

Juha Porvali

ConceptCar-hanke: Eturungon, etu- apurungon ja taka-akselin valmistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

6.5.2013

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Juha Porvali ConceptCar-hanke: Eturungon, etuapurungon ja taka-akselin valmistus 47 sivua + 1 liite 6.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Projekti-insinööri Joel Kontturi
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun ConceptCar-hankeeseen. Vuonna 2010 alkaneen ConceptCar-hankkeen tarkoituksena on valmistaa kestävä kehityksen mukainen kaupunkiauto. Hanke kulminoituu vuoden 2014 Geneven autonäyttelyyn, jossa auto esitellään.</p> <p>Työn tavoitteena oli valmistaa ConceptCar-hankkeen autoon suunnitellut eturunko, etuapurunko ja taka-akseli. Kyseiset komponentit ovat kriittisiä auton korin ja alustan komponentteja.</p> <p>Työssä kuvaillaan yksitellen jokainen komponentti ja sen valmistus. Eturungosta käsitellään putkirungon valmistusta ja sen valmistukseen liittyviä seikkoja ja ongelmia. Etuapurungosta käsitellään tapaa, jolla syvävedetyistä tuotteista saadaan sellaiset, että niihin voidaan kiinnittää muilla valmistustavoilla tehtyjä osia. Taka-akselin valmistuksesta käsitellään kokoonpanon apuna käytetty tukikehikko ja akselin liittäminen koriin. Työssä tarkastellaan myös valmiiden komponenttien linjausta auton korin suhteen.</p> <p>Työssä käydään läpi myös etuapurungon liitostavassa käytetyille vastuspistehitseille suoritettavat vetokokeet. Vetokokeilla pyritään perustelemaan vastuspistehitsikoneessa käytetyt arvot.</p> <p>Työn tavoitteet saavutettiin, kaikki valmistetut komponentit saatiin kiinnitettyä autoon. Kuitenkin alustavissa mittauksissa huomattiin, että pyöränkulmien säätäminen vaatii vielä jonkun verran työtä, jotta niistä saadaan toivotut.</p>	
Avainsanat	ConceptCar, valmistus

Author(s) Title	Juha Porvali ConceptCar-Project: Manufacturing of the Front Frame, Front Subframe and the Rear Axle
Number of Pages Date	47 pages + 1 appendix 6 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Joel Kontturi, Project Engineer
<p>This Bachelor's thesis was carried out as part of the ConceptCar-Project at Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The project was launched in 2010 and its goal is to manufacture a car, which should be made keeping sustainable manufacturing processes. The project will culminate at the 2014 Geneva Motor Show.</p> <p>The objective of this thesis is to manufacture the front frame, the front subframe and the rear axle for the ConceptCar. These components are critical components of the car's body and chassis.</p> <p>This thesis describes the manufacturing process of each component individually, and in detail. The section that deals with the front frame examines the building process of tube frame and the problems that occur in the process. The section that deals with the front subframe examines the way how the deep drawn half of the subframe could be made to fit properly with the other parts of the subframe that had been manufactured using a different method. As for the manufacturing of the rear axle, this thesis explains what kind of jig was used for the assembly of the rear axle and how the axle was mounted in the car body. This thesis also contains information about how the axles were aligned with the car body.</p> <p>Also the data from strength tests, which were carried out for the spot welding joints of the front subframe are analyzed in this thesis. This analysis will determine which settings to use in the spot welding machine.</p> <p>All the objectives of the thesis were achieved and all the components were attached to the car. However it was noticed that wheel alignment will require work before they are as they were designed to be.</p>	
Keywords	ConceptCar, manufacturing

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	ConceptCar-hanke	1
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet	2
2	Eturunko	3
2.1	Rintapellin kiinnikkeiden tukikehikko	4
2.2	Putkien taivutukset ja kokomuutokset	5
2.3	Putkien laserleikkaus	8
2.4	Putkirungon kokoonpano	9
2.5	Putkirungon kiinnitys auton koriin	13
2.6	Huomioita eturungon asennuksesta	13
2.7	Valmiin eturungon mittaukset ja analysointi	14
2.8	Eturungon jälkikäsittely	15
3	Etupurunko	16
3.1	Syvävedetyt apurungon puolikkaat	17
3.2	Etupurungon kiinnitys eturunkoon	20
3.3	Kiinnitysinserttien koneistus ja kiinnityksen muutos	21
3.3.1	Etupurungon kokoonpano	24
3.3.2	Tukivarsien asennus	27
3.4	Etupurungon kiinnitys autoon	28
3.5	Etupurungon jälkikäsittely	29
4	Taka-akseli	30
4.1	Taka-akselin jigi	30
4.2	Taka-akselin kokoonpano	32

4.3	Valmistuksessa ilmenneet virheet	33
4.4	Taka-akselin kiinnitys autoon	34
4.4.1	Puslien kiinnityspaikat	34
4.4.2	Ilmajousien vastinkappaleet	35
4.5	Taka-akselin jälkikäsitteily	35
5	Auton alustan linjaaminen auton korin kanssa	36
5.1	Etuakselisto	37
5.2	Taka-akselisto	38
5.3	Mittaukset	39
6	Etuapurungon liitostavan lujuuskokeet	41
6.1	Vastuspistehitsauksen arvot	41
6.2	Koejärjestelyt	41
6.3	Vetokokeiden tulokset ja analysointi	43
6.4	Liiman ja pistehitsin yhdistelmä	44
7	Yhteenveto	45
	Lähteet	47
	Liitteet	
	Liite 1. SikaPower-4588 datasheet, Sika	

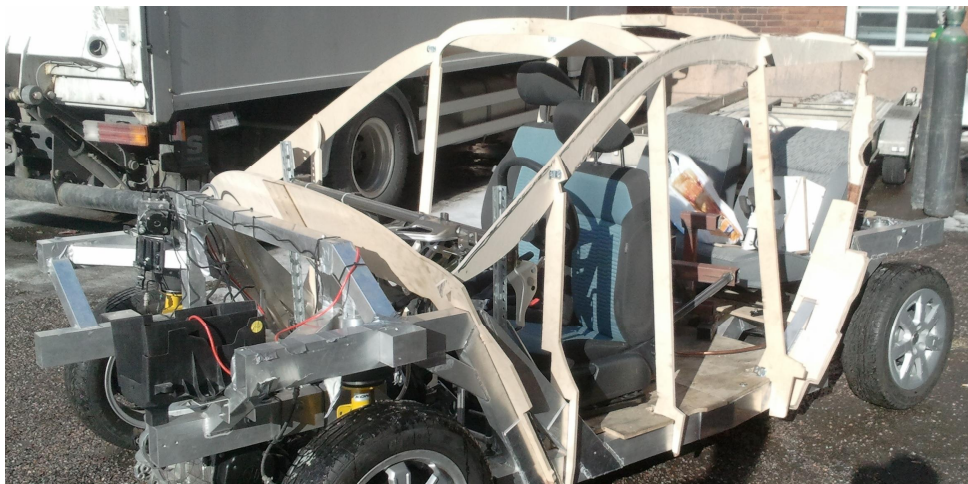
1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehtiin opinnäytetyönä Helsingin Metropolia Ammattikorkeakoulun ConceptCar-hankkeeseen. Insinööri työn aiheena on autoon suunniteltujen eturungon, etuapurungon ja taka-akselin valmistus, edellä mainittujen osien valmistamiseen liittyvien ongelmien ratkaisu, valmistettujen komponenttien liitokset varsinaiseen autoon, akselistojen ja korin linjaaminen sekä liitostavoille suoritettavat lujuuskokeet.

1.1 ConceptCar-hanke

ConceptCar-hanke on vuonna 2010 alkunsa saanut hanke Metropolia Ammattikorkeakoulussa. Hankkeen tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa kestävä kehityksen mukainen konseptiauto, jonka on tarkoitus olla myös laadultaan lähellä tämän päivän premium automerkkien tasoa. ConceptCar-hankeelle oli ostettu niin sanottu luovuttaja-auto Volkswagen Polo vuosimallia 2010, jonka komponentteja voitaisiin käyttää sellaisenaan kaupunkiautossa tai joista voitaisiin ottaa esimerkkiä omien komponenttien suunnitteluun ja valmistukseen.

Vuoden 2011 kesällä valmistui konseptiauton tilankäyttömalli eli mockup (kuva 1), jonka runko oli valmistettu alumiinipalkeista, ja esimerkiksi osa alustan komponenteista oli vain jatkettuja versioita luovuttaja-auton komponenteista. Kaikki jatkettavat komponentit oli kuitenkin suunniteltava uudelleen sopimaan uuteen konseptiautoon.



Kuva 1. ConceptCar-mockup vuoden 2012 keväällä

Vuoden 2012 keväällä uusien osien suunnittelu ja lujuuslaskennat oli saatu päätökseen ja varsinaisten komponenttien valmistus voitiin aloittaa. Suunnittelijoiden opinnäytetöiden tavoitteista kuitenkin jouduttiin tinkimään aikataulusyistä sen verran, ettei niihin enää kuulunut komponenttien valmistus muuten kuin ajatustasolla. Lisäksi vuoden 2012 aikana valmistui auton kori (kuva 2), mikä oli edellytyksenä myös suunniteltujen osien valmistukselle ja autoon kiinnittämiselle.



Kuva 2. ConceptCarin vuonna 2012 valmistunut kori

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Työn tavoitteena oli valmistaa ConceptCar-hankkeen autoon suunnitellut eturunko, etu-apurunko ja taka-akseli. Kyseiset komponentit ovat kriittisiä auton korin ja alustan komponentteja.

Jokainen osakokonaisuus tullaan käsittelemään omassa luvussaan ja jokainen komponentteihin tehty muutos pyritään perustelemaan valmistamisen kannalta tai lujuuden parantamisen kannalta, kuitenkin pyrkien samalla noudattamaan mahdollisimman tarkasti alkuperäisen suunnittelijan antamia ohjeita komponenttien valmistamisessa ja asennuksessa.

Valmistamiseen liittyvien ongelmien ratkaisujen lisäksi tullaan käsittelemään komponenttien kiinnittäminen autoon. Komponenttien kiinnityksen yhteydessä käsitellään myös niiden paikoitus auton korin suhteen.

Lopuksi tullaan käsittelemään apurungon liitostavalle tehdyt lujuuskokeet. Kokeilla pyritään perustelemaan, miksi juuri siihen liitostapaan päädyttiin.

2 Eturunko

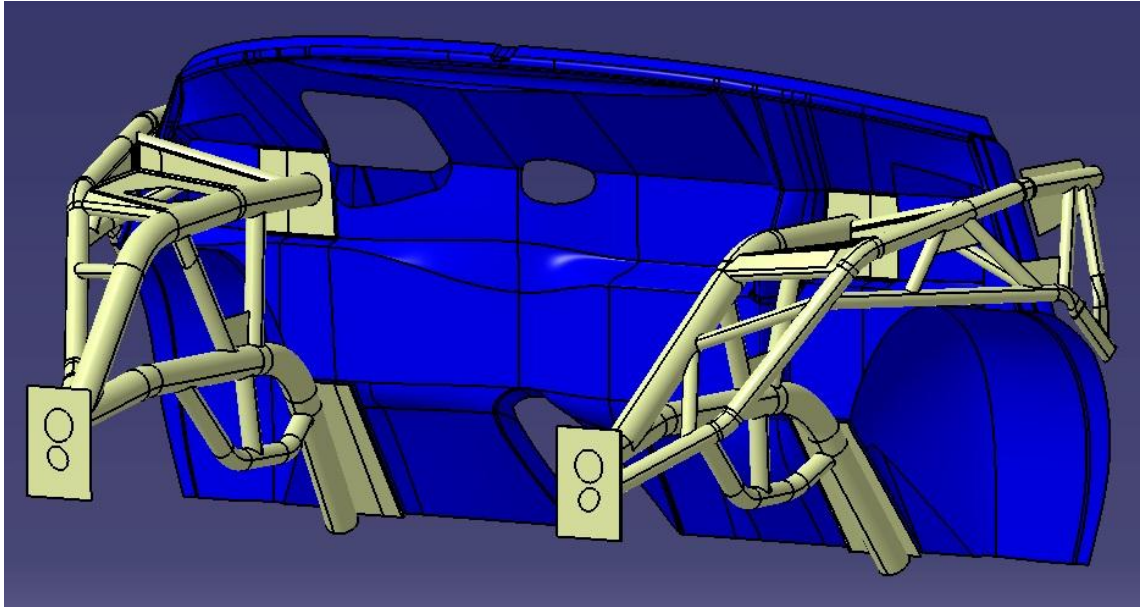
Eturungon tehtävä yleisesti autossa on toimia keulatörmäyksen toisena vastaanottajana, heti törmäyspalkin jälkeen. Auton eturunko toimii myös yleensä auton etujousituksen, iskunvaimennuksen ja voimapaketin kiinnityspaikkana (kuva 3). Auton eturunko voi koostua useammasta erilaatuisesta teräksestä, joiden yhdistelmällä saadaan hallittu muodonmuutos kolaritilanteessa, kuitenkin niin että varsinaisen matkustamon muodonmuutokset. Eturungon suunnittelulla voidaan myös vaikuttaa mahdollisen törmäysvoiman kulkureitteihin, jolloin kyseiset voimat voidaan ohjata varsinaisen matkustamon ohitse.



Kuva 3. Audi Q5:n eturunko [4]

Kaupunkiauton eturunko tullaan valmistamaan pääasiallisesti taivutetuista putkista, laserleikatuista suorista putkista ja kantatusta ohutlevystä. Eturungon materiaalina toimii pääasiallisesti teräs. Eturungon (kuva 4) on suunnitellut Teemu Priha vuoden 2012 keväällä omassa opinnäytetyössään, jossa käsitellään vain ja ainoastaan eturungon suunnittelua.

Tässä työssä käydään läpi suunnitellun tuotteen valmistaminen valmiiksi tuotteeksi. Putket erotellaan taivutettuihin ja laserleikattuihin putkiin sen takia, että taivutettua putkea ei voi leikata useimmilla putkilaserleikkureilla ja laserleikattua putkea on hankala taivuttaa, sillä putkea taivutettaessa osa putkesta venyy ja osa tyssääntyy, jolloin mittavirheet kasvavat.



Kuva 4. Teemu Prihan suunnittelema kaupunkiauton eturunko

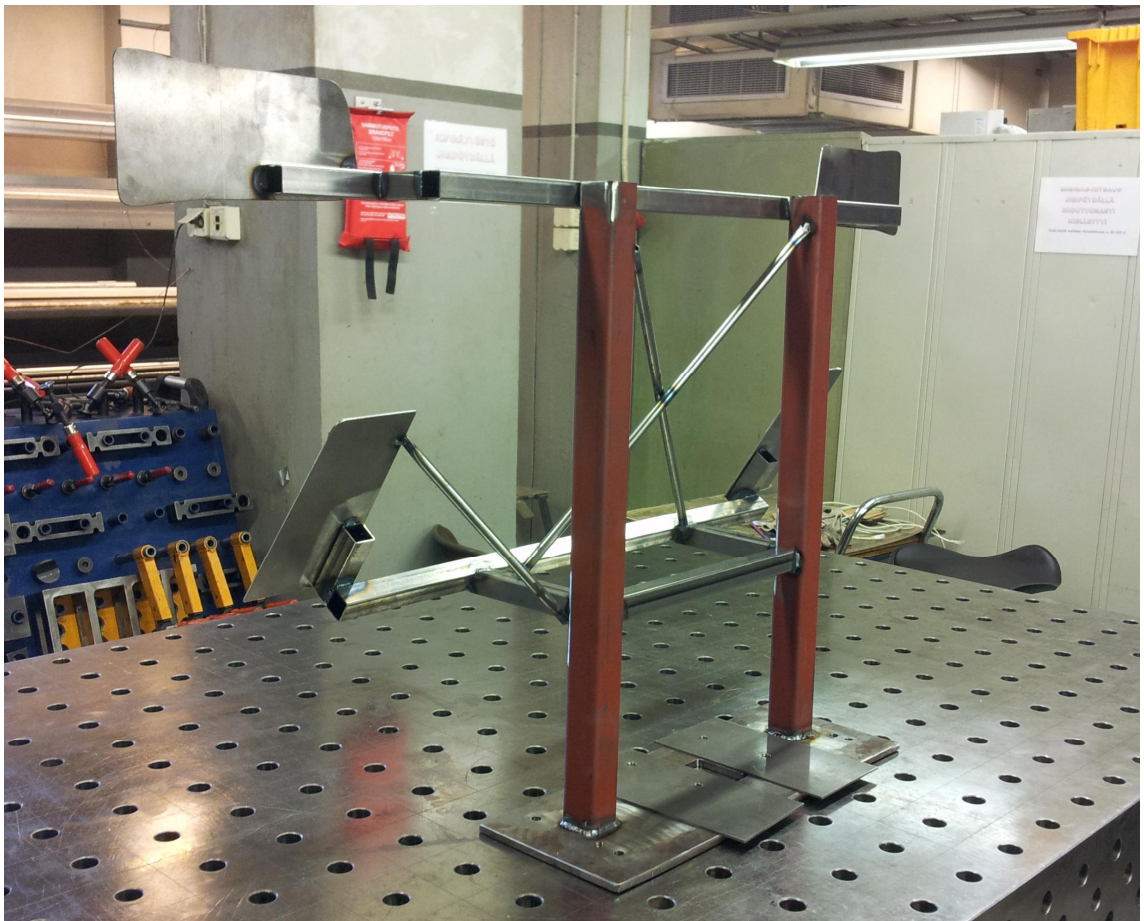
2.1 Rintapellin kiinnikkeiden tukikehikko

Auton runko valmistettiin hiilikuidusta ja selluloosakomposiitista, joten sen välittömässä läheisyydessä hitsaaminen tulisi olemaan ongelma suuren lämmöntonin takia. Erityisesti vaarallista hitsauksessa olisi komposiittiosien syttyminen tuleen, joka syttyessään polttaisi koko auton korin. Tulipalovaaran takia seurasi tarve valmistaa erillinen tukikehikko eli jigi eturungon kokoamista varten. Vaikka jigin luominen vaatisi jonkin verran hitsausta varsinaisen hiilikuidusta valmistetun rintapellin ja varsinaisen korin ääressä, tätä toimintaa kuitenkin pyrittiin minimoimaan.

Jigin ensimmäisestä vaiheesta (kuva 5) pyrittiin tekemään mahdollisimman jäykkä, jotta eturungon ensimmäisiä putkia hitsatessa kiinnityslevyjen paikat muuttuisivat mahdollisimman vähän lämmönvaihtelun ja siitä johtuvan vääntelyn seurauksena.

Jigin rakennuksen alkuvaiheessa tuli jo kuitenkin selväksi, että vain osa pinnoista, joihin eturunko tulisi kiinnittymään, saataisiin hyödynnettyä. Eturungon kaikki kiinnityspinnat eivät sijaitse pelkästään tulipellissä vaan myös auton ulkokyljissä, ja koska auton ulkokyljet ja rintapelti eivät olleet eturungon valmistuksen aloituksen alkaessa vielä toisiinsa kiinnityttyinä, jouduttiin aloittamaan vain rintapellin kiinnityspinnoista.

Tästä syystä valmistettua jigä ja osaa valmistaa eturungosta piti sovittaa yhteen varsinaisen valmiin auton korin kanssa, jotta puuttuvat kiinnityspinnat auton ulkokylkien pinnoilta saadaan käyttöön eturungon valmistusta varten.



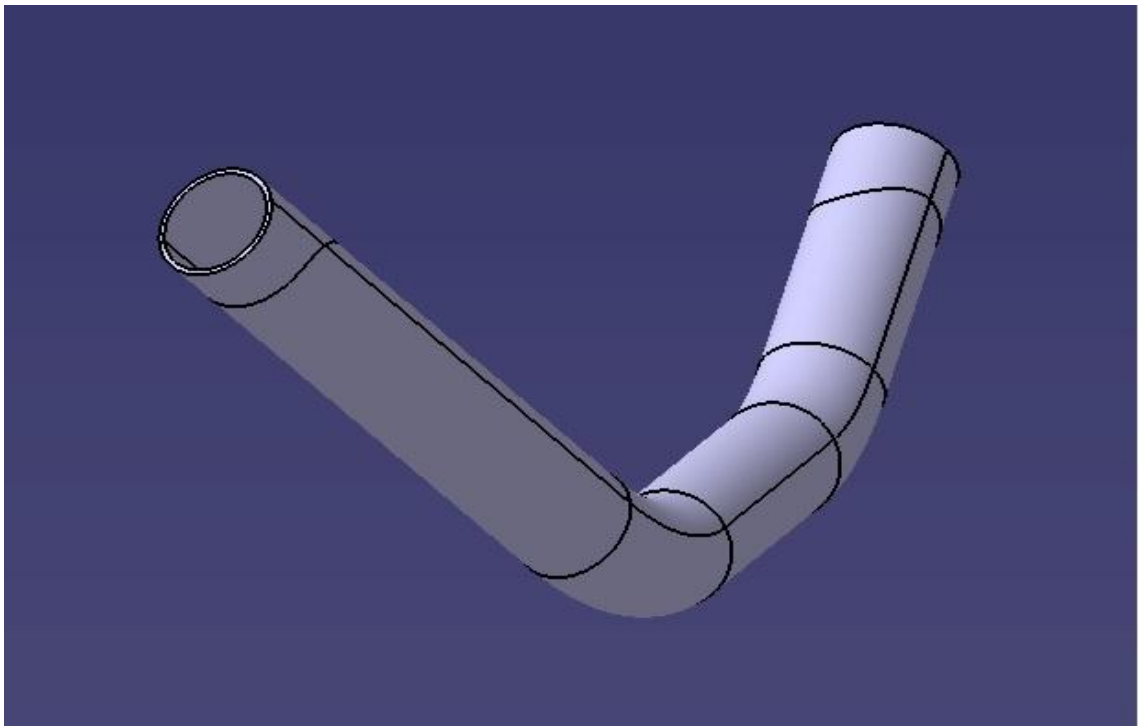
Kuva 5. Eturungon tukikehikon eli jigän ensimmäinen vaihe

2.2 Putkien taivutukset ja kokomuutokset

Putkia taivutettaessa oleellisessa asemassa ovat taivutuskoneessa käytettävien taivutuslestien taivutussäteet ja materiaalin soveltuminen taivutukseen.

Käytettävien putkien halkaisijat kuitenkin estivät Metropolia Ammattikorkeakoululla olevan putkentaivutuskoneen käyttämisen ja yhteen putkeen kohdistuvat taivutukset todettiin erittäin hankaliksi, joten päätettiin turvautua ulkopuoliseen taivuttajaan. Koska putkien taivutusten tarkkuuteen vaikuttaa huomattavasti niiden taivuttamiseen käytetyn koneen toiminta, saataisiin tarkimmat taivutukset aikaan tietokoneohjatulla putkentaivuttimella.

Putkien taivutuksesta teki erityisen hankalaa, se ettei taivutukset tapahtuneet samassa tasossa, vaan putkea olisi täytynyt pyörittää koneessa erittäin tarkasti ja oikeaan suuntaan. Tämä olisi onnistunut esimerkiksi rakentamalla erillinen astekehä ja sitten pyörittää putkea mahdollisimman tarkasti eri taivutuskohtien välissä. Kuvassa 6 on esillä yksi eturunkoon taivutettavista putkista.



Kuva 6. Yksi eturunkoa varten taivutettavista putkista

Kuvan 6 putki on eturungon alin putki, johon apurunko tulee kiinnittymään ja kuvan putki tulee kiinnittymään kahdesta kohtaa eturungon pääaisaan. Mikäli putken taivutusyötä lähdetään käymään läpi vasemmalta lähtien, täytyy ensin kulkea suoraan 173,5 millimetriä, minkä jälkeen putkea taivutetaan 134,4 astetta. Tämän jälkeen täytyy putkea kuljettaa suoraan 94,7 millimetriä ja tämän kuljetuksen aikana putkea tulisi pyörittää putken taivutuskoneessa vastapäivään 26,1 astetta.

Kun putken pyöritys on saatu tehtyä, tulee putkeen seuraava taivutus, joka on 146,6 astetta. Tämän taivutuksen jälkeen putki tulee katkaista 79,3 millimetrin päästä viimeisimmästä taivutuksesta. Kyseisen mallinen putki ei ollut monimutkaisin taivutettavista putkista, mutta työselostuksesta saa hieman osviittaa siitä millaisesta työstä on kyse.

Apua taivutusalihankkijan löytämiseen saatiin koulun muista projekteista ja alihankkijaksi valittiin Samet Oy. Putkien taivutuksen hinnan arvioitiin olevan kuitenkin niin mitätön, ettei katsottu järkeväksi alkaa etsiä halvinta tekijää.

Koska alihankkijalla ei ollut tietokoneohjattua putkentaivutinta, täytyi putkista tehdä työkuvat, joista putken taivuttaja pystyi helposti ymmärtämään millainen putki on kyseessä ja millaisia mittoja taivutuksiin ja niiden välisiin etäisyyksiin liittyy.

Valitettavasti kaikki putkitoimittajalta toivotut ja saadut putket eivät käyttäytyneet taivutettaessa toivotulla tavalla vaan osa saaduista putkista ei suostunut taipumaan. Kaikissa taivutuksessa epäonnistuneissa putkissa havaittiin samaa ongelmaa. Putki ei suostunut taipumaan ollenkaan vaan niihin muodostui repeämiä heti taivutuksen alkuvaiheessa ja osaan niitä muodostui hieman taivutuksen aloituksen jälkeen. Tämän repeämisen oletettiin johtuvan siitä, että kyseisissä putkilaaduissa oli ollut vähän tai ei juurikaan venymisominaisuuksia; tästä syystä ne eivät siis soveltuneet taivutettaviksi.

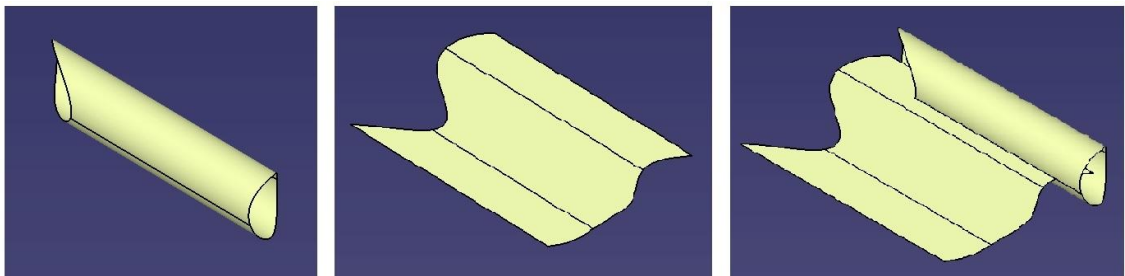
Taipumattomuusongelmaan ratkaisuna on etsiä uusi putkilaatu, joka toivottavasti olisi soveltuva taivutukseen. Kuitenkin toivomiemme putkikokojen saatavuus oli heikkoa, mikä johti muutamien putkikokojen muuttumiseen. Putkikokojen muutokset tarkoittivat automaattisesti myös taivutuslestien vaihdoksia, joissa ei välttämättä ole samoja taivutussäteitä, mikä luo tarpeen tehdä uudet työkuvat uusille putkikooille, sillä taivutussäteiden muutokset muuttavat myös taivutusten välisiä mittoja.

Ainoastaan yhtä kokoa taipumattomista putkista täytyi muuttaa ja se oli 31 millimetrin halkaisijalla ja 1,5 millimetrin seinämävahvuudella, korvaava putkikoko on 32 millimetrin halkaisija ja 1,5 millimetrin seinämävahvuudella. Kyseisen muutoksen ei katsottu olevan merkityksellinen putkirungon lujuuden kannalta.

2.3 Putkien laserleikkaus

Taivutettujen putkien lisäksi putkirunkoon tulisi myös suorita putkia, jotka tulitisiin leikkaamaan laserilla oikeaan mittaan ja samalla lähes oikeaan muotoon. Putkien leikkaaminen täysin oikeaan muotoon laserilla on hankalaa, sillä metallia leikkaava lasersäde kohdistetaan putkeen kohtisuoraan sen pintaan nähden, mistä johtuen osaa putkien päistä joudutaan muotoilemaan hieman uusiksi. Lisäksi taivutettujen putkien toleranssit ovat paljon suuremmat kuin laserilla leikattujen putkien. Lasersäteen leikkaustoleransseissa puhutaan yleensä kymmenesosa tai sadasosa millimetreistä, kun taas taivutuksissa toleranssit saattavat olla asteen luokkaa ja taivutusten välisten etäisyyksien toleranssit noin millimetrien luokkaa.

Metropolia Ammattikorkeakoululta ei löydy laserilla toimivaa putkileikkuria, joten laserleikkaus täytyisi tehdä talon ulkopuolella. Leikkaajaksi valittiin aikaisempien projektien hyvien kokemusten perusteella Putkilaser Oy. Jotta mallinnetut putket pystyttäisiin leikkaamaan laserilla, täytyy ne käsitellä mallinnusohjelmassa sellaiseen muotoon, jota laserleikkauskone ymmärtää. Tässä tapauksessa putket täytyy levittää auki (kuva 7) ja tehdä niistä työkuvat dxf-tiedostomuotoon. Dxf-tiedostomuoto on muun muassa AutoCAD-ohjelman kanssa käytetty työpiirustusmuoto.

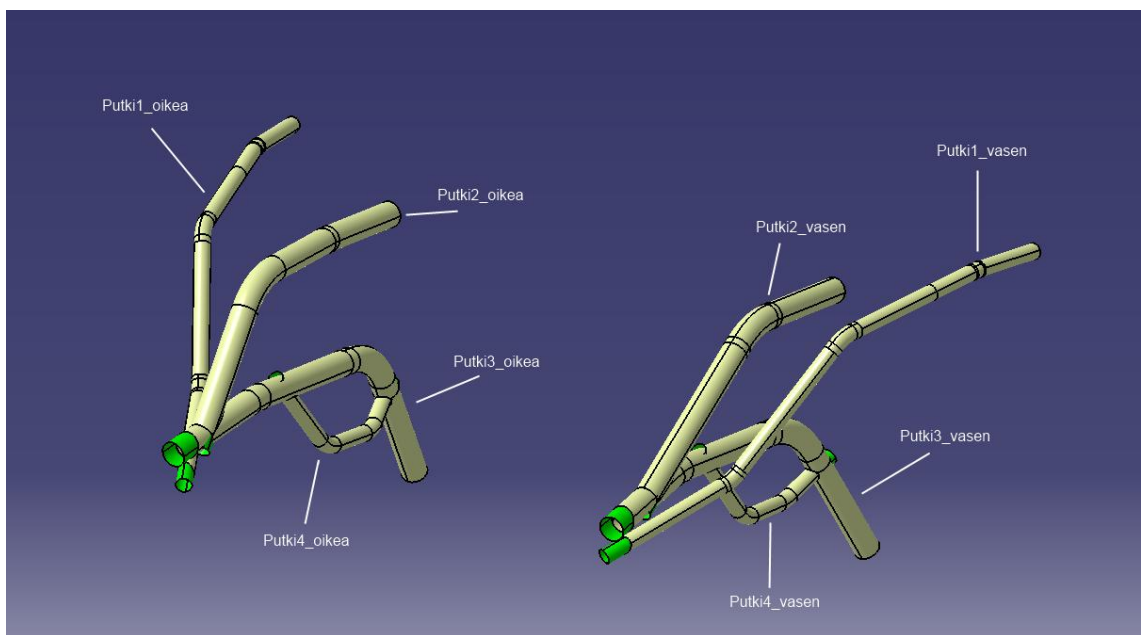


Kuva 7. Laserleikattavan putken aukilevitys

Putkileikkurissa putkea liikutellaan sen pituussuunnassa kulmamuuoksen mukaan, putkea leikkaava polttopiste pysyy paikallaan. Aukilevityksellä saadaan esiin sellaiset käyrät, joiden mukaan putkea liikutetaan pyörityskulman mukaan. Käytetyssä dxf-tiedostomuodossa on näkyvissä vain nämä aukilevitetyn putken ääriviivat.

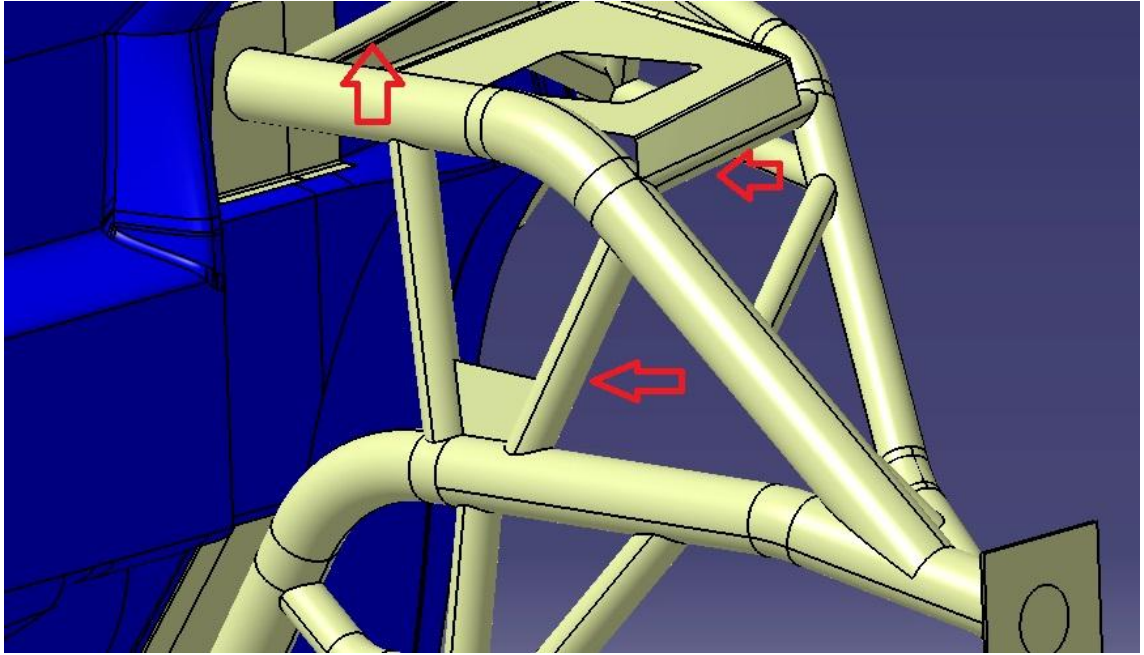
2.4 Putkirungon kokoonpano

Yleisesti ottaen putkirungon kokoonpano on hyvin yksinkertainen toimenpide, mutta mittatarkkuutta hakiessa se saattaa viedä aikaa ja vaatii kärsivällisyyttä. On ensin hyvä selvittää, mitkä putket ovat muiden komponenttien kiinnityksen kannalta kriittisiä. Tämän eturungon tapauksessa kriittisiä pisteitä ovat nimenomaan taivutetut putket (kuva 8), koska niihin tulevat kiinnittymään voimapaketti ja etuakselin iskunvaimennus. Kuvassa näkyvät kaikki eturunkoa varten taivutettavat putket, joiden paikoitus on suoritettava huolella.



Kuva 8. Eturungon pääputket

Suurin osa laserleikatuista putkista on vain tuomassa eturungolle lisälujuutta, jotta se selviää sille asetetuista vaatimuksista. Vaikka jokaisen putken sijainti mitataan taivutettujen putkien välissä, muutamien laserleikattujen putkien (kuva 9) sijainti taivutettujen putkien välissä on kuitenkin mitattava tarkemmin, sillä nämä putket osallistuvat iskunvaimennuksen kiinnitykseen tai voimapaketti tulee kiinnittymään kyseisten putkien väliin.



Kuva 9. Eturungon mitattavat putket

Kaupunkiauton eturungon varsinainen rakentaminen oli aloitettava etsimällä rintapeltiä vasten valmistetusta jigistä suhteellisen luotettava referenssipiste. Referenssipisteeksi tulisi valita sellainen kohta, josta voidaan mitoittaa muut putket suhteellisen tarkasti. Koska tiedettiin, että eturungon ylemmät kiinnityslevyt olivat rintapellin muodon mukaan valmistetut, voitiin olettaa, että niistä saataisiin hyvin mitattua pääputkille oikeat korkeudet. Kun korkeudet pystytään mittaamaan tietyistä pisteistä, on putkien mitoituksen vaatimuksena enää vain yhteen- ja vähennyslaskujen virheenhallinta.

Kaikki eturungon putket kiinnitetään aluksi vain erittäin pienillä hitsisaumoilla (kuva 10), jotka pitävät ne oikealla paikallaan. Kuvasta voi huomata, että eturungon pääaisan paikoituksessa täytyi käyttää, muutamaa shimmilevyä. Ilman shimmilevyjä pääaisan, muuten suoraksi tarkoitettu putki olisi jäänyt vinoon. Vasta kun putkien paikkoihin ollaan tyytyväisiä, hitsataan ne pysyvästi paikalleen ympäri putken kulkevilla saumoilla.



Kuva 10. Eturungon putkia ennen täyssauvoja

Putkien ympäri kulkevien täyssauvojen viereen on hyvä porata reikä (kuva 11), sillä kun putki suljetaan hitsisaumalla, sen sisällä oleva ilma lämpenee ja lämpötilan noustessa paine suljetun putken sisällä kasvaa noudattaen ideaalikaasun yhtälöä:

$$pV = nRT$$

jossa

V on tilavuus

n on ainemäärä

R on yleinen kaasuvakio

p on kaasun paine

T on lämpötila.

Tilavuus, ainemäärä ja yleinen kaasuvakio ovat tässä tapauksessa vakioita. Lämpötilan muutoksella on täten siis suora vaikutus kaasun paineeseen.



Kuva 11. Eturungon alin tukiputki ja siihen porattu reikä

Tämä lämpötilan noususta johtuva nouseva paine puhkaisee hitsisulan viimeiseen vielä sulaan kohtaan reiän ja estää siten kokonaan putken ympäri kulkevan hitsauksen. Putken sisällä oleva korkea paine myös aiheuttaa hitsiin muotovirhettä. Kuvassa näkyy kokonaan putken kiertävä sauma ja paineen nousun estävä reikä. Kuva on otettu eturungon ollessa täysin valmis ja kiinni auton korissa.

Eturungon alimmat putket jätettiin tarkoituksella kiinnittämättä, sillä kyseiset putket vaativat eniten käsin tehtävää muotoilutyötä.

Muotoilutyön määrää lisäsi kyseisten putkien tarve asettua juuri oikealle korkeudelle ja oikeaan kulmaan apurungon kiinnittämistä varten. Mikäli kulma tai korkeus olisi väärä, vaatisi se muutoksia joko apurungon sarviin tai eturungon alimpaan putkeen.

2.5 Putkirungon kiinnitys auton koriin

Putkirunko tulee kiinnittymään auton koriin yhteensä kahdeksasta kohdasta, joista neljä sijaitsee rintapellissä ja neljä auton ulkokyljissä. Rintapellin kohdissa on eturungossa kolme millimetriä paksut teräslevyt. Rintapeltikiinnitykset onnistuvat yksinkertaisesti ruuvien ja mutterin yhdistelmällä, mutta ulko- ja sisäkyljen kotelomaisen rakenteen vuoksi on niihin vaikea soveltaa samaa kiinnitysratkaisua ilman suurien asennusaukkojen tekemistä. Asennusaukkojen tekemiseltä vältytään käyttämällä kierreniittejä. Kierreniittien kiinnitystä varten on ulko- ja sisäkylkien väliin, ennen niiden yhdistämistä, liimattu kaksi millimetriä paksu alumiininen insertilevy, johon kierreniitit voidaan kiinnittää.

Kyseisille kierreniiteille vaatimuksena on myös niiden materiaali, jonka tulee olla ruostumaton teräs. Hiilikuitu ja normaali teräs muodostavat sähkökemiallisen eli galvaanisen parin, joka käytännössä tarkoittaa sitä, että teräs ruostuu huomattavasti nopeammin. Tästäkin syystä eturungon kiinnitykseen ei käytetä pelkästään ruuveja, vaan teräslevyjen ja hiilikuituisen rintapellin väliin tulee myös liimakerros, joka estää teräksen ja hiilikuidun välisen kontaktin.

2.6 Huomioita eturungon asennuksesta

Eturungon ensimmäisen asennuksen yhteydessä huomattiin, että apukuskin puoli eli oikea puoli oli täyssaumojen hitsauksen yhteydessä vedellyt. Vetelyllä tarkoitetaan lämpölaajenemisesta ja jäähtymisestä johtuvia muodonmuutoksia laippojen sijainnissa. Tämän vetelyn seurauksena eturungon asentaminen autoon vaatii huomattavasti enemmän työtä, sillä pisteet, joista eturungon olisi tarkoitus kiinnittyä ulkokylkeen jäävät liian eteen niille tarkoitetusta paikasta. Asennuksen apuna käytettiin räikkäliinaa, jolla eturungon ulkokyljen kiinnityslevyt saatiin vedettyä auton perää kohti oikealle paikalleen (kuva 12).

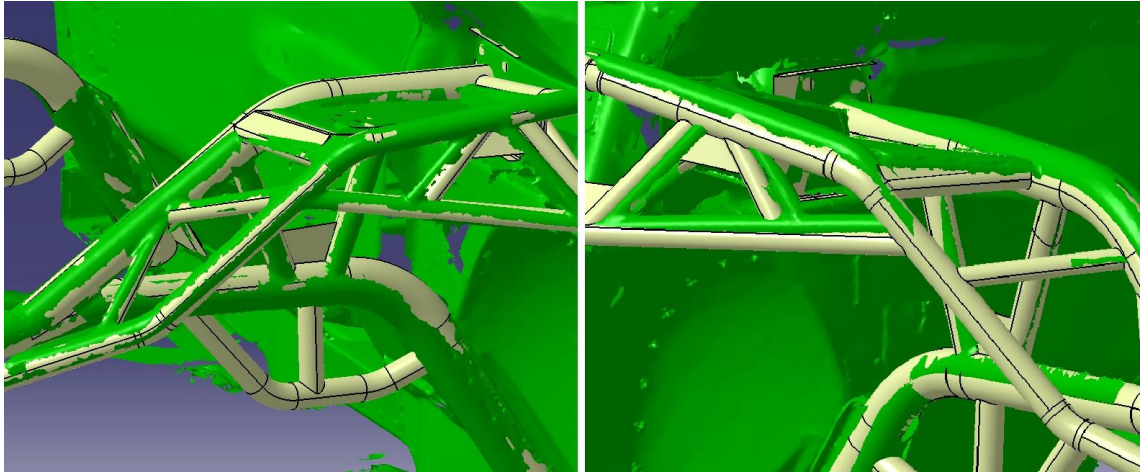
Tämä tulee huomioida eturunkoa irrotettaessa ja uudelleen asennettaessa. Ilman räikkäliinan, tai muun vetolaitteen, käyttöä irrotettaessa viimeiset kiinnipitävät ruuvit tulevat rikkomaan kiinnitykseen tarkoitetut kierreniitit. Uudelleen asennettaessa eturungon asennus on mahdotonta ilman minkäänlaista vetolaitetta.



Kuva 12. Eturungon asennus ja asennuksessa käytetty apulaite

2.7 Valmiin eturungon mittaukset ja analysointi

Eturungon asennuksen jälkeen koko autolle suoritettiin skannaus mittaviuhkalla. Mittaviuhkassa viuhkamainen laite tallentaa pisteitä mitattavalta pinnalta, joiden paikat tallennetaan tietokoneelle. Mittausten jälkeen näistä pisteistä voidaan luoda malli, joka vastaa mitattua kappaletta. Kun luodun mallin kohdistaa mallinnetun auton päälle mallinnusohjelmassa, tällöin saadaan näkyviin suunnitellut ja toteutuneet pinnat ja niiden välisiä etäisyyksiä voidaan mitata.



Kuva 13. Eturunko mallinnus ja skannaus, mallinnettu pinta kellertävänä ja skannattu vihreänä

Kuvassa 13 vihreät osat ovat skannauksen tuloksena saatua dataa ja kellertävät osat ovat suunnittelijan mallintamia putkia. Kuvasta näkee selkeästi, että putket ovat suhteellisen lähellä niille tarkoitettuja paikkoja. Moottorin kiinnikkeille on jäänyt tilaa ja auton etupään iskunvaimennuksen ja jousituksen kiinnitykseen tarkoitettu levy on lähellä oikeaa paikkaansa. Tämän perusteella voidaan todeta eturunko yksittäisenä komponenttina onnistuneeksi.

2.8 Eturungon jälkikäsittely

Eturunkoon tullaan vielä sen valmistumisen jälkeen lisäämään kiinnityspisteitä erilaisille komponenteille tai komponenttikehikoille, joten eturungon jälkikäsittely on hyvä tehdä vasta näiden kiinnityspisteiden eturunkoon liittämisen jälkeen. Näin toimimalla saadaan visuaalisesti paras kokonaisuus ja lisäkiinnikkeiden liittämisen yhteydessä vältetään ylimääräiseltä työltä, jolloin esimerkiksi maali täytyisi poistaa kohdasta, johon lisäkiinnityspisteitä halutaan hitsata.

Eturunko tullaan pulverimaalaamaan tai toiselta nimeltään jauhemaalaamaan. Jauhemaalaus on prosessi, jossa kappaleen pinnalle ruiskutetaan muovijauhetta, joka ruiskutuksen jälkeen sulatetaan sen pinnalle uunissa [8]. Käytetyistä muovijauhelaaduista voidaan mainita epoksi, polyesteri tai niiden seos, mutta myös muitakin jauhelaatuja on mahdollista käyttää.

Oleellista jauhemaalauksen onnistumisessa on maalattavan pinnan puhtaus, joka tul-
laan varmistamaan eturungossa hiekka- tai lasikuulapuhaltamalla. Oleellinen seikka
myös jauhemaalauksen valintaan, on sen ekologisuus kertamuovijauheista huolimatta.
Jauhemaalauks on liuotinvapaa prosessi, jolloin sillä ei ole myöskään VOC-päästöjä.
VOC-päästöillä tarkoitetaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joita ovat muun muassa
liikenteen palamattomat polttoainejäämät eli hiilivedyt ja kemialliset liuottimet [7].

3 Etuapurunko

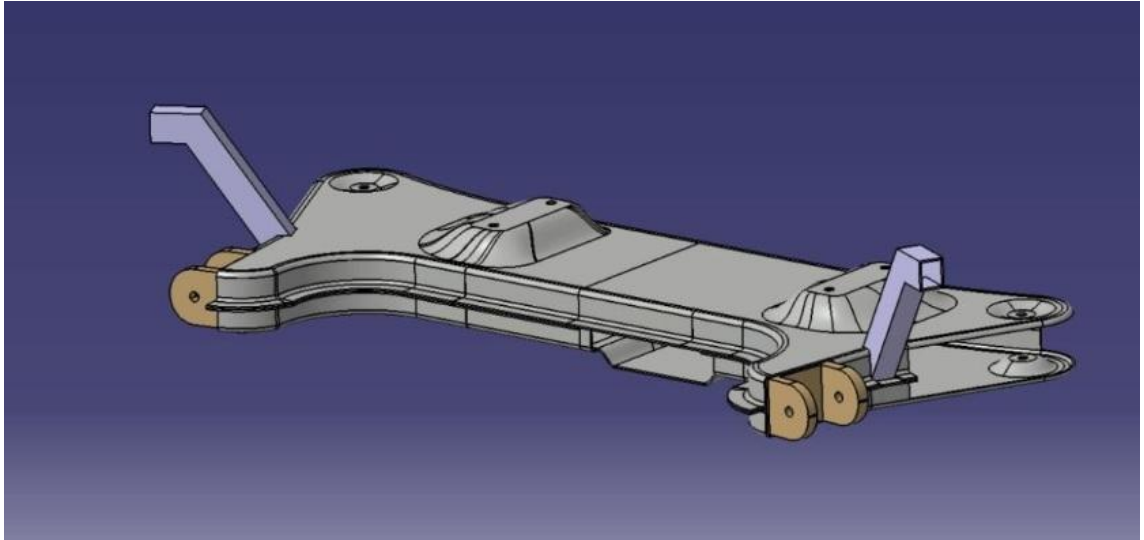
Yleisesti autoissa tarvitaan apurunkoja, kun varsinainen runko ei pysty tuottamaan tar-
peeksi kiinnityspisteitä esimerkiksi erilaisille alustan komponenteille, kuten tukivarsille
tai kallistuksen vakaajille. Apurunkoja voidaan käyttää myös auton takaosassa tuo-
maan lisää kiinnityspisteitä alustalle. Apurunkoon voidaan myös helposti kiinnittää
moottorille lisää tukipisteitä tai esimerkiksi voimapaketin pyörähdyksen tai värähtelyn
vaimentimia (kuva 14).



Kuva 14. Volkswagen Golf Mk4 GTI:n etuapurunko [5]

Tähän kaupunkiautoon kuitenkin tarvittiin vain eteen apurunko. Apurunko tulee kiinnit-
tymään eturunkoon ja auton koriin.

Kaupunkiauton etuapurungon pääkomponentit ovat syvävedetyt runkopuolikkaat, alaturvarren etukiinnitysinsertit ja etuapurungon ja eturungon yhteen kiinnittävä sarvi (kuva 15). Etuapurunko valmistetaan kokonaan ruostumattomasta teräksestä. Etuapurungon suunnittelua ja valmistamista on käsitelty Mikko Aaltosen opinnäytetyössä Kaupunkiauton etuapurungon suunnittelu [2], joka toimii yhtenä lähteenä tälle työlle.

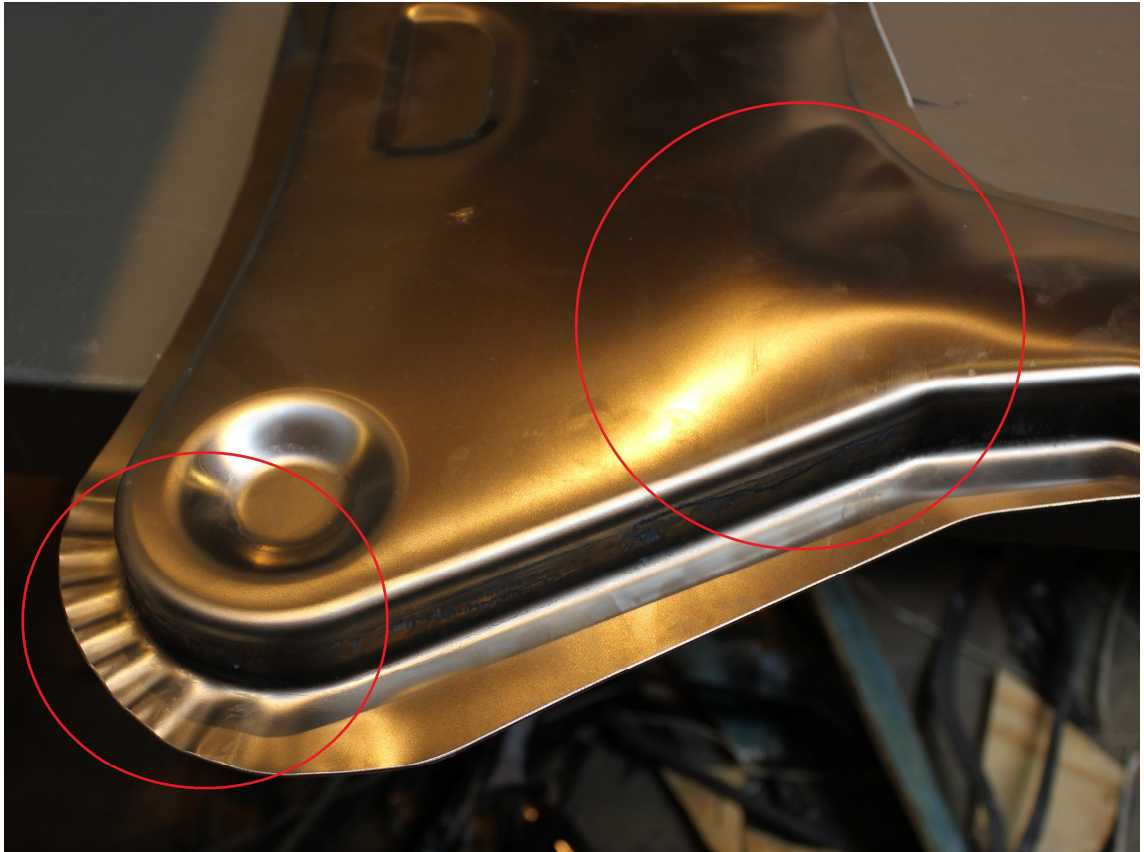


Kuva 15. Mikko Aaltosen suunnittelema etuapurunko

3.1 Syvävedetyt apurungon puolikkaat

Syvävedetyt apurungon puolikkaat saapuivat Kemi–Tornion Ammattikorkeakoulusta kuppimaisina tuotteina, joihin olisi leikattava aukkoja ja reikiä tulevia kiinnityksiä varten. Mikko Aaltonen työssään toteaa, että syvävedetyille kappaleille on ensin suoritettava laserleikkaus, jotta ne saavuttavat lopullisen muotonsa [2, s. 24]. Valitettavasti syvävedetyt puolikkaat olivat syvävedettäessä saaneet niihin ei-toivottuja muotoja. Ei-toivotuilla muodoilla tarkoitetaan tässä tapauksessa reunojen aaltoilua sekä materiaalin tyssääntymisestä johtuvia lommoja ja kohoamia muuten suoriksi tarkoitetuissa pinnoissa. Tuote ei siis vastaisi enää täysin sitä tuotetta, jonka suunnittelija oli mallintanut aikaisemmin. Ylimääräisten muotojen oletettiin hankaloittavan 3D-laserleikkausta huomattavasti. Hankala leikkaus toisi operaatiolle huomattavasti lisää hintaa, sillä leikkaus olisi ostettava Metropolia Ammattikorkeakoulun ulkopuolelta.

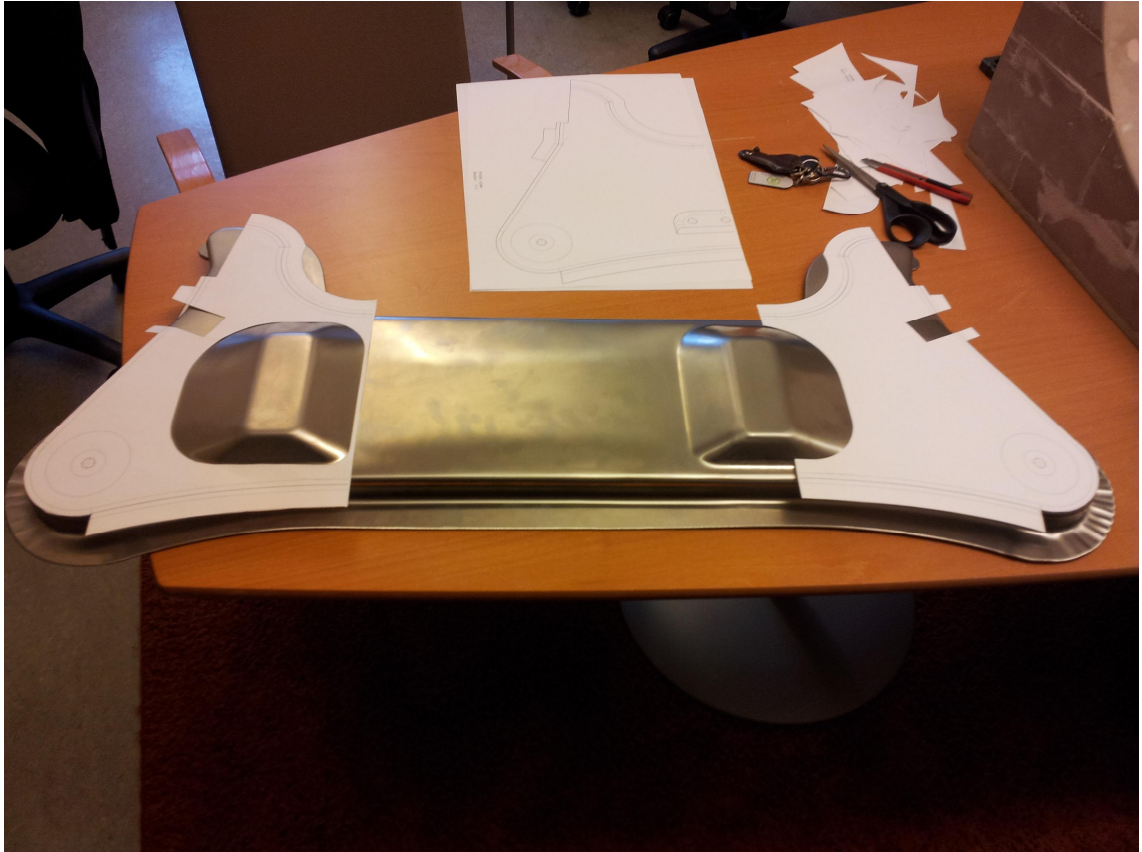
Kyseisen tyyppiset muotovirheet (kuva 16) johtuvat syvävetoon käytetyn koneen ja syvävedetyn materiaalin sopimattomuuksista keskenään, koneen tuottama syvävetovoima ei riittänyt näin lujalle materiaalille. Kun syvävetokoneen voima ei riitä, syntyy lommoja tai kohoamia sellaisiin kohtiin, joissa kone ei yksinkertaisesti jaksa vetää materiaalia toivottuun muotoon eli muotin pohjalle asti. Reunojen aaltoilu johtuu taas siitä, että näihin kohtiin kohdistuu kehän suuntaista puristusjännitystä [10 s. 103]. Pahimmat aaltoilut kuitenkin jäivät sellaiselle alueelle, joka jäisi pois lopullisesta kappaleesta.



Kuva 16. Etuapurungon puolikas ja ei-toivotut muodot

Päätettiin kuitenkin tiedustella hintoja mahdolliselle laserleikkaukselle. Tiedusteluiden lopputuloksena päätettiin, että olisi nopeampaa ja halvempaa kuitenkin leikata tarvittavat aukot ja reiät käsin käyttäen paperisia muotteja (kuva 17). Tähän ratkaisuun päädyttiin myös sen takia, että käytettävissä olevia apurungon puolikkaita oli rajattu määrä ja uusien puolikkaiden saaminen olisi kestänyt aivan liian kauan, jotta olisi pysytty järkevässä aikataulussa tämän insinööriyön ja koko auton valmistumisen kannalta.

Muotovirheiden takia myös apurungon puolikkaiden paikoittaminen toisiinsa oli erittäin haasteellista. Muotovirheet vaikuttivat laippapintoihin niin paljon, että jouduttiin käyttämään useita puristimia, jotta apurungon puolikkaat olisivat pistehitsattavissa.



Kuva 17. Etuapurungon puolikkaan leikkaus, käyttäen paperimuotteja

Oletettavasti myös kappale olisi ohentunut hieman syvävedettäessä. Materiaalin paksuutta voidaan mitata monella tavalla, mutta käytetty materiaali oli kuitenkin liian ohutta, jotta sen paksuutta olisi voitu mitata Metropolia Ammattikorkeakoulun ultraäänimittarilla. Mittauksia varten rakennettiin vanhasta digitaalisesta työntömitasta paksuusmittauslaite, jolla yltäisi pidemmällekin kuin kappaleen reunoille.

Mittaukset suoritettiin aina nollaamalla työntömetrin arvot joka mittauksen välissä, minkä jälkeen otettiin yksi mitta sattumanvaraisesta kohdasta apurungon keskeltä. Mittaustulosten epävarmuus oli suuri mittauksen takia, mutta niistä pystyttiin arvioimaan materiaalin ohenemisen olevan erittäin vähäistä. Pienimmät arvot, joita mittalaitteella saatiin, olivat 1,80 millimetriä.

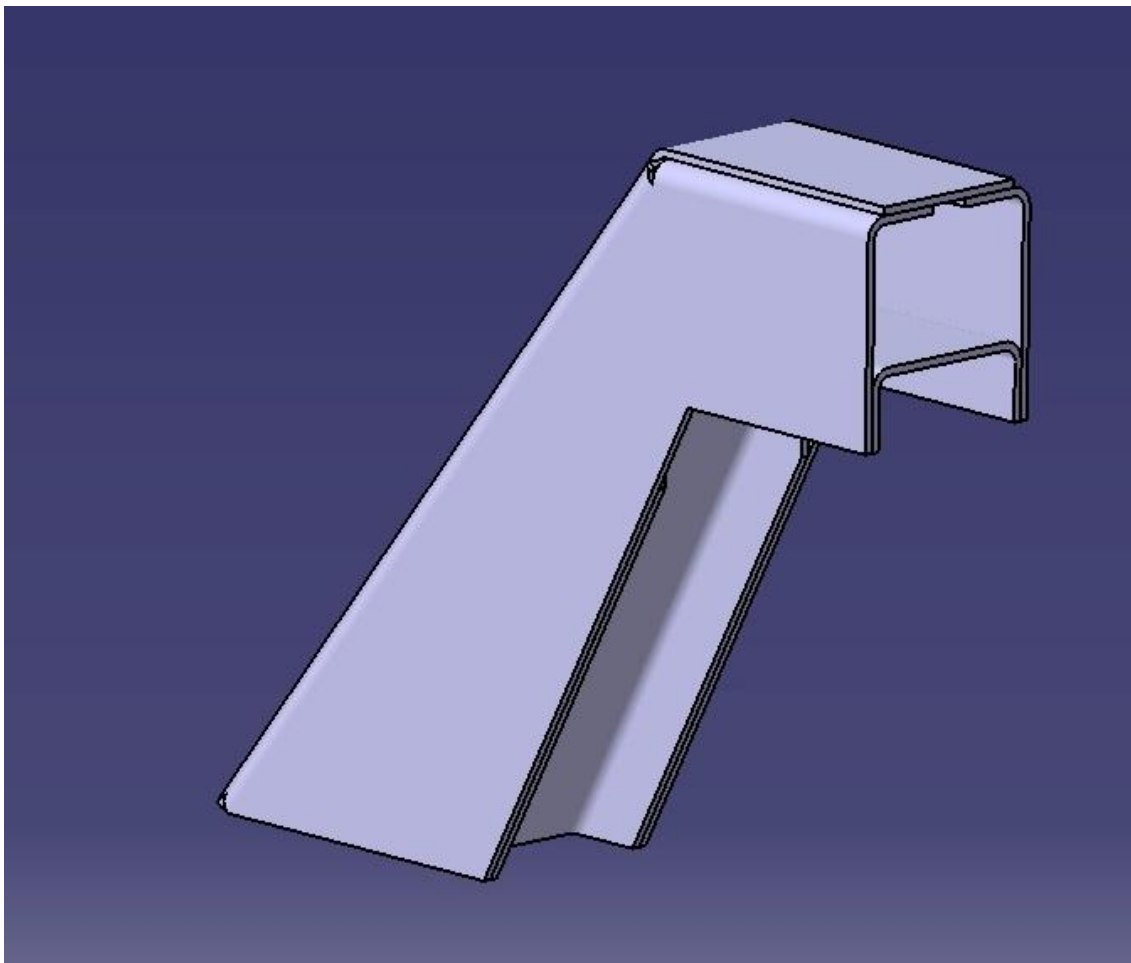
Tällöin materiaali olisi ohentunut maksimissaan 0,2 millimetriä, joka merkitsisi 10 prosentin ohentumaa alkuperäisestä kaksi millimetriä paksusta levystä.

3.2 Etuapurungon kiinnitys eturunkoon

Kiinnitys eturunkoon oli tarkoitus tehdä apurungolta nousevalla kiinnityssarvella, joka olisi valmistettu suorakaideputkesta. Putkeen olisi tehty lovi, minkä jälkeen putkea olisi taivutettu ja hitsattu takaisin kokoon [2, s. 26]. Tällöin hitsisauma olisi tullut tarkalleen kaarejarrutustilanteen sarveen aiheuttaman rasituksen kohdalle. Tätä jarrutustilanteen aiheuttamaa rasitusta ehkäisemään oli suunniteltu, että tarpeen vaatiessa hitsisauman kohdalle olisi hitsattu vahvikelevyt.

Hitsisauman lujuudesta ja sen läheisyyteen syntyvästä HAZ-vyöhykkeestä johtuen päätettiin, että eturungon ja etuapurungon välinen kiinnityssarvi tulitisiin valmistamaan 2 millimetriä paksusta ruostumattomasta teräslevystä. HAZ-vyöhykkeellä tarkoitetaan hitsisauman viereen lämmöntuonin takia syntyvää muutosvyöhykettä. Tässä vyöhykkeessä materiaalin kiderakenne on päässyt muuttumaan, millä on vaikutusta liitoksen mekaanisiin ominaisuuksiin [12]. Kun kyseisestä palkista valmistetusta rakenteesta päästään eroon, mahdolliset hitsisaumat tulisivat toisaalle kuin jarrutustilanteen aiheuttaman rasituksen kohdalle ja välttyttäisiin epäesteettisiltä ylimääräisiltä vahvikelevyiltä.

Uusi sarvi (kuva 18) tulisi muodostumaan kolmesta erilaisesta laserleikatusta, särmäystä ja pistehitseillä toisiinsa yhteen liitetystä kappaleesta. Muutos tarkoittaisi kuitenkin etuapurungon puolikkaisiin leikattavien aukkojen muutoksia, jotta sarvien kanttaus olisi tehtävissä Metropoliassa.

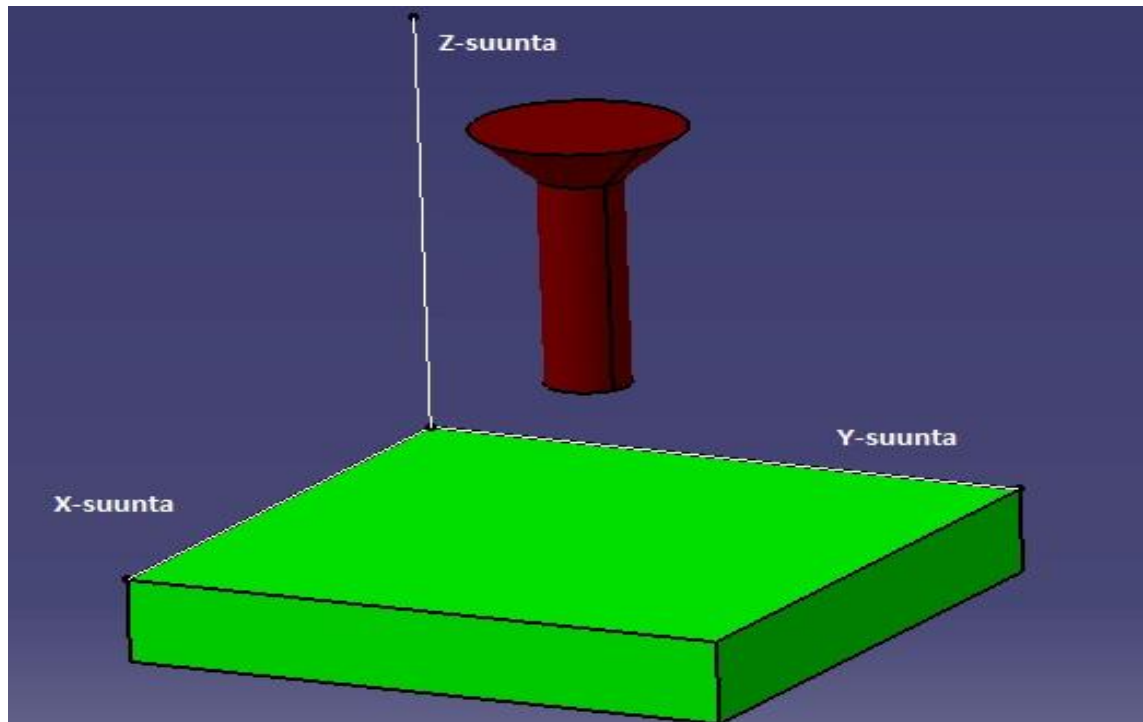


Kuva 18. Uudelleen suunniteltu etuapurungon sarvi

Kolmesta kappaleesta koostuva sarvi hitsataan yhteen käyttäen vastuspistehitsausta ja TIG-hitsausta. TIG-hitsausta käytettiin sen takia, koska muutamisiin kohtiin ei vastuspistehitsilaitteen kärjillä yltänyt. TIG-hitsauksella kyseisiin paikkoihin tehtiin vain muutamat silloitukset.

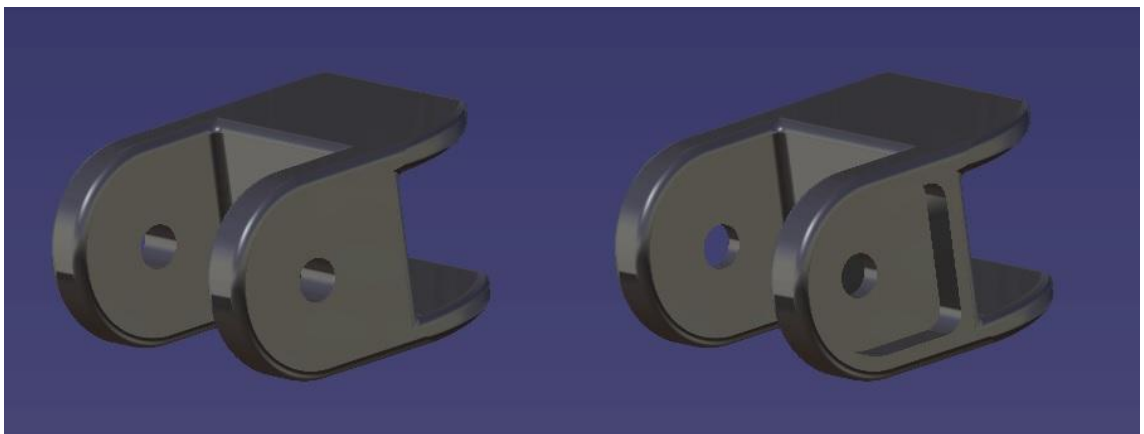
3.3 Kiinnitysinserttien koneistus ja kiinnityksen muutos

Kiinnitysinsertit koneistettiin ruostumattomasta teräksestä DIN 1.4301 Metropolia Ammattikorkeakoululla, käyttäen tietokoneohjattua kolmiakselista Quaser-metallijrsintä. Kolmeakselisuus tarkoittaa tässä tapauksessa sitä, että koneistettavan kappaleen aihio kiinnitetään tavalla tai toisella pöytään, joka liikuttaa aihiota X- ja Y-suunnissa ja jyrsinterä liikkuu pöydän päällä Z-suunnassa (kuva 19).



Kuva 19. Kolmiakselisen jyrsimen havainnollistamiskuva

Jo ennen inserttien koneistuksen aloittamista todettiin, että lopulliset insertit olisivat olleet hyvin painavia, joten niihin olisi tehtävä painonsäästön nimissä muutoksia. Osalla painonsäästöön tarkoitetuista kevennyksistä oli myös asennukseen vaikuttavia positiivisia ominaisuuksia, nämä tullaan esittelemään myöhemmin.



Kuva 20. Apurungon kiinnitysinsertti, vasemmalla keventämätön ja oikealla kevennetty

Kuten kuvasta 20 näkee, on alatukivarren kiinnityksen puolelle tehty pienet syvennykset, myös osaa tasomaisista pinnoista ohennettiin.

Muutosten yhdistelmällä mallinnusohjelman tuottama arviopaino saatiin putoamaan 1,3 kilogrammasta alle yhteen kilogrammaan.

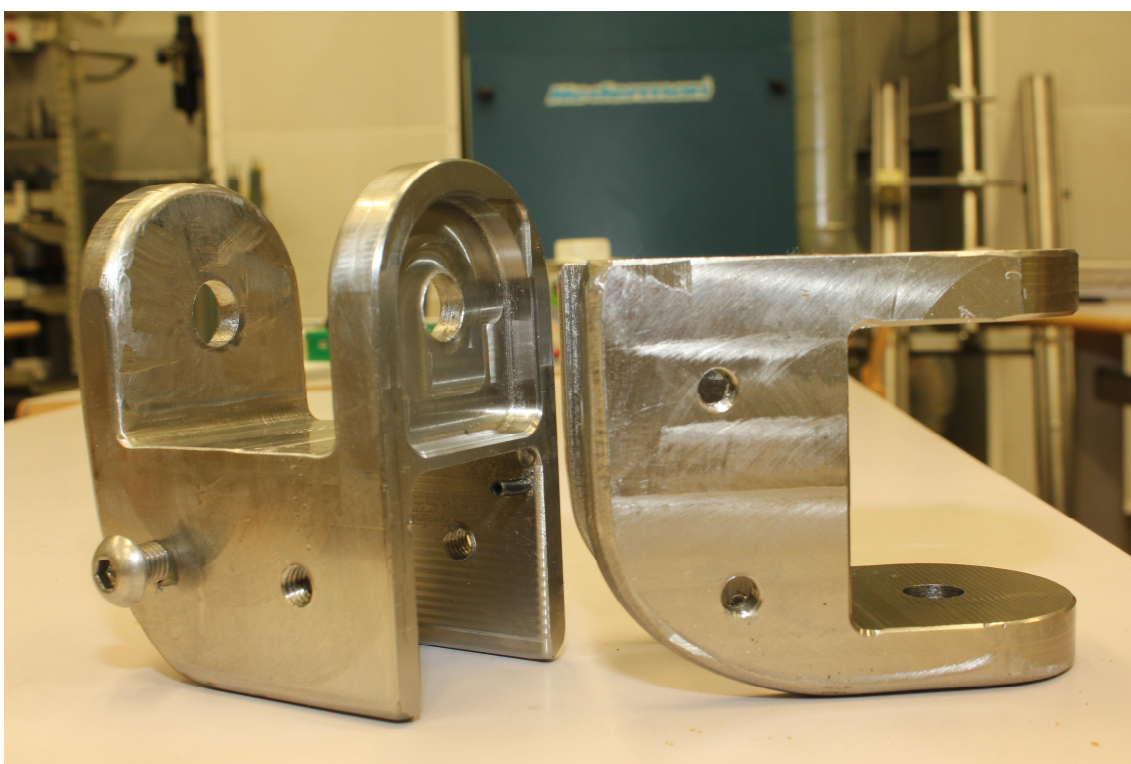
Kiinnitysinserttien koneistuksessa huomattiin heti muutamia ongelmakohtia, jotka olisi ollut hyvä ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Koneistettavien inserttien design tulisi vaatimaan kappaleen useita kääntöjä jyrsimessä, sillä kaikkia niiden muotoja ei pystyttäisi jyrsimään kolmeakselisella jyrsimellä yhdestä tai kahdesta suunnasta. Kun kääntöjen määrää kasvatetaan, kasvaa myös koneistajan osuus osan mittatarkkuuksien säilymisessä. Jyrshintä käyttävät myös muutkin Metropolian projektit, joten aikataulut venähtävät helposti etenkin kun koneistettavaa kappaletta on tarkoin mitattava aina käännön yhteydessä.

Aikatauluun vaikutti myös koneistajan kokemuksen puute ruostumattoman teräksen kanssa työskentelystä. Ruostumattoman teräksen ominaisuuksiin kuuluu sen nopea työstökarkenevuus, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että väärillä työstöarvoilla kappale kuumenee liikaa ja sen pinta karkenee ja kovettuu, mikä osaltaan kuluttaa terää huomattavasti nopeammin. Kun ruostumattoman teräksen koneistusta verrataan seostamattoman rakenneteräksen koneistukseen, niin lastun koon on oltava huomattavasti suurempi, jolloin saadaan lämpöä poistettua koneistettavasta osasta paljon enemmän ja voidaan välttyä työstökarkenemiseltä.

Inserttien kiinnitys apurunkoon oli tarkoitus tapahtua hitsaamalla ne kokonaan niille tarkoitettun kauluksen ympärille, sekä lisäämällä pieni railo syvävedettyihin apurungon puolikkaisiin, josta insertit saisivat lisäkiinnitystä. Kyseiset hitsiliitokset olisivat olleet tarkoitus toteuttaa käyttäen TIG-hitsausta. Syvävedettyjen apurungon puolikkaiden ja kevennettyjen inserttien materiaalivahvuudet olivat kuitenkin toisistaan niin eroavaiset, että niiden kiinnittäminen hitsaamalla olisi ollut erittäin haasteellista, joten päätettiin vaihtaa liitostapa ruuvien ja liiman yhteisliitokseen. Hitsaamisesta olisi tehnyt haastavaa se seikka, että syvävedetyn puolikkaan paksuus olisi ollut maksimissaan kaksi millimetriä, kun taas insertin materiaalin vahvuus oli lähellä kymmentä millimetriä. Tällöin hitsatessa olisi ohuempi materiaali sulanut huomattavasti aikaisemmin kuin paksuumpi materiaali, eikä niiden liittäminen toisiinsa olisi ollut niin yksinkertaista. Ruuvi-kiinnitykseen vaihtamisella pystyttiin myös helpommin kohdistamaan insertit oikeille paikoilleen suhteessa toisiinsa. Kuvassa 20 ei ole näkyvissä kiinnitykseen tarkoitettuja kierteitä, sillä ne tehtiin koneistuksen jälkeen käsin. Liitostavan muutokseen vaikutti myös kyseisen kohdan rasitukset.

Insertin kiinnityskohtaan tulee kohdistumaan huomattavia jännitevaihteluita, jotka hitsausaman sisältämien omien jännitysten lisäksi saattaisi olla tarpeeksi murtamaan kyseisen liitoksen. Lisäksi hitsausaman mekaanisten ominaisuuksien ja prosessin tuoman lämmönvaihtelun tuomat kiderakenteen muutokset materiaalissa voivat aiheuttaa kyseisen kohdan jännitysvaihteluiden takia ongelmia. Liiman avulla saadaan myös suurempi liitospinta-ala kuin hitsisaumoilla.

Ruuveiksi kiinnitykseen valittiin neljä kappaletta ruostumattomasta teräksestä valmistettuja M8-koon ruuveja, jotka tarttuvat insertteihin koneistettuihin kierteisiin ja lukitsevat insertit paikalleen eturungon puolikkaiden välissä (kuva 21).



Kuva 21. Valmiit kiinnitysinsertit

3.3.1 Eturungon kokoonpano

Apurungon kokoonpanossa lähdettiin liikkeelle Mikko Aaltosen antamista ohjeista, mutta hyvin pian huomattiin, että ne olivat huomattavan yksinkertaistetut eikä niissä ollut otettu huomioon kaikkia asioita, jotka vaikuttavat osien kiinnittämiseen toisiinsa.

Edellä mainittuja asioita olivat esimerkiksi koneistettujen inserttien asettaminen syvävedettyjen apurungon puolikkaiden väliin, jossa oli tärkeää mitata niiden oikea asento, sillä kiinnityksen jälkeen niiden muokkaaminen tulisi olemaan erittäin hankalaa.

Oikean asennon löytämistä hankaloittivat apurungon puolikkaiden muotovirheet, erityisesti inserttien paikkojen läheisyydessä. Oikean asennon löytäminen suhteessa apurungon puolikkaisiin on myös kriittistä siinä mielessä, että tällöin etuakselin linjaaminen auton loppuosan kanssa helpottuu ja on paremmin mitattavissa.

Apurungon puolikkaat ja insertit kiinnitettiin aluksi toisiinsa käyttäen putkisokkia ja lopuksi M8-koon ruuveja. Ennen apurungon puolikkaiden lopullista kiinnittämistä, täytyi apurungon puolikkaiden väliin vielä hitsata sinne kuuluvat vastin mutterit raidetangon kiinnitystä varten. Nämä hitsattavat mutterit loivat tarpeen suorittaa välipeittaus, sillä mutterit jäivät sellaiseen paikkaan apurunkojen välissä joita ei olisi pystynyt peittämään jälkikäteen. Peittauksen käsite tullaan selvittämään luvussa 3.7 Etuapurungon jälkikäsitely.

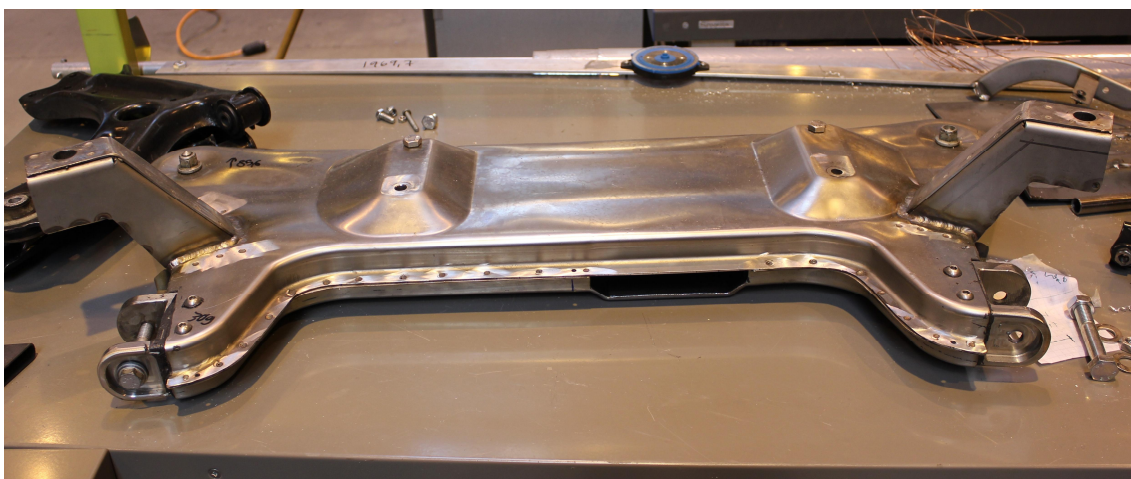
Apurungon puolikkaiden kiinnitys toisiinsa tapahtui käyttäen vastuspistehitsien ja SikaPower 4588 -liiman yhteisliitosta. Pistehitsien arvot tullaan käsittelemään myöhemmin vetokokeiden yhteydessä, jossa myös käsitellään liitostavan valintaa. Vastuspistehitsauksessa yhteen hitsattavia kappaleita käytetään vastuksena, joka lämpenee kun sen läpi johdetaan virtaa. Suuremmilla virroilla ja puristusvoiman avulla saadaan kahden metallilevyn välille luotua suuri lämpötila, jolloin levyt hitsaantuvat pistemäisestä paikasta yhteen.

Ennen hitsausta liima levitettiin ensin apurungon puolikkaiden laippapintojen väliin ja inserttien ympäristöön, minkä jälkeen puolikkaat puristettiin yhteen puristimilla pistehitsauksen helpottamiseksi, tällöin myös inserttien kohdistusruuvit ruuvattiin paikalleen. Tällöin pistehitseille tarkoitetut laipat olivat tarpeeksi lähellä toisiaan, mikä mahdollisti pistehitsauksen. Puolikkaat yhdistettiin käyttäen niin monta pistehitsiä kuin oli mahdollista, joiden välin oli oltava minimissään 35 millimetriä. Pistehitsien välinen etäisyys johtuu siitä, että liian lähelle toisiaan sijoitetut pistehitsit saavat hitsausvirran kulkemaan viereisen hitsinkautta, mikä heikentää syntyvää pistehitsiä. [9, s. 259]

Käytetty SikaPower 4588 -liima ei pysty saavuttamaan lopullista lujuuttaan pelkästään huoneen lämmössä, vaan se vaatii suurempia lämpötiloja.

Liiman käyttöohjeista löytyvän taulukon mukaan parhaat tulokset saadaan vihreäksi merkityllä alueella (LIITE 1). Taulukon akseleilta löytyvät käytetty lämpötila ja aika. Mikäli tässä vaiheessa poiketaan liiman valmistajan antamista ohjeista, ei valmistaja voi taata, että liiman ominaisuudet ovat sille luvatut.

Valmistettu osa oli liian suuri mahtuakseen hitsauslaboratorion uuniin, mutta tarpeeksi suuri uuni löytyi Metropolian Myyrmäen toimipisteestä pintakäsittelytekniikan laboratorionista. Uunin lämpötila nostettiin 180 °C:seen ja kappaletta pidettiin siellä noin 20 minuutin ajan. Kun kappale otettiin ulos uunista, huomattiin, että osa liimasta ei ollut vielä kovettunut lähes ollenkaan, joten päätettiin jatkaa kappaleen pitämistä korkeammassa lämpötilassa vielä niin pitkään kunnes kaikki liimasaumat olivat kovettuneet. Hitaammin kovettuneiden kohtien todettiin löytyvän sellaisista paikoista, joissa materiaalin vahvuus oli suurempi, kuten etuinserttien ylä- ja alapinnat, jolloin nämä kohdat myös lämpenevät tavoitelämpötilaansa hitaammin. Vaikka kappaletta pidettiin uunissa hieman aiottua pidempään, ei kuitenkaan poikettu valmistajan antamista ohjeista vaan pysyttiin lämpötilalle asetetun maksimiajan puitteissa. Liian pitkä aika korkeassa lämpötilassa saa aikaan sen, että liima kovettuu erittäin heikosti ja jää elastiseksi. Tämä ominaisuus todettiin, kun liimaa testattiin ennen varsinaisen kappaleen liimausta ja kappaleet jätettiin uuniin liian pitkäksi aikaa.

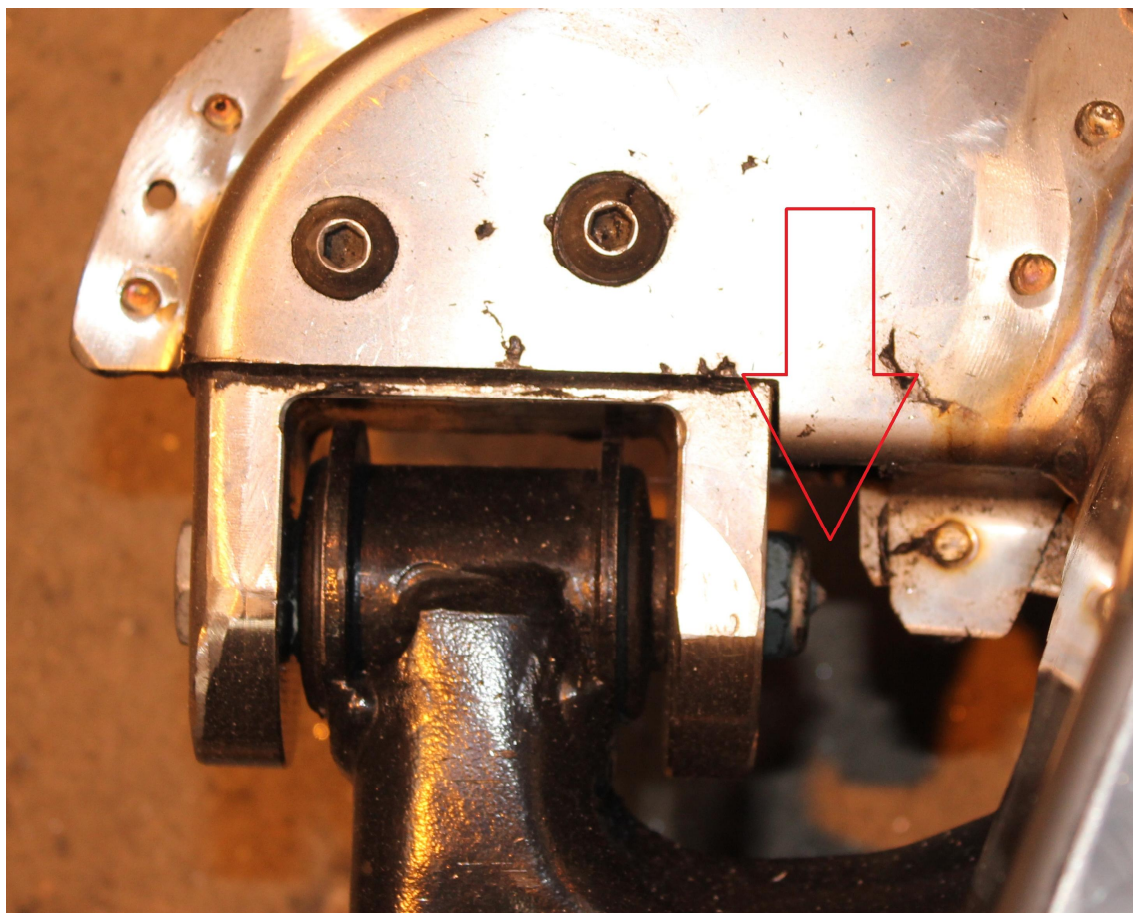


Kuva 22. Valmis etuapurunko

3.3.2 Tukivarsien asennus

Tukivarret kiinnittyvät etuapurunkoon kahdesta kohdasta, insertin läpi menevästä reiästä M12-koon ruuvilla ja apurungon puolikkaiden läpimenevästä reiästä M12-koon ruuvilla. Molempien ruuvien vastakappaleena ovat M12-koon mutterit. Ilman inserttien keventämistä etummaisten kiinnikkeiden vastinmuttereita ei olisi saatu paikalleen ilman yhden pistehitsille varatun laipan poistamista.

Ongelma olisi huomattu suunnitteluvaiheessa, mikäli kaikki kiinnityksen osat mukaan lukien ruuvit ja mutterit olisi mallinnettu ja asetettu paikalleen. Kuvan 23 kaltaisissa paikoissa on syytä ottaa huomioon kiinnitysmateriaalien vaatimat tilat.



Kuva 23. Tukivarren etummainen kiinnitys apurunkoon

Kuvassa 23 näkyy etuinsertti ja siihen kiinnitetty tukivarsi. Kiinnitykseen tarvittavalle mutterille on jäänyt erittäin vähän tilaa, jota on jo kasvatettu ottamalla pieni pala pois pistehitsille jätetystä laipasta. Vielä tässäkin vaiheessa mutterin kiristämiseen tarvittavalle työkalulle on erittäin vähän tilaa.

3.4 Etuapurungon kiinnitys autoon

Valmiin etuapurungon kiinnitys tapahtuu neljän pisteen kautta. Apurungon alapuolelta kiinnitys tapahtuu käyttäen Volkswagen Polossa käytettyjä tassun muotoisia kiinnityslevyjä, kun taas apurungon yläpuolelta nousevat sarvet kiinnittävät sen auton eturunkoon.

Ensimmäistä kiinnitystä tehdessä apurungosta puuttuivat vielä kaikki kiinnityksen vaativat reiät, sillä niiden tarkasta paikoituksesta ei voitu olla täysin varmoja, ennen kuin varsinaista apurunkoa olisi käyty sovittamassa sille tarkoitetulle paikalle.



Kuva 24. Etuapurungon kiinnitys eturunkoon

Kuvassa 24 näkyy apurungon sarven ja eturungon välinen liitos. Liitosta varten apurungon sarven ja eturungon putken sisälle on hitsattu sopivat holkit, jotka estävät kaasaan painumisen molemmissa kappaleissa.

Kun apurunko oli paikoitettu, voitiin siihen porata reiät kierreniittejä varten, saman paikoituksen avulla voitiin myös auton rungon etummaiseen koripalkkiin porata reiät ja asentaa kyseisiin reikiin kierreniitit. Ennen reikien poraamista linjattiin lopun korin kanssa, mikä käsitellään luvussa 5.1 Etuakselisto.

3.5 Etuapurungon jälkikäsitely

Vaikka osa oli valmistettu kokonaan ruostumattomasta teräksestä, tarvitsee se silti jälkikäsitelyä. Jälkikäsitelyn tarve johtuu osien liitostavasta, hitsauksesta. Hitsattaessa ruostumattoman teräksen pintaan muodostuu vähäkrominen oksidikerros, mikä ei vastaa enää täydellisesti ruostumattoman teräksen ominaisuuksia. Vähäkromisen kerroksesta aiheutuvaa korroosiota kutsutaan raerajakorroosioksi. [9, s. 197.]

Ominaisuudet voidaan palauttaa peittaamalla, eli käsittelemällä pinta typpi- tai fluoriveityhapolla [6]. Happo levitetään käsiteltävän kappaleen pinnalle, jossa sen annetaan vaikuttaa hetken aikaa. Lopuksi happo on huuhdeltava huolellisesti pois kappaleen pinnalta, jotta hapon vaikutus ei jää liian pitkäaikaiseksi aiheuttaen teräksen hapettumista. Peittäus voidaan suorittaa usealla eri tavalla, mutta tässä tapauksessa kappaleen pienen koon ja Metropolia Ammattikorkeakoululta löytyvien välineiden vuoksi, suoritettiin peittäus geelin ja siveltimen avulla.

4 Taka-akseli

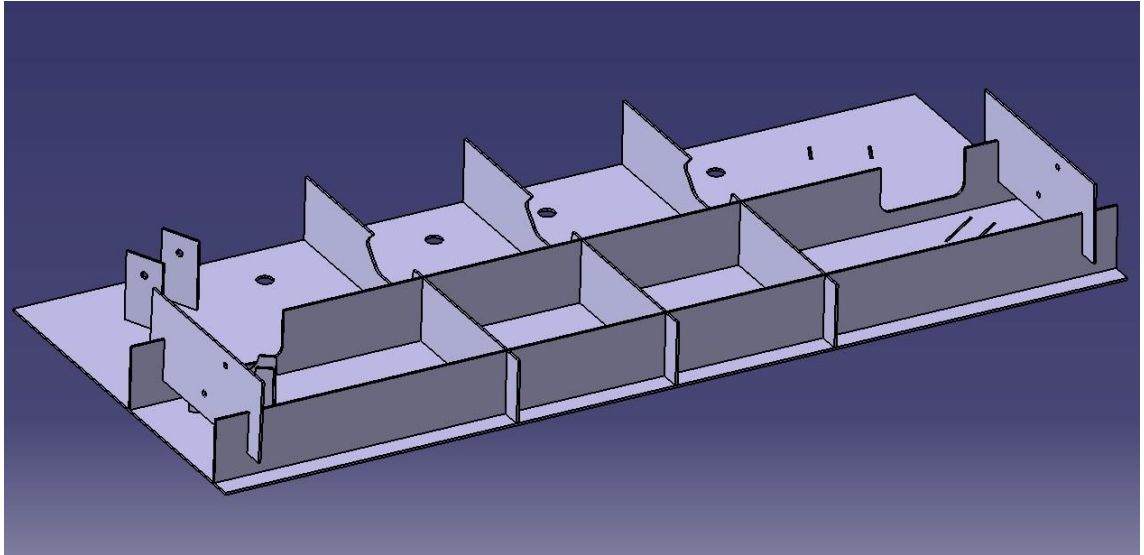
Kaupunkiauton taka-akselin on suunnitellut Jarkko Rauhala. Suunniteltu taka-akseli tullaan valmistamaan kokonaan teräksestä ja se on tyypiltään yhdystukiheiluri. Yhdystukiheiluriakselissa pyritään yhdistämään erillisjousituksen ja jäykän akselin hyvät puolet [3, s. 6.] Valmistettava taka-akseli tulee koostumaan laserleikatusta ja sen jälkeen kantatusta vakaajan kuoresta, taivutetuista putkista, laserleikatuista laipoista, syvävedetyistä jousikupeista ja sorvatuista puslapesistä.

Kaupunkiauton taka-akselistossa on otettu vahvasti mallia Volkswagen Polon taka-akselistosta. Suurimpana erona on Polon yhdystuen umpinainen rakenne, kun taas suunnitellussa taka-akselissa on avoin rakenne. Avoin rakenne mahdollistaa yhdystuen jäykkyyden muuttamisen valmistamalla sen sisään vakaajatanko, mikäli sen katsotaan olevan tarpeellinen ensimmäisten koeajojen jälkeen.

4.1 Taka-akselin jigi

Ennen taka-akselin kokoonpanon aloittamista päätettiin, että sille olisi hyvä valmistaa erillinen jigi. Jigin valmistuspäätökseen vaikuttivat erittäin vahvasti se, että hitsauslaboratorion jigipöytä oli myös muiden projektien käytössä ja täten jigipöydän kanssa käytettävät kiinnikkeet loppuisivat väistämättäkin kesken, jolloin jompikumpi projekti tulisi jäämään aikataulutavoitteistaan. Jigipöytä on Metropolia Ammattikorkeakoulun hitsauslaboratoriossa sijaitseva pöytä, johon on mahdollista kiinnittää erilaisia komponentteja erilaisilla kiinnikkeillä erilaisiin asentoihin.

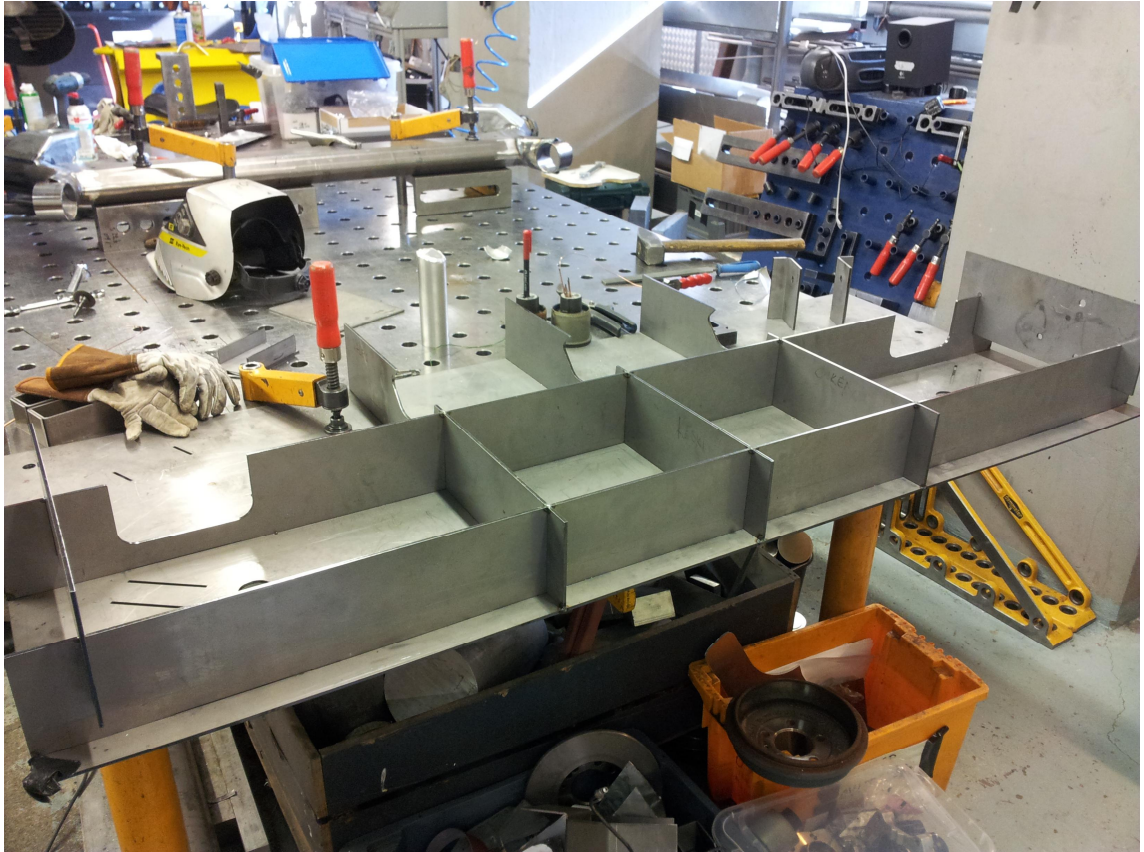
Taka-akselin jigi valmistettiin laserleikkaamalla neljä millimetriä paksusta teräslevystä toisiinsa sopivia paloja, jotka yhdessä luovat sitten tuet erilaisille taka-akselin osille. Varsinaisen laserleikkauksen suorittivat Keravan Teräsmiehet Oy. Tällöin valmis jigi ei vaatisi ollenkaan jigipöydän kiinnikkeitä toimiakseen. Taka-akselin jigi suunniteltiin käyttäen Catia V5R20 -mallinnusohjelmaa.



Kuva 25. Mallinnettu taka-akselin jig

Taka-akselin jig (kuva 25) suunniteltiin siten, että laserleikatut kappaleet voidaan vain loksauttaa paikalleen omiin loviinsa. Puslan ja iskunvaimennuksen paikoituslevyihin kantattiin vielä pienet vahvikkeet, jotta ne pysyisivät paremmin paikallaan. Jossain vaiheessa taka-akselin kokoonpanoa olisi muutamat kiinnikkeistä irrotettava, sillä jousikuppi ja putken kannattimet eivät mahtuisi olemaan saumaan aikaan paikallaan. Myös muutamat hitsisaumat vaatisivat taka-akselin irrottamisen jigistä.

Keskeneräisen kappaleen irrottaminen jigistä saattaa tuoda kappaleeseen virheitä. Kuitenkin irrottamisen välttäminen olisi vaatinut jigin tarpeettoman monimutkaistamisen ja jigistä pyrittiin tekemään mahdollisimman yksinkertainen.



Kuva 26. Taka-akselin jigi kokoonpantuna

Jigin kokoonpano oli lähes niin yksinkertainen kuin siitä oli suunniteltu, mutta pitkien poikittais ja pitkittäistukien loksautaminen paikalleen vaati laserleikkauksesta jäävän erittäin pienen purskeen poiston.

4.2 Taka-akselin kokoonpano

Taka-akselin varsinainen valmistus on erittäin suoraviivaista toimintaa, kun sille on valmistettu ensin jigi, johon kaikki osat voidaan tukea. On kuitenkin otettava huomioon, että kun osa osista on valmistettu laserleikkaamalla ja erittäin pienillä toleransseilla ja osa osista on valmistettu taivuttamalla ja melko suurilla toleransseilla eivät osat, jigistä huolimatta, tule sopimaan saumattomasti yhteen.

Komponenttien saumakohdat on viimeisteltävä huolella ja käsin. Kun kaikki esivalmistelutyöt on tehty, voidaan eri osat liittää toisiinsa TIG-hitsaamalla. TIG-hitsauksen valintaan liittyy komponentin hitsauspaikan sijainti.

Hitsauslaboratorion jigipöydällä ei saa suorittaa kipinöiviä toimenpiteitä. MAG-hitsauksessa syntyy kipinöitä, minkä takia kyseistä tapaa ei käytetty.

Osien materiaalivahvuuksien takia jouduttiin käyttämään suhteellisen suuria hitsausvirtoja ja osa paikoista oli aivan liian hankalasti saavutettavissa TIG-hitsauspolttimella, joten jouduttiin turvautumaan MAG-hitsaukseen, tällä ei kuitenkaan katsottu olevan minkäänlaista vaikutusta lopullisen komponentin lujuteen. Mikäli kyseessä olisi ollut massatuotettu osa, olisi MAG-hitsaus ollut ajankäytöllisesti parempi vaihtoehto kaikkiin saumoihin. MAG-hitsauksen ajaksi taka-akseli siirrettiin pois jigipöydän läheisyydestä. Taka-akselin valmistuttua siihen merkittiin ilmastointiteipillä akselin keski-linja, helpottamaan sen kohdistusta korin ja etuakselin suhteen. Keskilinjan merkitseminen onnistui hyödyntämällä jigiiä, joka oli mallinnettu ja valmistettu siten, että keskimäinen pitkitäistuki oli täsmälleen akselin keskilinjan kohdalla.

4.3 Valmistuksessa ilmenneet virheet

Kun taka-akseli kokoonpantiin jigissä, ei eri osien kokoonpanojärjestykselle tai hitsausjärjestykselle annettu tarpeeksi painoarvoa. Kuitenkin tästä kokoonpanojärjestyksestä johtuen huomattiin heti, että taka-akselin laipat olivat kokeneet muodonmuutoksesta johtuvan siirtymisen hitsauksen vetelyn seurauksena.

Tämä muodonmuutos tulee olemaan merkittävä seikka kun auton alustaa mitataan tarkemmilla mittalaitteilla. Tämän muodonmuutoksen takia taka-akselille tarkoitetut pyöränkulmat voivat poiketa huomattavasti toivotuista ja niiden muokkaus voi vaatia huomattavasti lisätyötä.

Monimutkaisten ja moniosaisten komponenttien kokoonpanossa, etenkin jos liitostapana käytetään kaasukaarihitsausta, tulisi kiinnittää huomiota hitsaus- ja kokoonpanojärjestykseen. Tällöin voidaan välttyä mahdollisesti työläiltä jatkotoimenpiteiltä.

4.4 Taka-akselin kiinnitys autoon

Taka-akseli kiinnittyy autoon kuudesta eri pisteestä, taaimmaiseen koripalkkiin kumisten puslien välityksellä, takakontin alapuolella sijaitsevaan jousipalkkiin ja iskunvaimentimien välityksellä auton sisäkylkeen. Iskunvaimentimien kiinnityspaikassa käytettiin Volkswagen Polosta peräisin olevia kiinnikkeitä. Puslien ja ilmajousien kiinnityspaikat täytyi valmistaa sopiviksi juuri tähän koriin sopiviksi.

4.4.1 Puslien kiinnityspaikat

Pusla on yleensä pääosin kumista valmistettu osa, joka vaimentaa tärähtelyjä akseliston ja varsinaisen auton korin välissä.

Pusla tulee kiinnittymään auton koriin kolme millimetriä paksusta levystä leikattuihin ja kantattuihin laippoihin (kuva 27), jotka kiinnittyvät auton koriin yhteensä 12 ruuvilla. Ruuvit kiinnittyvät koripalkin sisällä olevaan kaksi millimetriä paksuun alumiinilevyyn kiinnitettyihin kierreniitteihin.



Kuva 27. Taka-akselin kiinnitys auton koriin puslan välityksellä

Puslan kiinnikkeisiin tehtiin vielä kiinnityksen jälkeen vahvikelevyt, jotka vähentävät kiinnikkeiden elämistä, mutta kuitenkin antavat taka-akselin liikkua vielä tarpeeksi.

Puslien kiinnityspaikkojen sijainnin mitoitus on tärkeä osa taka-akselin ja auton korin keskilinjojen kohdistamisen kanssa. Taka-akselin puslapesien sijaintia on hankala enää muuttaa, joten puslapesien sivuttaissijainti auton koripalkissa on ainoa tapa vaikuttaa taka-akselin keskilinjan saamiseen samalle kohdalle kuin auton korin keskilinjan.

4.4.2 Ilmajousien vastinkappaleet

Ilmajouset kiinnittyvät jousipalkkiin erityisesti kyseistä kiinnitystä varten valmistetulla kartiolla. Mockupissa kartio oli kiinnitetty U-profiiliin, joka oli kiinnitettyä sitten sopivaan paikkaan tilankäyttömallin alumiinipalkissa. Varsinaisen jousipalkin kohta, johon kartion tulisi kiinnittyä, oli kuitenkin tasainen hiilikuitupinta, joten mockupissa käytetyt kiinnikkeet eivät tulisi toimimaan varsinaisessa autossa.

Uusi kiinnike valmistettiin alumiinista, joka tulisi koostumaan kartio-osasta ja kuusi millimetriä paksusta alumiinisesta levystä, mitkä hitsattaisiin kiinni toisiinsa.

Lopullinen tuote sitten kiinnittyisi jousipalkkiin ruuvien ja kierreniittien avulla. Kiinnityskartiot sorvattiin Metropolia Ammattikorkeakoululla käyttäen tietokoneohjattua Mazak-monitoimisorvia. Levyt valmistettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun hitsauslaboratoriossa. Ennen levyn ja kartion hitsausta täytyi kartion tarkka sijainti levyn suhteen määrittää. Tämä onnistui vasta sen jälkeen kun taka-akseli oli auttavasti kiinni auton korissa.

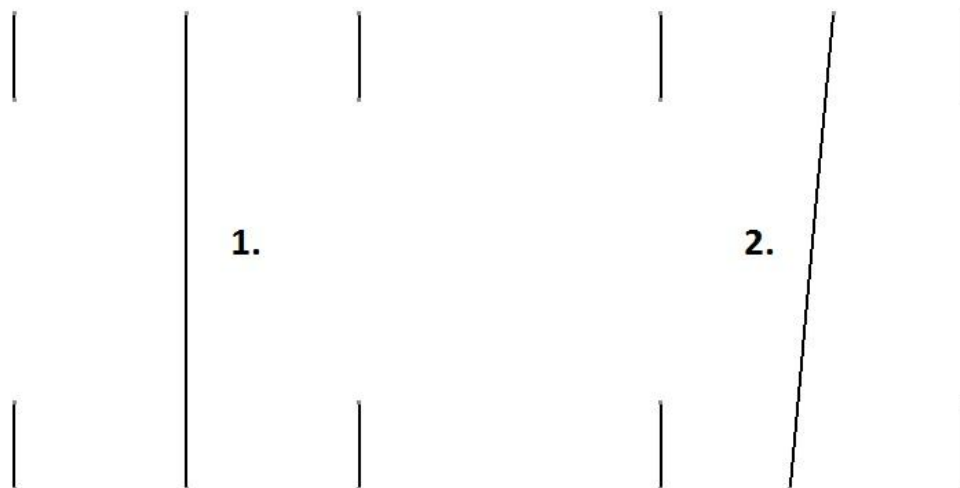
4.5 Taka-akselin jälkikäsitely

Koska taka-akseli on ajon aikana kovien olosuhteiden alaisena, täytyy sen pinta käsitellä korroosiota ja erilaisia osumia vastaan. Taka-akselille päätettiin valita sama pintakäsittely kuin eturungolle, eli jauhemaalaus. Kuitenkin maalaus päätettiin jättää myöhemmäksi, koska taka-akseliin tullaan vielä kiinnittämään jarruputkien kiinnikkeitä ja muita komponentteja, joiden pulverimaalauksen jälkeinen kiinnittäminen jättäisi aukkoja muuten suojattuun pintaan.

5 Auton alustan linjaaminen auton korin kanssa

Komponenttien valmistamisen jälkeen tulee ne vielä kiinnittämään koriin, jolloin saadaan absoluuttinen varmuus osien mitoituksien ja valmistusprosessin onnistumisesta. Alustan ja korin linjaaminen on helpompi esittää kuvaesimerkin kautta.

Kuvassa 28 pitkä viiva esittää korin pituussuuntaista keskilinjaa ja lyhyet viivat esittävät renkaiden pituussuuntaista keskilinjaa. Vasemman puolimmaisessa esimerkissä renkaat ovat linjassa auton korin keskilinjan kanssa, jolloin kun auton renkaat ovat suorassa, kulkee korin keskilinja myös suoraan. Oikean puoleisessa esimerkissä auton renkaat ovat radikaalisti eri linjassa kuin auton korin keskilinja, jolloin vaikka renkaat ovat keskenään samansuuntaiset, kulkee auton kori kylki edellä renkaiden osoittamaan suuntaan. Etu- ja taka-akseli pyritään myös linjaamaan niin, että niiden välillä ei ole sivuttaisheittoa.

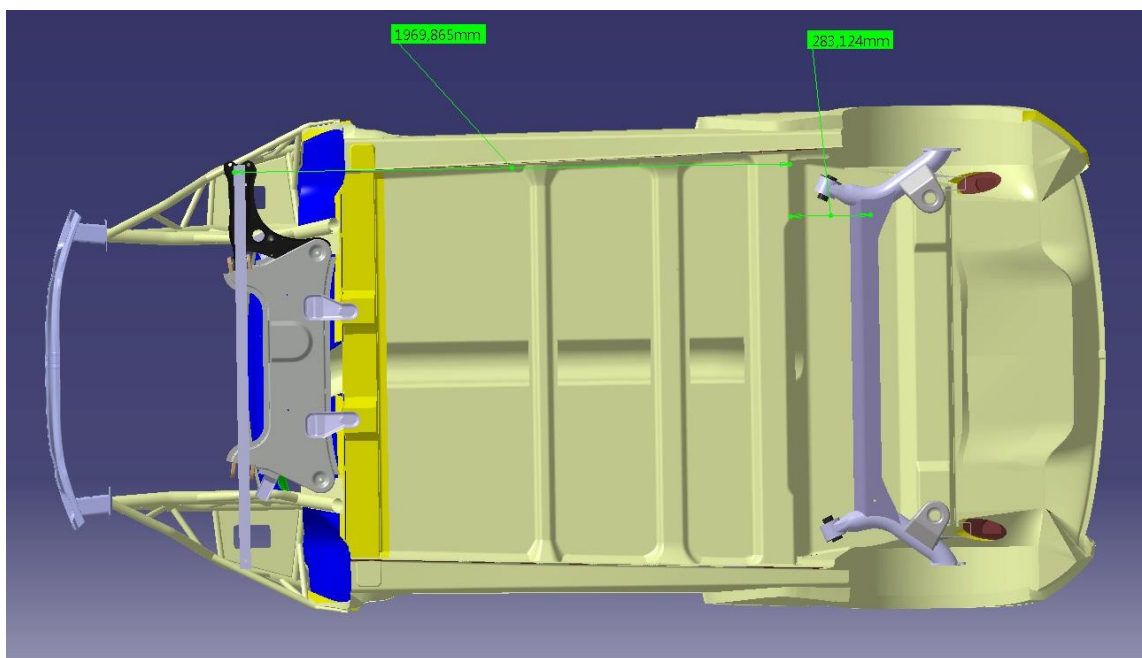


Kuva 28. Hahmotelma korin ja renkaiden linjauksesta

Kuvan esimerkissä on erittäin vahvasti liioiteltu tilanne, mutta mitä tarkemmin linjaus saadaan tehtyä, sitä paremmin pystytään työn onnistumista arvioimaan. Auton korin linjauksella ja tarkoilla pituussuuntaisilla mittauksilla saadaan myös renkaat osumaan paikalleen pyörän kaariin paremmin.

5.1 Etuakselisto

Korin ja alustan linjaaminen on syytä aloittaa etsimällä auton valmiista korista, jokin suhteellisen luotettava piste tai pinta, jonka avulla voidaan alustan komponentit linjata. Auton korin alla poikittain kulkevista palkeista viimeisimmässä on pystysuora pinta (kuva 29), joka oli vaatinut vähiten muokkausta sopiakseen auton lattian kanssa yhteen. Kyseistä palkkia päätettiin käyttää yhtenä etuakseliston mittapisteenä. Koska apurungon paikoituksella oli suurin vaikutus etuakselin sijaintiin, mitattiin myös etutukivarsien taaemman kiinnitysruuvien keskikohdan ja etummaisimman koripalkin etupinnan välistä etäisyyttä.



Kuva 29. Mallinnettu auton pohja, lattian viimeisin palkki ja linjauksessa käytetyt mitat

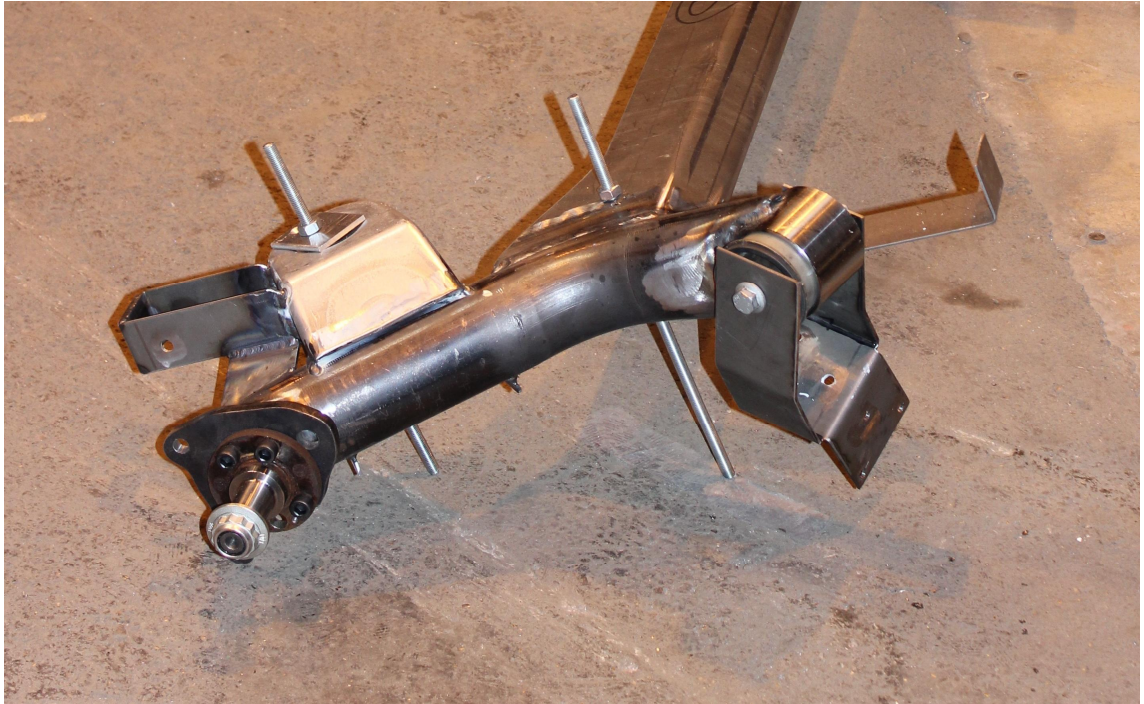
Etupurungon kokoonpanovaiheessa oli siihen kiinnitetty tukivarret, joista alapallonivelen kiinnityspisteitä hyödyntäen etsittiin etupurungon ja täten myös etuakseliston keskilinja, joka oli merkitty tussikynällä valmiiseen apurunkoon. Linjausvaiheessa oikean ja vasemman puolen alapallonivelten kiinnityspisteisiin kiinnitettiin alumiininen levy, jolla mallinnettiin etuakselin poikittaislinjaa. Tätä levyä hyväksikäyttäen pystyttiin takapalkista mittaamaan ristimittaa ja pitkittäismittaa, ja kun otettiin huomioon levyn leveys, pystyttiin hyödyntämään myös mittoja Catia V5R20 -mallinnusohjelmalla mallinnetusta kokoonpanosta koko autosta. Lisäksi alumiiniseen levyyn asennettiin vesivaaka, jossa oli kääntyvä laserpää.

Tällä laserpäällä pystyttiin näyttämään auton keskilinjaa koko auton läpi taaimmaisille palkeille saakka. Keskilinjaa merkitsemään valmistettiin alumiinisesta L-profiilista noin 20 senttimetrin levyisiä kappaleita, joihin leikattiin pienet viillot. Valmistetut L-profiilit kiinnitettiin auton koripalkkeihin siten, että viillot osuivat juuri auton keskilinjalle, lisäksi viillojen sijaintien varmuutta pyrittiin mittaamaan myös perinteisillä mittavälineillä, rullamitalalla ja teräsviivaimella.

5.2 Taka-akselisto

Taka-akselisto linjattiin vasta etuakseliston linjaamisen jälkeen, jolloin apuna olivat koripalkkeihin kiinnitetyt L-profiilit. Lisäksi taka-akselista löytyi valmiina itse akselin keskilinja. Varsinaista kohdistamista varten kahden viimeisen L-profiilien viillojen väliin pingotettiin luotilanka, jonka mukaan voitiin asetella taka-akseli lähelle lopullista paikkaansa. Lisäksi taka-akseli nostettiin ajokorkeuteen käyttäen M10-koon kierretankoa, alumiinilevyjä ja sopivia muttereita (kuva 30). Ajokorkeuteen nostamisella pyrittiin helpottamaan puslien kiinnikkeiden paikoittamista ja ilmajousien vastinkartioiden paikoittamista, tällöin myös pystyttiin hyödyntämään mittoja auton mallinnetusta kokoonpanosta.

Taka-akseliston pituussuuntaisen paikoittamisen helpottamista varten valmistettiin teräslevystä kanttaamalla sopivan mittaiset L-levyt, jotka kiinnitettiin pienillä hitsisaumoilla taka-akselin vakaajakuoreen (kuva 30). L-levyn mitat saatiin auton mallinnetusta kokoonpanosta, jolloin L-levyn etureuna koskettaisi samaa taaimmaista poikittaispalkkia, jota käytettiin etuakseliston paikoittamisessa.



Kuva 30. Taka-akseli, jossa kiinni paikoituksen apuna olleet tuet

Kun taka-akseliston pitkittäis- ja poikittaissuuntainen paikoitus oli selvillä, pystyttiin tarvittavat kiinnikkeet kiinnittämään autoon.

Kyseiset kiinnikkeet lukitsevat taka-akseliston paikalleen ja paikoittamista varten valmistetut lisäkapaleet ja ylimääräiset tuet pystytään poistamaan.

5.3 Mittaukset

Valmiiden osien onnistuneisuutta pystytään oikeasti mittaamaan vasta sitten, kun kaikki komponentit ovat valmiita ja kiinnitettynä autoon, sillä vain yhdessä eturunko, etuapurunko ja taka-akseli muodostavat toimivan auton alustan.

Auton alustan ensimmäiset mittaukset suoritettiin käyttäen Metropolia Ammattikorkeakoulun autolaboratorion Hunter-alustamittauslaitetta. Mittauksessa renkaihin kiinnitetään mittapäät, jotka ovat laserilla yhteydessä tosiinsa ja johdolla kiinni mittatietokoneessa. Mittapäistä saatavilla anturitiedoilla tietokone pystyy laskemaan kaikki alustan ja korin linjauksesta aiheutuvat mitat. Kyseisellä laitteella pystytään myös säätämään raidetangon päät oikeaan mittaansa, jolloin aurauksesta saadaan toivottu.

Ensimmäisten mittausten tarkoituksena on selvittää alustan toteutuneet pyöräkulmat. Näistä pyöräkulmista camber- ja caster-kulmat täytyy säätää kohdilleen ennen varsinainen poikittaisheittojen ja akseliväliden mittausta. Etuakselia tulisi ensin säätää mahdollisimman hyvin kohdilleen ilman etuiskunvaimentimien yläpäähän suunniteltuja säädettäviä levyjä. Tämän jälkeen etuakselin camber- ja caster-kulmat ovat säädettävissä näillä levyillä. Taka-akselin camber-kulman muutokset voidaan suorittaa asentamalla napaakselin kiinnitysruuveihin pieniä aluslevyjä, jotka kääntävät napa-akselia ja täten muuttavat kyseiseen napaan liitetyn renkaan camber-kulmaa.

Auton etutuennan ja ohjauksen on suunnitellut Joni Rossinen insinööriyössään Kaupunkiauton etutuennan ja ohjauksen suunnittelu [11]. Työstä löytyy taulukko, jossa on camber-, caster-, SAI- ja aurasikulmien muutokset ajokorkeuden muutoksen mukaan. Tästä taulukosta löytyvät tavoitearvot muuttumattomalle ajokorkeudelle.

Taulukko 1. Etuakseliston pyöräkulmat ajokorkeudelle [11, s. 22]

Jousto	Camber		Caster		SAI		Aurus		
	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	Kok
Ajokorkeus	-0°30'	-0°30'	3°16'	3°16'	14°08'	14°08'	0°	0°	0°

Auton alustasta mitatut arvot eivät vastanneet taulukon 2 arvoja. Etuakseliston säätövarjoilla pitäisi olla mahdollista kuitenkin saada lähelle tavoiteltuja arvoja. Taka-akselille tavoiteltu camberkulma oli 1°03'. Tästä camberkulman arvosta kuitenkin mittausdatan perusteella jäätiin huomattavasti. Mittausdata ei ole esiteltävissä välinerikon vuoksi.

Kun nämä peruskulmat ovat saatu kuntoon auton etu- ja taka-akselille voidaan luottaa myös raide- ja akseliväliden mittaustuloksiin. Tällä hetkellä auton pyörän kulmat ovat niin väärät, että myös raide- ja akselivälit ovat huomattavasti poikkeavat.

6 Etuapurungon liitostavan lujuuskokeet

Etuapurungon puolikkaiden yhdistämiseen toisiinsa oli päätetty käyttää pistehitsin ja liiman yhteisliitosta. Tässä kappaleessa tullaan käymään läpi vastuspistehitseille suoritettut vetokokeet sekä vastuspistehitsien ja liiman yhdistelmälle suoritettut vetokokeet.

6.1 Vastuspistehitsauksen arvot

Vastuspistehitsit tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun hitsauslaboratorion Carbench AS-25H -vastuspistehitsikoneella. Mikko Aaltonen ohjeistaa työssään käyttämään vastuspistehitseille seuraavia arvoja, joilla saavutettaisiin paras lopputulos:

- elektrodin kärjen halkaisija 8 millimetriä, puristusvoima 4,8kN
- virta 13,5kA, hitsausaika 0,34 sekuntia ja hitsien väli minimissään 35 millimetriä [2, s. 26].

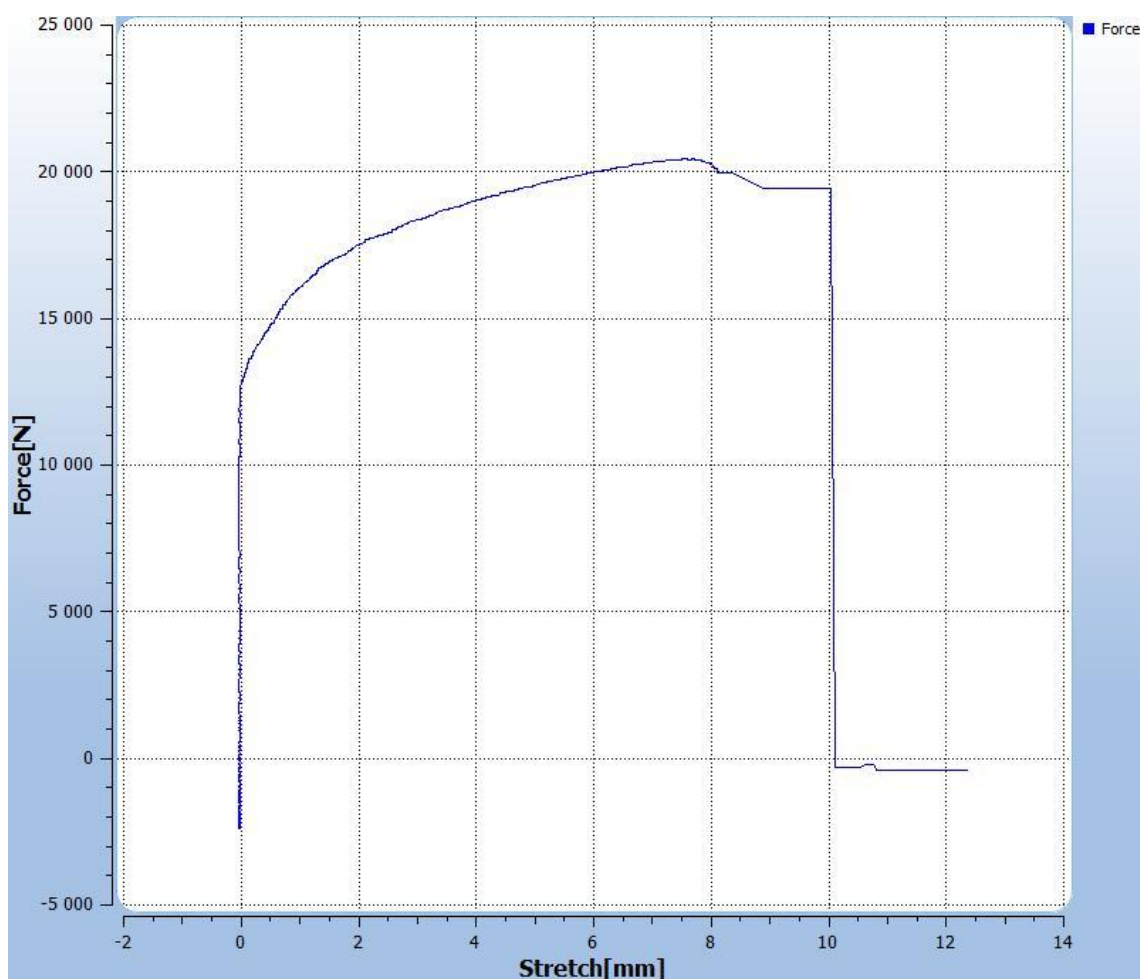
Koneeseen tutustumisen jälkeen todettiin, että on helpompi käyttää koneeseen esiasetettuja säätöjä. Koneessa on esiasetettuja säätöjä eri paksuisten levyjen yhdistelmille. Koneessa oli säädöt 1,8 ja 2,0 millimetriä paksuille levyille, jotka molemmat saattaisivat olla sopivia käytettäväksi apurungon puolikkaiden yhdistämiseen. Nämä valmiit arvot olivat kuitenkin Aaltosen antamista arvoista poikkeavia, joten päätettiin suorittaa lujuuskokeita molemmille asetuksille.

6.2 Koejärjestelyt

Kokeita varten leikattiin kaksi millimetriä paksusta ruostumattomasta teräslevystä 20 kappaletta 120 millimetriä kertaa 20 millimetriä kokoisia kappaleita. Leikatuista kappaleista olisi siis aihioita viiteen vetokokeeseen per vastuspistehitsauksessa käytetyt arvot. Kappaleet vastuspistehitsattiin yhteen, jonka jälkeen suoritettiin vetokokeita käyttäen Metropolia Ammattikorkeakoulun materiaalilaboratorion vetokoelaitetta. Veto koelaitteessa kappale kiinnitetään kitojen väliin, jotka lukitsevat kappaleen kitkalla paikalleen.

Kappaleen lukitsemisen jälkeen suoritetaan veto, jolloin koneen anturit mittaavat vedettävän puolen kulkemaa matkaa ja vetoon käytetyn voiman määrää. Vedolla pyritään aiheuttamaan kappaleeseen leikkausjännitystä.

Lopputuloksena saadaan kuva, jossa x-akselilla on venymä millimetreinä ja y-akselilla on käytetty voima newtoneina. Lisäksi saadaan tekstitiedosto, jossa kuvassa näkyvän käyrän arvot on eritelty. Tekstitiedostosta löytyy käytetyn voiman tarkka maksimiarvo. Kuvasta myös näkee, millä voimalla pistehitsi myötää. Tekstitiedostosta löytyvää dataa on helpompi käsitellä Microsoftin Excel-taulukkolaskentaohjelmistolla.



Kuva 31. Vetokokeesta saatu voima per venymä -kuvaaja

6.3 Vetokokeiden tulokset ja analysointi

Kappaleita vedettäessä huomattiin heti, että kappale antaa hieman periksi ja vääntyy, jolloin pistehitsiin ei kohdistu puhdasta leikkausjännitystä. Levyn vääntyessä pistehitsiin kohdistuu myös hieman vetojännitystä. Tästä huolimatta saadut tulokset kuitenkin olivat sellaisia, joista pystyttiin arvioimaan pistehitsin kesto.

Seuraavassa taulukossa on eroteltuna vetojen kesken R_e eli myötöraja, R_m eli murtoraja ja R_m venymä eli kuinka paljon kappale on venynyt ennen murtumistaan. Vedot 1–5 on suoritettu pistehitsikoneen arvoilla 1,8 millimetriä paksujen levyjen yhdistämiseen ja vedot 6-10 on suoritettu pistehitsikoneen arvoilla, jotka soveltuvat 2 millimetriä paksujen levyjen yhdistämiseen.

Taulukko 2. Vetokokeiden tulokset

Vetonumero	R_e (N)	R_m (N)	R_m venymä (mm)
1	12833,8	20443,4	7,50988
2	13801,3	19737,3	5,46486
3	12232,3	20208,0	7,42396
4	13958,2	20443,4	6,74515
5	10767,9	20312,6	7,91373
keskiarvo, vedot 1-5	12718,7	20228,9	7,01152
6	4308,9	23215,3	18,22480
7	7316,1	22195,4	14,40110
8	10689,5	21986,2	12,25300
9	9120,5	22038,5	12,17100
10	13147,6	21933,9	11,01560
keskiarvo, vedot 6-10	8916,5	22273,9	13,7223

Taulukosta huomataan, että vedoilla 1-5 tulokset ovat huomattavasti tasaisemmat, lisäksi kyseisillä vedoilla venymät ennen murtumista ovat huomattavasti pienemmät. Vedoilla 6-10 on huomattavaa epätasaisuutta eri vetojen myötörajojen kanssa. Erojen yhtenä selityksenä voi olla kappaleiden luistaminen vetokitojen välissä. Kappaleen luistamisen vetokitojen välissä kone tulkitsee kappaleen venymiseksi, jolloin myötöraja on huomattavasti alhaisempi. Murtorajojen keskiarvojen osalta pistehitsiarvojen välillä on noin 2000 newtonin ero.

Tulosten perusteella valittiin käytettäväksi pistehitsikoneen asetusta, joka on tarkoitettu 1,8 millimetriä paksujen levyjen kiinnittämiseen toisiinsa.

6.4 Liiman ja pistehitsin yhdistelmä

Apurungon puolikkaiden liitostapaan liittyy myös olennaisesti laippojen väliin ennen pistehitsausta lisättävä liima. Liiman omat ominaisuudet on eritelty liiman valmistajan omassa tuoteselosteessa, mutta tästä ei kuitenkaan selviä liiman ja pistehitsin yhdistelmän etuja.

Liimavalmistajan edustajalta saamassa dokumentista (kuva 32) käy ilmi, että käyttämällä liimaa pistehitsauksen kanssa saadaan liitokselle 150 % suurempi lujuus ja jäykkyys. Liiman lisääminen ei vaikuta suuresti tuotteen valmistukseen käytettävään aikaan. Liiman käyttö mahdollistaa erimateriaalien yhdistämisen toisiinsa, erityisesti tämä koskee muita hybridiliitostapoja kuin pistehitsausta. Mekaanisten liitosten tyypilliset paikalliset jännitykset vähenevät hybridiliitoksia käytettäessä. Liiman lisääminen liitokseen vähentää korroosiota, sillä liima tilkitsee sellaisia rakoja, joihin neste ja lika muuten pääsisivät. Liiman ansiosta voidaan mekaanisten liitosten määrää vähentää.

Industry

Hybrid joining techniques

▲ **Benefits of combining mechanical joining method with adhesive:**

- Much higher rigidity and strength¹:


spot welding	+ adhesive =	+ 150%
punch rivet	+ adhesive =	+ 250%
clinching	+ adhesive =	+ 350%
- Quick fixation (very important → **adhesive does not fix**)
- Combination of different substrates
- Reduction of local stresses typical for mechanical fixations
- Less corrosion due to covered joints
- Number of mechanical joining points can be reduced

▲ **Disadvantages:**

- Additional expenses in process equipment
- Complex operations, adjustment

¹ LSS, 45 x 16 mm adhesive plus/or one mech. point

Sika Services AG



Kuva 32. Otos liimavalmistajan edustajalta saadusta dokumentista

Näistä eduista apurungon kannalta merkittäviä ovat suurempi lujuus ja jäykkyys ja vähentynyt korroosio.

Apurunko sijaitsee sellaisessa paikassa, jossa komponentti saa helposti kiven iskemiä ja lisäksi se on alati alttiina lialle ja vedelle. Apurungolta vaaditut ominaisuudet ja sille aiheutuvat rasitukset myös hyötyvät liitostavan tuomista suuremmasta lujuudesta ja paikallisten jännitysten vähenemisestä. Liitostapaan liittyy myös liimavalmistajan myöntämiä haittoja, mutta ne keskittyvät lähinnä työkalujen hankintaan.

Kyseiselle liitokselle yritettiin suorittaa lujuuskokeita samaan tapaan kuin eri pistehitsin arvoille. Vetokappaleiksi leikattiin kaksi millimetriä paksusta ruostumattomasta teräslevystä 20 kappaletta 70 millimetriä kertaa 120 millimetriä kokoisia kappaleita. Tällöin kaksi leikattua kappaletta muodostaisivat yhden vetokoekappaleen.

Viisi vetokoekappaletta oli yhdistetty vain pelkällä vastuspistehitsillä ja viisi vetokoekappaletta liiman ja vastuspistehitsin yhdistelmällä. Vastuspistehitsien väli oli 35 millimetriä. Vastuspistehitsikoneen arvoina käytettiin 1,8 mm paksujen levyjen yhdistämiseen tarkoitettuja arvoja.

Vetokokeiden kanssa oli kuitenkin niin paljon ongelmia, että tulokset olivat erittäin vääristyneitä. Kaikki kappaleet luistivat vetolaitteessa, jolloin liitoksen testauksen kannalta tärkeä myötöraja vääristyi huomattavasti. Yritykset parantaa kappaleen ja vetokitojen välistä kitkaliitosta eivät tuottaneet haluttua lopputulosta.

Pelkillä vastuspistehitseillä yhdistetyt kappaleet liitokset murtuivat heti kun vastuspistehitsien murtorajan ylityttyä. Vedot, joilla onnistuttiin rikkomaan liiman ja pistehitsin yhdistelmäliitos, käyttäytyivät kuitenkin odotetulla tavalla. Näissä vedoissa oli selkeästi eroteltavissa liima liitoksen murtuminen ennen pistehitsien murtumista. Käytännössä ennen liimasauman murtumista, se kantaa pääosan kuormasta, jolloin vastuspistehitsien rasitus on lievempää. Tämä seikka voidaan käsittää niin, että vastuspistehitsien ja liiman yhteisliitoksen väsymiskestävyys on huomattavasti parempi.

7 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun ConceptCar-hankkeelle. Työn tavoitteena oli valmistaa ConceptCar-hankkeelle suunnitellut teräksiset kom-

ponentit: eturunko, etuapurunko ja taka-akseli. Työssä pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloja ja laitteistoja, mutta komponenttien valmistusmenetelmien monipuolisuuden vuoksi täytyi myös turvautua alihankintaan.

Kaikki komponenttien valmistuksen esteinä olleet ongelmat saatiin ratkaistua, ja kaikki komponentit valmistuivat aikataulun puitteissa. Eturungon valmistukseen löydettiin oikeat yhteistyökumppanit ja työn suorittamiseen soveltuvat materiaalit. Etuapurungon valmistuksessa pystyttiin löytämään vaihtoehtoisia kiinnitystapoja hitsisaumoille, jotka olisivat muuten olleet niihin kohdistuvien rasitusvaihteluiden vaikutuksen alaisena. Taka-akselille rakennettiin oma kokoonpanojigi, jolla pyrittiin helpottamaan komponentin kokoonpanoa. Lisäksi taka-akselille valmistettiin myös sen kiinnitykseen tarvittavat osat.

Komponenttien kiinnityksen jälkeen autolle suoritettiin vielä mittauksia, joista käy ilmi, että auton alustan jatkokehitykselle on tarvetta.

Työstä oli hankkeelle hyötyä, sillä auton saaminen renkaalleen antaa kuitenkin mahdollisuuden jatkaa auton rakentamista laajamittaisemmin. Työstä voi olla apua tuleville projekteille, joissa sovelletaan tässä työssä käytettyjä menetelmiä.

Lähteet

- 1 Priha, Teemu. 2012. Auton eturungon suunnittelu ja valmistus. Insinööriyö. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma, Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 2 Aaltonen, Mikko. 2012. Kaupunkiauton etuapurungon suunnittelu. Insinööriyö. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma, Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 3 Rauhala, Jarkko. 2012. Taka-akselin suunnittelu ja valmistus. Insinööriyö. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma, Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 4 Automobilesreview. Euro Car Body Award for the Audi Q5. 2008. Verkkodokumentti. <<http://www.automobilesreview.com/auto-news/euro-car-body-award-for-the-audi-q5/7479/>> . Luettu 15.4.2013.
- 5 Lunar Racing. VW Cup Mk4 Golf GTi Front Subframe. 2011. Verkkodokumentti. <<http://lunarracing.wordpress.com/2011/06/12/187/>>. Luettu 15.4.2013.
- 6 Euroinox. 2004. Ruostumattoman teräksen peittäus ja passivointi. Verkkojulkaisu. <http://euro-inox.org/pdf/map/Passivating_Pickling_FI.pdf>. Luettu 15.4.2013.
- 7 United States Environmental Protection Agency. An Introduction to Indoor Air Quality. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.epa.gov/iaq/voc.html>>. Luettu 3.5.2013.
- 8 Isto Jokinen. Opetushallitus. Jauhemaalaus. 2010. Verkkodokumentti. <<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalaus/osa5.pdf>>. Luettu 3.5.2013.
- 9 Lepola, Pertti & Makkonen, Matti. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. 2006. Helsinki: WSOY.
- 10 Aaltonen, Kalevi, Andersson, Paul & Kauppinen, Veijo. Levytyö- ja työvälinetekniikat. 1997. Helsinki: WSOY.
- 11 Rossinen, Joni. 2012. Kaupunkiauton etutuennan ja ohjauksen suunnittelu. Insinööriyö. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma, Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 12 Ovako. Ovakon terästen hitsaus. Verkkojulkaisu. <http://www.ovako.com/PageFiles/320/Ovakon_terasten_hitsaus_15724.pdf>. Luettu 3.5.2013

SikaPower -4588 datasheet


Industry

SikaPower®-4588

- ▲ SikaPower-4588 is suitable for structural bonding and hem flange bonding
- ▲ Application at room temperature is **not** possible
- ▲ Packaging will be in cartridges and pails
- ▲ Product has glass balls to ensure a bondline thickness of > 0.3 mm
- ▲ Especially for hem flange bonding
- ▲ Can also be used for spot welding applications (depends on spot welding equipment)

Mechanical Properties at ambient conditions

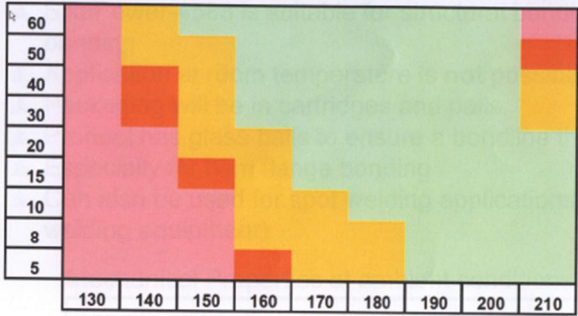
Tensile strength	30 MPa
Tensile elongation	8 %
Tensile Modulus (E-Modulus)	1600 MPa
Lap shear strength (CQP 580-1)	30 MPa
T-peel strength (CQP 580-2)	9 N/mm



Sika Services AG


Industry

Curing Window of SikaPower®-4588



Measurements carried out with lap shear samples at ambient conditions
Adhesive layer 0.3 mm

- 90% - 100% of normal value
- 80% - 90% of normal value
- 70% - 80% of normal value
- <70% of normal value



Sika Services AG