

Vesa Tikka

Kaupunkiautoprojekti: sisäkaton, sisustan kiinnityksen ja turvavyön suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

6.9.2013

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Vesa Tikka Kaupunkiautoprojekti: sisäkaton, sisustan kiinnityksen ja turvavyön suunnittelu 41 sivua 6.9.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Projekti-insinööri Harri Santamala
<p>Tämä insinöörityö toteutettiin osana Metropolia Ammattikorkeakoulun kaupunkiautoprojektia. Projekti käynnistyi vuonna 2010, ja sitä rahoittaa Tekes.</p> <p>Työn tavoitteena oli suunnitella konseptiauton sisäkattopaneelit ja niiden muotit sekä suunnitella kyseiseen autoon kojelaudan runko ja takaturvavöiden kiinnityspisteet. Työhön lisättiin myös kojelaudan rungon valmistus ja asennus autoon.</p> <p>Työssä tarkastellaan sisäkattopaneelien suunnittelua alkaen projektin lähtökohdista sekä itse paneelien perusmuotojen suunnittelusta CATIA V5R20 -mallinnusohjelmiston pintamallinnustyöympäristössä käyttäen. Tämän jälkeen käsitellään paneelien välisiä saumoja, paneeleille tehtyjä toimenpiteitä niiden kohdatessa muun sisustan yksityiskohtia, muottien suunnittelua ja kiinnitysratkaisuja. Seuraavaksi käsitellään kojelaudan rungon suunnittelua, valmistamista ja asentamista autoon. Lopuksi keskitytään takaturvavyön yläkiinnityspisteen suunnitteluun CATIAa ja Abaqus-rakennepohjaohjelmaa käyttäen.</p> <p>Insinöörityön tuloksena syntyivät suunnitteluvalmis konseptiauton sisäkatto ja sen muotit. Suunnitellut muotit sekä itse sisäkatto on myöhemmin myös valmistettu ja sisäkattopaneelit asennettu kyseiseen konseptiautoon. Lisäksi työn tuloksena saatiin asennusvalmis kojelaudan paneelien ja sähkökomponenttien runko, joka on käytössä kyseisessä autossa sekä lainmukainen takaturvavöiden yläkiinnityspiste, joka tullaan myöhemmin toteuttamaan.</p>	
Avainsanat	Konseptiauto, auton sisusta, sisäkatto, kojelauta, turvavyö

Author(s) Title Number of Pages Date	Vesa Tikka City car project: designing ceiling panels, panel mounting solutions and seat belt 41 pages 6 September 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Harri Santamala, Project Engineer
<p>This Bachelor's thesis was carried out for the Helsinki Metropolia University of Applied Sciences city car project. The project was launched in 2010 and it is funded by the Finnish Funding Agency for Technology and Innovation.</p> <p>The main objective of this thesis was to design ceiling panels and molds for the concept car. Other objectives were to design the frame for the dashboard panels and rear seat belt mounting points. Manufacturing and installation of the dashboard frame were also added to this thesis.</p> <p>First the thesis describes designing the ceiling panels starting from the beginning of the project as well as designing the basic forms of the ceiling panels using Generative Shape Design environment in CATIA V5R20 multi-platform CAD/CAM/CAE software. After that the seams between the panels, measures that had to be taken when working on the panels and fitting them with the other details of the car interior, mold design and panel mounting solutions are described. Next the designing of the dashboard frame, manufacturing and fitting the frame in the car are explained. Finally, designing the rear seat belt mounting points using CATIA and Abaqus finite element analysis software is described.</p> <p>As a result of this thesis a complete design for the concept car ceiling and ceiling molds was created. The designed mold and ceiling have been manufactured later and ceiling panels have been installed in the concept car. In addition, the frame for the dashboard panels and the electric components was installed and it is in use in the car as well as the upper mounting point of the rear seat belt which was designed according to the law, and it will be manufactured later on.</p>	
Keywords	Concept car, car interior, ceiling, dashboard, seat belt

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Lähtökohdat	1
1.2	Tavoitteet	2
2	Sisäkattopaneelit	3
2.1	Sisäkattopaneelien suunnittelun lähtökohdat	3
2.2	Suunnittelu	5
2.2.1	Työkalut	5
2.2.2	Perusmuotojen mallintaminen	5
2.2.3	Paneeleiden väliset saumat	7
2.2.4	Paneeleiden reunat oviaukkoihin sekä ikkunoihin	9
2.2.5	Muun sisustan osien kohtaamiset	12
2.3	Verhoilu	15
2.4	Takasivuoven ylälukon vastinkappaleen suojakuppi	16
3	Muotit	19
3.1	Offset-pinnat	19
3.2	Muottien mallintaminen	20
4	Sisäkattopaneelien kiinnitys	22
4.1	3M Dual Lock	22
4.2	BigHead Poppit	23
5	Kojelaudan runko	24
5.1	Lähtökohdat	24
5.2	Suunnittelu	25
5.3	Kojelaudan rungon valmistus ja asennus	26
6	Takaturvavyön yläkiinnityspiste	31
6.1	Lähtökohdat	31
6.2	Suunnittelu ja lujuusmittaukset	33
7	Yhteenveto	40
	Lähteet	41

1 Johdanto

1.1 Lähtökohdat

Metropolia Ammattikorkeakoulussa alkoi vuonna 2010 Tekes-rahoitteinen kaupunkiautoprojekti. Projektin lopputuloksena syntyy nykyaikainen konseptiauto, jonka julkistamistilaisuus on keväällä 2014. Julkistamisen jälkeen auto saatetaan tieliikennekelpoiseksi ja se rekisteröidään. Kaupunkiautoprojektissa ekologisuus on tärkeässä asemassa kuten Metropolian kahdessa aiemmassa konseptiautossa, Electric RaceAbout-sähköurheiluautossa ja CityCab-hybriditaksissa (kuva 1). Kaupunkiautoprojektin korissa käytetään kierrätettävää luonnonkuitua silloin, kun se on mahdollista. Osat, joita ei näin voi tai kannata valmistaa, tehdään hiilikuidusta. Lisäksi auton sisustassa on tarkoitus käyttää kierrätettävää biomuovia.



Kuva 1. Metropolian ja sitä edeltävän Stadian aiemmista autoprojekteista vuosien varrelta.

Kaupunkiauton suunnittelun lähtökohtia olivat ketteryys, helppo pysäköitävyyys, vähäinen kulutus, ekologisuus ja kierrätettävät materiaalit.

1.2 Tavoitteet

Tämän insinööriyön tavoitteena on suunnitella kaupunkiautoprojektin sisäkaton paneelit sekä niiden muotit ja paneelien kiinnitysratkaisut. Lisäksi insinööriyössä oli tavoitteena suunnitella kojelaudan runko sekä takaturvavöiden kiinnityspisteet. Myöhemmin työhön lisättiin myös kojelaudan valmistus ja asennus autoon.

Aluksi työssä käsitellään sisäkattopaneelien perusmuotojen suunnittelua ja mallinusta, tämän jälkeen paneelien välisiä saumoja sekä paneeleille tehtyjä toimenpiteitä niiden kohdatessa muun sisustan yksityiskohtia. Tällaisia ovat oviaukot ja ikkunat, kojelauta, takakontin paneelit, etuovien lukot, takaturvavyöt sekä takaluukun saranat.

Seuraavaksi kuvataan sisäkattopaneeleille tehtävää verhoilua, takasivuoven ylälukon vastinkappaleen suojakupin suunnittelua, sisäkattopaneelien muotteja varten otettuja offset-pintoja sekä itse muottien suunnittelua. Näiden jälkeen tarkastellaan vielä sisäkattopaneelien kiinnitysratkaisuja.

Tämän jälkeen keskitytään kojelaudan runkoon. Työssä suunnitellaan, valmistetaan ja asennetaan autoon kojelaudan paneelien runko, jota käytetään myös kojelaudan sisään tulevien sähkökomponenttien asennusalustana.

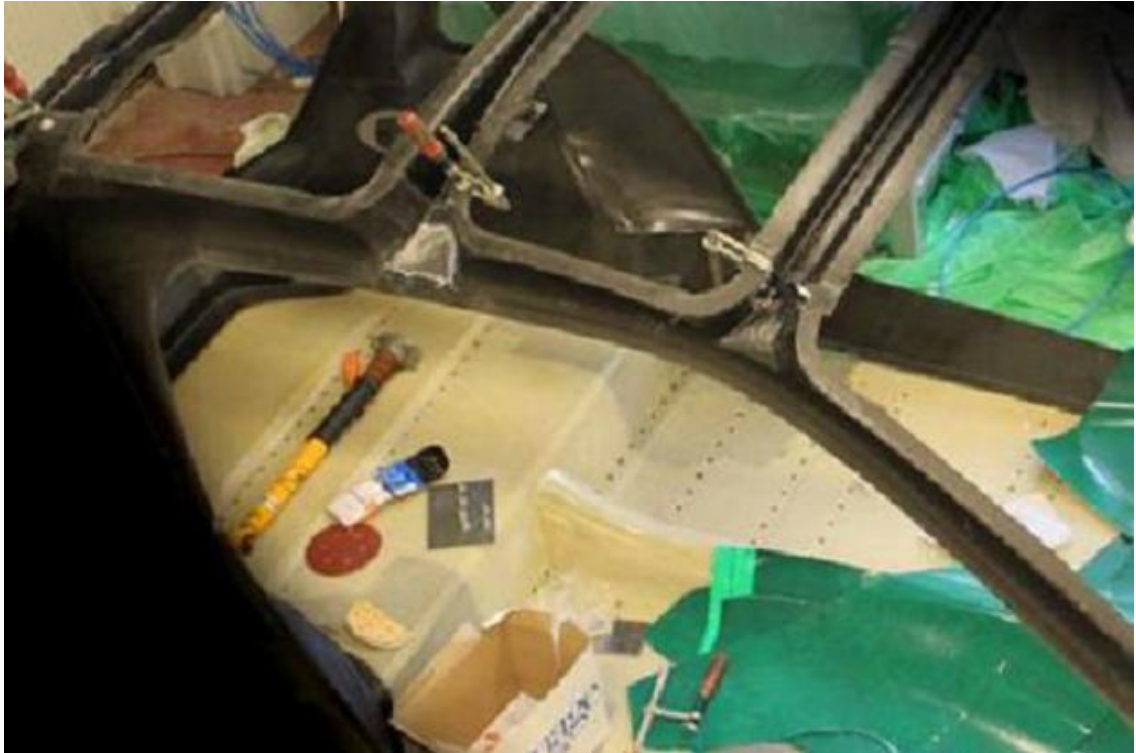
Työssä suunnitellaan myös takaturvavyön yläkiinnityspiste ja tehdään sille vaadittavat lujuuslaskelmat.

2 Sisäkattopaneelit

2.1 Sisäkattopaneelien suunnittelun lähtökohdat

Kaupunkiauton sisäkattopaneeleita ei muotoillut projektin päämuotoilija, vaan niiden suunnittelu päätettiin jättää täysin projektin insinööriopiskelijoille. Vaikka paneelien ulkoasu tarkastettiin säännöllisesti päämuotoilijalla, ei niiltä voi kuitenkaan vaatia samanlaista visuaalista virheettömyyttä kuin muotoilijan suunnittelemilta. Sisäkattopaneelien yhtenä päätavoitteena olikin, etteivät ne herättäisi lainkaan huomiota. Huomio sisustan ulkonäössä haluttiin viedä muotoilijan suunnittelemiin osiin ja niiden yksityiskohtiin. Autoon haluttiin niin avarat ja tilavat sisätilat kuin mahdollista; suurimpana rajoitteena oli tietenkin itse auton kori.

Paneeleista haluttiin jättää turhat saumat pois ja suunnitella ne mahdollisimman vähistä osista. Auton katto tulee olemaan pleksilasia, jota jakaa sisustassa B-pilarin kohdalla keskimäinen poikittainen kattopilari sekä sen päälle suunniteltava sisäkattopaneeli. Näin autoon muodostuu kaksi kattoikkunaa eikä suurta yhtenäistä sisäkattoa ole. Kuvassa 2 on nähtävissä pitkittäinen kattopilari, kolme poikittaista kattopilaria sekä kaksiosainen kattoikkuna.



Kuva 2. Auton sisäkylki ulkoapäin.

Kaupunkiautoprojektin oviratkaisu on hieman normaalista neliovisesta henkilöautosta poikkeava, sillä autossa on takasivuovina kaappariovet. Niiden saranat siis sijaitsevat oven takaosassa ja ovi aukeaa taaksepäin. Tällaisessa ratkaisussa täytyy takasivuoven lukon olla oven etuosassa. Kulkemisen helpottamiseksi autossa ei kuitenkaan ole perinteisiä taka- ja etusivuovien välisiä B-pilareita. Nämä pilarit on yhdistetty auton takasivuovien etuosaan, ja näin etu- ja takaoven oviaukko on yhtenäinen. Tämän takia takasivuovien lukkoja on kaksi kappaletta molemmilla puolilla. Lukot kiinnittyvät kattopilareiden ja kynnyksoteloiden lukkojen vastinkappaleisiin. Etuoven lukon vastinkappale on takasivuovessa sijaitsevassa B-pilarissa.

Tarkkuutta vaativia kohtia sisäkattopaneelien suunnittelussa olivat kori ja sen offset-pinnat sekä korin niitit, sisäkattopaneelien materiaalipaksuus ja niiden sopiva offset-mitta korista, takaturvavöiden ja ovien lukkojen paikat, ovien ja luukkujen aukot ja niiden tiivisteet, ikkunoiden reunat, muiden sisustapaneelien kohtaamiset sekä sisäkattopaneelien väliset saumat.

Sisäkattopaneelien suunnittelussa keskitytään aluksi suunnittelun työkaluihin. Mallintaminen käsitellään järjestyksessä: perusmuotojen mallintaminen, paneelien väliset

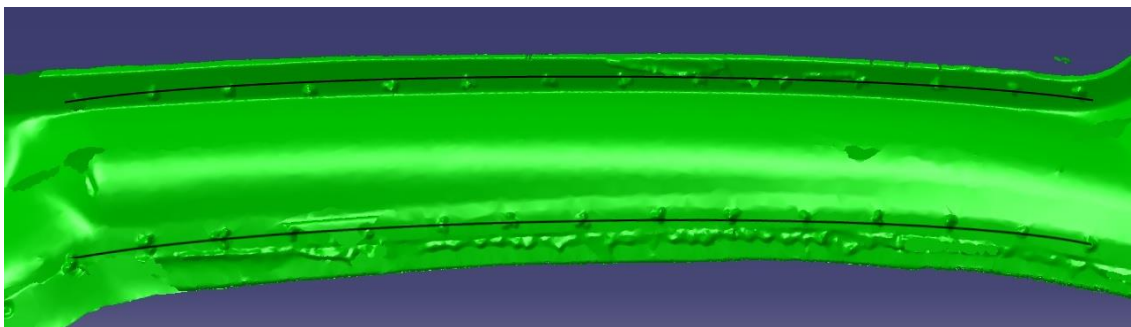
saumat, paneeleiden reunat oviaukkoihin ja ikkunoihin sekä muun sisustan osien kohtaamiset.

2.2 Suunnittelu

2.2.1 Työkalut

Sisäkattopaneeleiden mallinnuksessa käytettiin Dassault Systèmesin CATIA V5R20 -mallinnusohjelmiston Generative Shape Design -pintamallinnustyöympäristöä.

Sisäkattopaneeleiden suunnittelu aloitettiin tutkimalla autoon valmistetun korin 3D-skannausta ja vertaamalla sitä korin suunniteltuun CAD-malliin. Auton valmis kori oli siis skannattu digitaalisesti ja siirretty virtuaaliseen kokoonpanoon. Virtuaalinen kokoonpano sijaitsee Enovian SmarTeam V5R20 -tuotetiedonhallintaohjelmassa nimellä Main_assembly. Skannauksesta selvisi, että korin muodot mukailivat riittävän hyvin suunniteltua CAD-mallia. Skannauksesta saatiin lisäksi selville valtaosa korin kokoamiseen käytettyjen niittien paikoista. Näitä niittejä ei ole mallinnettu CAD-mallin koriin. Niittirivit ovat nähtävissä mustilla käyrillä merkattuina A-pilarista skannatun mallin kuvassa 3, joista ylempi niittirivi on tuulilasien oikeassa reunassa ja alempi oviaukon etureunassa.



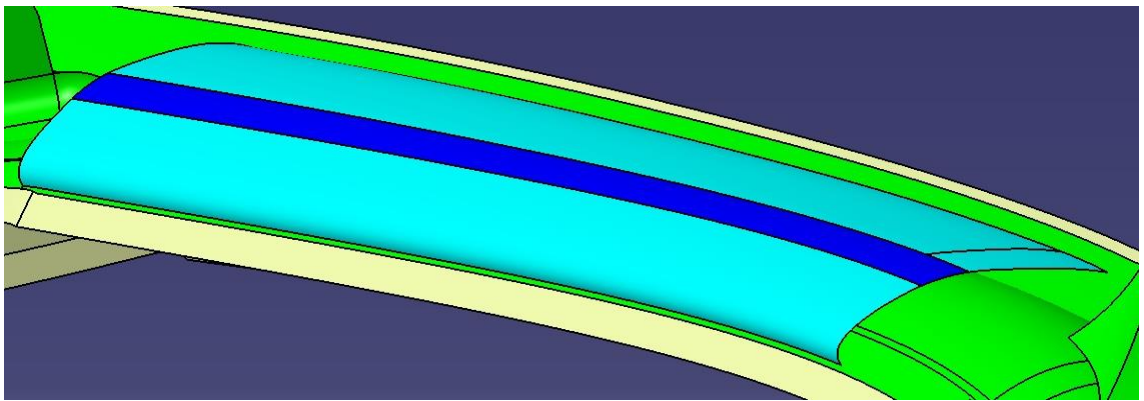
Kuva 3. Autosta 3D-skannatun mallin A-pilari.

2.2.2 Perusmuotojen mallintaminen

Sisäkattopaneeleiden mallinnus aloitettiin tekemällä offset-pinta auton korin A-pilarin ja siitä jatkuvan kattopilarin pinnasta. Sopivaksi offset-mitaksi arvioitiin tällöin 8 millimetriä, joka kuitenkin myöhemmin tarkentui 10 millimetriin. Offset-mitta laskettiin sisäkatto-

paneelien suunnittelusta materiaalipaksuudesta eli 4 millimetristä sekä 3M Dual Lock -tarranauhan vaatimasta noin 6 millimetristä. Paneelien suunniteltu materiaalipaksuus arvioitiin aiempien lämpömuovattavien osien perusteella.

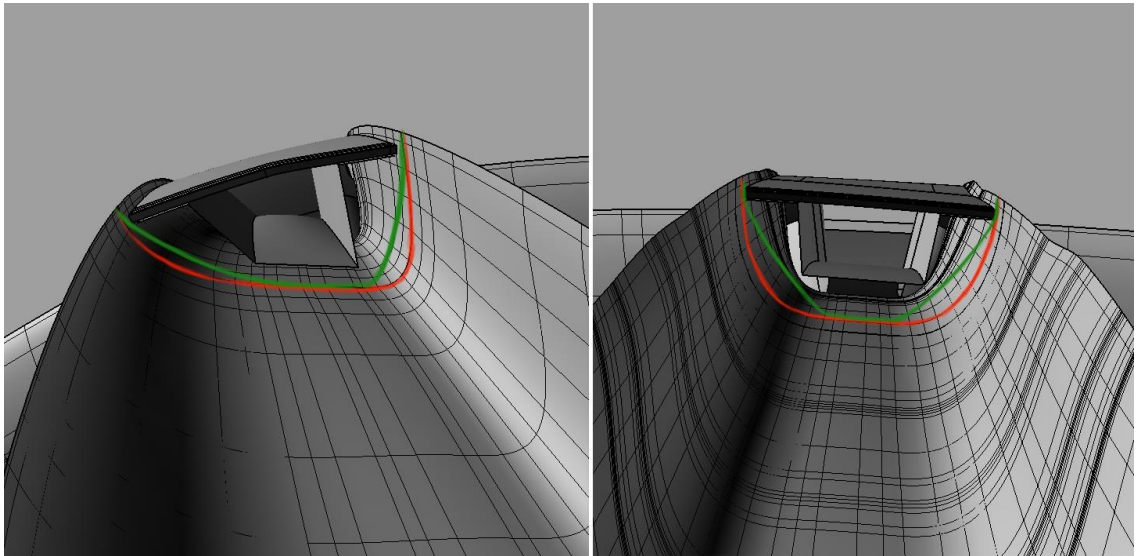
Ensimmäinen luonnos pitkittäisten kattopilareiden mallista tehtiin Multi-Sections Surface -työkaluja ja muutamaa apukäyrää käyttäen. Kuvassa 4 on nähtävissä vaaleansinisellä sekä tummansinisellä A-pilarin paneelin ensimmäinen luonnos. 3M Dual Lock -tarranauha vaatii, että kiinnitettävät pinnat ovat yhdensuuntaisia toistensa kanssa. Paneelin ulkonäkösyistä yhdensuuntaisen korin sisäkyljestä otetun offset-pinnan koko pieneni kuvassa näkyvän tummansinisen alueen kokoiseksi.



Kuva 4. A-pilarin paneelin ensimmäinen luonnos.

Ensimmäisen luonnoksen pohjalta tehtiin uusi, koko katon mittainen vastaavanlainen malli. Paneelin reunoja oviaukkoihin sekä ikkunoihin tehtäessä kuitenkin huomattiin, ettei paneelista tulisi yhdensuuntainen edes aiemmin mainitulla kapealla alueella. Lopulta löydettiin paremmin soveltuva kiinnitysratkaisu, bigHead Poppit, josta lisää luvussa 4.2. Yhdensuuntaisten pintojen tavoitteesta näin ollen luovuttiin.

Poikittaisten kattopaneelien perusmuotoa alettiin suunnitella niin, että ne mukailisivat katon poikittaisia pilareita mutta jättäisivät tilaa kiinnitysratkaisuille tehden osat päästäviksi muoteista sekä pyöreiksi kulmistaan. Muodoista ja pyörityksistä haluttiin kuitenkin särmikkäämmät ja kulmien säteitä pienennettiin huomattavasti viimeisiin sisäkaton malleihin. Kuvassa 5 on vihreällä ja punaisella viivalla hahmoteltu kattopilareihin haluttua muotoa. Kuvassa vasemmalla on etummainen poikittainen ja oikealla keskimäinen sisäkattopaneeli.



Kuva 5. Kattopilareiden hahmotelma halutusta muodosta.

Sisäkattopaneelien perusmallin muotoa verrattiin koriin tulostamalla sen läpileikkausprofiili paperille ja leikattuja paperimalleja sovitettiin autoon. Tästä selvisi, että paneelit olivat liian tiukat. Paneelien pintoja siirrettiin tietyistä paikoista offset-työkalulla pois päin auton korista. Tällaisia paikkoja olivat muun muassa kattopilareiden reunat kattoikkunaan, joissa korjausta edeltävät paneelit tulivat aivan kiinni korin kattopilareihin.

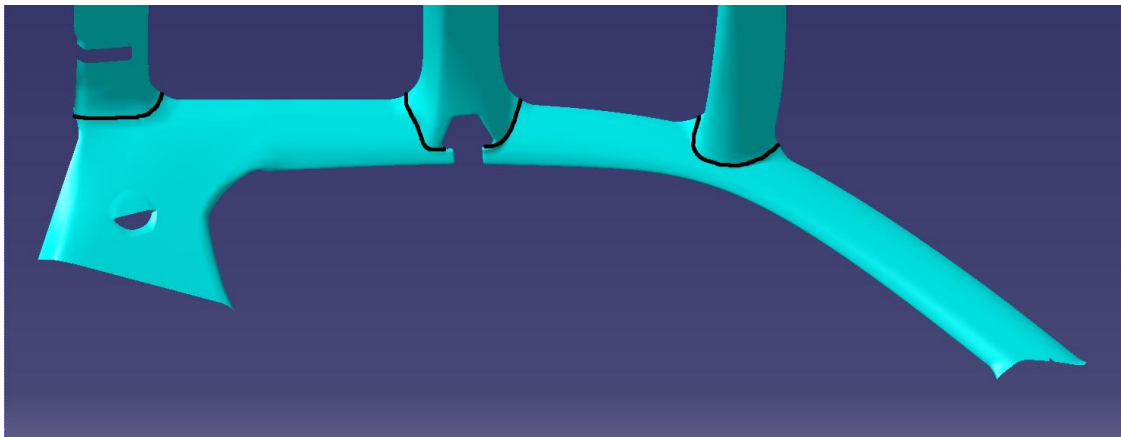
2.2.3 Paneelien väliset saumat

Alusta alkaen oli selvää, että sisäkattopaneeliin täytyi tehdä saumoja. Näin muottien koot pienenisivät selvästi, muottien ja valmiiden osien käsittely helpottuisi sekä osien valmistus ja asennus olisi mahdollista. Saumojen määrä haluttiin kuitenkin mahdollisimman pieneksi, koska saumat teettävät lisätyötä lähes jokaisessa työvaiheessa edellä mainittuja lukuun ottamatta. Lisäksi saumojen raot ja tasoerot voivat tuottaa ongelmaa osien asennuksessa.

Poikittaiset sisäkattopaneelit päätettiin erottaa omiksi osikseen pitkittäisistä. Lisäksi pitkittäisen sisäkattopaneelit päätettiin katkaista saumalla keskimmäisen poikittaisen sisäkattopaneelin kohdalta. Paneelin tiedettiin menevän tästä kohtaa keskimmäisen poikittaisen kattopilarin takia niin kapeaksi, ettei se välttämättä kestäisi sille tulevaa asennuskäsittelyä ehjänä pituutensa vuoksi.

Poikittaisten sisäkattopaneelin saumojen paikat pitkittäisiin sisäkattopaneeleihin oli yksinkertaisinta suunnitella niiden välisiin pyöristyksiin. Näissä kohtaa pinnan suunta muuttuu huomattavasti, ja tästä syystä mahdolliset pintojen väliset tasoerot eivät tulisi näkyviin niin huomattavasti kuin tasaiselle pinnalle tehtävässä saumassa. Pitkittäisten paneelien saumat toisiinsa suunniteltiin puoleen väliin keskimmäisen poikittaisen kattopilarin ja pitkittäisten kattopilarien saumaa. Etuoven ylälukon vastinkappaleen takia päätettiin kuitenkin yhdistää nämä saumat niin, että B-pilarin kohdalla keskimmäinen poikittainen sisäkattopaneeli jatkettiin peittämään koko pitkittäisen kattopilarin ja sen mukana myös etuoven ylälukon vastinkappaleen. Tästä syntyi kaksi saumaa, toinen etupuolelle B-pilaria, toinen sen taakse.

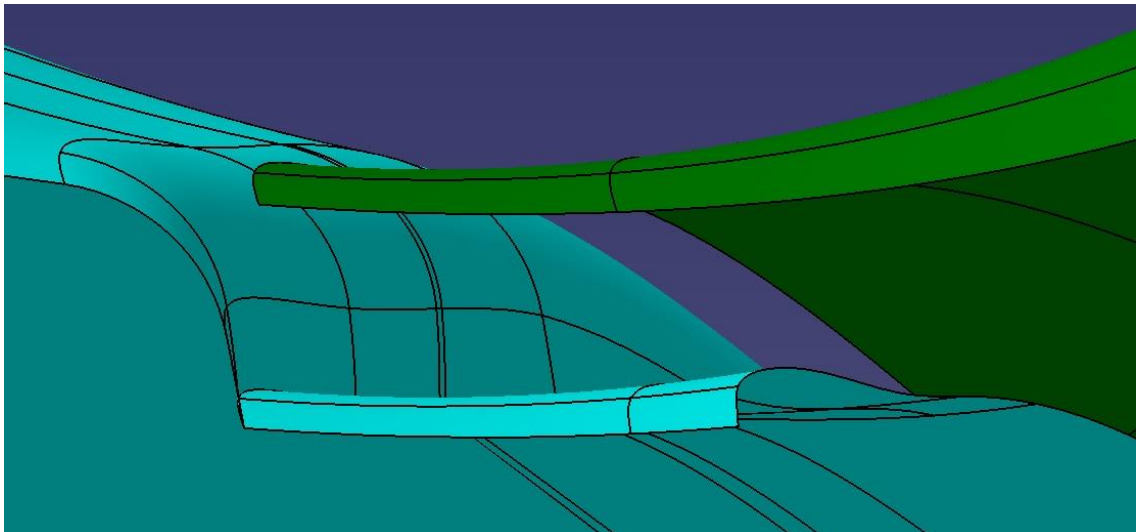
Viimeisessä versiossa kuitenkin päätettiin, ettei etuoven ylälukon vastinkappaletta peitetä sisäkattopaneelin alle vaan tähän päätettiin suunnitella erillinen takasivuoven ylälukon vastinkappaleen suojakuppi, josta lisää luvussa 2.4. Paneelien välisten saumojen sijainnit palautettiin alunperäisten suunnitelmien mukaisille paikoille. Pitkittäisten paneelien välinen sauma kuitenkin muutettiin niin, että ylälukon vastinkappaleelle sekä sen suojakupille jäi selvästi tilaa lukon paikan säätämistä ja verhoilua varten. Kuvassa 6 on hahmotettu mustilla viivoilla lopullisia sisäkattopaneelien saumojen sijainteja.



Kuva 6. Sisäkattopaneelit ja niiden väliset saumat.

Paneelien välisistä saumoista ei voitu tehdä puskusaumaa, koska näin pinnat olisivat hankalia saada samalle tasolle toistensa kanssa ja myös sauman koko voisi vaihdella suuresti. Toinen paneeleista vietiin aina toisen alle eli paneelien suunniteltiin menevän limittäin (kuva 7). Päälle jäävä paneeli on näistä se, jonka suunniteltiin olevan jär-

kevämpi irrottaa ensin. Poikittaiset kattopaneelit suunniteltiin ensin irrotettaviksi alaspäin katosta, koska pitkittäiset kattopaneelit onnistuisi näin vetää pois päin korin sisäpinnasta vakaatasossa. Itse sauma tehtiin pintojen välisen pyöristykseen pohjalle. Sauman kooksi suunniteltiin neljä millimetriä, joka laskettiin molempien paneelien verhoilun paksuudesta. Päälle jäävän paneelin reunasta, koko sauman matkalta, otettiin noin 18 millimetrin pituinen pinta, josta tehtiin offset-pinta kahdeksan millimetrin päähän paneelista sisäänpäin. Tämä mitta muodostuu päälle jäävän paneelin arvioidusta ainevahvuudesta, neljästä millimetristä, sen taakse vedettävästä verhoilumateriaalista sekä alemman paneelin verhoilumateriaalista. Alle jäävän paneelin pinnan ja juuri tehdyn offset-pinnan välille vedettiin pinta niin, että osa on yhä mahdollista valmistaa eli on päästävä muotista. Pintojen välisiin kulmiin lisättiin tarvittavat pyöristykset. Pyöristysten säteeksi tuli käytettävän muottien jyrshintäterän säde eli kahdeksan millimetriä.

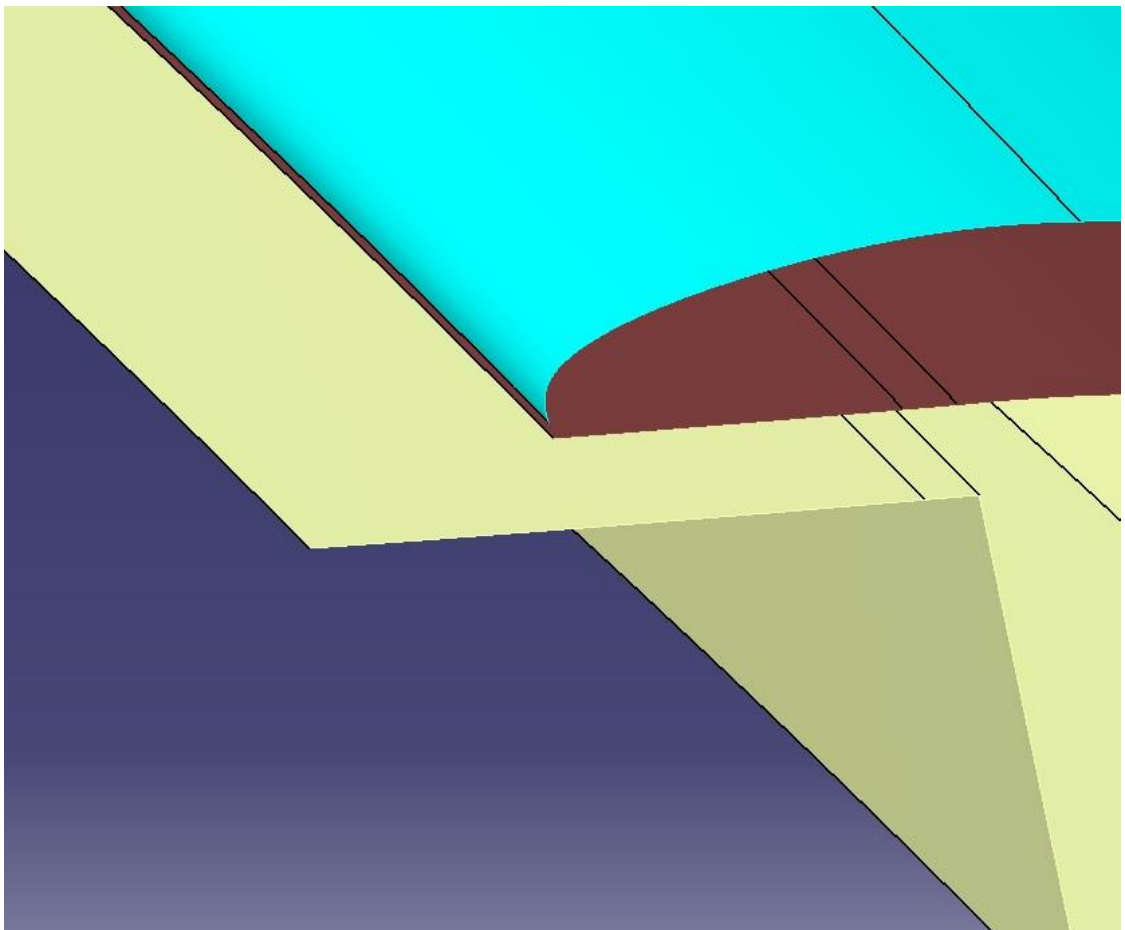


Kuva 7. Valmis C-pilarin paneelin ja pitkittäisen paneelin sauma katon rajassa ylhäältäpäin.

2.2.4 Paneelien reunat oviaukkoihin sekä ikkunoihin

Kuten aiemmin mainittiin etu- ja takaoven oviaukko on yhtenäinen. Kattopilarin muotoon ei tästä syystä poikkea muodoltaan B-pilarin kohdalta muusta kattopilarin muodosta. Sivuvien oviaukon reunaa suunnitellessa täytyi ottaa huomioon koriniittirivi aivan oviaukon reunassa, ovitiivisteiden koko ja muoto sekä materiaalipaksuudet sisäkattopaneelissa ja auton korissa.

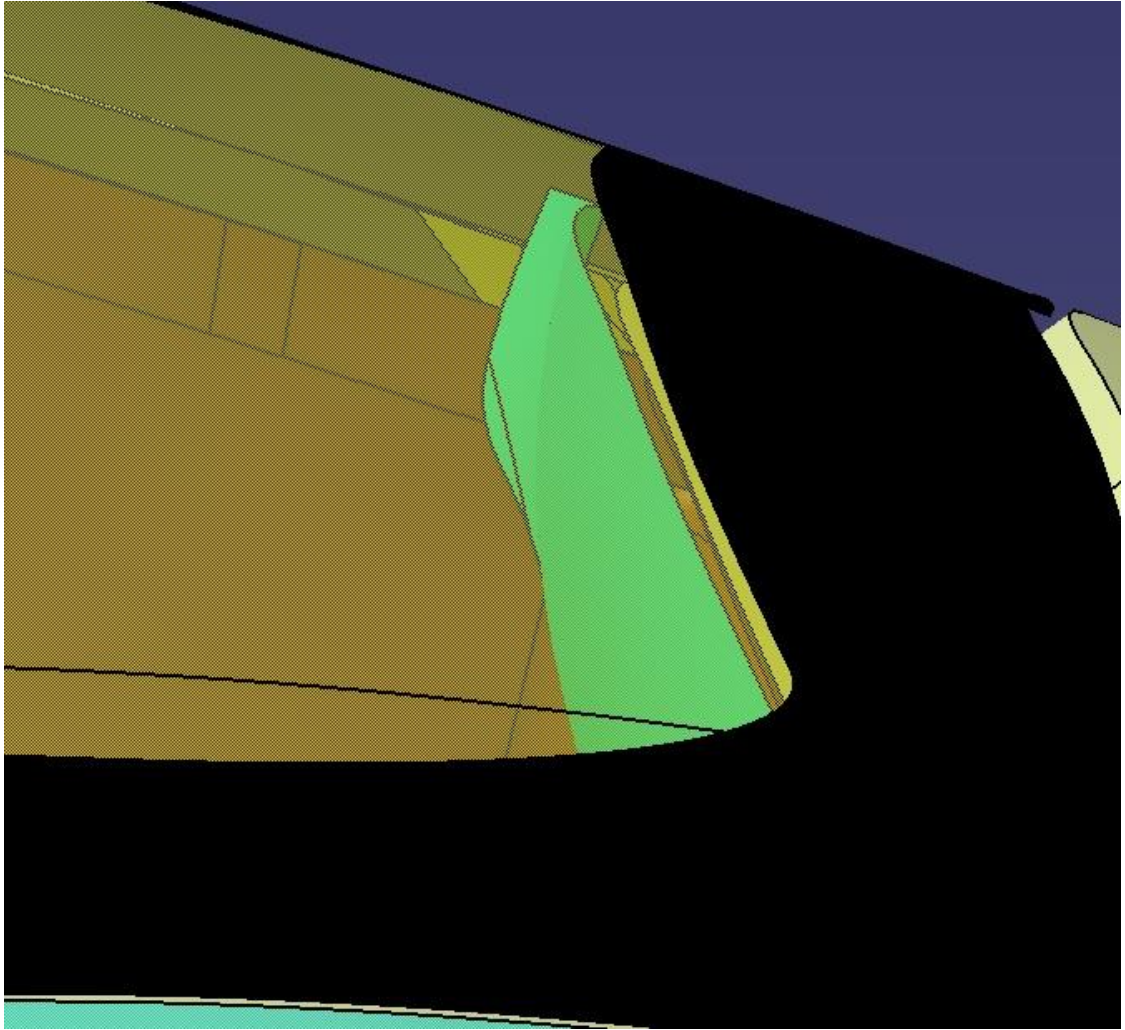
Paneelin reuna haluttiin alun perin ovitiivisteeseen sisään, jottei niiden väliin pystyisi jäämään rakoja. Tiiviste oli kuitenkin liian tiukka ja korin ulkopinnan kolmen millimetrin materiaalipaksuus vei siitä kaiken tilan. Paneelin muoto päätettiin lopettaa jo ovitiivisteeseen reunaan. Alkuperäinen malli tuli myös liian lähelle koriniittejä ja muotoa otettiin selvästi ulospäin korista. Ovitiiviste tulee 12 millimetrin päähän korin ulkopinnan reunasta ja sisäkattopaneelien verhoilu vaati vähintään yhden millimetrin paksuuden. Paneelin reuna päätettiin lopulta jättää korin sisäpinnan reunaan, koska se oli juuri suunnitellun, keskimäärin 14 millimetrin, matkan päässä korin ulkopinnan reunasta (kuva 8). Paneelin reuna tehtiin loppumaan tähän kohtaan noin 90 asteen kulmaan korin sisäpintaan nähden. Tässä ovitiivisteeseen ja paneelin väliin mahdollisesti syntyvä rako saadaan kuitenkin umpeen verhoilutäytteen avulla. Kuvassa on nähtävissä oviaukon reunan läpileikkaus, jossa sisäkattopaneeli vaaleansinisellä, sisäkylki tummanruskealla ja ulkokylki vaaleanruskealla.



Kuva 8. Sisäkattopaneelin oviaukon reunan läpileikkaus.

Tavaratilan oviaukkoon sisäkattopaneelin reunus suunniteltiin vastaavaan tapaan kuin sivuovien oviaukkoihin. Reunan muoto ei kuitenkaan kaarra samaan tapaan 90 asteen kulmaan vaan menee selvästi enemmän korin sisäpinnan mukaisesti. Täällä niitit eivät olleet paneeleiden tiellä, ja paneeleiden muodon haluttiin mukailevan kattopalkkien muotoja.

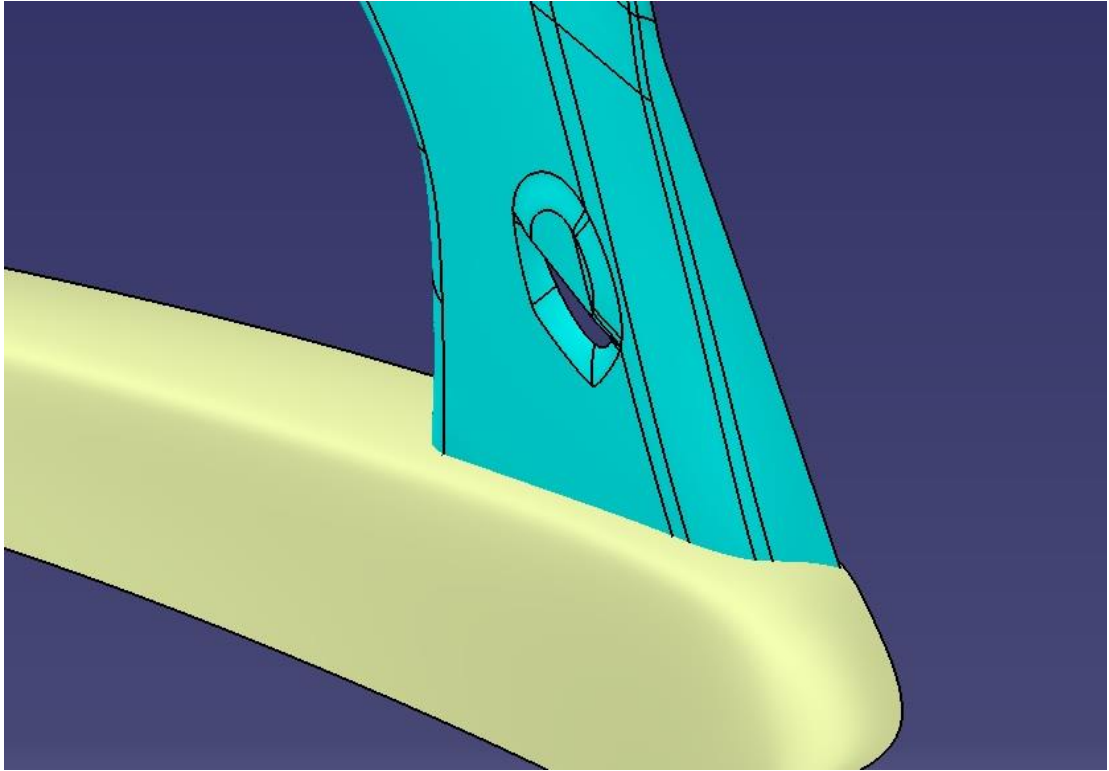
Sisäkattopaneeleille täytyi suunnitella reunat myös tuulilasiin ja kattolasiin. Reuna tuulilasiin suunniteltiin niin, että se kaartaisi tuulilasin kanssa samansuuntaiseksi. Näin ei kuitenkaan saatu haluttua muotoa ja koriniitit ikkuna-aukon reunassa olivat tiellä. Reuna päätettiin tehdä noin 90 asteen kulmaan tuulilasiin nähden (kuva 9). Kuvassa on keltaisella värillä läpinäkyvänä lasin ulkopinta, mustalla lasin mustaus ja A-pilarin sisäkattopaneeli vaalealla. Etäisyys korista, tässä tilanteessa korin ulkopinnan ikkuna-aukon reunasta, sisäkattopaneeliin ulkopintaan määriteltiin paneelin ja verhoilumateriaalin paksuudesta. Etäisyydeksi tuli viisi millimetriä ja näin verhoilupaneeli asettui lähelle ikkunan reunan mustauksen rajaa. Katon paneeleissa käytettiin aluksi samaa etäisyyttä. Mittaa jouduttiin kuitenkin kasvattamaan 10 millimetriin, koska paneeleille tarvittiin lisää etäisyyttä korin katon sisäkylkeen samalla kuin paneeli täytyi olla mahdollista valmistaa eli sen täytyi olla päästävä muotista. Paneelit tehtiin jatkumaan vielä auton koripinnasta ulospäin tuulilasin liiman arvioidun paksuuden verran eli viisi millimetriä.



Kuva 9. A-pilarin sisäkattopaneelin reuna tuulilasiin.

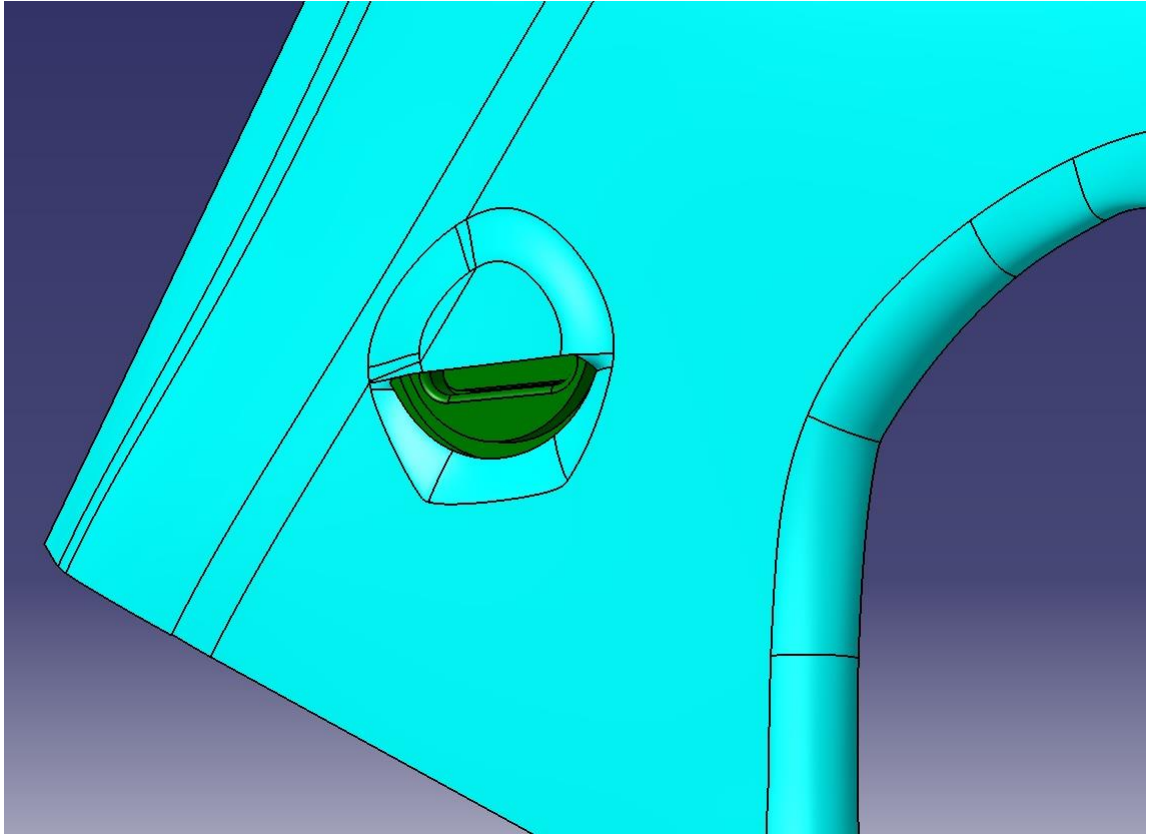
2.2.5 Muun sisustan osien kohtaamiset

Sisäkattopaneeli kohtaa edessä alareunassaan kojelaudan paneelit. Sisäkattopaneeli suunniteltiin loppumaan kojelautaan niin, että kojelauta viedään hieman sisäkaton sisään. Näin sisäkaton ja kojelaudan välinen rako ei jää irvistämään. Lisäksi paneelien välille jätettiin tilaa verhoilumateriaalille. Takana C-pilarin juuressa sisäkattopaneelin alaosa kohtaa autoa kiertävän sisustan olkalinjamuodon (kuva 10). Sisäkattopaneeli päätetään tähän pintaan ja muotoiltiin sen mukaisesti hieman kaarevaksi. Kuvassa on sisäkattopaneeli vaaleansinisellä ja sisustan olkalinjan hahmotelma vaaleanruskealla.



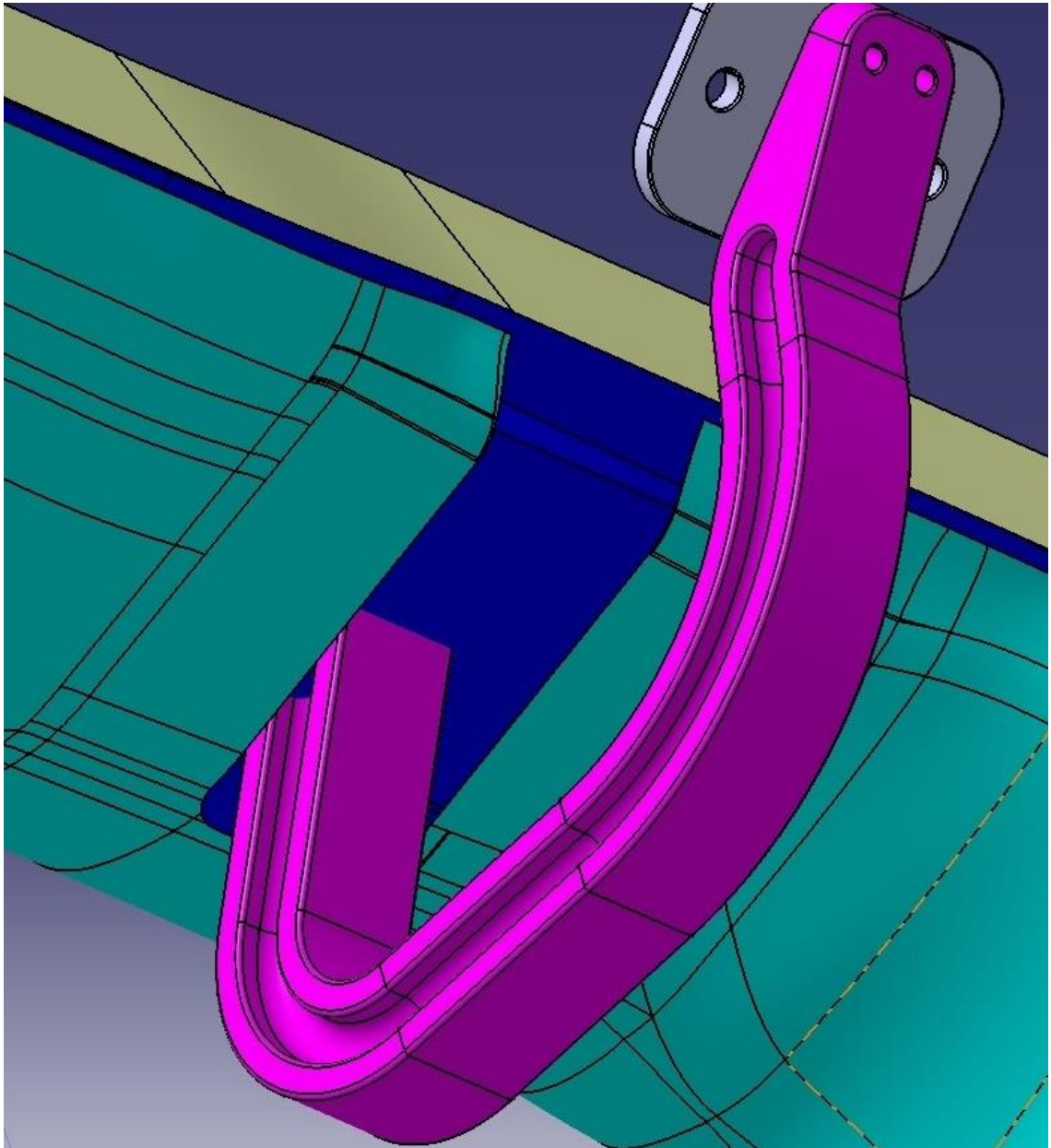
Kuva 10. Sisäkattopaneeli kohtaa olkalinjan muodon C-pilarin juuressa.

Takaturvavyön yläkiinnityspisteen ympäristö päästiin suunnittelemaan vasta sen jälkeen, kun takaturvavyöasetelma oli saatu tarkkaan paikkaansa. Alue mallinnettiin niin, että yläkiinnityspisteen nauhaohjain voi hieman pyöriä akselinsa ympäri turvavyötä käytettäessä. Kuvassa 11 on vaaleansinisellä sisäkattopaneeli ja vihreällä takaturvavyön yläkiinnityspisteen nauhaohjain.



Kuva 11. Takaturvavyön ympäristö.

Takaluukun saranoiden ympäristöä jouduttiin ottamaan sisäkattopaneelien perusmuodoista hieman ulospäin, koska saranat eivät mahtuneet suunniteltujen sisäkattopaneelien sisälle. Pinnat tehtiin ottamalla saranoista karkea offset ja muotoilemalla pinnat jatkuvaksi perusmuotoihin. Saranoille täytyi lisäksi suunnitella aukko sisäkattopaneelisiin. Aukon koko saatiin CATIAsta saranoille mallinnetusta liikkeestä. Aukon koko suunniteltiin jokaiseen suuntaan noin 10 millimetriä suuremmaksi kuin saranan liike. Valmiiden paneelien aukkoihin asennetaan saranatiivisteet. Kuvassa 12 on värjätty sisäkattopaneeli vaaleansinisellä, sinisellä korin sisäkylki, vaaleanruskealla korin ulkokylki ja vaaleanpunaisella takaluukun sarana.



Kuva 12. Takaluukun saranoiden ympäristö.

2.3 Verhoilu

Kaupunkiautoprojektin verhoilun suunnittelu ja valmistus ulkoistetaan. Auton verhoilun tulee suorittamaan KhreliX Design, jonka tiedettiin olevan ammattitaitoinen ja joustava yhteistyökumppani jo Metropolian aiemmasta autoprojektista.

Itse verhoilumateriaalin paksuus on noin yksi millimetri. Tämän lisäksi verhoilumateriaalin alla käytetään joustavaa verhoilutäytettä aina kun mahdollista. Verhoilutäytteen

paksuus on noin kaksi millimetriä. Verhoilutäyteen tarkoitus on tasoittaa pinnan epätasaisuuksia sekä tehdä sisäkattopaneelien pinnasta pehmeämpiä. Lisäksi verhoilutäyte auttaa vähentämään rakoja ja pintojen välistä tasoeroa eli niin sanottuja irvistyksiä osien välisissä saumoissa. Verhoilu kokonaisuudessaan siis kasvattaa osan paksuutta ulkopinnasta 1–3 millimetriä. Tämän lisäksi täytyy huomioida, että verhoilu vieään jonkin matkaa osan takapuolelle. Näin verhoilulle saadaan kestävä kiinnitys itse osaan. (1)

Myös ylälukon vastinkappaleen suojakuppi tullaan verhoilemaan samoilla verhoilumateriaaleilla kuin sisäkattopaneelit.

2.4 Takasivuoven ylälukon vastinkappaleen suojakuppi

Takasivuoven ylälukon vastinkappaleen haluttiin ulkonäön takia piilotettua niin hyvin kuin mahdollista säilyttäen tietenkin sen toiminnallisuus. Sisäkattopaneelien suunniteltiin menevän ylälukon vastinkappaleen päälle. Tästä kuitenkin luovuttiin, koska paneelien saumat olisivat olleet hankalia suunnitella lukon vastinkappaleen läheisyyteen niin, etteivät paneelit olisivat tulleet häiritsevän ulos koripinnasta käyttävyyden ja visuaalisen ilmeen vuoksi.

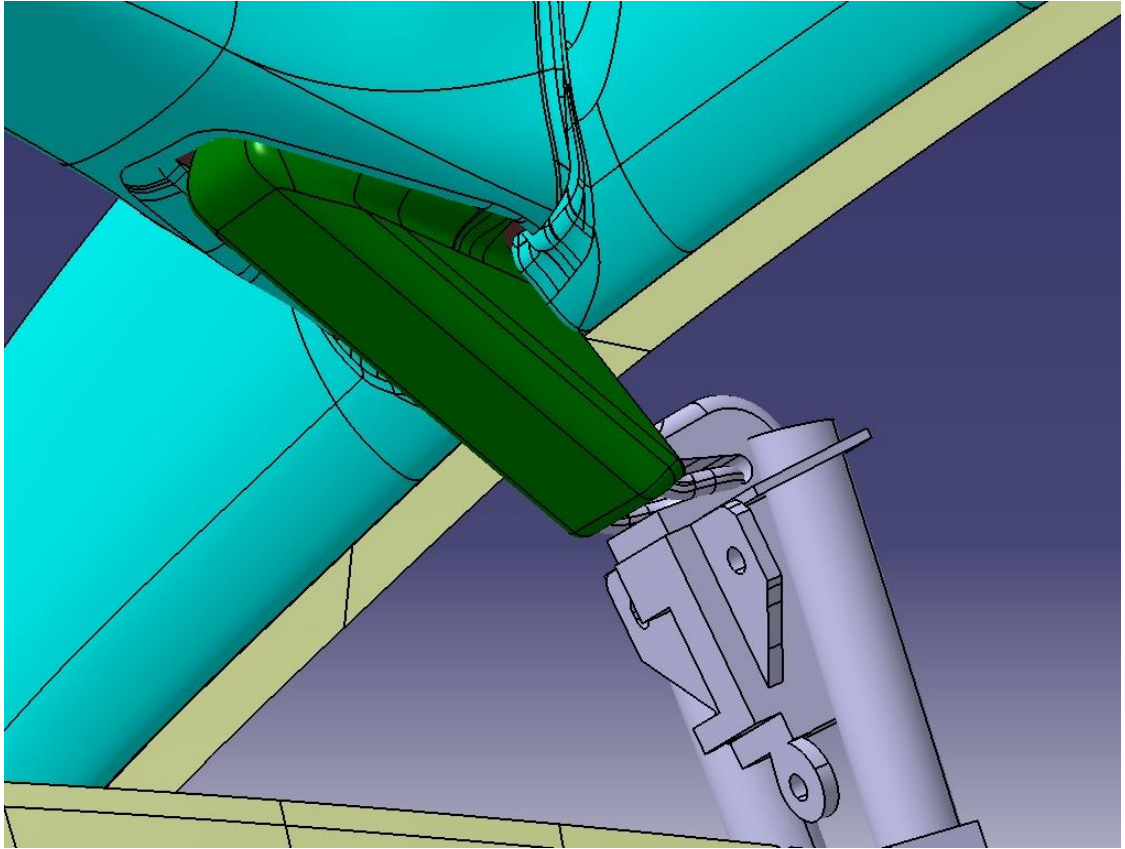
Ylälukon vastinkappale päätettiin peittää erillisellä osalla, suojakupilla. Näin myös ylälukon vastinkappaleen säätäminen ja irrottaminen olisi myöhemmin helpompaa, koska koko kattopaneeleita ei tarvitsisi irrottaa. Osa muotoiltiin lukon vastinkappaleeseen sopivaksi ja kattopaneelit suojakupin ympärille sekä syntyneet kulmat pyöristettiin. Tässä täytyi kuitenkin huomioida, että lukon vastinkappaleita voi joutua säätämään ja myös kattopaneeleihin ja suojakupin väliin täytyi jättää hieman säätövaraa.

Suojakupin kiinnitys suunniteltiin muotolukitteiseksi niin, että suojakupin takana oleva muotoilu venyy painaessa sitä lukon vastinkappaleen putkia vasten ja palautuu takaisin muotoonsa suojakupin ollessaan paikallaan lukon vastinkappaleen päällä. Tästä syystä osa suunniteltiin valmistettavan 3D-muovitulostuksella.

Suojakuppia kuitenkin jouduttiin muokkaamaan vielä tämän jälkeenkin ylälukon vastinkappaleen vahvikkeiden takia. Vahvikkeiden takia suojakuppi ei olisi mahtunut paikalleen ja sen kiinnittäminen lukon vastinkappaleen putkiin olisi ollut mahdotonta. Joudut-

tiin suunnittelemaan kooltaan isompi suojakuppi, jonka sisään myös ylälukon vastinkappaleen vahvikkeetkin mahtuisivat. Lisäksi suojakuppia päätettiin jatkaa, että se saataisiin peittämään lukon vastinkappaletta alkuperäistä suojakuppia enemmän. Näin myös lukon vastinkappaleen vahvikkeet jäisivät kokonaan piiloon.

Uuden ylälukon vastinkappaleen suojakupin kiinnitys suunniteltiin hieman samaan tapaan kuin alkuperäisen suojakupin muotolukitteinen kiinnitys lukon vastinkappaleen putkiin. Uusi osa kiinnittyisi lukon vastinkappaleen vahvikkeiden ympärille ja lukittuiksi paikoilleen siihen tehtäviin reikiin. Mittauksella huomattiin kuitenkin ylälukkojen vastinkappaleiden suuret valmistustoleranssit, joten auton molemmille puolille olisi pitänyt suunnitella suojakupit tarkasti erikseen. Suojakuppien kiinnitys päätettiin tehdä samoilla bigHead Poppit -paneelikiinnikkeillä joita auton sisustassa käytetään yleisestikin. Kiinnikkeitä asennetaan ylälukon vastinkappaleen tasaiseen pintaan kolme kappaletta hieman kolmion muotoon toisiinsa nähden, niin että suojakuppi pysyy oikeassa asennossaan. Suojakuppia ei näin ollen tarvitse myöskään valmistaa 3D-tulostuksella. Valmistettavuutta muilla menetelmillä ei ole kuitenkaan mietitty, eli malli ei ole päästävä mahdollisesti siitä suunniteltavasta muotista. Kuvassa 13 on nähtävissä valmis takaoven ylälukon vastinkappaleen suojakuppi vihreällä. Takaoven tukiputket, lukko ja sen vastinkappale ovat kuvassa harmaalla sekä sisäkattopaneelit vaaleansinisellä.



Kuva 13. Valmis ylälukon vastinkappaleen suojakuppi.

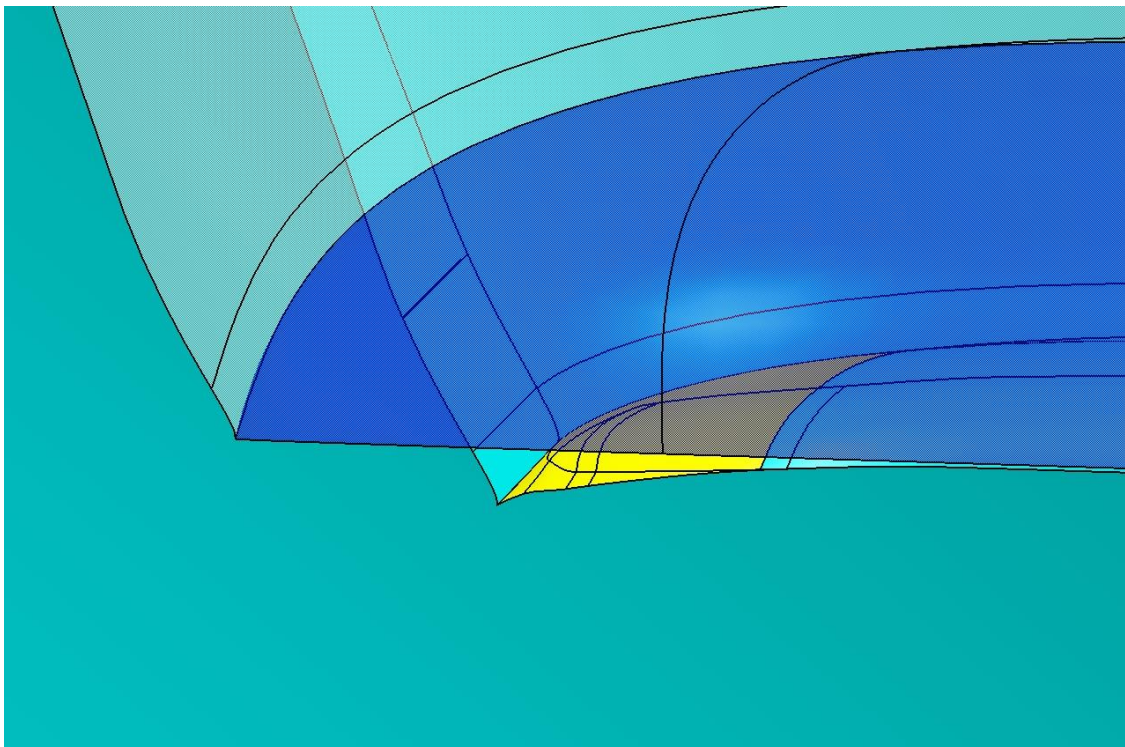
3 Muotit

3.1 Offset-pinnat

Pintamallinnuksessa mallinnettavalla pinnalla ei ole lainkaan paksuutta ja koska sisäkattopaneelien osat muovataan lämpömuovauksena urospuolisessa muotissa, täytyi mallinnuksessa käytettävistä pinnoista tehdä offset-pinnat. Offset-pinnoista siis tuli paneelien taustapuoli ja urosmuotin pintapuoli. Sisäkattopaneelien suunniteltu paksaus oli kolme millimetriä, joten myös offsetin suuruutena käytettiin tuota mitta.

Offset-pintojen teossa käytettiin Generative Shape Design -työympäristöä. Yleensä alkuperäisistä mallinnetuista pinnoista onnistui tehdä offset-pinnat CATIAN Offset-työkalun perusasetuksilla. Silloin, kun pinnan tekeminen Offset-työkalun perusasetuksilla ei onnistunut, saatettiin suurempi pinta leikata pienempiin osiin. Näin voitiin jättää tekemättä Offset-työkalulla pinnasta vain se osa jossa ongelma ilmeni. Myös Offset-työkalun asetuksia muutettiin, mutta usein näin tuli tulokseksi epätoivottu pinta. Offset-työkalun käytössä ilmeni ongelmia silloin, kun alkuperäinen pinta kaartoi niin että sen säde oli pienempi kuin siitä otettavan offset-pinnan etäisyys alkuperäisestä pinnasta. Haluttu offset-pinta jouduttiin mallintamaan uusiksi käyttäen Fill-, Multi-Sections Surface- ja Blend-työkaluja. Näin tehty pinta hieman oikaisi kaarroksia ja säteistä tuli näissä kohtaa suurempia. Erot olivat kuitenkin merkityksettömiä.

Ongelmia aiheuttivat myös osat reunat, silloin kun pinta alkoi kaartaa välittömästi reunan jälkeen eikä kaarevuuden kulma ollut 90 astetta. Tällöin koko reunan muoto ja sen kulma sekä paikka muuttuivat, kun ne tehtiin offset-työkalun perusasetuksilla. Näitä pintoja olivat muun muassa ylälukon vastinkappaleen ympäristö ja takaturvavyön yläkiinnityspisteen ympäristö. Myös näitä virheitä korjailtiin edellisessä kappaleessa mainituilla pintatyökaluilla. Kuvassa 14 on läpinäkyvänä sinisellä alkuperäinen sisäkattopaneelin ulkopinta ja keltaisella siitä tehty offset-pinta paneelin sisäpinnaksi.



Kuva 14. Sisäkattopaneelin ulkopinta ja offset-pinta ylälukon vastinkappaleen läheisyydessä.

3.2 Muottien mallintaminen

Lämpömuovauksessa on mahdollista valmistaa osia sekä uros- että naarasmuoteilla. Lämpömuovauksessa valitaan muotiksi useimmiten urosmuotti sen helpomman valmistuksen takia sekä siksi, että se soveltuu paremmin yksittäiskappaleiden valmistukseen. Muotissa laadultaan parempi puoli tulee olemaan se, joka ei ole kosketuksissa muotin pintaan lämpömuovauksen aikana. Muottipintaa vasten olevaan puoleen kopioituu muotissa olevat virheet. Urosmuotissa muottipintaa vasten oleva puoli siis tulee valmistuvan osan sisäpuolelle, eikä tässä tilanteessa näkyvälle puolelle. (2, s. 31)

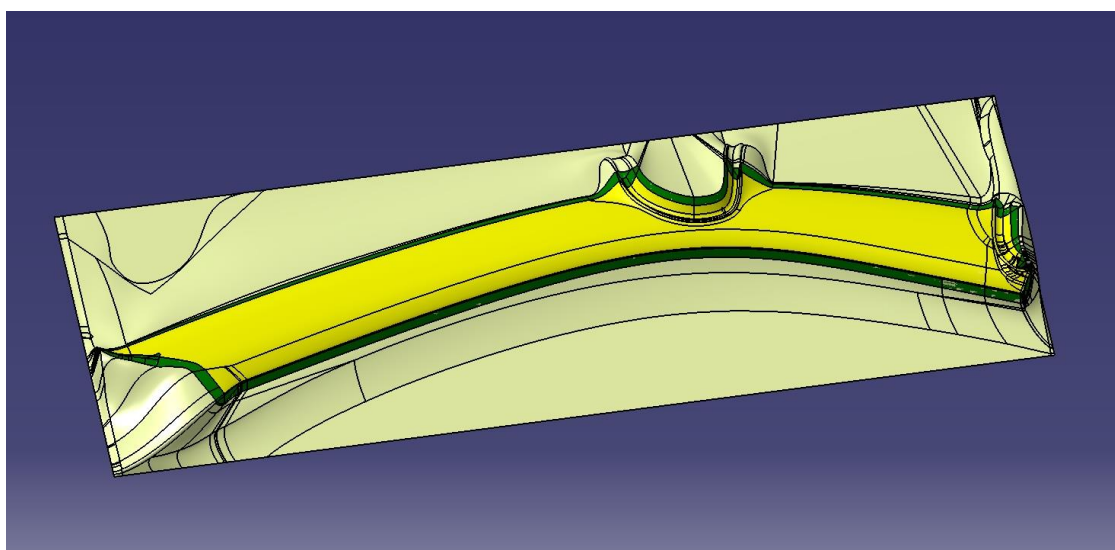
Edellä mainituista syistä sisäkattopaneelien muotit suunniteltiin urosmuoteiksi. Urosmuottien takia mallinnettavista osista täytyy tehdä offset-pinnat, joiden mitta oli arvioitu materiaalipaksuus.

Muottien mallintaminen tehtiin samoilla työkaluilla mitä käytettiin itse osan näkyvien pintojen sekä offset-pintojen teossa. Muottien mallintaminen aloitettiin offset-pintojen pohjalta. Pintoja jatkettiin tekemällä niihin laippapinnat. Laippapinnat tehtiin Extrapolate-työkalulla tangentialisesti jatkuvaksi aina kun se oli mahdollista. Extrapolate-työkalu

jatkaa olemassa olevaa pintaa tai viivaa sen päädyistä alkuperäisen pinnan suuntaisesti. Tehtyjen laippapintojen reunat siistittiin suoriksi seuraavan työvaiheen helpottamista varten. Osan nurkissa laippapintojen välillä käytettiin blend-työkalua. Blend-työkalussa valitaan kaksi pintaa, joiden välillä uusi pinta halutaan tehdä, reunaviivat valitaan uuden pinnan reunaviivoiksi sekä nämä kaksi pintaa uuden pinnan tukipinnoiksi. Tukipinnoilla saadaan osa jatkuvaksi näihin kahteen viereiseen pintaan nähden. Laippapintojen kooksi tuli noin 15–20 millimetriä riippuen laippapintoihin tehtyjen pyöristysten koosta.

Laippapinnoista eteenpäin muotti haluttiin laskeutumaan sulavasti alaspäin muotin reunoja kohti samalla säilyttäen kuitenkin hieman osan päämuotoja. Näin kuviteltiin osan reunojen muotoutuvan helpommin halutunlaisiin muotoihin. Myös tässä käytettiin Generative Shape Design -pintamallinnustyöympäristön työkaluja, joista pääasiassa Multi-Sections Surface -työkalua. Syvien muottien ja jyrkkien kulmien tiedettiin tuovan haasteita lämpömuovaukseen. Yleisenä suosituksena minimipäästökulmaksi urosmuoteille on kolme astetta (3).

Muoteista valmistettavat osat tehdään lämpömuovauksella. Lämpömuovauskoneessa voidaan käyttää erikokoisia raakamateriaalilevyjä. Levyn maksimipituus on kuitenkin 1460 millimetriä ja maksimileveys 960 millimetriä (4). Kuvassa 15 on nähtävissä valmis oikean pitkittäisen paneelin etummainen muotti, jossa on keltaisella värjätty osan offset-pinta, vihreällä laippapinta ja vaaleanruskealla loput muotista.



Kuva 15. Valmis oikean pitkittäisen paneelin etummainen muotti.

4 Sisäkattopaneelien kiinnitys

Kaikki auton sisustan kiinnikkeet haluttiin pois näkyvistä. Näkyvät kiinnikkeet eivät sovi kaupunkiautoprojektiin toisin kuin kilpa-autohenkiseen Electric Raceabout -urheiluautoon, joten sen kiinnitysratkaisuja ei voitu käyttää hyödyksi kaupunkiautoprojektissa. Kanta-auto Volkswagen Polon alkuperäisten sisustan kiinnikkeiden käyttöä mietittiin (kuva 16). Polon sisustan kiinnikkeet asennettaisiin paneeleihin käyttäen alkuperäistä vastaavaa menetelmää kuin kanta-autossa. Tästä kuitenkin luovuttiin kiinnikkeiden hankalan asennuksen takia.



Kuva 16. Volkswagenin alkuperäinen sisustakiinnike (5).

4.1 3M Dual Lock

Sisäkattopaneelien kiinnittämistä 3M Dual Lock -tarranauhan avulla harkittiin myös. Se sallisi osien nopean ja helpon irrotuksen sekä uudelleen kiinnittämisen (kuva 17). 3M Dual Lock kuitenkin vaatii, että kiinnitettävät pinnat ovat yhdensuuntaisia toistensa kanssa.

Sisäkattopaneelien mallintaessa huomattiin, ettei niistä saada yhdensuuntaista auton koripinnan kanssa, joten 3M Dual Lock -tarranauhan tilalle jouduttiin etsimään muita kiinnitysratkaisuja.



Kuva 17. 3M Dual Lock -teippi (6).

4.2 BigHead Poppit

Sisäkattopaneelien kiinnikkeiksi valittiin lopulta bigHead Poppit -paneelikiinnikkeet (kuva 18). Poppit-kiinnikkeitä myydään kahta eri kokoa, joista valitsimme pienemmän juuri kokonsa vuoksi sekä siksi, ettei kiinnitettäviltä pinnoilta vaadita yhdensuuntaisuutta kiinnikkeen rakenteen ansiosta.

Pienemmän Poppit-kiinnikkeen halkaisija on 20 millimetriä ja pallon koko viisi millimetriä. Uros- ja naaraspuolien kokonaiskorkeus kasattuna on yhdeksän millimetriä, josta liimasauman korokkeiden paksuus sekä uros- että naarapuoolella on yksi millimetri. Mukana tulevien liimapalojen paksuus on kaksi millimetriä. Yksi kiinnike vaatii 2,5 kilogramman voiman avautuakseen. (7)



Kuva 18. bigHead Poppit -paneelikiinnike (8).

5 Kojelaudan runko

5.1 Lähtökohdat

Kaupunkiauton kojelaudan pinnat valmistetaan ympäristöystävällisestä kestopuovi-komposiitista, eikä se yksin ole tarpeeksi tukeva. Tämän takia kojelaudan pintapaneelleille täytyi suunnitella tukeva runko. Kojelaudan rungon pohjaksi jätettiin kanta-auton kojelaudan runko, josta riisuttiin kaikki tarpeeton pois. Jäljelle jätettiin käytännössä vain itse runko, kiinnitys auton koriin sekä rattiakselin ja ilmastoinnin kiinnikkeet. Kojelaudan pintapaneelit koostuvat kolmesta suuremmasta pääosasta sekä pienemmistä osista. Suurista paneeleista alaosa kiinnitetään ensin, seuraavaksi kojelaudan keskiosa ja viimeisenä kojelaudan päällimmäinen paneeli. Kojelaudan sivut ja vaneriosat kiinnitetään suurien pintojen jälkeen ja muovitulostetut näyttöjen kehykset näiden jälkeen. Kojelaudan paneelien kiinnikkeinä runkoon käytetään samoja bigHead Poppit-paneelikiinnikkeitä kuin sisäkattopaneelien kiinnittämisessä.

Kojelaudan paneelien lisäksi kojelaudan runkoa käytetään sähkökomponenttien kiinnitysrunkona. Kojelaudan sisään tulevia sähkökomponentteja ovat seuraavat

- kolme näyttöä: kuljettajalle mittaristo, apukuljettajalle näyttö sekä keskikonsolin IVI-näyttö, eli autoon integroitu viihde- ja informaatiojärjestelmä
- CJB eli lämmityslaitteiston ja hallintalaitteiden virransyötöt
- EPEC eli CAN-väylän ohjain
- kaksi Rasperry Pi -minitietokonetta
- kaksi PSU:ta eli virtalähteet näytöille ja Rasperryille sekä toinen EPECille
- Fleet-PC 5 eli keskinäytön tietokone
- audiovahvistin
- puhaltimenmoottorin ohjainlaite
- Arduino, eli mikrokontrolleri ohjaamaan sisävaloja ja Keyless Go -avainsysteemiä
- modeemi
- USB-hubi.

Muita kojelaudan sisälle tulevia komponentteja ovat

- ilmastointilaitteisto
- ilmastoinnin suulakkeet.

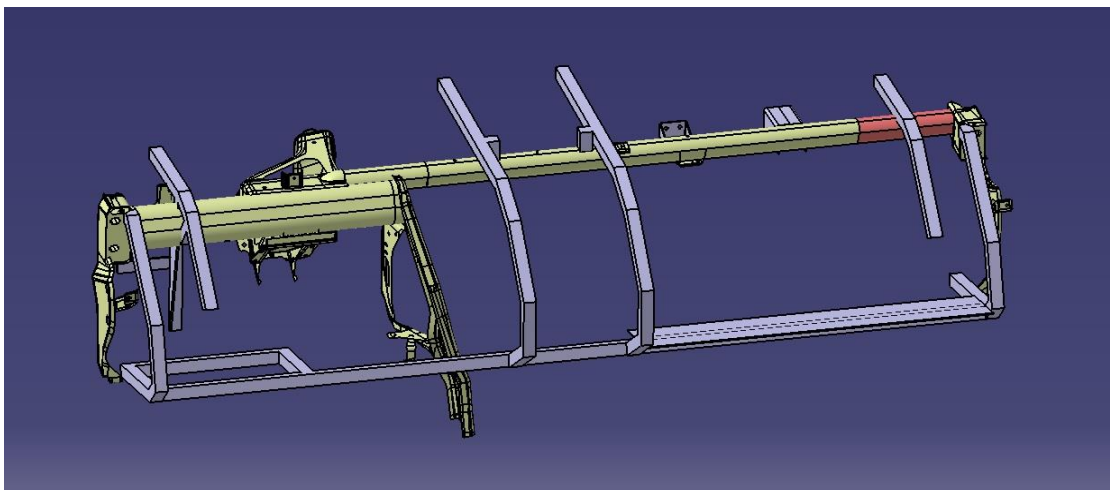
5.2 Suunnittelu

Kojelaudan rungon suunnittelu toteutettiin CATIAN Generative Shape Design ja Part Design -työympäristöissä. Rungolle tehtiin rautalankamalli, joka seurasi kojelaudan pintojen muotoja suunniteltujen kiinnityspisteiden lähetyvillä. Kiinnityspisteet suunniteltiin pääosin pintojen reunoihin. Tarvittava etäisyys kojelaudan rungon ja kojelaudan pintamallien välille laskettiin aina suuremmaksi kuin pintamateriaalin, bigHead Poppit-kiinnikkeiden sekä kiinnikkeiden liimauksen yhteenlaskettu paksuus, koska liiman paksuutta voi lisätä tarvittaessa tuosta mitasta.

Poikittaisten putkien määräksi suunniteltiin kahta. Putkista toinen kulkisi kojelaudan alaosassa ja toinen keskivaiheilla. Jälkimmäinen putki kuitenkin poistettiin tilanpuutteen vuoksi. Tämän putken tiellä olivat rattiakseli, keskinäyttö sekä sivunäytöt, joten tilaa ei yksinkertaisesti löytynyt halutulta alueelta. Yläosastaan kojelaudan runko tukeutuu kanta-auton kojelaudan runkoon eikä ylimääräistä poikittaista tukea tarvittu. Kojelaudan paneelien päädyt tuettiin sivuputkilla, jotka suunniteltiin kaartavan näiden päätypaneelien mukaisesti. Näillä putkilla tuetaan myös kojelaudan alemman keskiosan reunaan. Sivuille tarvittiin myös toiset putket, johon kojelaudan keskiosa kiinnitetään. Näiden reunimmaisten putkien väliin tulee ilmastoinninsuulakkeet, joten pintoja ei voi suoraan tukea toisiinsa. Suulakkeiden kiinnitysmenetelmä ei tässä vaiheessa ollut vielä tiedossa.

Paneelit täytyi tukea myös pituussuuntaisilla putkilla kojelaudan keskeltä. Tähän suunniteltiin kaksi putkea, jotka sijaitsevat keskinäytön molemmin puolin. Kojelaudan runko mukailee tässäkin kohtaa pintapaneeleita, paitsi alaosastaan jossa putket joutuvat olemaan hieman kauempana paneelien hankalan muodon takia.

Kuvassa 19 on kanta-auton kojelaudan runko vihreällä ja harmaalla siihen liitettävä suunniteltu kojelaudan paneelien runko.



Kuva 19. Kanta-auton kojelaudan runko ja siihen liitettävä kojelaudan paneelien runko.

5.3 Kojelaudan rungon valmistus ja asennus

Kojelaudan paneelien rungon materiaaliksi valittiin neliönmuotoinen teräsputki, teräslaji S355, jonka ulkohalkaisija on 20 millimetriä ja seinämäpaksuus yksi millimetri. Materiaalin lujuus ei ollut olennaista ja siksi myös alumiinin käyttöä harkittiin. Runko päätettiin kiinnittää kanta-auton kojelaudan runkoon hitsaamalla, joten tästä syystä päädyttiin teräkseen.

Kojelaudan paneelien rungon putket leikattiin mittaansa ja oikeaan kulmaan metallipyörösahan avulla. Hitsaukset rungolle suoritettiin TIG-hitsaamalla hitsauspöydällä. Runko hitsattiin kasaan pistehitsauksella. Näin runkoa olisi mahdollista säätää hieman sovittaessa sitä myöhemmin auton koriin ja kojelaudan paneeleihin. Jokainen putkien välinen kulma tarkistettiin ja putket säädettiin oikeaan asentoon astekulmamitan avulla. Rungon saumat tullaan hitsaamaan umpeen, kun kojelaudan paneelit ovat löytäneet paikkansa.

Kojelaudan rungon ensimmäisellä sovituksella päätettiin, että kojelauta muutetaan pulttikiinnitteiseksi, toisin kuin alun perin oli suunniteltu. Näin rungon asemointi autoon helpottui. Sovittaessa selvisi myös, ettei kanta-auton kojelaudan runkoon mahdu hitsausaamaa rungon reunoihin, joten pulttikiinnitys oli tämänkin takia parempi ratkaisu. Tässä päätettiin käyttää jo olemassa olevaa pulttiliitosta auton korin ja kanta-auton kojelaudan rungon välillä, johon valmistettiin liitoslevy (kuva 20). Liitoslevy hitsattiin kojelaudan runkoon kohtaan minne suunniteltu hitsausaama olisi tullut. Kojelaudan runkoa

myös lyhennettiin tästä kohtaa liitoslevyn ja sen alle jääneiden aluslevyjen verran. Runkoa jysrittiin paineilmahiomakoneen jysinterällä, että siihen saatiin aukot pulttiliitoksen pulttien asennusta varten. Rungon jäykkyys ei kärsinyt asennusaukoista merkittävästi.



Kuva 20. Pulttiliitos kojelaudan vasemmassa reunassa.

Kojelaudan rungon keskiputkien kiinnittämiseksi hitsattiin kanta-auton kojelaudan runkoon asennuspinnat teräslevystä (kuva 21). Nämä pinnat jysrittiin paineilmahiomakoneen jysinterällä alareunastaan pyöreäksi kanta-auton kojelaudan rungon mukaisesti. Asennuspinnat sijaitsevat auton suuntaisena pystyssä kojelaudan rungon kyljessä auton keskilinjan puolella.



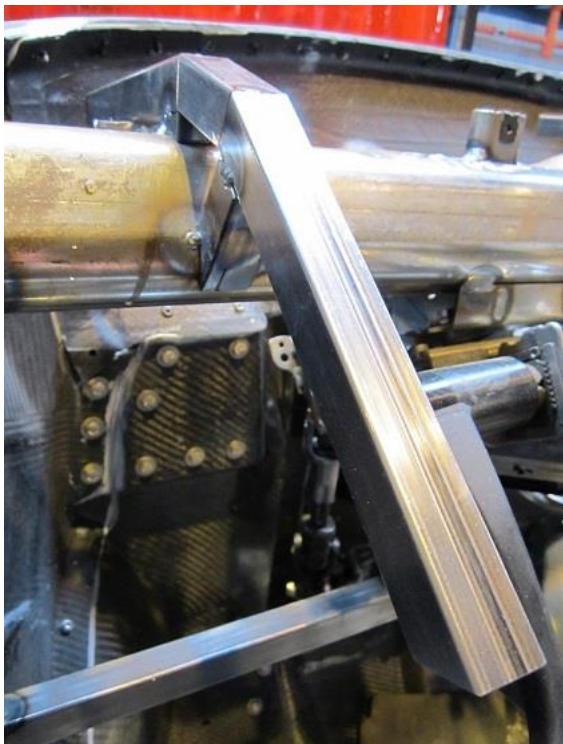
Kuva 21. Kojelaudan keskiputken pultiliitos.

Alareunasta kojelaudan paneelien rungoista poistettiin suunnitellut kiinnityspotket, koska runko ei mahtunut paikoilleen vaan otti koriin kiinni. Kanta-auton kojelaudan runkoa oli jouduttu jo aiemmin taivuttamaan tästä kohtaa sisäänpäin, joten kiinnitys runkojen välille tehtiin yksinkertaisella pultiliitoksella (kuva 22).



Kuva 22. Kojelaudan alareunan pultiliitos.

Kojelaudan paneeleiden rungon keskimmäiset sivuputket jysrittiin paineilmahiomakoneen jysinterällä alareunastaan sopimaan kanta-auton kojelaudan runkoon ja kiinnitettiin kanta-auton kojelaudan runkoon hitsaamalla, niin kuin ne oli suunniteltu (kuva 23).



Kuva 23. Keskimmäiset sivuputket hitsattuna kanta-auton kojelaudan runkoon.

Näiden vaiheiden jälkeen kojelaudan paneeleiden runko oli mahdollista asentaa paikalleen (kuva 24). Runko asetoitiin käyttäen apuna mittoja rungosta tulipeltiin, lattiaan ja oviaukkoihin.



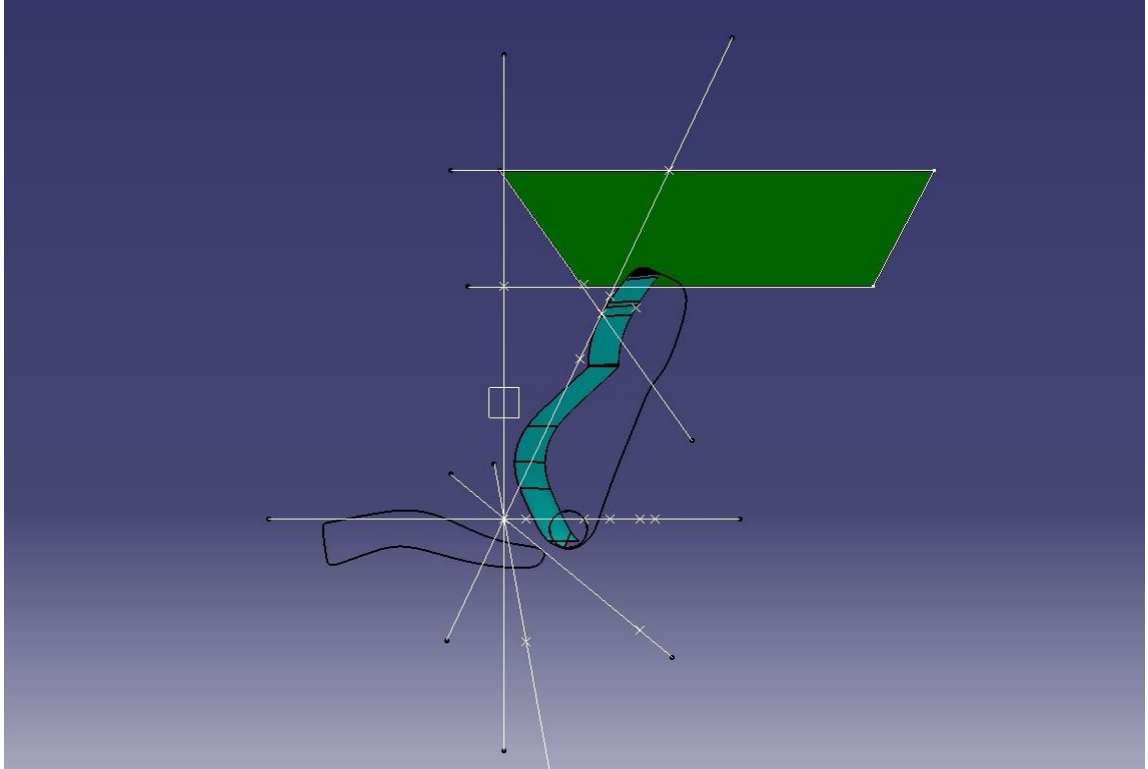
Kuva 24. Kojelaudan paneeleiden runko asennettuna.

6 Takaturvavyön yläkiinnityspiste

6.1 Lähtökohdat

Työn tavoitteena olleesta täydellisestä takaturvavöiden suunnittelusta poiketen työssä päätettiin tehdä ainoastaan takaturvavöiden yläkiinnityspisteen suunnittelu sekä sen lujuusmitoitus. Lantiovyön lattiakiinnityspisteitä ei pystynyt tämän insinööriyön aikana suunnittelemaan, koska takapenkkitarkaisu oli pahasti kesken. Myös takaturvavyön kelauslaitteen mitoitus jätettiin työn ulkopuolelle. Kelauslaitteen lattiakiinnityspiste voidaan kuitenkin suunnitella ja mitoittaa yläkiinnityspistettä vastaavia menetelmiä käyttäen. Etukäteen päätettiin, että autossa käytetään kanta-auto Volkswagen Polon vyöasetelmaa. Turvavöiden kiinnitykset suunniteltiin Euroopan unionin neuvoston direktiivin 76/115/ETY jäsenvaltioille tarkoitetun lainsäädäntöohjeen mukaisesti, jonka mukaan myös Suomen tieliikennelaki on määritelty.

SmarTeam-kokoonpanoon oli jo aiemmin projektissa määritelty direktiivin mukainen vyön tehollinen kiinnityspiste sekä mallinnettu kanta-auto Volkswagen Polon vyöasetelman kelauslaite ja nauhaohjain. Yläkiinnityspisteen nauhaohjaimen paikka määriteltiin tämän tehollisen kiinnityspisteen mukaan niin, että se sijaitsee kuvassa 25 näkyvällä vihreällä alueella ja oli lähellä sisäkattopaneelin pintaa paneelin sisäpuolella sekä sopivassa kulmassa sisäkattopaneelin ja käytettävyyden kannalta. Kuvassa on verrattu takaturvavyön yläkiinnikkeen tehollista kiinnityspistettä takaistuimen hahmotelmaan.



Kuva 25. Turvavyön yläkiinnikkeen tehollinen kiinnityspiste sekä takaistuimen hahmotelma.

Ohessa tärkeimmät kohdat Euroopan unionin neuvoston direktiivin 76/115/ETY (9) liitteestä 1 koskien turvavyön yläkiinnityspisteelle tehtäviä lujuusmittauksia:

5.3 Yleiset testivaatimukset

5.3.2 Vetovoima 10 ± 5 asteen kulmassa vaakatasosta ylöspäin yhdensuuntaisesti auton pituussuuntaisen keskiviivan kanssa.

5.3.3 Täysitehoinen kuormitus on saavutettava niin nopeasti kuin mahdollista. Väiden kiinnityspisteiden on kestävä jäljempänä eriteltyä kuormitusta vähintään 0,2 sekunnin ajan.

5.4 Erityiset testivaatimukset

5.4.1.2 M1- ja N1-luokan ajoneuvoissa käytetään $1\,350 \pm 20$ DaN testauskuormaa, joka saadaan aikaan saman turvavyön kiinnityspisteisiin kiinnitetyllä vetolaitteella (ks. liite III, kuva 2) käyttämällä sellaista laitetta, joka toistaa tällaisen turvavyön ylempään olkavyön geometriset ominaisuudet.

5.5 Testin tulokset

5.5.1 Kaikkien kiinnityspisteiden on läpäistävä 5.3 ja 5.4 kohdassa vahvistetut testit. Pysyvät muodonmuutokset, kuten kiinnityspisteiden ja ympäröivien aluei-

den osittaiset repeämät ja vauriot, hyväksytään, jos vaadittu voima pysyy edellä vahvistetun ajan. Testin aikana on noudatettava 4.4.3.3 kohdassa vyön tehollisille lattiakiinnityspisteille vahvistetuille pienimmille etäisyyksille ja 4.4.4.6 ja 4.4.4.7 kohdassa tehollisille vyön yläkiinnityspisteille vahvistettuja vaatimuksia.

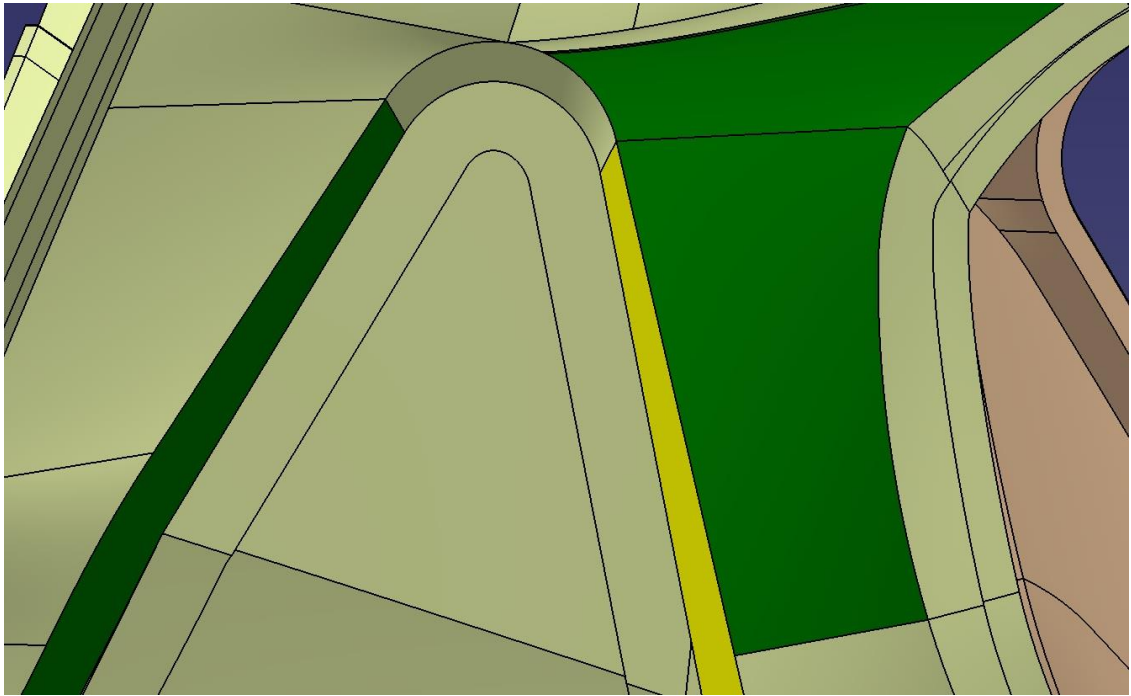
Haasteita suunnitteluun tuovat korin muodot, lujuusmittaukset sekä juuri edellä mainitut direktiivit.

6.2 Suunnittelu ja lujuusmittaukset

Takaturvavyön yläkiinnityspisteen suunnittelu toteutettiin CATIAN Assembly Design, Generative Sheetmetal Design, Generative Shape Design ja Part Design -työympäristöissä. Mallin lujuusmittaukset tehtiin Dassault Systèmesin Abaqus CAE 6.9-EF1 -rakenneanalyysiohjelmalla.

Turvavyön yläkiinnikkeelle haettiin paikka CATIAN Assembly Design -kokoonpanotyöympäristössä auton C-pilarista yläkiinnikkeen teholliselta kiinnityspisteen alueelta auton pituus- ja korkeussuunnassa. Yläkiinnike täytyi olla myös paikassa, johon sille oli mahdollista suunnitella kiinnityspaikka koriin sekä soveliaalla paikalla verrattaessa sitä sisäkattopaneelien perusmuotoihin. Sisäkattopaneelin C-pilari muotoiltiin turvavyön yläkiinnikkeelle sopivaksi vasta sen jälkeen kun yläkiinnike oli asemoitu.

Yläkiinnityspisteen kiinnityspaikoiksi koriin haluttiin valita mahdollisimman tasaiset pinnat. C-pilarissa ainoat tasaiset pinnat olivat ulko- ja sisäkyljen välisessä vahvikeupotuksen pystypinnat, jotka ovat kuvassa 26 näkyvät vasemman puoleinen vihreä pinta sekä keltainen pinta. Apukuljettajan puolella tätä kuitenkin rajoitti tankinluukun saraointi, joten etummaisiksi kiinnityspinnaksi valittiin tästä syystä vahvikeupotuksen ja takaoven väliset pinnat, jotka näkyvät kuvassa oikealla vihreällä. Valituista pinnoista tehtiin likimääräiset offset-pinnat materiaalin paksuutta ja liima-ainetta varten. Kolmas pinta tehtiin turvavyön yläkiinnikkeen taakse ja sen suuntaiseksi.

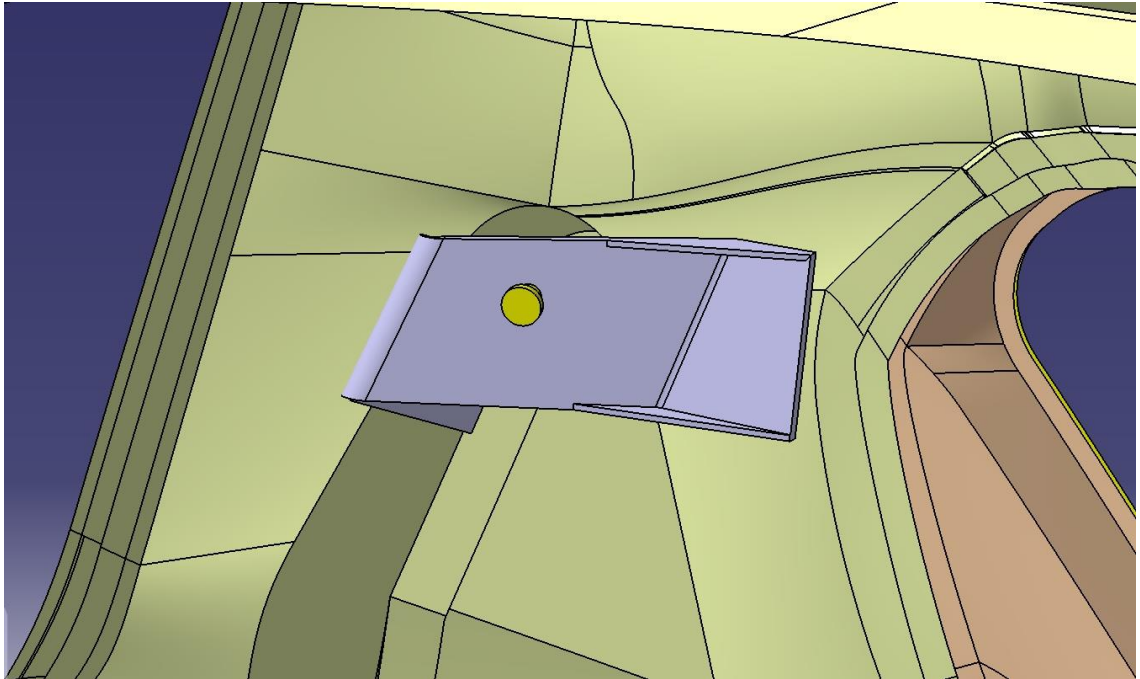


Kuva 26. Kuvassa auton C-pilarin vasen sisäkylki.

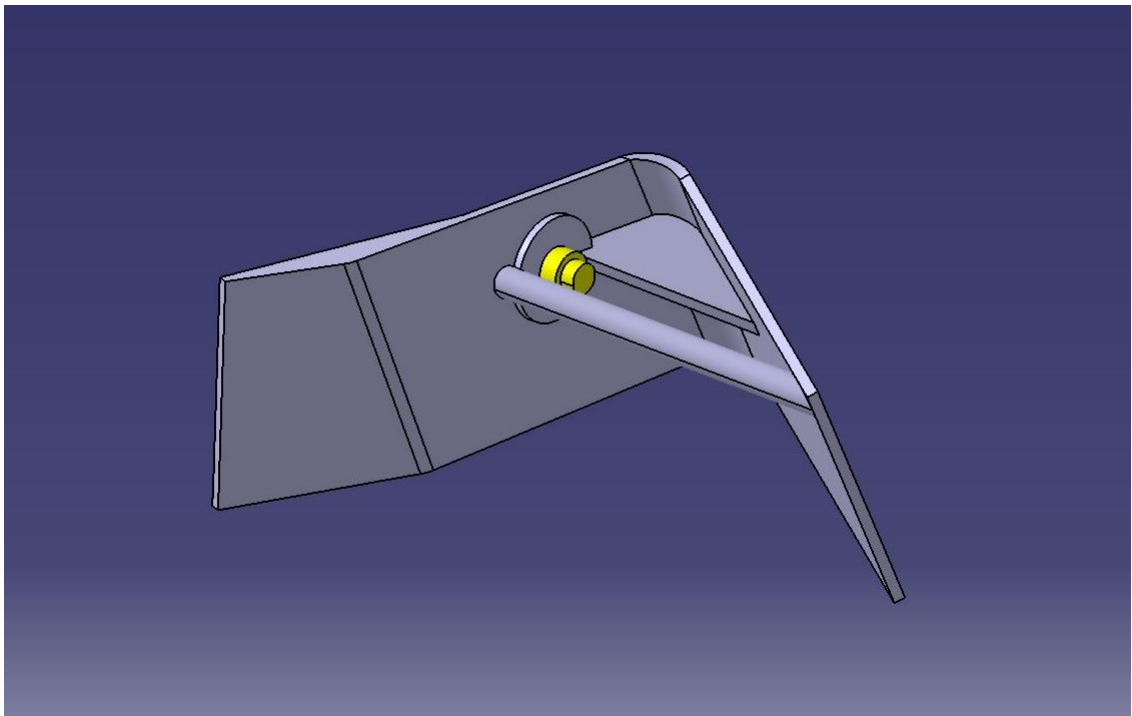
Valittujen pintojen välille tehtiin ohutlevymalli kahden millimetrin seinämävahvuudella ja mallin kulmiin tehtiin neljän millimetrin säteet. Mahdollisten pystysuuntaisten voimien takia yläkiinnityspiste päätettiin tukea alaspäin kolmen millimetrin seinämävahvaisella halkaisijaltaan 22 millimetrisellä putkella. Putki tuettiin alapäästään omavalmisteiseen raskastekoiseen takasaranaan. Pituus- ja leveyssuuntaisia voimia päätettiin tukea ohutlevymallin nurkkiin suunniteltujen ohutlevystä valmistettävien kulmatukien avulla, joita suunniteltiin kulmien ylä- ja alareunoihin yhteensä neljä kappaletta. Malliin suunniteltiin myös pulttiliitos, johon itse voima kohdistuisi rakenneanalysoinnissa.

Abaqus-rakennepuolueanalyysissa saatujen tulosten perusteella pulttiliitokseen päätettiin lisätä M12-korilaatta, jonka sisähalkaisija on 13 millimetriä, ulkohalkaisija 37 millimetriä ja paksuus kolme millimetriä. Abaquksesta myös havaittiin, ettei yläkiinnityspiste tarvitse pystysuuntaista tankoa pystysuuntaisten voimien tukemiseen. Lisäksi mallin takakulmaa, aiemman kahden ohutlevyn sijaan, tuki paremmin yksi korkeussuunnassa keskele suunniteltu ohutlevy, jolla tuetaan pulttiliitoksen korilaattaa kiinnikkeen takaseinään. Korilaattaa haluttiin tukea myös sen etuosasta, tähän tarkoitukseen suunniteltiin teräsputki korilaatan etuosan ja kiinnityspisteen takaosan välille. Vahvikeputken lopulliseksi halkaisijaksi valittiin 11 millimetriä ja ohutlevyjen paksuudeksi 4 millimetriä projektin

varastotilanteen mukaan. Kuvassa on valmis takaturvavyön yläkiinnityspiste harmaalla, vaaleanruskealla auton kori ja keltaisella pulttiliitoksen hahmotelma (kuva 27 ja 28).



Kuva 27. Takaturvavyön yläkiinnityspiste etupuolelta.

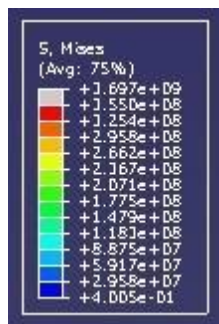


Kuva 28. Takaturvavyön yläkiinnityspiste taustapuolelta.

Kuvassa on 29 Abaquksen rasiustaulukko. Taulukko on otettu takaturvavyön yläkiinnityspisteen lopullisesta mallista, mutta se on ylimmän värin arvoa lukuun ottamatta vastaava myös yläkiinnityspisteen ensimmäisen versio kuvassa.

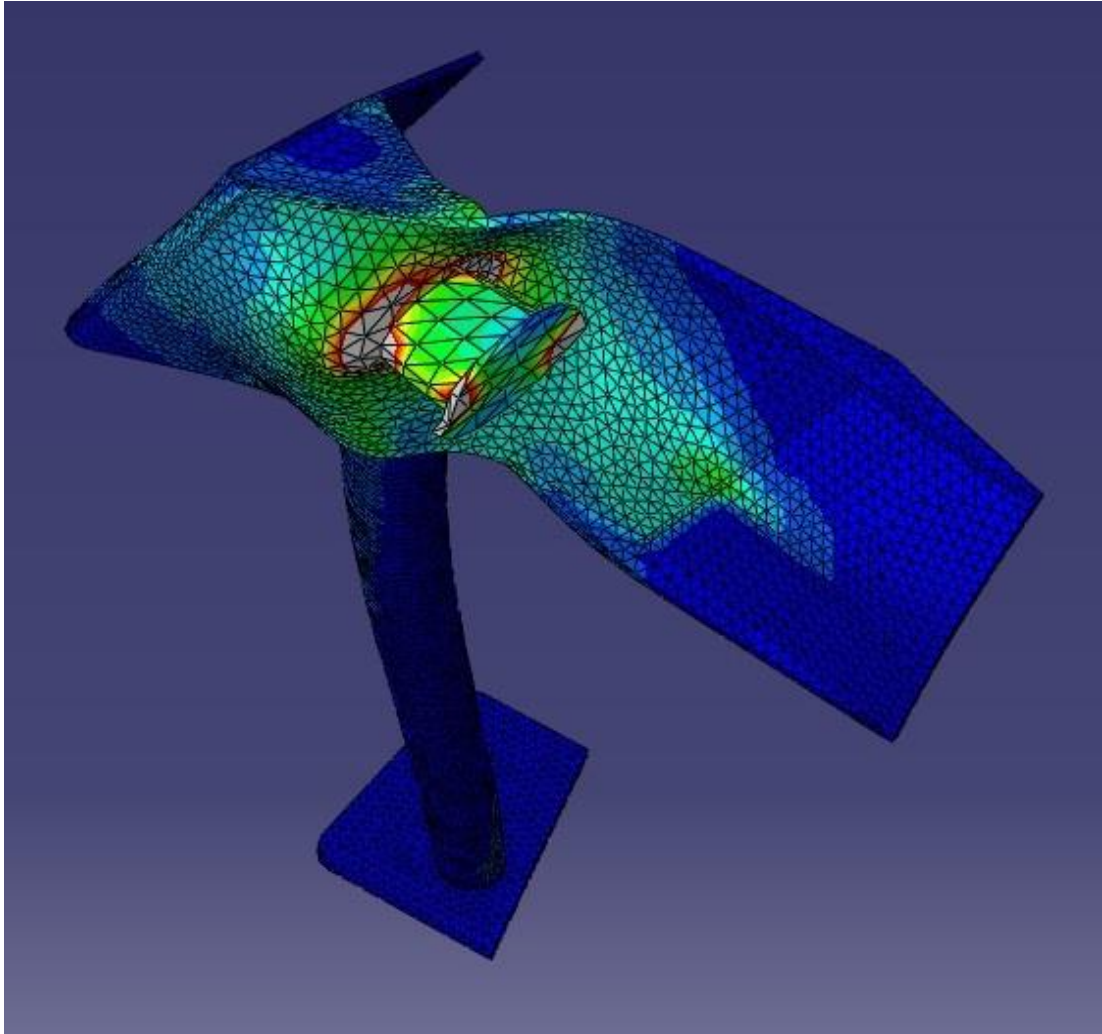
Seuraavia kuvia tarkastellessa täytyy huomioida, että pulttiliitos on malleissa samaa materiaalia muun kiinnityspisteen kanssa. Valmiissa asennuksessa käytetään kanta-auton alkuperäistä tai alkuperäistä vastaavaa pulttiliitosta, joka on vahvempi kuin malleissa. Malleissa ei ole mukana myöskään nauhaohjainta, joka mahdollisesti jakaa voimaa hieman laajemmalle alueelle kuin mallinnettu pulttiliitos. Abaqus-mallit haluttiin niin yksinkertaiseksi kuin mahdollista. Tästä syystä edellä mainitut komponentit jätettiin malleista pois.

Yläkiinnityspisteen materiaaliksi suunniteltiin Ruukin teräslaji S355, jonka myötölujuus on 355 N/mm^2 eli 355 MPa . Abaquksen väriskaala on säädetty niin, että kirkkaanpunainen väri on juuri tuo 355 megapascal ia. Tätä suurempi rasitus on vaaleanpunaisella, jolloin myötöraja ylittyy.



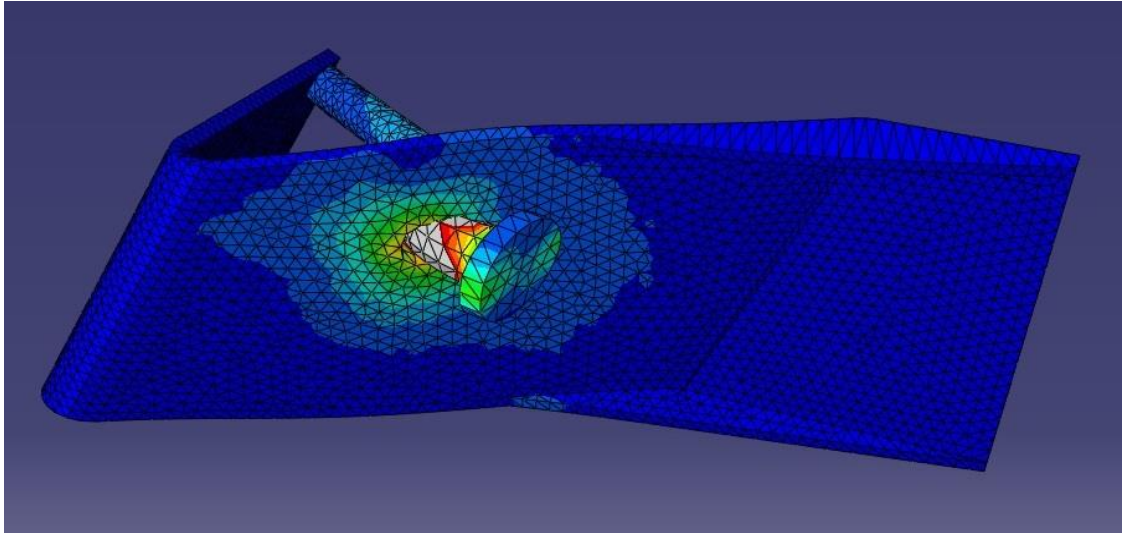
Kuva 29. Abaquksen rasiustaulukko seuraavaksi nähtäville kuville.

Kuvassa 30 on turvavyön yläkiinnikkeen ensimmäinen versio, jota alettiin tutkia Abaquksen avulla. Kuvasta näkyy kuinka pulttiliitoksen ympäristö tarvitsee lisää jäykistystä.

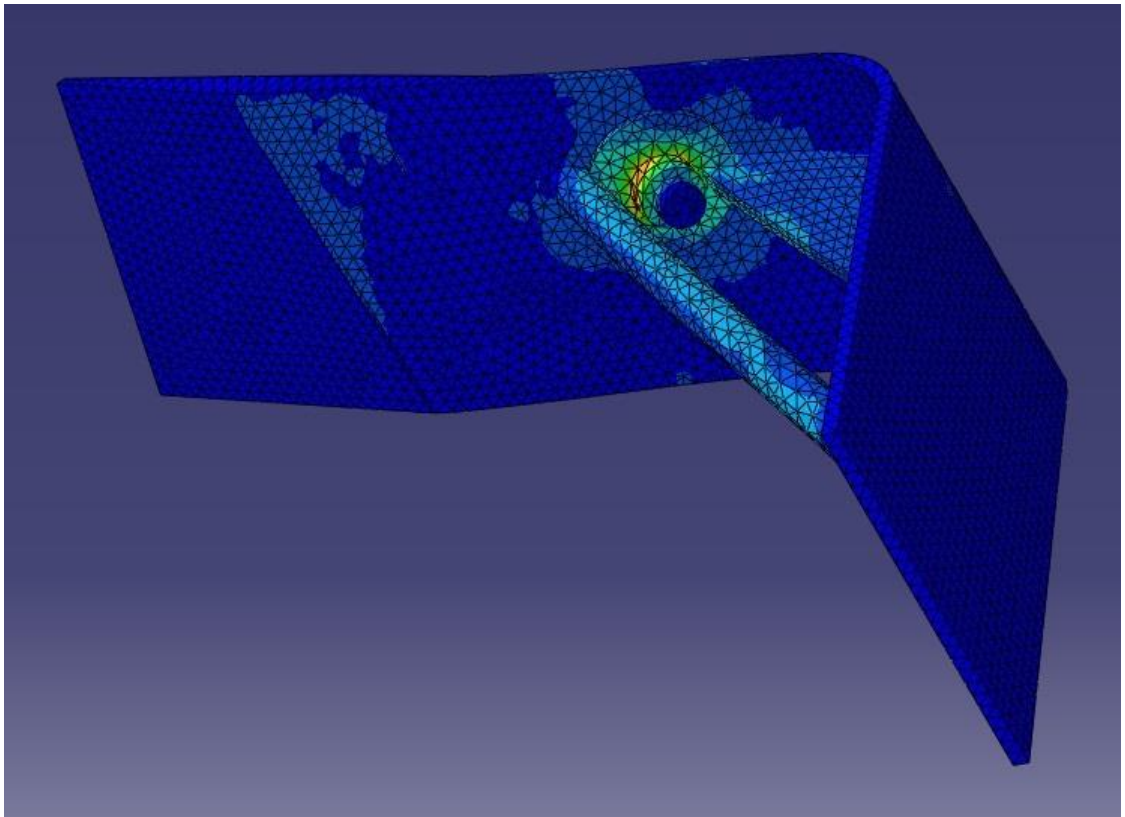


Kuva 30. Takaturvavyön ensimmäinen yläkiinnityspisteen malli.

Kuvissa 31 ja 32 on lopullinen turvavyön yläkiinnityspiste Abaqus-rakennepuhtausohjelmassa. Kuvista huomaa kuinka aiemmin mainitut muutokset ovat jäykistäneet rakennetta. Mallissa myötöraja ylittyy ainoastaan pulttiliitoksen hahmotelmassa. Kuvissa tutkittavien rasituksien lisäksi lopullisesta mallista tutkittiin myös venymää ja siirtymää. Merkittävää venymää tässä mallissa ei havaittu, ainoastaan pulttiliitoksen hahmotelma venyi. Siirtymää havaittiin pulttiliitoshahmotelman lisäksi pulttiliitoksen ympäristössä sekä tukiputkessa pulttiliitoksen puolella. Suurin siirtymä aivan oli kiinnikkeen yläreunassa pulttiliitoksen kohdalla. Tämäkään ei kuitenkaan ollut merkittävää.



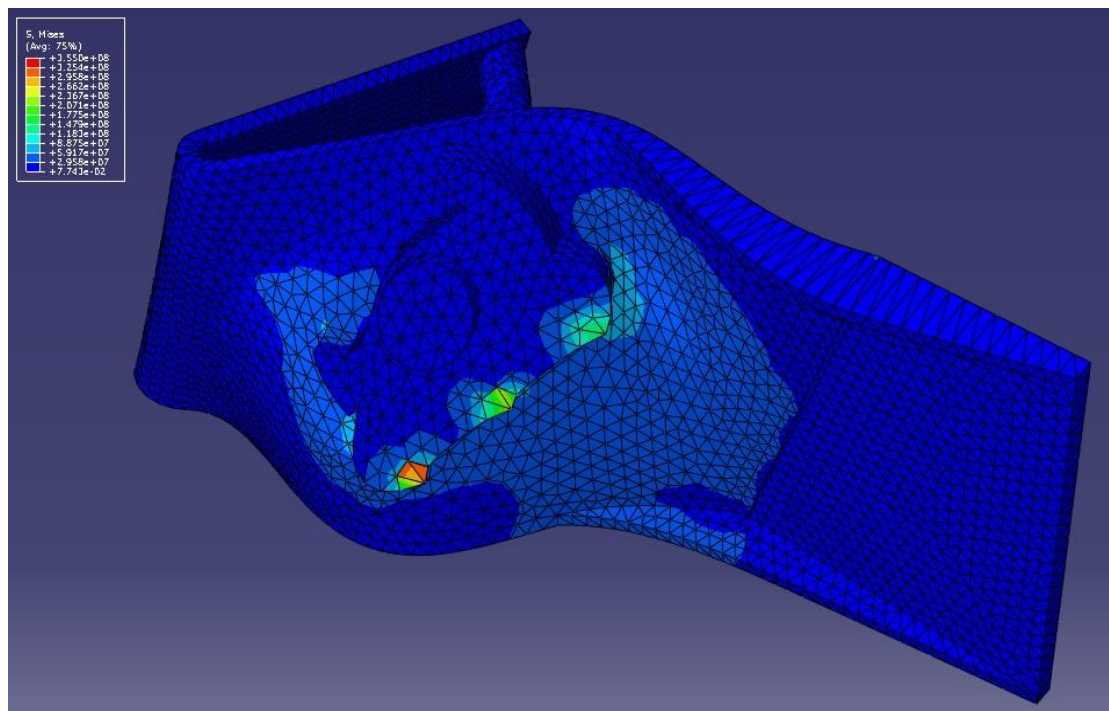
Kuva 31. Takaturvavyön yläkiinnityspiste etupuolelta.



Kuva 32. Takaturvavyön yläkiinnityspiste takapuolelta.

Takaturvavyön yläkiinnityspistettä tarkasteltiin Abaquksessa myös niin, että siihen oli mallinnettu turvavyönohjaimen hahmotelma kiinteäksi osaksi mallia (kuva 33). Kuvassa on tämä malli rasiustestissä. Kuvan vasemmassa yläreunassa on rasiustaulukko, jonka väriskaala on säädetty aiempien mallien mukaisesti. Voimien aiheuttama rasitus

jakaantuu tässä mallissa selvästi aiempaa suuremmalle alueelle, eikä maksimiarvojen lähelle päästä kuin nauhanohjaimen pisteissä joihin voima on kytketty. Myös tässä mallissa venymät pysyivät pieninä. Mallissa kuitenkin saatiin aiempaa suuremmat siirtymät aikaan. Mallin suurimmat siirtymät tulivat paikkoihin jotka rasiuskuvassa ovat muotoutuneet eniten. Nämäkin siirtymät ovat Abaquksen tulosten mukaan kuitenkin selvästi alle millimetrin. Tämän mallinnetun kiinteän vyönohjaimen oletettiin jakavan ja tukevan turvavyön yläkiinnityspisteelle aiheutuvaa rasiusta enemmän kuin todellisen autoon valmistettavan kokoonpanon. Mallista haettiin hieman eri suuntaa verrattaessa sitä pelkkään pulttiliitoshahmotelmaan, jossa päätettiin pulttiliitoksen venyvän liikaa sekä ottavan näin voimia vastaan todellisuutta enemmän.



Kuva 33. Takaturvavyön yläkiinnityspiste, johon mallinnettu nauhanohjaimen hahmotelma.

7 Yhteenveto

Tämä insinööri työ tehtiin osana Metropolia Ammattikorkeakoulun kaupunkiautoprojektia. Työn tavoitteena oli suunnitella kaupunkiautoprojektin sisäkaton paneelit, niiden muotit, paneeleiden kiinnitysratkaisut, kojelaudan runko sekä takaturvavöiden kiinnityspisteet. Myöhemmin työhön lisättiin myös kojelaudan valmistus ja asennus autoon.

Työssä onnistuttiin suunnitella CATIA-mallinnusohjelmistoa käyttäen sisäkattopaneelit sekä niiden muotit. Suunnittelun jälkeen muotit on onnistuttu valmistamaan ja niistä on voitu tehdä lämpömuovauksella auton sisäkaton paneeleita. Paneeleita on sovitettu paikoilleen ja ongelmia ei ole ilmennyt. Myös paneeleiden kiinnitysratkaisut ovat olleet toimivia.

Ylälukon vastinkappaleen suojakuppia ei ole vielä valmistettu. Suojakupista on suunniteltu kiireellisesti uudempi malli. Uutta suojakuppia ei ole välttämätön valmistaa 3D-tulostuksella, mutta osan muita valmistusmenetelmiä ei ole tutkittu.

Kojelaudan paneeleiden rungon suunnittelu onnistui lukuun ottamatta kiinnitysratkaisuja kanta-auton kojelaudan runkoon. Kojelaudan paneeleiden rungon valmistaminen onnistui myös ongelmitta. Sitä asennettaessa autoon korjattiin ilmenneitä kiinnityksen suunnittelun virheitä. Paneeleita on sovitettu rungon päälle ja niiden kiinnittäminen kiinnitysratkaisuille onnistuu.

Turvavyön yläkiinnityspiste onnistuttiin suunnitella vaatimusten mukaiseksi ja sille tehtiin lujuusmittaukset Abaqus-rakennepohjaisella. Yläkiinnityspisteen pultinreiän tarkkapaikka valitaan valmistus- ja asennusvaiheessa, kun osaa on sovitettu auton runkoon sekä C-pilarin sisäkattopaneeliin. Turvavyön yläkiinnityspistettä ei ole vielä valmistettu.

Lähteet

- 1 Khreliats, Ivan. 2012. Toimitusjohtaja, KhreliX Design, Vantaa. Keskustelu 15.12.2012.
- 2 Vacuum Forming Guide. Verkkodokumentti. Formtech International Ltd. <<http://inventionstudio.gatech.edu/wp/wp-content/uploads/2010/11/FormechVacuumGuide.pdf>>. Luettu 20.8.2013.
- 3 Ekström, Ilkka & Valkeiskangas, Sauli. 2013. ConceptCar-projekti: Korin osien valmistaminen biokomposiittimateriaalista. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 4 Kannus, Jarmo. Myyntijohtaja, Merocap Oy, Nummela. Keskustelu 2.4.2013.
- 5 10x VW Volkswagen T5 Transporter Interior Door Card/Trim Panel Fastener Clips. 2013. Verkkodokumentti. eBay Inc. <<http://www.ebay.com/itm/10x-VW-Volkswagen-T5-Transporter-Interior-Door-Card-Trim-Panel-Fastener-Clips-/390641761705>>. Luettu 13.8.2013.
- 6 3M™ Dual Lock™ Reclosable Fastener. 2013. Verkkodokumentti. 3M Company. <<http://www.3m.com/product/information/Dual-Lock-Reclosable-Fastener.html>>. Luettu 13.8.2013.
- 7 Poppit – the simple and discrete Panel Fastener. 2013. Verkkodokumentti. big-Head Bonding Fasteners Ltd <<http://www.bighead.co.uk/english/products/poppit.asp>>. Luettu 20.8.2013.
- 8 PERFECTLY CONCEALED - When you want to save time and money, Poppit® fasteners ensure fast processing. 2012. Verkkodokumentti. KVT-Fastening Sp. z o.o. <<http://www.kvt-fastening.pl/en/News/News/2438d993-e998-16ca-7960-611d1d778462/PERFECTLY-CONCEALED-When-you-want-to-save-time-and-money-Poppit-fasteners-ensure-fast-processing.html>>. Luettu 13.8.2013.
- 9 Moottoriajoneuvojen turvavöiden kiinnityspisteitä koskevan jäsenvaltioiden lain-säädännön lähentäminen. 1975. Euroopan unionin neuvoston direktiivi 76/115/ETY.