissaan 70 km/h. Tällä saatiin simuloitua tilanne, jossa autolla ajetaan suurella nopeudella katukiven yli.



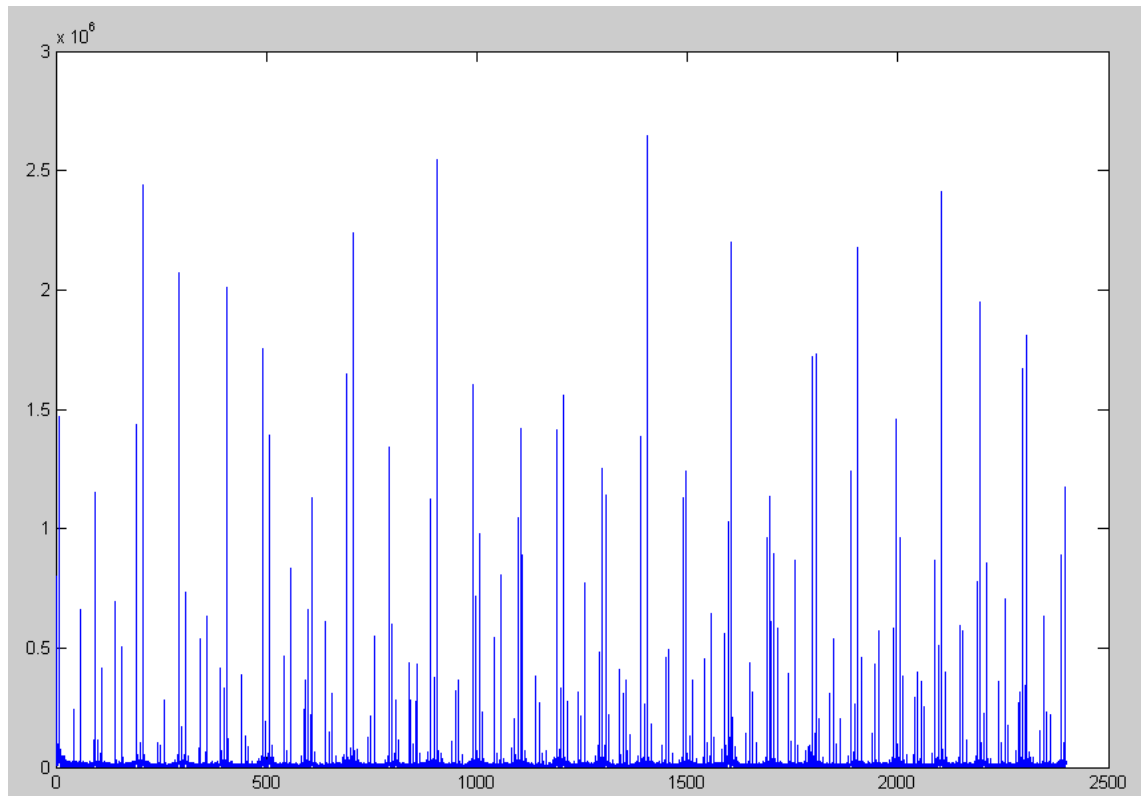
Kuva 7. Kanttikiven yli ajamista simuloiva koroike

Mittausdata tallennettiin HBM:n Catman easy -ohjelmalla, josta se siirrettiin Matlab-ohjelmaan analysointia varten. Datassa esiintyi erittäin paljon häiriöitä (Kuva 8), joten mitausdatan lukemista varten dataa täytyi suodattaa Matlab-ohjelman suotimilla.



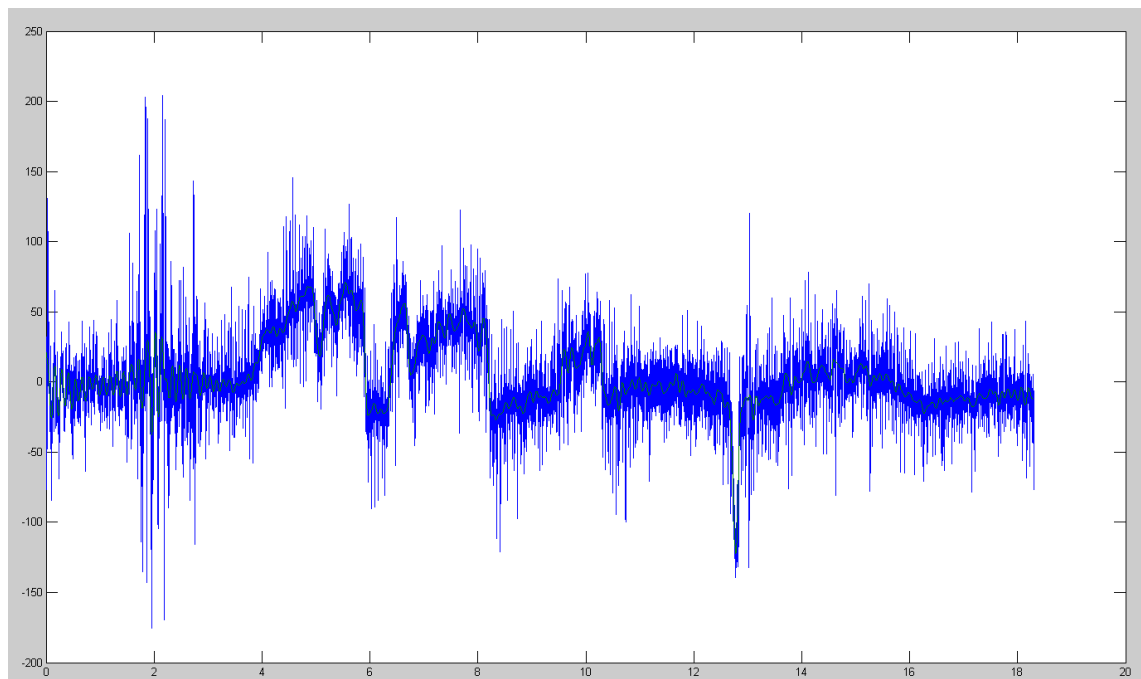
Kuva 8. Käsittelemätön mittausdata.

Aluksi tehtiin Fourier-muunnos, josta nähtiin taajuudet, joilla esiintyy suuria piikkejä (Kuva 9). Tämän perusteella lähdettiin suodattamaan dataa näiden piikkien kohdalta. Lopuksi suodatettiin alipäästösuotimella loput häiriöt pois



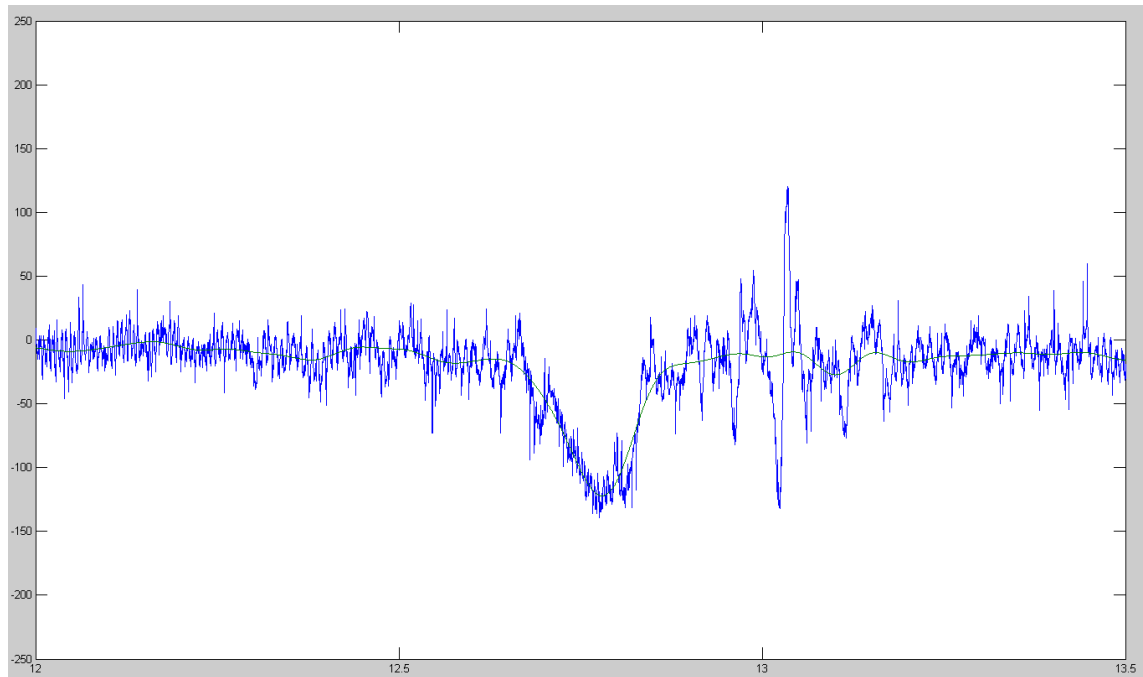
Kuva 9. Fourier-muunnos mittausdatasta.

Suodatuksen jälkeen datasta saatiin luettavampi muoto (Kuva 10), josta voitiin nähdä kiihdytykset eri vaihteilla sekä esteen yli ajamisen ajankohta.



Kuva 10. Suodatettu data.

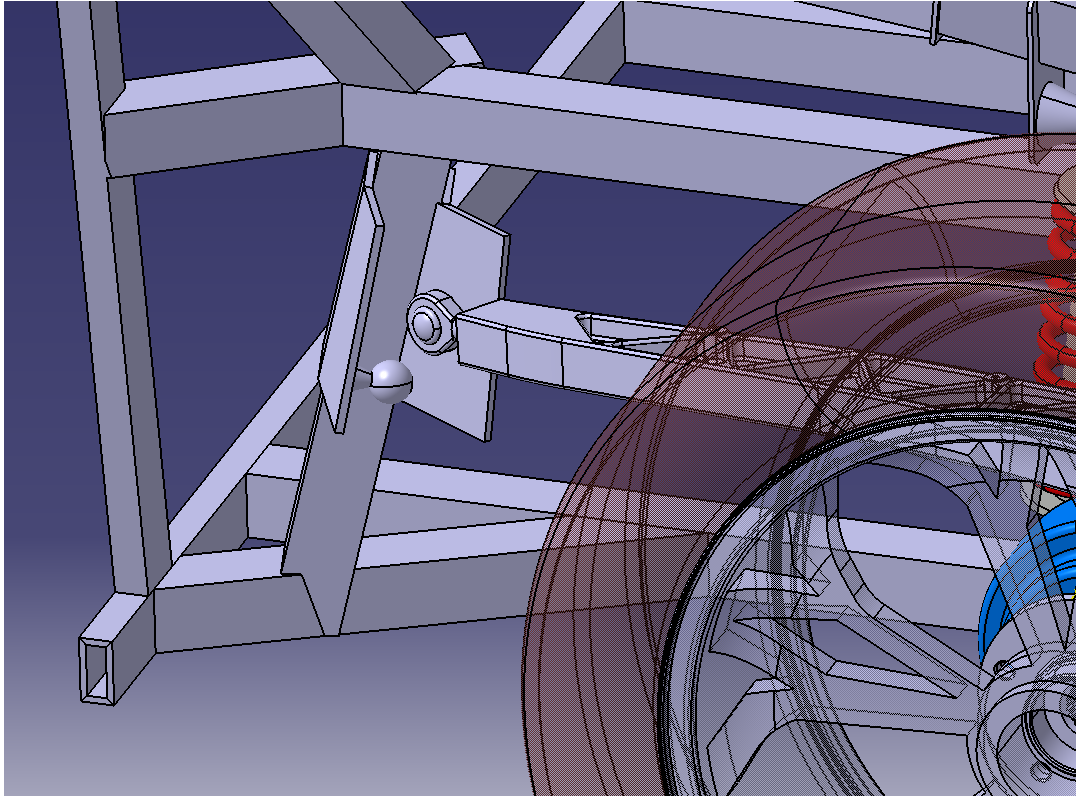
Rajaamalla kuvaa kanttikivisimulaation kohdalle datasta voitiin lukea suurin venymä esteen yli ajettaessa (Kuva 11). Suurimmaksi venymäksi saatiin $140 \frac{\mu m}{m}$.



Kuva 11. Suodatettu data rajattuna kanttikivisimulaation ympärille. Sinisellä värillä data ennen alipäästösuodinta. Vihreällä värillä alipäästösuodatettu data.

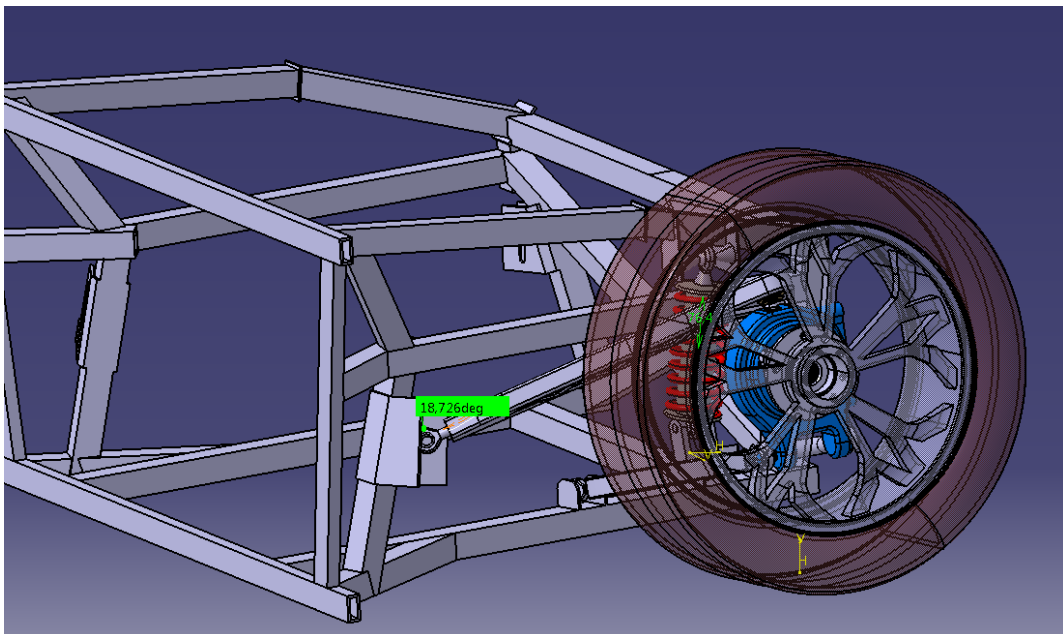
2.3 Geometrian varmistaminen

Uuden tukivarren myötä myös tukivarren etupään kiinnityspistettä päätettiin siirtää, jotta tukivarsi kiertää paremmin renkaan tekemättä suuria mutkia. Näin tekemällä saatiin jännityshuippuja tasattua. Kiinnityspistettä muutettiin kääntämällä taaempaa kiinnikettä jyrkempään kulmaan ja tekemällä vastapuolelle uusi kiinnike (Kuva 12). Lopullinen muoto saadaan vasta, kun kiinnike hitsataan paikalleen auton ollessa pyöränsuuntauskooneissa kiinni.



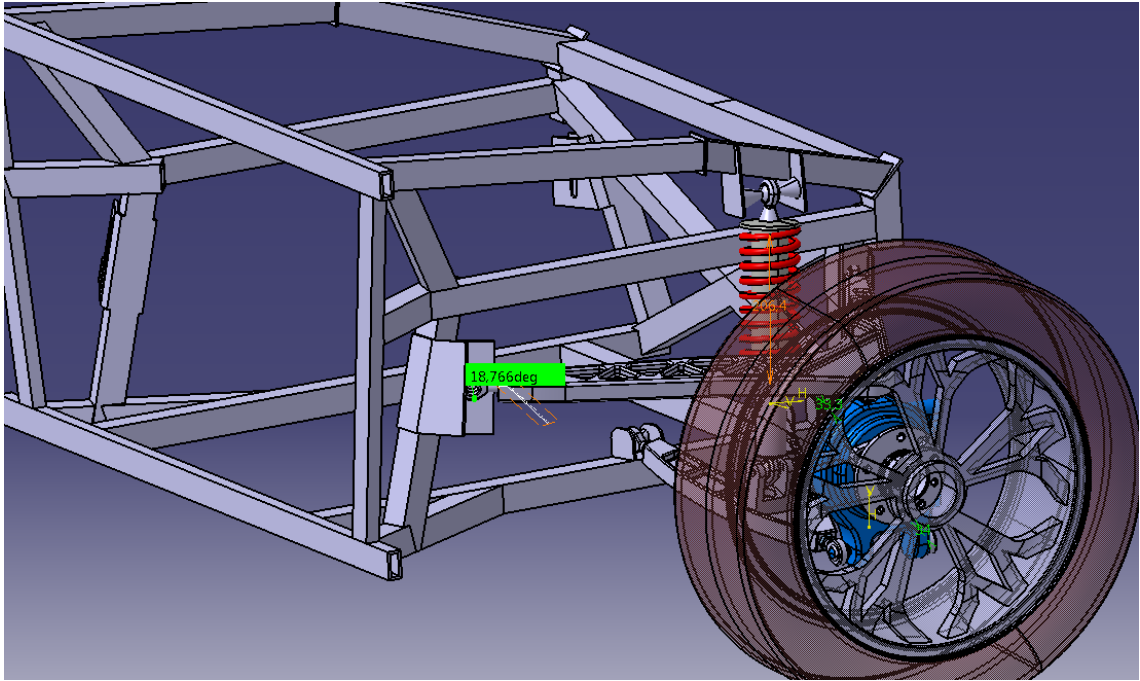
Kuva 12. Ylätukivarren etupään vanha ja uusi kiinnityspiste.

Kiinnityspisteen siirtämisen jälkeen piti varmistua siitä, ettei tukivarren runkoon kiinnittämiseen käytettävän uniball-nivelen liike lopu kesken. 3D-mallissa jouta sisään ja ulos liikuttamalla nähtiin, että jouta sisään liikutettaessa 60 mm, uniball-nivelen liike oli $18,726^\circ$ (Kuva 13).



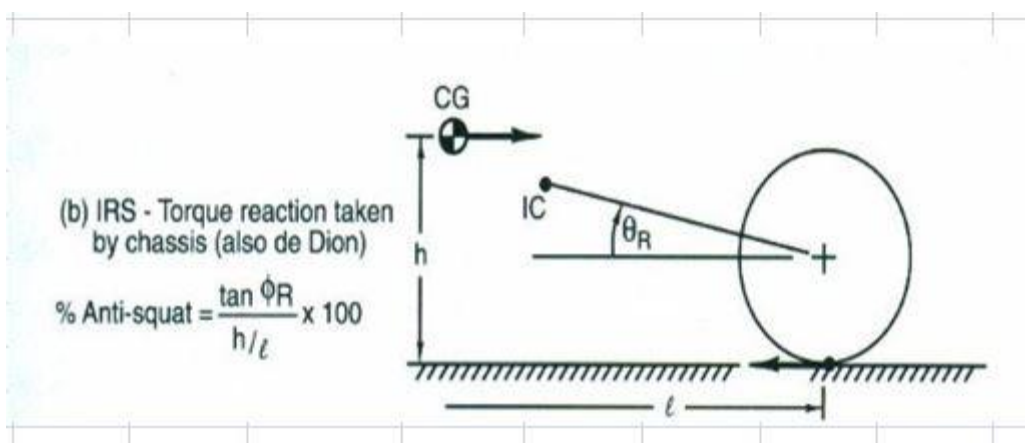
Kuva 13. Sisäänjousto 60 mm.

Ulospäin liikutettaessa 70 mm, uniball-nivelen liike oli 18,766° (Kuva 14). Kun radalla maksimijoustot olivat sisään ja ulos n. 45 mm, niin voitiin olettaa, että 19° suuntaansa kääntyvä uniball-nivel soveltuu riittäväällä varmuudella tukivarren kiinnittämiseen.



Kuva 14. Ulosjousto 70 mm.

Samalla tutkittiin anti-squatin muutos kiinnityskohtaa siirrettäessä oheisen kaavan $\frac{\tan \theta_R}{\frac{h}{l}} * 100 = \frac{\tan \theta_R * l}{h} * 100 = \text{Anti - squat \%}$ mukaisesti (Kuva 15).



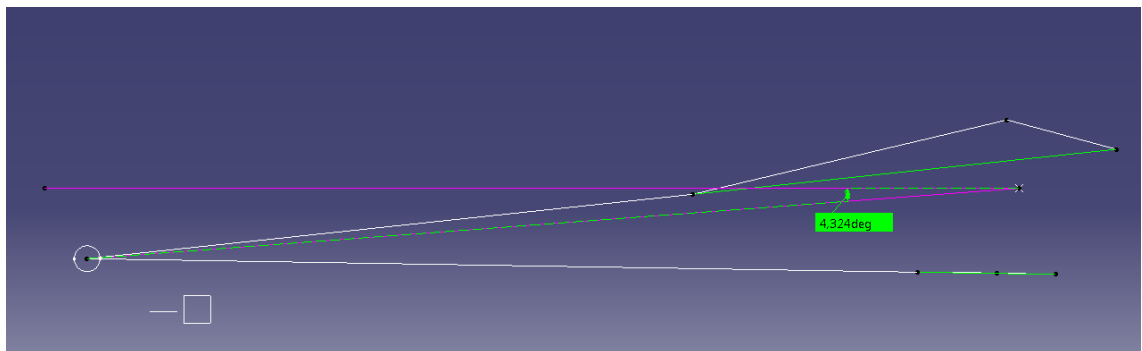
Kuva 15. Anti-squatin laskentakaava.

Tässä tarkastelussa tärkeää ei ollut painopisteen korkeuden tarkka sijainti vaan muutoksen suunta ja suuruus, joten voitiin käyttää painopisteen korkeutena tässä tapauksessa $h = 0,4 \text{ m}$. Painopisteen sijainti maatasossa saatiin punnitsemalla auto (Kuva 16) ja laskeamalla l kaavalla $l = \frac{151,5 \text{ kg} + 159 \text{ kg}}{791,5 \text{ kg}} * 2,375 \text{ m} = 0,932 \text{ m}$.



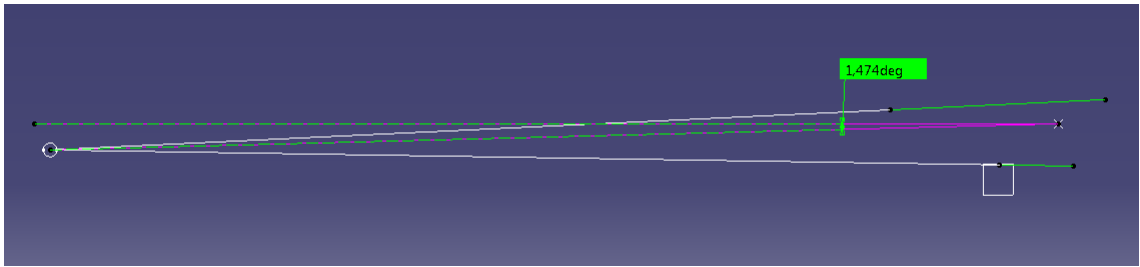
Kuva 16. Auto vaa'alla.

Anti-squat % vanhalla kiinnityspisteelle (Kuva 17) saatiin kaavalla $\frac{-\tan 4,324^\circ * 0,932 \text{ m}}{h} * 100 = \frac{7,05 \text{ m}}{0,4 \text{ m}} = -17,63 \%$.



Kuva 17. Anti-squat vanhassa kiinnityspisteessä. IC ympyröitynä.

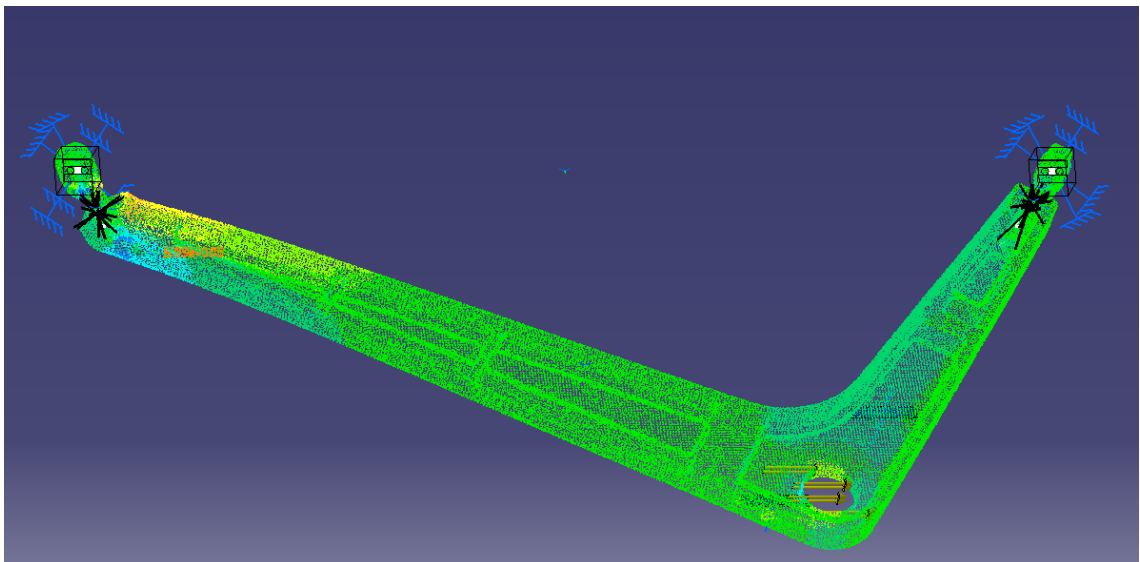
Uuden kiinnityspisteen (Kuva 18) anti-squat puolestaan on $\frac{-\tan 1,474^\circ * 0,932 \text{ m}}{h} * 100 = \frac{2,4 \text{ m}}{0,4 \text{ m}} = -6 \%$. Tästä nähtiin, että anti-squat menee parempaan suuntaan uudessa kiinnityspisteessä ja näin ollen niaaminen kiihdytyksen aikana vähenee.



Kuva 18. Anti-squat uudessa kiinnityspisteessä. IC ympyröitynä.

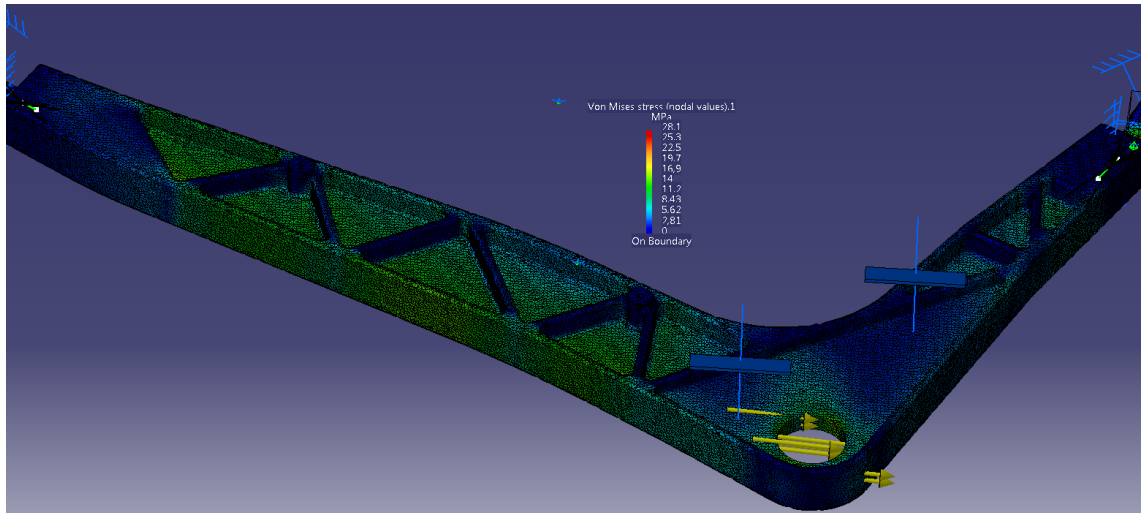
2.4 Tukivarren optimointi

Venymän selvittämisen jälkeen voitiin analysoida Catian Analysis-työkalun avulla vanha tukivarsi uudelleen. Tukivarteen lisättiin kuormaan niin, että venymä kohdassa, johon venymäliuskat olivat liimattuina, vastasi mitattua arvoa (Kuva 19).



Kuva 19. Vanhaan tukivarteen lisättyä voimia niin, että venymä venymäliuskan kohdassa vastaa mitattua arvoa.

Tällä tavoin saatiin selville kuorma, jolla uutta tukivartta tulisi kuormittaa (Kuva 20) materiaalin määrän optimoimiseksi. Uutta tukivartta kuormitettiin edellä mainitulla voimalla, minkä jälkeen optimoitiin tukivarren geometria muuttamalla ristikkäistukien paksuutta sekä tukivarteen koverrettujen taskujen syvyyttä.



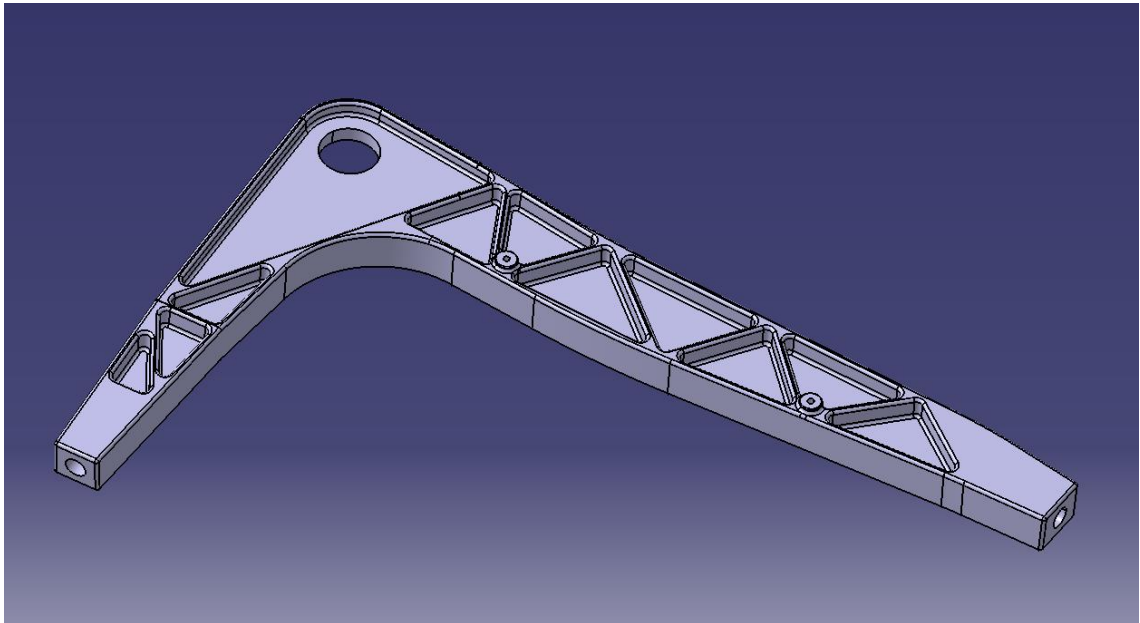
Kuva 20. Määritetyllä voimalla kuormitettu uuden tukivarren malli.

Materiaaliksi valitussa EN AW-7075 T6 -alumiinissa yli 50 mm:n paksuisessa aihiossa myötöraja on n. 360 *Mpa* ja murtolujuus 460 *MPa* (Taulukko 1). Murtolujuuden (R_m) mukaan laskettiin väsymismitoitus tukivarrelle yleisesti käytetyllä 0,3 kertoimella. Varmuuskertoimeksi valittiin 1,5. Tästä väsymismitoitus laskettiin kaavalla $\frac{0,3}{1,5} * 460 \text{ Mpa} = 0,2 * 460 \text{ Mpa} = 92 \text{ Mpa}$. Catian FEM-laskennalla todettiin kuormituksen olevan maksimissaankin alle 20 *MPa* (Kuva 20). Tästä tukivarren väsymismitoitukseen saatiin lisäksi noin viiden varmuuskerroin. Tultiin kuitenkin siihen tulokseen, ettei materiaalia kannata ottaa enempää pois, jotta yksittäiset kohdat eivät ole liian ohuita. Painon säästökseen vanhaan tukivarteeseen nähden saatiin laskennallisesti Catia V5:den masatyökalulla noin 2,4 *kg* – 1,8 *kg* = 0,6 *kg*. Kokonaispainonsäästö on noin 1,2 *kg*.

Taulukko 1. EN AW-7075:n mekaaniset ominaisuudet [3].

Tila	Paksuus mm	Vetolujuus R_m N/mm ²		0.2% myötölujuus $R_{0.2}$ N/mm ²	Venymä $A_{50\text{mm}}$ 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

Lopputuloksena saatiin optimoitu tukivarsi, johon tehtiin paikat jarruletkuille ja muille navalta tuleville johdoille (Kuva 21).



Kuva 21. Lopullisen tukivarren malli.

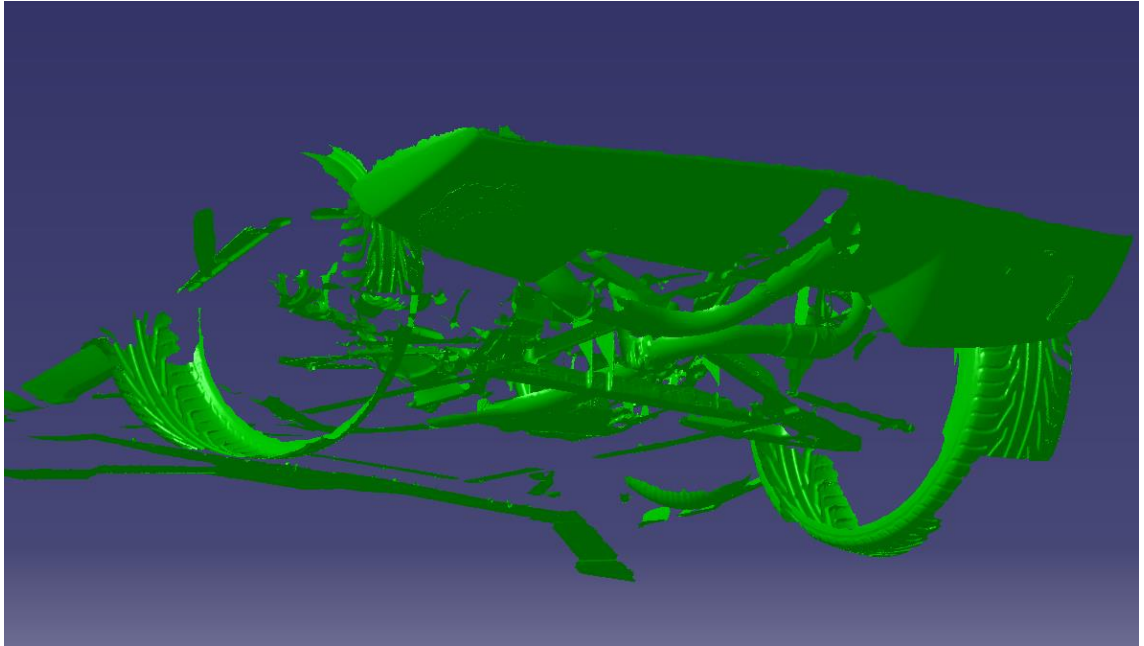
3 Diffusori

3.1 Teoria

Diffusorin tehtävänä on ohjata ilman kulkua auton alla ja perässä. Hyvin suunniteltu diffusori saa aikaan negatiivista nostetta auton alle, josta käytetään myös nimitystä down force. Diffusori käyttää hyväkseen Bernoullin lakia $p + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{vakio}$ [4, s. 220]. Tässä työssä diffusori valmistettiin kuitenkin virtauksia simuloimatta ja suunnittelu perustui muotoilijoiden visuaaliseen sekä loogisesti mietittyyn näkemykseen diffusorin mallista.

3.2 Auton peräosan skannaus

Diffusorin suunnittelu aloitettiin skannaamalla auton perä tietokoneelle 3D-muotoon. Skannauksessa käytettiin Metropolian Tikkurilan-toimipisteestä löytyvää Artec™ Eva -3D-skanneria, jolla saatiin kolmiulotteinen ”pistepilvi” digitaalisena tietokoneelle (Kuva 22).

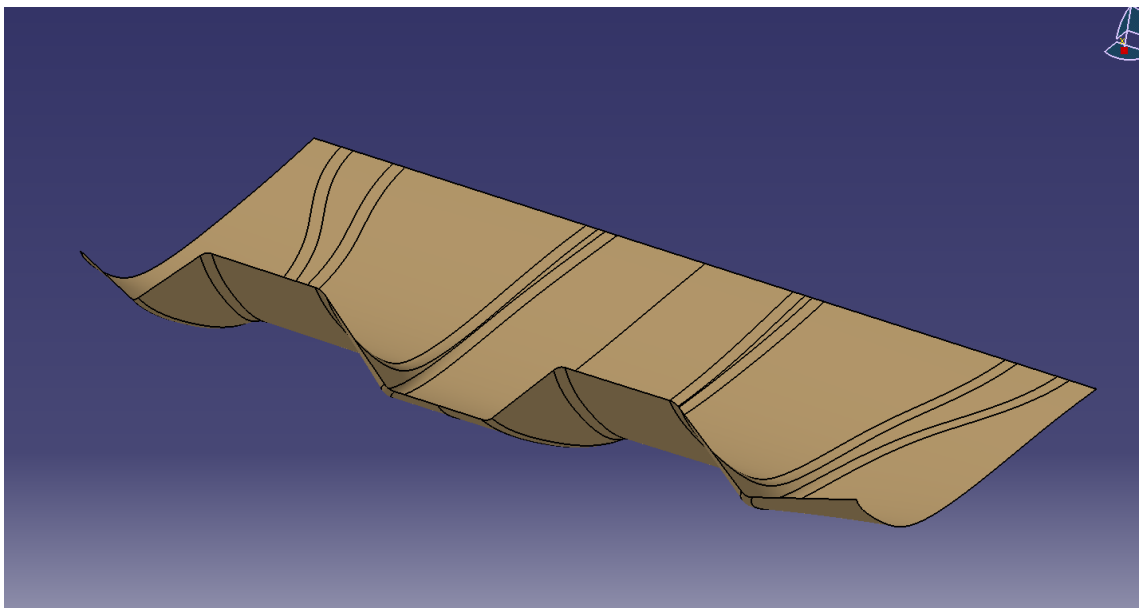


Kuva 22. Pohjasta skannattu "pistepilvi".

3.3 Valmistus

3.3.1 Muotitus

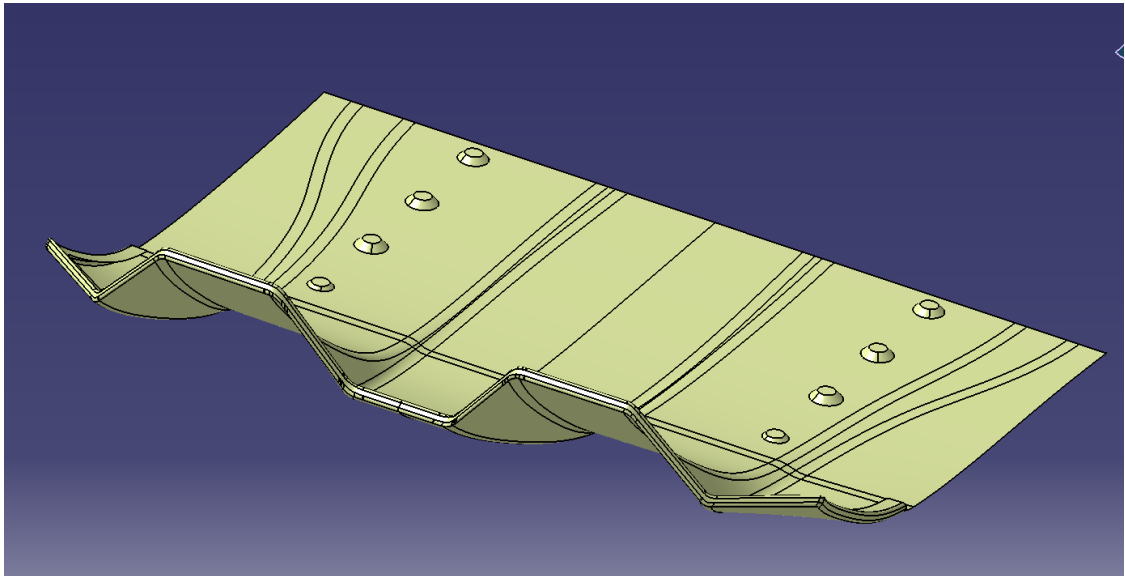
Diffusorin malli luotiin Metropolian teollisen muotoilun linjalta valmistuneen Juha Tuomolan sekä Timo Suomalan suunnittelemien ja luomien mallien pohjalta (Kuva 23).



Kuva 23. Juha Tuomolan luoma malli diffusorista.

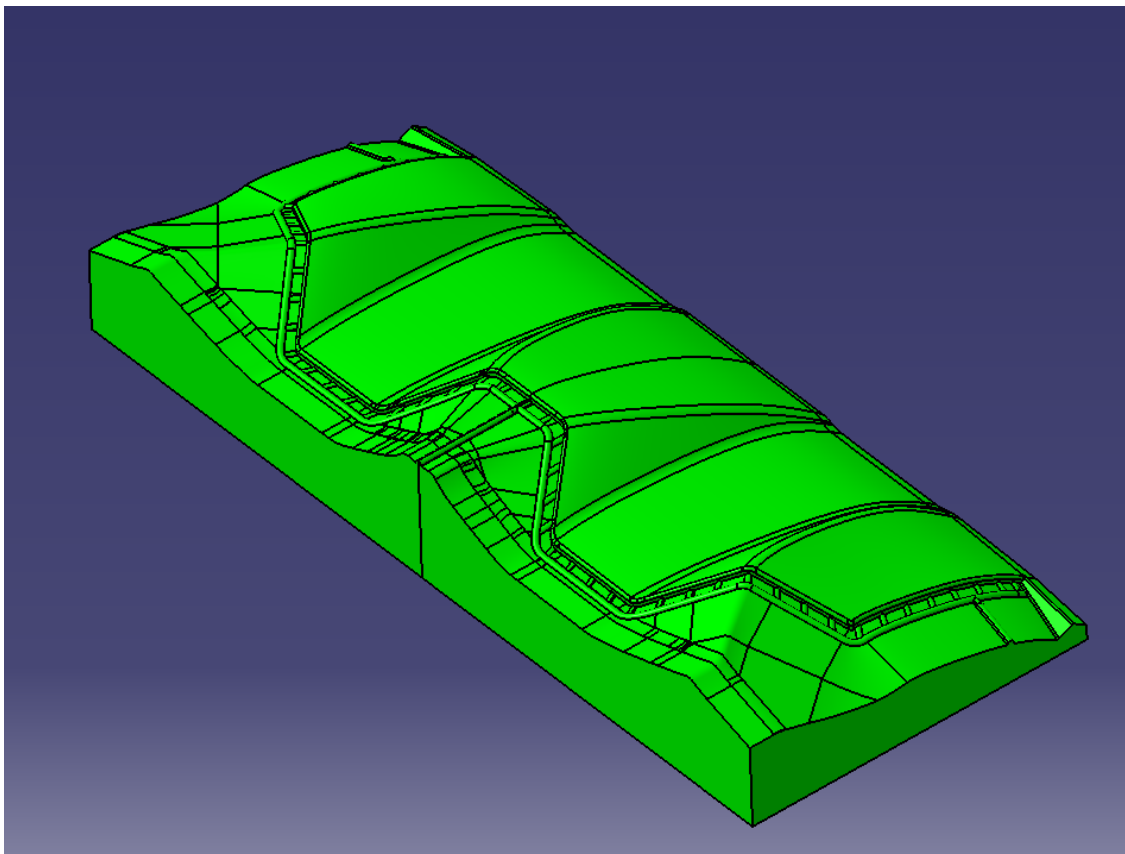
Catia V5 -mallinnus- ja 3D-suunnitteluohjelmalla muotoilijoiden mallista muotoiltiin lopullisen diffusorin malli (Kuva 24). Pohjaosuudelle lisättiin kiinnitysinsertejä varten paikat

sekä reunaan tehtiin reunataitos, jotta diffuusorista tulisi jäykempi ja paremman näköinen.



Kuva 24. Lopullisen diffuusorin malli.

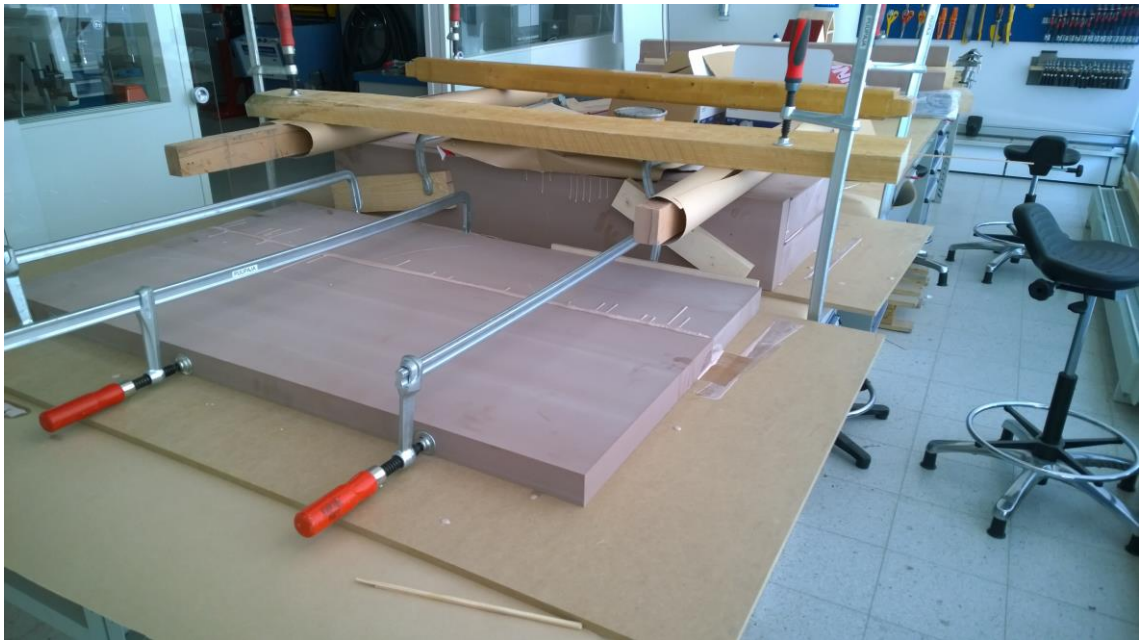
Ennen muottien koneistusta diffuusorin mallista tehtiin muottien mallit (Kuva 25) Catia V5 -ohjelmalla. Diffuusorin malliin lisättiin laippapintaa sekä ilmakeinavat lopullisen osan injektointia varten.



Kuva 25. Diffuusorin toisen puoliskon muotin malli.

3.3.2 Muotin koneistus

Muotit koneistettiin Metropolian Tikkurilan-toimipisteen puutyöpajassa, jossa on pehmeiden materiaalien koneistukseen sopiva CNC-kone. Materiaalina muoteissa käytettiin muottimateriaaliksi hyvin soveltuvaa Sika®-polyuretaaniharkkoa. Isoimpia muotteja varten aihiot valmistettiin Sika®-polyuretaaniharkkoja yhteen liimaamalla (Kuva 26).



Kuva 26. Sika®-polyuretaaniaiioita liimauksessa.

Aihiot kiinnitettiin ensin mdf-levyyn ja sen jälkeen CNC-koneen pöydälle kaksipuoleisella teipillä (Kuva 27).



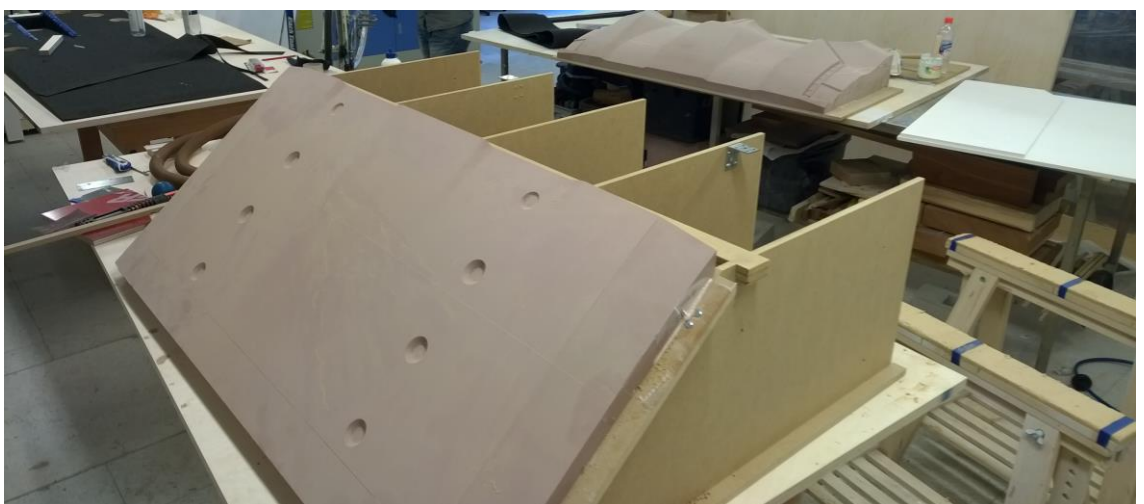
Kuva 27. Aihiot kiinnitettynä CNC-koneen pöydälle.

Työstöradat tehtiin Catia V5 -ohjelmalla, jonka mukaan CNC-kone työsti aihion muotiksi. Ensin tehtiin rouhinta tappiterällä, jonka jälkeen ajettiin viimeistelyajo kuhunkin muottiin sopivalla palloterällä (Kuva 28).



Kuva 28. Diffuusorin viimeistelyajo puolessavälissä. Vasemmalla puolella rouhinnan jälkeinen pinta ja oikealla viimeistely pinta.

Suuren kokonsa vuoksi diffuusorin muotti jouduttiin koneistamaan kahdessa osassa. Muottien osien toisiinsa tarkasti liittämistä varten (Kuva 30) koneistettiin mdf-levystä tuet, joilla muotin puoliskot saatiin osumaan tarkasti kohdakkain toisiaan vasten (Kuva 29).



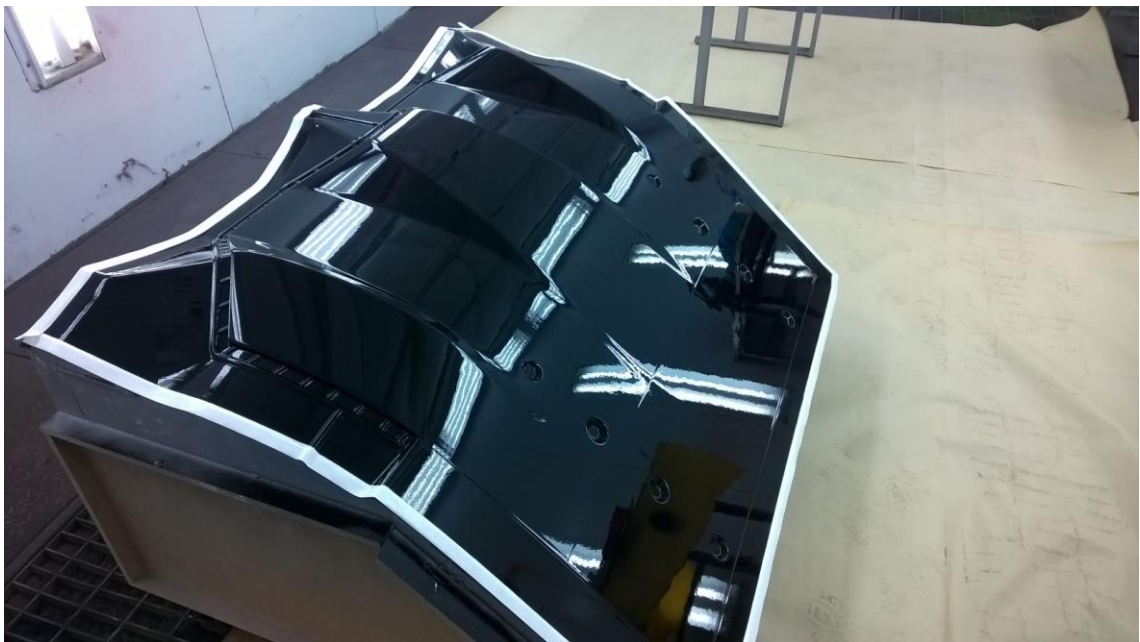
Kuva 29. Muottia varten koneistetut tuet näkyvissä.



Kuva 30. Diffusorin muotin puoliskot liitettynä toisiinsa.

3.3.3 Muotin viimeistely ja laminointi

Sika®-polyuretaanimuotin viimeistelyhionta sekä maalaus tehtiin Hernesaassa ja sen suoritti Juha Tuomola (Kuva 31).



Kuva 31. Diffusorin muotti viimeisteltynä ja maalattuna.

Muotin laminointi päätettiin suorittaa märkälaminointina, jossa lasikuidut pensselöidään suoraan muottiin päälle yksi kerrallaan epoksihartsilla. Ennen laminointia muotin päälle pensselöitiin gel coat -pinnoite, jonka avulla lasikuitumuotin pinnasta saadaan suoraan viimeistelty pinta (Kuva 32, Kuva 33).



Kuva 32. Gel coat -pinnoitettu suurempi muotti.



Kuva 33. Gel coat -pinnoitettu reunataitoksen muotti.

Gel coat -pinnoitteen päälle märkälaminoitiin lasikuidut. Kuitujen jälkeen päälle asetettiin karhennuskangas, reikämuovi sekä imuhuopa. Tämän jälkeen muotin päälle asetettiin tiiviisti muovi, minkä jälkeen muovin ja muotin väliin imettiin alipainepumpulla alipaine, jonka avulla saatiin lasikuidut painumaan kunnolla muottia vasten (Kuva 34, Kuva 35).



Kuva 34. Alipaineeseen imetty suurempi muotti.



Kuva 35. Alipaineeseen imetty reunataitoksen muotti.

Valmiissa lasikuitumuotissa päällimmäiseksi pinnaksi jäi tasainen ja viimeistely vaaleanpunainen gel coat -pinnoite (Kuva 36 ja Kuva 37).



Kuva 36. Diffusorin lasikuitumuotti valmiina.

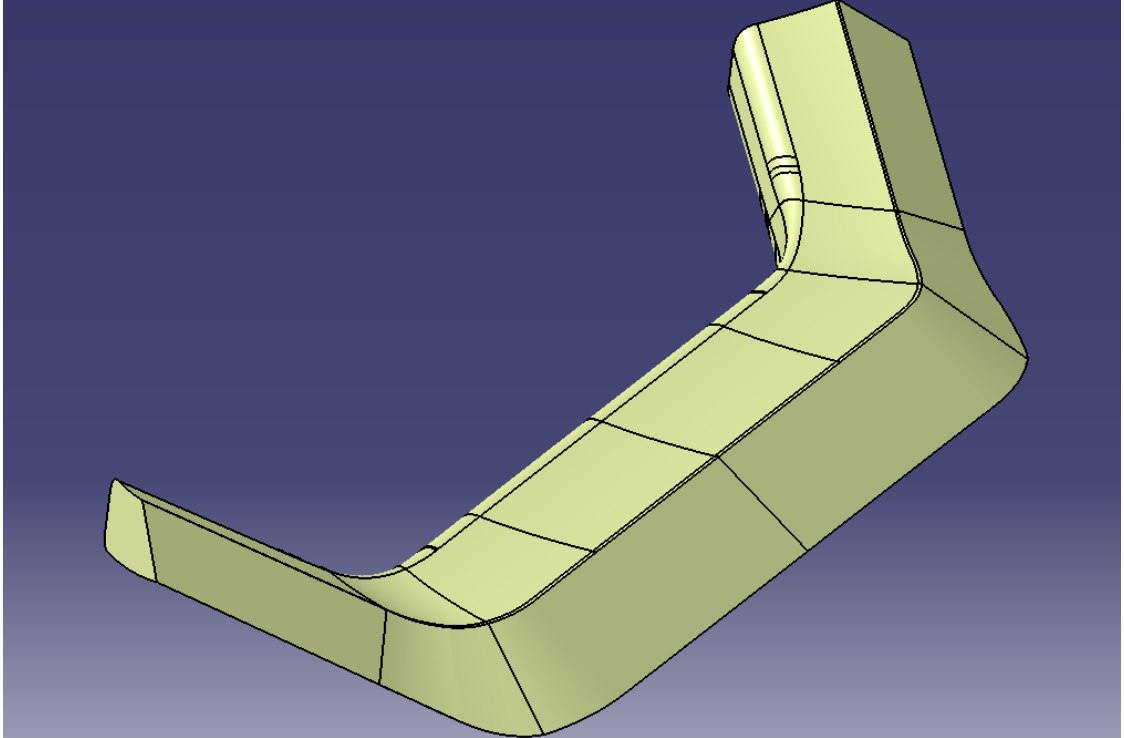


Kuva 37. Diffusorin reunataitoksen lasikuitumuotti valmiina.

3.3.4 Diffusorin laminointi

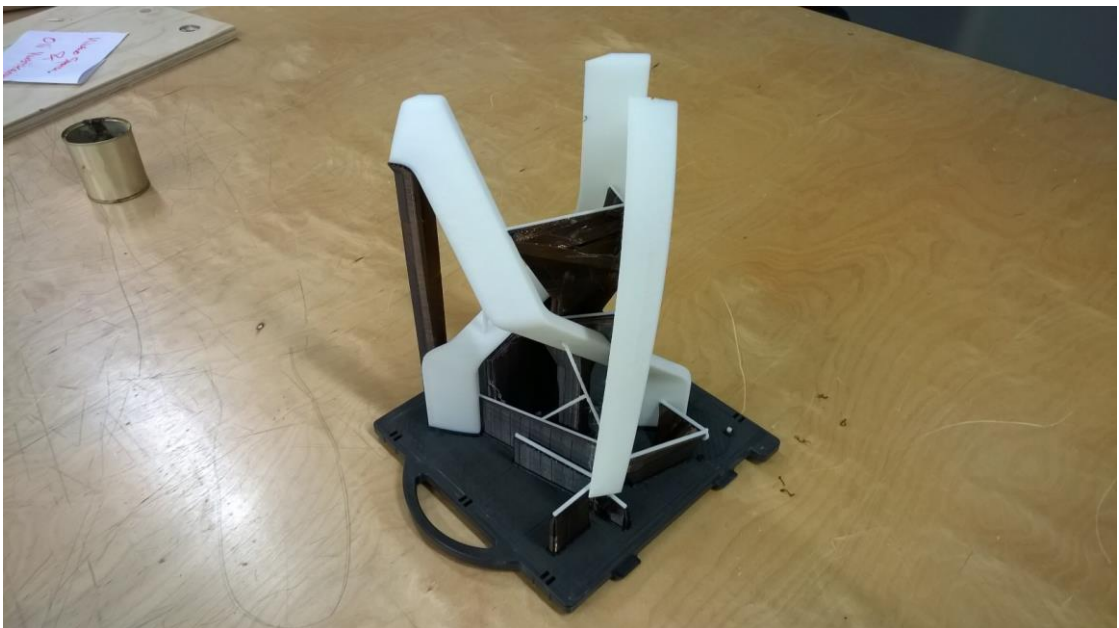
Diffusorin laminointia varten tarvittiin peräosan sisään jäävä täyteaine. Täyteainetta yritettiin valaa uretaanilla, mutta pinnan laadusta ei saatu riittävän hyvää, joten päädyttiin

muovitulosteeseen. Muovitulosteesta tehtiin ensin koetuloste, jossa tulosteen etäisyys muotin pinnasta vaihteli eri kohdissa (Kuva 38). Tulosteen etäisyydet muotin pinnasta eri kohdissa olivat 0,45 mm, 0,55 mm ja 0,65 mm. Lopulliseksi tulosteen etäisyydeksi valittiin koepalan laminoinnin jälkeen 0,55 mm.



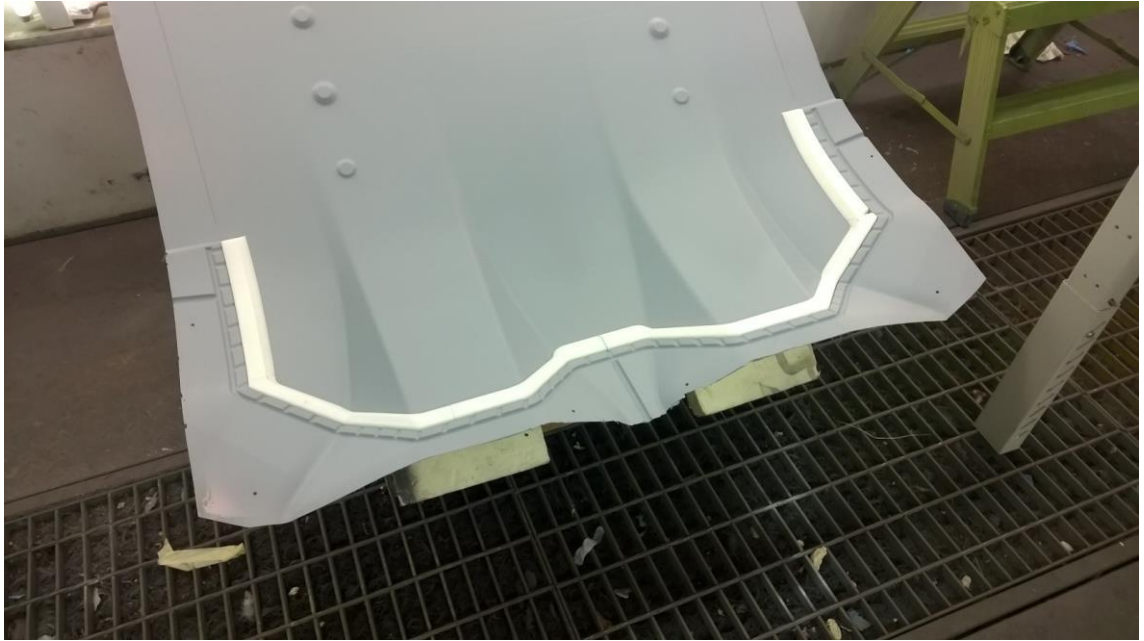
Kuva 38. Testitulosteen malli.

Muovitulosteen malli mallinnettiin Catia V5 -ohjelmalla ja täyteaine tulostettiin Metropolian Tikkurilan-toimipisteen Dimension sst 768 -3D-tulostimella (Kuva 39).



Kuva 39. Diffusorin reunätäyteen puolikas tulostettuna.

Sovituksen (Kuva 40) jälkeen muotti maalattiin ja kiillotettiin kiiltäväksi ja reunatäyte maalattiin mustaksi, jotta valkoinen väri ei näy hiilikuidun läpi.



Kuva 40. Reunatäyte sovitettuna diffusorin pohjamaalattuun lasikuitumuottiin.

Lopullisen osan rajojen ulkopuolelle kiinnitettiin tiivisten nauha, jolla muotti saatiin injektointiaessa tiiviiksi (Kuva 41).



Kuva 41. Diffusori kiiltäväksi maalattuna. Laidoille kiinnitetty tiivistenauha injektointia varten.

Pohjalevyn muotin päälle ladottiin kaksi kerrosta paksua Carbon Fibre 2/2 Twill 12k 450g/m² -hiilikuitua ja naga-aukkojen kohdalle ohuempaa Carbon Fibre 2/2 Twill 3k 199 g/m² -hiilikuitua. Pinta saatiin siistiksi asettamalla kuitujen päälle karhennuskangas ja

hartsin virtausta helpotettiin karhennuskankaan päälle ladotun verkon avulla. Koko paketti suljettiin muovilla ja imettiin alipaineeseen (Kuva 42). Alipaineeseen muottiin imettiin hartsi alipaineen avulla. Kuvassa näkyvissä toisella laidalla syöttöputki ja toisella laidalla imuputki (Kuva 42).



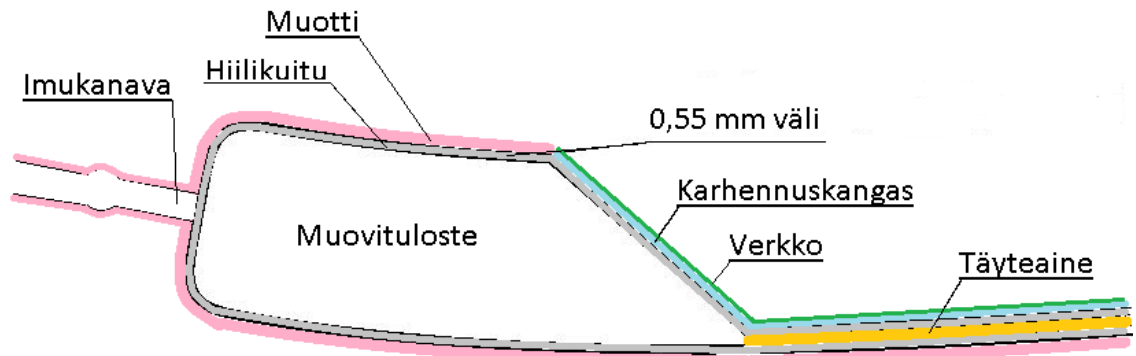
Kuva 42. Diffusorin pohjalevyosa imettynä alipaineeseen injektointia varten.

Diffusorin laminoinnissa käytettiin Lantor Soric SF Infusion Core -täyteainetta (Kuva 43), joka tuli hiilikuitukerrosten väliin. Peräosaan tuli 2 x 2 kerrosta Carbon Fibre 2/2 Twill 3k 199 g/m² -hiilikuitua ja tasaiselle osalle paksumpaa Carbon Fibre 2/2 Twill 12k 450g/m² -hiilikuitua.



Kuva 43. Lantor Soric SF Infusion Core -täyteaine

Hiilikuidut ladottiin kuvan mukaisesti muotin ja muovitulosteeseen väliin niin, että täyteaine jatkuu suoraan muovitulosteesta hiilikuitukerrosten välissä (Kuva 44).



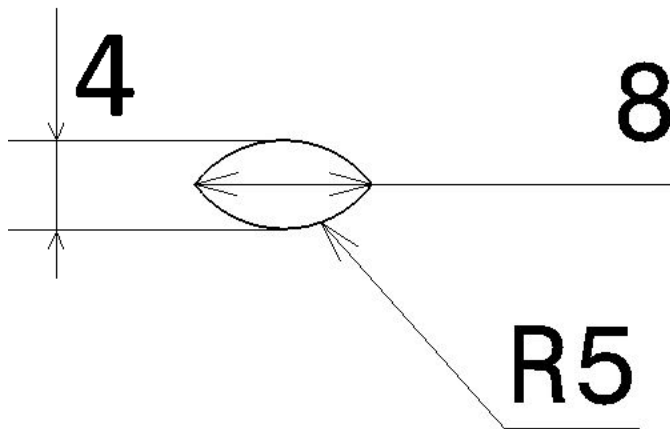
Kuva 44: Poikkileikkaus diffuusorin laminoinnista. Hiilikuidun paksuus n. 0,5 mm ja täyteaineen paksuus 3 mm.

Muoveista purkamisen ja karkea leikkauksen jälkeen voitiin todeta diffuusorin onnistuneen (Kuva 45, Kuva 47, Kuva 48). Huomattiin, että kuvissa näkyvät ilmakanavat (Kuva 45, Kuva 47) olivat melko täynnä tiivistenauhaa, joka rajoitti hartsin imemistä muottiin. Todettiin, että olisi ollut parempi laittaa tiivistenauha hieman kauemmaksi imu-kanavasta tai vaihtoehtoisesti lisätä imuputkien paikkoja viiteen nykyisen kolmen sijaan.



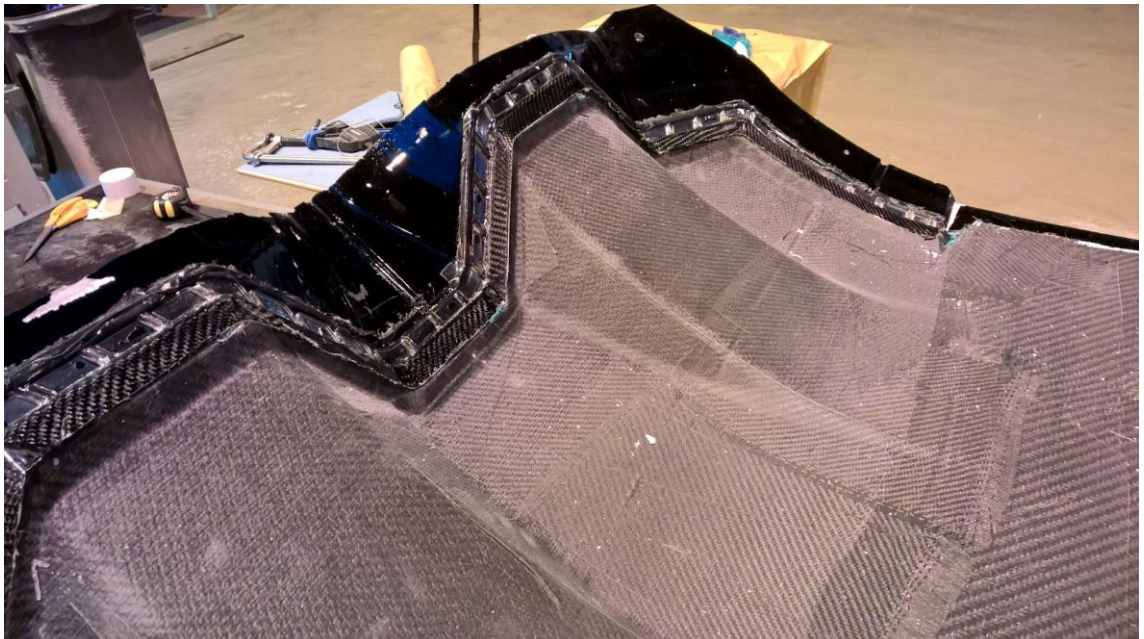
Kuva 45. Valmis diffuusori irrotettuna muoveista injektoinnin jälkeen.

Osaan menevät imukanavat olivat kuvan mukaisesti leveydeltään 8 mm ja korkeudeltaan 4 mm (Kuva 46).



Kuva 46. Osaan menevän imukanavan mitat.

Todettiin osan valmistuksen jälkeen, että osaan menevät imukanavat olivat turhan isoja ja näin ollen ne olisivat voineet olla hieman pienempiä (Kuva 46, Kuva 47).



Kuva 47. Diffuusori injektioinnin jälkeen. Reunataitoksen osuuden muotin vastakappale irrotettuna.



Kuva 48. Diffuusori ja pohjalevy karkeasti leikattuna injektoinnin jälkeen.

3.4 Sovitus ja asennus

Diffusorin kiinnitystä varten sorvattiin polyasetaalista kartiot (Kuva 49), joilla diffusori saatiin kiinnitettyä auton runkoon tukevasti. Kartioihin tehtiin senkkaukset ruuveja varten, jotta pohjasta saatiin mahdollisimman tasainen.



Kuva 49. Diffuusori kiinnitettynä polyasetaalikartioilla autoon.

Takaosa vaati vielä toiset kiinnikkeet, joilla diffuusorin takaosa tuetaan takakatteeseen. Tätä varten valmistettiin kiinnikkeet, joissa toisessa päässä on pallonivel ja toinen pää kiinnitetään diffuusoriin dzus-kiinnikkeen avulla (Kuva 50, Kuva 51).



Kuva 50. Diffuusorin peräosan kiinnike.



Kuva 51. Peräosan kiinnike kiinnitettynä autoon.

Lopuksi todettiin diffuusorin sopivan autoon erittäin hyvin ja diffuusorin valmistus onnistuneeksi.

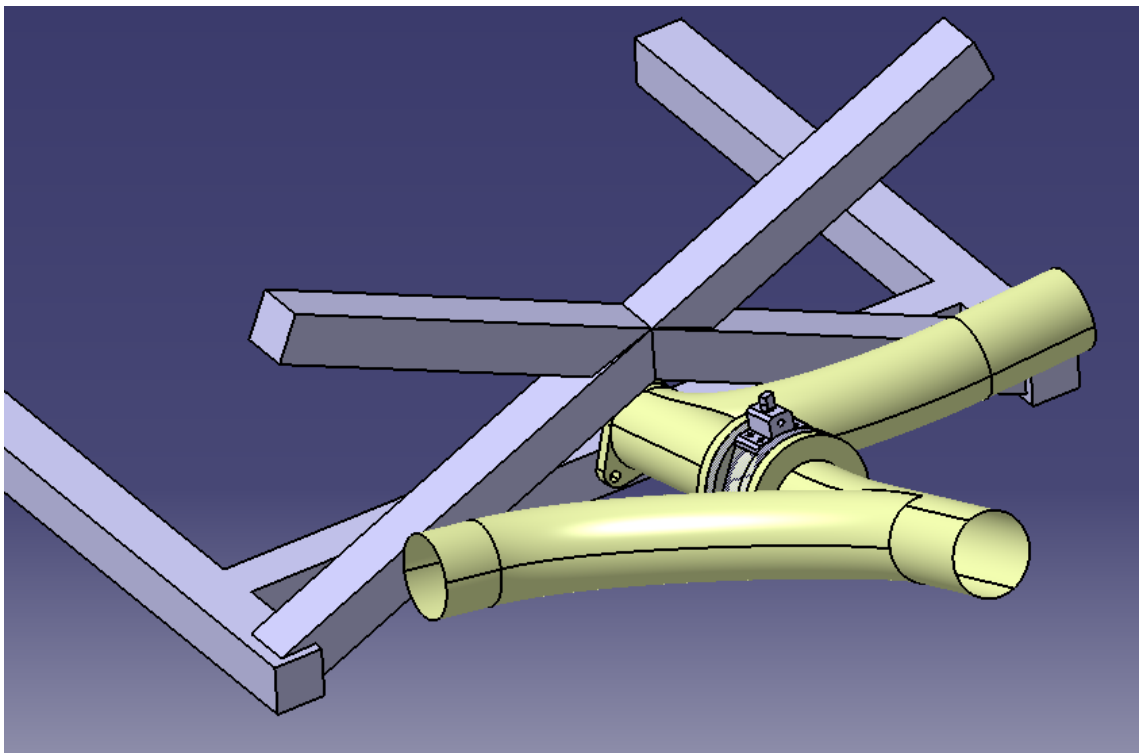
4 Pakoputken suoravirtauskanava

4.1 Teoria

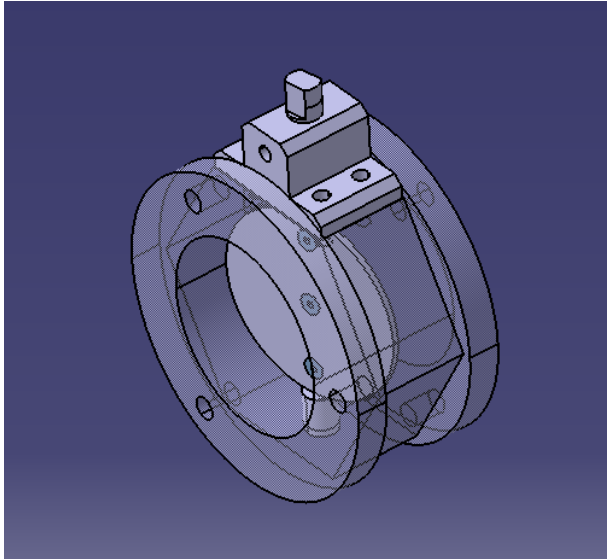
Turboahdetussa moottorissa voidaan saavuttaa hyötyä mahdollisimman häviöttömästä pakokaasujen ulosvirtauksesta. RaceAboutissa on katalysaattorin jälkeen mutkikas pakoputkisto, joka sisältää myös äänenvaimentimen. Työn tarkoituksena oli tehdä tämän mutkikkaan osuuden ohittava kanava, jota sulkevaa ja avaavaa läppää ohjataan sekä Motecin moottorinohjauksella että napista sähköisesti.

4.2 Suunnittelu

Suunnittelu toteutettiin Catia V5 -mallinnus- ja 3D-suunnitteluohjelmalla. Skannauksen (Kuva 22) perusteella luotiin 3D-malli pakoputkistosta (Kuva 52) sekä avattavasta suoravirtausportista (Kuva 53). Mallien perusteella valmistettiin uusi pakoputkisto ja suoravirtausportti.



Kuva 52. 3D-malli uudesta pakoputkistosta.



Kuva 53. 3D-malli suoravirtausportista.

4.3 Valmistus

Portin runkoon valittiin materiaaliksi haponkestävä teräs, koska se soveltui hyvin pakoputkiston materiaaliksi ja sitä oli hyvin saatavilla. Vanha pakoputkisto oli ruostumattomasta teräksestä valmistettu, joten pakoputkessa käytettiin putkea, joka oli ruostumatonta terästä. Suoravirtausportin runko valmistettiin teräsaihiosta sorvaamalla manuaalisorvissa sekä jyrsimällä manuaalijyrsimessä (Kuva 54). Lämpöakseliksi valittiin messinkiakseli, koska messinki toimii jo itsessään liukulaakerina, joten erillistä laakerointia ei tarvittu. Portin läppäosan materiaalina käytettiin ruostumatonta terästä. Lämpö sorvattiin 2 mm:n paksuisesta levystä pyöreäksi, hieman rungon sisähalkaisijaa suuremmaksi kiekoksi, jonka jälkeen kahdelta sivulta otettiin nauhahiomakoneella tavaraa pois, jotta saatiin soikea muoto läppään ja näin lähes täydellinen istuvuus rungon seinämiin, kun lämpö on käännetty auki-asennosta noin 80°.



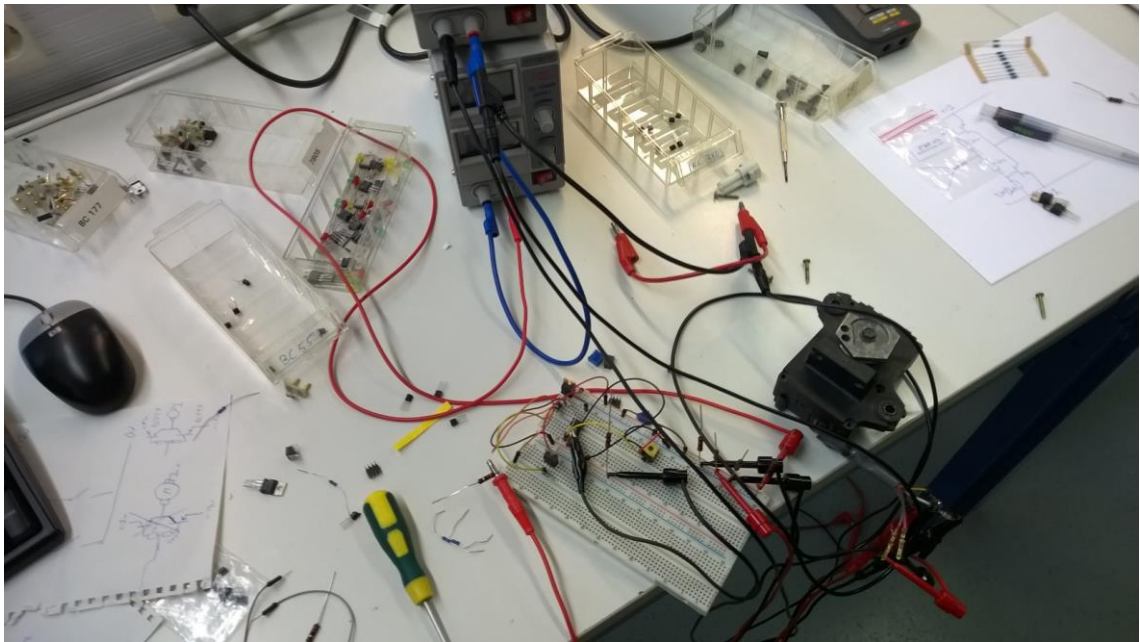
Kuva 54. Portin runko jyrsettynä jyrsinkoneessa.

Pakoputkiston laippakiinnityksiä varten sorvattiin putkeen hitsattavat laipat, joihin tehtiin tiivisteurat kuparitiivistettä varten (Kuva 55). Tiivisteuriin sorvattiin sopivat kuparitiivisteet umpinaisesta kupariahiosta.



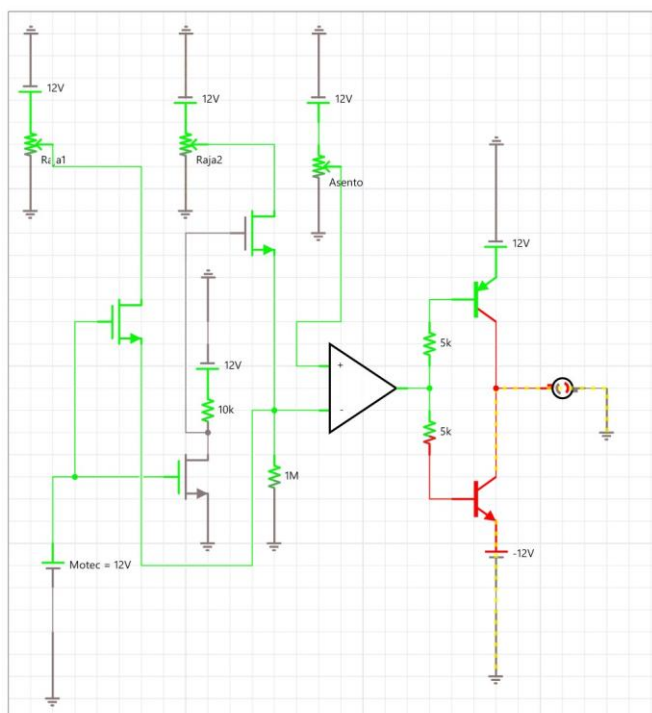
Kuva 55. Laippa hitsattuna putkeen.

Suoravirtausportin ohjausta varten tehtiin reikälevyille prototyyppi (Kuva 56) autosähkötekniikan lehtori Vesa Linja-Ahon opastuksella. Servoksi tilattiin Kawasakissa käytetty servo.



Kuva 56. Prototyypin portin ohjauksesta. Oikealla Kawasakin servo.

Ohjauksesta saatiin "toimiva", mutta todettiin, että tällainen yksinkertainen kytkentä (Kuva 57) ei ole riittävä tällaisen porttia kääntävän servon ohjauksessa, koska kytkentä kääntää aina hieman yli halutun aseman ennen kuin pysähtyy ja joutuu näin korjaamaan takaisinpäin saaden aikaan edestakaisin nykivän liikkeen halutun aseman ympärillä. Näin ollen Vesa Linja-Ahon kanssa todettiin ohjauksen olevan liian laaja osaksi tätä insinöörityötä, minkä vuoksi päätettiin tarjota ohjauksen suunnittelua ja toteutusta autosähkötekniikan opiskelijoiden projektityöksi.



Kuva 57. Kytkentäkaavio servon ohjauksesta.

Pakoputkisto valmistettiin 63,5 mm:n suorasta putkesta sekä 90 ja 45 asteen mutkista, joista kulmahiomakoneella leikkaamalla ja TIGillä hitsaamalla saatiin koottua uusi pakoputkisto vanhaa äänenvaimenninta hyväksikäyttäen (Kuva 58).



Kuva 58. Pakoputkisto valmiiksi hitsattuna ja asennettuna.

4.4 Testaus

Venttiiliä testattiin kiintoavaimella kääntelemällä auton käydessä. Auton käyntiäänä hieman kasvaa, kun läppä on auki, mutta mitään suuria muutoksia ei synny ahtimen vaimentavan vaikutuksen takia. Mahdolliset kaasunvaihtoon vaikuttavat edut selviävät vasta dynamometrillä säädettäessä myöhemmin tänä vuonna.

Mietittiin myös, että tuleeko ahtimen siivelle liikaa aksiaalisia voimia, kun läppä avataan suurella kuormituksella. Päädyttiin siihen, että äänenvaimentimen kautta kiertävältä pakokaasulta vaihdettaessa suoraan virtaavaksi ja toisinpäin, ei aiheudu niin suurta paineroa, että syntyisi ahdinta vaurioittavia voimia. Voidaan kuitenkin pitää varotoimenpiteenä, että läppää ei avata tai suljeta, kun ahtimen kuormitus on suurta.

5 Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet

Ylätukivarteen kohdistuvia rasituksia mitattiin venymäliuskojen avulla ja tältä pohjalta suunniteltiin optimoitu ylätukivarsi. Suunnittelussa saatiin optimoimalla karsittua materiaalin määrää n. 0,6 kg/tukivarsi. Tämän jälkeen tukivarsi tullaan CNC-koneistamaan ja

auton kiinnitysten muokkaamisen jälkeen kiinnittämään autoon. Voimien mittaamista varten valmistettu autoon kiinnitettävä pöytä toimii myös jatkossa hyvin tiedonkeruutietokoneen kiinnitykseen.

Diffuusori ja pohjalevy suunniteltiin ja valmistettiin onnistuneesti ja ne sopivat autoon suunnittelun mukaisesti (Kuva 59). Tämän jälkeen Juha Tuomola viimeistelee diffusorin ja pohjalevyn pinnan hiomalla ja pintakäsittelemällä.



Kuva 59. Auton pohja uuden pohjalevyn ja diffusorin kanssa.

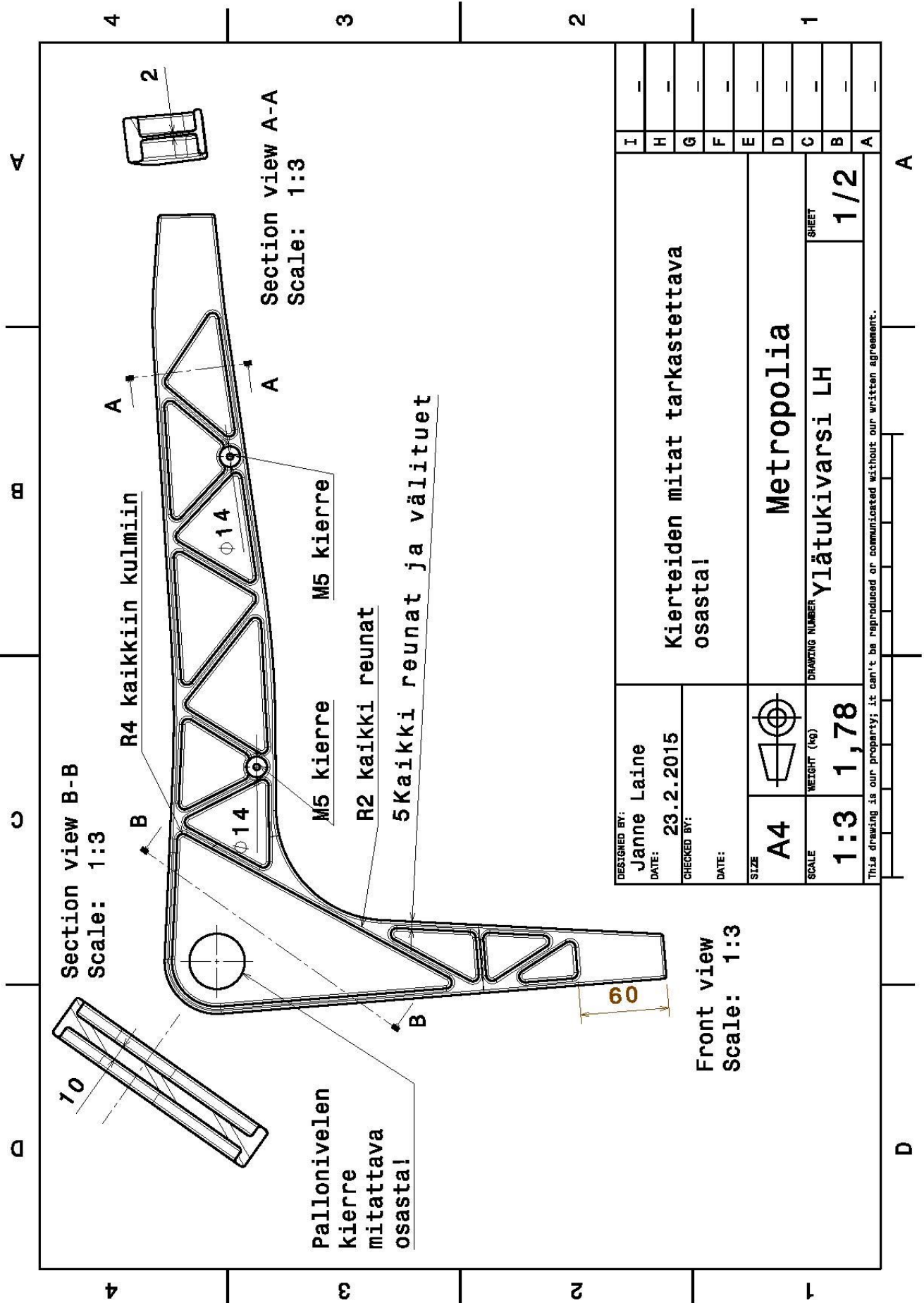
Suoravirtausportti valmistettiin ja tätä varten muokattiin pakoputkisto sopivaksi. Putkistosta ja suoravirtausportista saatiin mekaanisesti toimiva ja se saatiin sopimaan autoon hyvin diffusorin kanssa (Kuva 60). Kevään aikana on porttiin tarkoitus suunnitella ja valmistaa sähköinen ohjaus autosähkötekniikan CDIO-projektissa.



Kuva 60. Diffusori ja pakoputki asennettuna paikalleen.

Lähteet

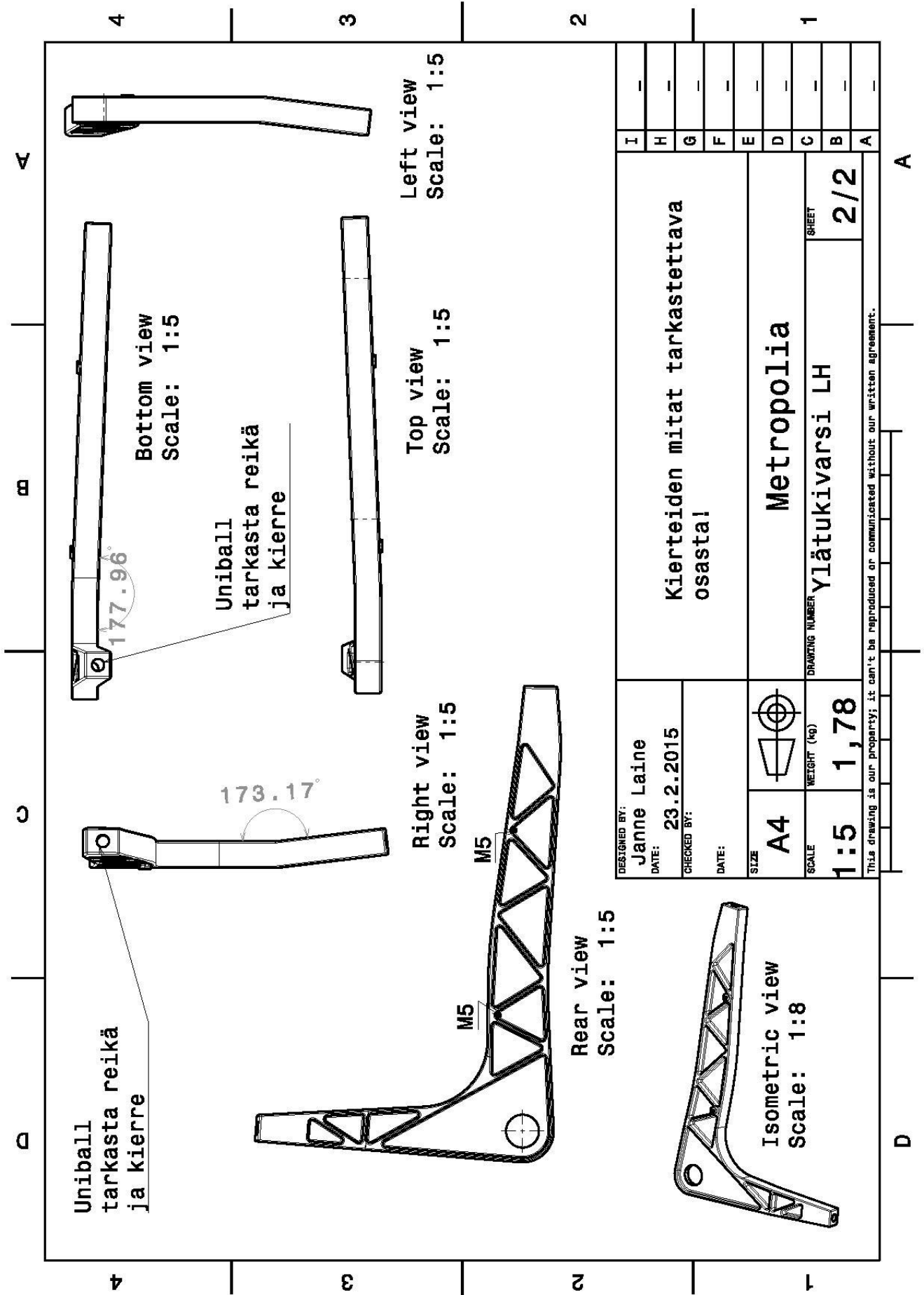
- 1 Leppänen, Lauri. 2012. RaceAbout - Alustageometria ja ripustukset. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 2 QuantumX Operating manual. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.
- 3 Mekaaniset ominaisuudet - EN AW-7075 - 485-2: 2008. Verkkodokumentti. Alumeco. <<http://www.alumeco.fi/default.aspx?id=1646>>. Luettu 24.3.2015
- 4 Valtanen, Esko. 2010. Tekniikan taulukkirja. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.



DESIGNED BY: Janne Laine	Kierteiden mitat tarkastettava osasta!	I	-
DATE: 23.2.2015		H	-
CHECKED BY:		G	-
DATE:		F	-
SIZE A4	Metropolia	E	-
SCALE 1:3		D	-
WEIGHT (kg) 1,78	DRAWING NUMBER Ylätukivarsi LH	C	-
		B	-
	SHEET 1/2	A	-

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

A
D



D

A