

Mikko Aaltonen

Kaupunkiauton etuapurungon suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Auto- ja kuljetustekniikka
Insinöörityö
01.06.2012

Tekijä(t) Otsikko	Mikko Aaltonen Kaupunkiauton etuapurungon suunnittelu
Sivumäärä Aika	30 sivua + 3 liitettä 01.06.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	projekti-insinööri Joel Kontturi projekti-insinööri Harri Santamala
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli suunnitella ConceptCar -projektin autoon etuapurunko. Auton etuapurungolla tarkoitetaan auton koriin liitettävää osaa, joka toimii yhtenä osana auton rakennetta ja useiden eri komponenttien kiinnityspisteenä.</p> <p>ConceptCar -projekti on Metropolia Ammattikorkeakoulussa tuotettava kehitys- ja tutkimustyö. Projektin tavoitteena on luoda ympäristöystävällinen ja tieliikennekelpoinen kaupunkiauto. Auton ensiesittely on tarkoitus järjestää Geneven autonäyttelyssä keväällä 2014.</p> <p>Tässä insinöörityössä kuvataan ConceptCar -projektin taustoja, apurungon eri tehtäviä, auton osan suunnitteluprosessia, valmistus- ja materiaalitekniikkaa ja osalle tehtäviä lujuuslaskelmia. Työn tarkoituksena on myös toimia tukena etuapurungon kokoonpanovaiheessa.</p> <p>Suunnitteluprosessin pääpaino oli 3D-mallin rakentamisessa. Apurungon 3D-malli tehtiin käyttäen hyväksi tilankäyttömallia, jossa auton eri komponenttien sijainnit oli määritetty. Ongelmia 3D-mallin rakentamisessa aiheutti komponenttien sijainnin muuttuminen kesken 3D-mallin rakentamisen.</p> <p>Lujuuslaskelmissa keskityttiin eri ajotilanteissa apurungolle aiheutuviin voimiin ja niiden perusteella tehtyihin FEM-analyysihin. Eri ajotilanteet oletettiin pahimman mahdollisen tilanteen mukaan. FEM-analyysissä huomattiin puutteita rakenteen kestävyudessa, minkä takia kiinnityspisteitä jouduttiin lisäämään.</p> <p>Työn tavoite saavutettiin. Suunnittelutyö saatiin päätökseen ja etuapurungon komponenttien valmistus saatiin aloitettua.</p>	
Avainsanat	ConceptCar, apurunko, suunnittelu, lujuuslaskenta

Author(s) Title	Mikko Aaltonen Designing the Front Subframe for a City Car
Number of Pages Date	30 pages + 3 appendices 1 June 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Joel Kontturi, Project Engineer Harri Santamala, Project Engineer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to design the front subframe for the ConcepCar project. A subframe is a component which is a structural element of a car and many other components are attached to it.</p> <p>The ConceptCar project is research and development work carried out at Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The end result of this project will be an environmentally friendly and road legal car. The car will be ready and it will be unveiled at the Geneva Motor Show in spring 2014.</p> <p>This thesis explains the background of the ConceptCar project and describes different tasks carried out when building the subframe, e.g. the design process of the component, manufacturing and material technics and force calculations for the component. Manufacturing of the final component is described in this thesis and it can be used as a guide when assembling the front subframe</p> <p>The main point during the design process was building a 3D-model of the subframe. The 3D-model was made by using "space usage model" in which different components of the car are located in the right places. Problems for the design process were caused by the change of the location of these other components during the 3D-model building process.</p> <p>In force calculations the main focus was calculating forces for the subframe in different driving situations and making FEM-analysis using these calculations. Different driving situations were assumed to be the worst case possible. The FEM analysis showed that the structure is not strong enough and because of that some mounting points had to be added.</p> <p>As a conclusion the objectives of this thesis were achieved. The design process was finished and manufacturing of different components of the subframe got started.</p>	
Keywords	ConceptCar, subframe, design, force calculations

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	ConceptCar -projekti	1
1.1.1	Projektin tausta	1
1.1.2	ConceptCar -projektin kulku	2
1.2	Tavoitteet	3
1.3	Käytetyt työkalut	3
2	Apurunko	4
2.1	Yleisesti käytettyjä apurunkoja	5
2.2	ConceptCar -autossa käytettävä etuapurunko	6
2.3	Käytettävät etuapurungon kiinnitykset	7
3	3D-mallinnus	8
3.1	3D-mallin rakentaminen	8
3.2	Osien digitointi	10
4	Materiaalin ja valmistustekniikan valinta	11
4.1	Materiaalit	11
4.1.1	Vaaditut ominaisuudet	11
4.1.2	Valitut materiaalit	11
4.2	Valmistustekniikka	12
4.3	Pintakäsittely	14
5	Lujuuslaskenta	15
5.1	Etupurunkoon vaikuttavat voimat	15
5.1.1	Voimat jarrutustilanteessa	15
5.1.2	Voimat kaarreajotilanteessa	18
5.2	FEM-laskenta	20
5.3	Hitsauksen vaikutus lujuuteen	22
5.4	Lujuuslaskelmien yhteenveto	23
6	Etupurungon valmistus	24

7	Yhteenveto	27
	Lähteet	30

Liitteet

Liite 1. EN 1.4031 datasheet, Outokumpu

Liite 2. Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa, Euroinox

Liite 3. SikaPower-4588 datasheet, Sika

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä käydään läpi auton komponentin suunnitteluprosessia, ja se tehtiin osana ConceptCar -projektia. Uuden auton suunnittelu alkutilanteesta valmiiseen lopputuotteeseen on pitkä ja monimutkainen prosessi. Siihen liittyy eri osaajien yhteistyötä ja useita eri toiminnanvaiheita alkukahmotelmien tekemisestä lopputuotteen testaamiseen. Auton jokaisen osan suunnitteluun ja valmistukseen täytyy kiinnittää huomiota, sillä auto on yhtä vahva kuin sen heikoin komponentti.

1.1 ConceptCar -projekti

1.1.1 Projektin tausta

ConceptCar -projekti on Metropolia Ammattikorkeakoulussa toteutettava autoprojekti, jonka lopputuloksena tulee olemaan kestävä kehityksen mukainen kaupunkiauto. Projektin tarkoituksena on tutkia eri valmistusmenetelmiä ja -materiaaleja. Projekti toteutetaan yhteistyössä useiden eri oppilaitosten kesken, kuten Metropolia AMK, Kemi-Tornio AMK ja Aalto-yliopisto. Projektin rahoituksesta vastaa Tekes ja useat eri yritykset.

Metropolia AMK ja sen edeltäjä Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia ovat tuottaneet viimeisen kahden vuosikymmenen aikana useita autoja, joista monet ovat olleet tieliikennekelpoisia. Näiden lisäksi Metropolia AMK:ssa toimii hyvin menestynyt Formula Student -projekti, joka lähes vuosittain suunnittelee ja tuottaa uuden Formula Student -luokan auton oppilaitosten välisiin kansainvälisiin kilpailuihin. Metropolia AMK:n tuottamat autot ovat olleet tekniikaltaan ajankohtaisia ja niiden valmistustekniikat ovat olleet aikaansa nähden uusia. Projektit ovat olleet pääsääntöisesti opiskelijaprojekteja, ja niitä ovat rahoittaneet eri yritykset, säätiöt ja oppilaitokset. Viimeisin auto, jonka Metropolia AMK on toteuttanut, on paljonkin kansainvälistä mainetta saanut sähköurheiluauto E-RA.

1.1.2 ConceptCar -projektin kulku

Projekti alkoi syksyllä 2010 Metropolia AMK:ssa AT08-ryhmän CDIO-kurssin yhtenä aiheena, jossa tehtävänä oli luoda puitteet ympäristöystävällisen kaupunkiauton suunnittelulle ja valmistukselle. Tarkoituksena oli käyttää uusia materiaaleja valmistuksessa, auton kokoluokka sijoittuisi C-segmenttiin ja polttoaineena käytettäisiin biodieseliä. Auton tulisi myös olla julkistettaessa ajankohtainen, ei tulevaisuuden visio. Tilaajan toiveena oli myös, että laatutaso pysyisi korkeana ja mahdollisimman lähellä tuotantoautoja. CDIO-kurssin aikana kartoitettiin olemassa olevia ratkaisuja, suunniteltiin tulevan auton ominaisuuksia ja aloitettiin koko auton 3D-mallin rakentaminen. Tekniikaksi valittiin Volkswagen-konsernin 3-sylinterinen 1.2 -litrainen turbodiesel, joka muokattaisiin toimimaan 2. sukupolven biodieselillä. Samalla päätettiin hankkia projektille luovuttaja-auto Volkswagen Polo, josta on tarkoitus moottorin lisäksi lainata eri komponentteja tulevaan autoon. Kesällä 2011 aloitettiin mock-up (kuva 1) tilankäyttömallin rakentaminen.



Kuva 1. Ajokuntoinen tilankäyttömalli mock-up.

Kesän 2011 lopulla oli mock-up ajokuntoinen ja jatkossa mock-up tulee toimimaan valmistuvien osien koepenkinä. Kesän jälkeen alkoi varsinaisten komponenttien suunnitteluprosessi ja myös uusia jäseniä rekrytoitiin mukaan projektiin. Auton on tarkoitus valmistua kevään 2014 aikana, ja sen ensiesittely tapahtuu samana keväänä Geneven autonäyttelyssä.

1.2 Tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ConceptCar -projektin autoon ajotilanteita kestävä etuapurunko. Etuapurungon tehtävänä on toimia etutuennan alatukivarsien, moottorin ja hammastangon kiinnityspisteenä. Etuapurunko toimii myös korin vahvisteena.

Tässä opinnäytetyössä pääpaino on etuapurungon 3D-mallintamisessa, etuapurunkoon kohdistuvien voimien laskennassa ja lujuuslaskennassa. Työ on tehty tiiviissä yhteistyössä muiden ConceptCar -projektin henkilöiden, tavarantoimittajien ja valmistuksesta vastaavien henkilöiden kanssa.

1.3 Käytetyt työkalut

Etuapurungon suunnittelussa on käytetty mm. seuraavia PC-työkaluja:

- Catia V5R19, 3D-mallinnus
- Abaqus EF-1, FEM-laskenta
- Smarteam, PLM-ohjelmisto
- Rhinoceros, digitointi-ohjelmisto

Näiden lisäksi apuna käytettiin 3D-mittakättä, jolla tehtiin osien digitointia.

2 Apurunko

Apurunko toimii yhtenä osana auton korirakennetta (kuva 2). Sen tehtävänä on toimia eri komponenttien kiinnityspisteenä ja jakaa ajotilanteissa syntyviä voimia tasaisemmin auton koriin. Jos esimerkiksi alustan osat kiinnittyisivät suoraan koriin, vaatisi se korilta paljon suurempia vaatimuksia lujuuden suhteen. Lisäksi erillisellä apurungolla saadaan lisättyä ajomukavuutta kumipuslien avulla ja parannettua törmäysominaisuuksia, minkä lisäksi varsinkin suurtuotantoautoissa valmistusta pystytään helpottamaan ja nopeuttamaan. Apurunkoa käyttämällä pystytään vähentämään auton massaa, koska korin rakenteiden ei tarvitse olla niin massiivisia.



Kuva 2. Peugeot 3005:n korirakenne [1].

Apurungon tehtävät ja kiinnitettävät komponentit riippuvat autosta ja sen rakenteesta, mutta pääsääntöisesti apurunkoon kiinnittyy eri alustan ja ohjauksen osia ja moottorin tuki. Se voi sijaita sekä etu- että taka-akselilla riippuen lähinnä käytetystä akselistomallista. Yleisesti McPherson-jousitus, monivarsituenta, päällekkäiset kolmiotukivarret ja muut hieman monimutkaisemmat akselistorakenteet vaativat apurungon käyttämistä, koska niissä on useita kiinnityspisteitä. Jäykkä akseli tai

yhdystukiakselisto toimivat itsessään "runkona" eivätkä useimmiten tarvitse apurunkoa. On kuitenkin muistettava, että jousitus ei ole ainoa asia, joka määrää apurungon käyttöä. Apurunko voi olla myös pelkän auton moottorin tukena tai osa erikoisempaa kokonaisuutta.

2.1 Yleisesti käytettyjä apurunkoja

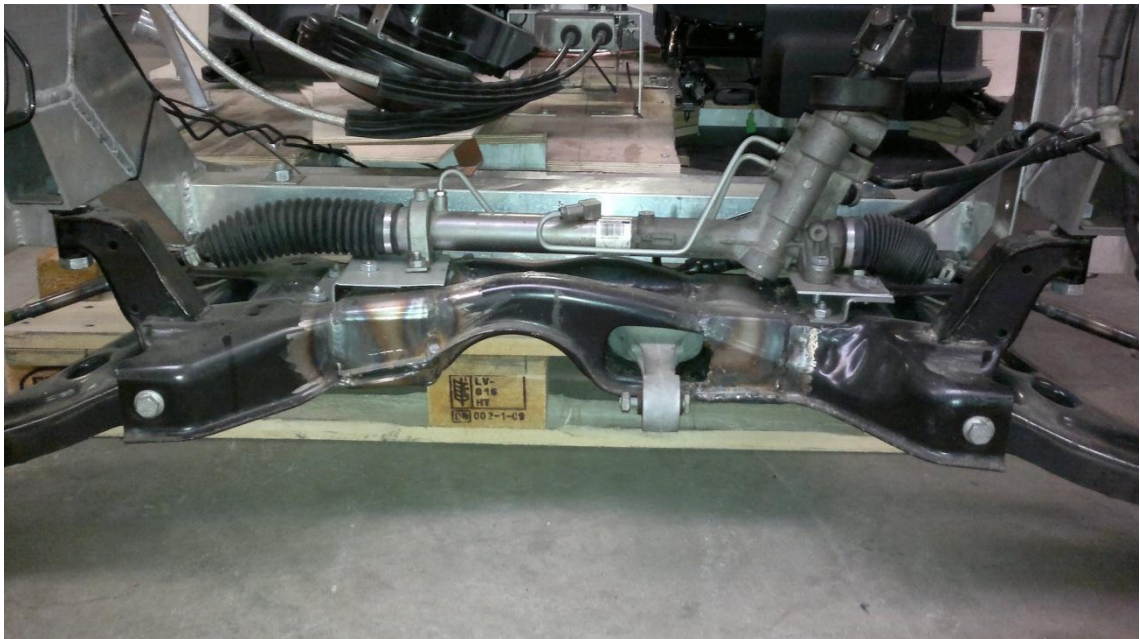
Erilaisia apurunkorakenteita on monia, mutta useimmiten apurungot ovat joko metalliarkeista muotoiltuja tai putkista muokattuja komponentteja (kuva 3). Niiden muoto ja ominaisuudet vaihtelevat autosta riippuen, mutta yleensä ne ovat muita korirakenteita vahvempia komponentteja niihin vaikuttavien suurten voimien takia. Kiinnitys koriin hoidetaan yleisesti ruuviliitoksilla, jotta asentaminen ja huoltotoimenpiteet olisivat mahdollisimman yksinkertaisia ja nopeita.



Kuva 3. Opel Astra J:n etuakselisto [2].

2.2 ConceptCar -autossa käytettävä etuapurunko

ConceptCar -autossa päädyttiin käyttämään melko samantyyppistä ratkaisua, jollainen löytyy myös luovuttaja-autossa käytetystä VW Polosta. Etuapurungon mallia ei haluttu muuttaa radikaalisti, koska tulevassa autossa aiotaan käyttää VW Polosta lainattua tekniikkaa ja alustan osia. Mock-up -tilankäyttömallissa käytettiin luovuttaja-autosta otettua ja muokattua versiota etuapurungosta (kuva 4). Lainattua etuapurunkoa jouduttiin muokkaamaan, koska ConceptCar -auton raideleveys, alustan ja ohjauksen komponenttien sijainnit olivat muuttuneet luovuttaja-autosta. Kuitenkin todettiin, että kyseinen muokattu etuapurunko ei olisi turvallinen ja varmatoiminen ratkaisu tulevassa ConceptCar -autossa.



Kuva 4. Muokattu VW Polon apurunko.

Taka-akselina ConceptCar -autossa käytetään yhdystukiakselia, joten sen takia ei taakse tarvita apurunkoa. Auton takaosaan ollaan kuitenkin valmistamassa erillisillä pyörillä toimivaa parkkisysteemiä, joka tulee tarvitsemaan oman apurungon. Parkkisysteemin tarkoituksena on helpottaa auton taskuparkkeeraamista ja U-käännöksen tekemistä. Tämä apurunko todennäköisesti rakennetaan teräsputkista sen monimutkaisen rakenteen vuoksi.

2.3 Käytettävät etuapurungon kiinnitykset

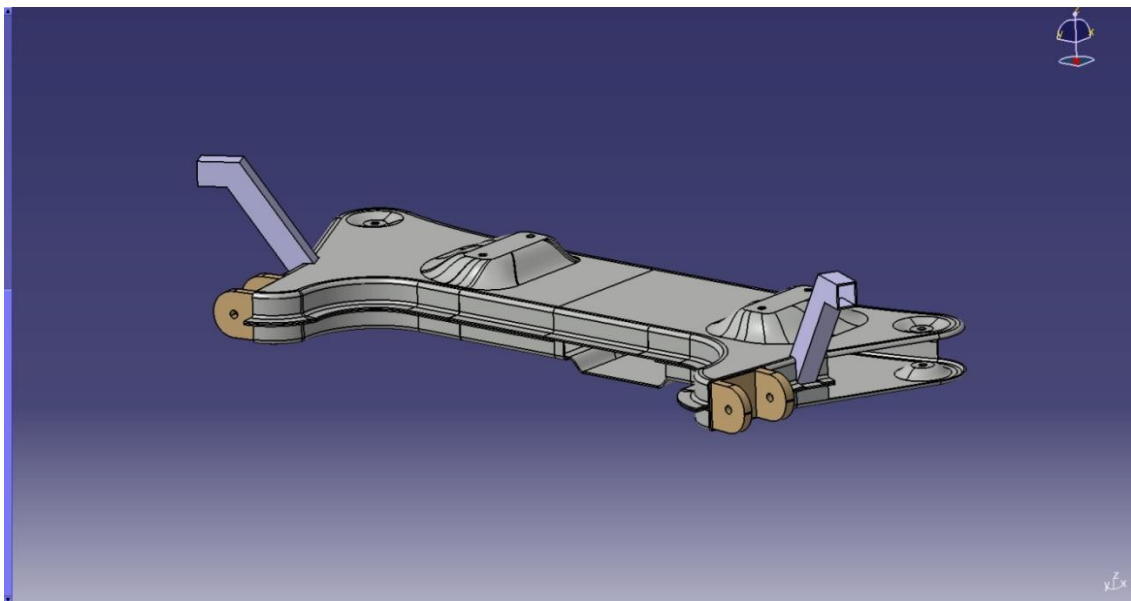
Kiinnitys koriin haluttiin tehdä ruuviliitoksilla, sillä etuapurunko tullaan ensin testaamaan mock-up -tilankäyttömallissa, minkä jälkeen se vasta siirretään varsinaiseen koriin. Lisäksi ruuviliittäminen helpottaa valmiin auton huolto- ja korjaustoimenpiteitä.

Aluksi tarkoitus oli kiinnittää etuapurunko edestä ruuveilla kiinni eturunkoon ja takaa koriin Volkswagen Polon kiinnityspaloilla. Palat käännettiin toisinpäin kuin VW Polossa, koska etuapurungon sijainti koriin nähden oli paljon korkeammalla ConceptCar-autossa kuin VW Polossa. Myöhemmin tässä insinööriyössä (luku 5.2) todetaan, että nämä kiinnitykset eivät ole riittävät ja vaativat vielä lisää ruuviliitoksia auton eturunkoon. Käytännössä etuapurunko tullaan kiinnittämään ns. etusarvista ja alatukivarren takakiinnityksestä auton eturunkoon ja VW Polon takakiinnikkeillä auton koriin.

3 3D-mallinnus

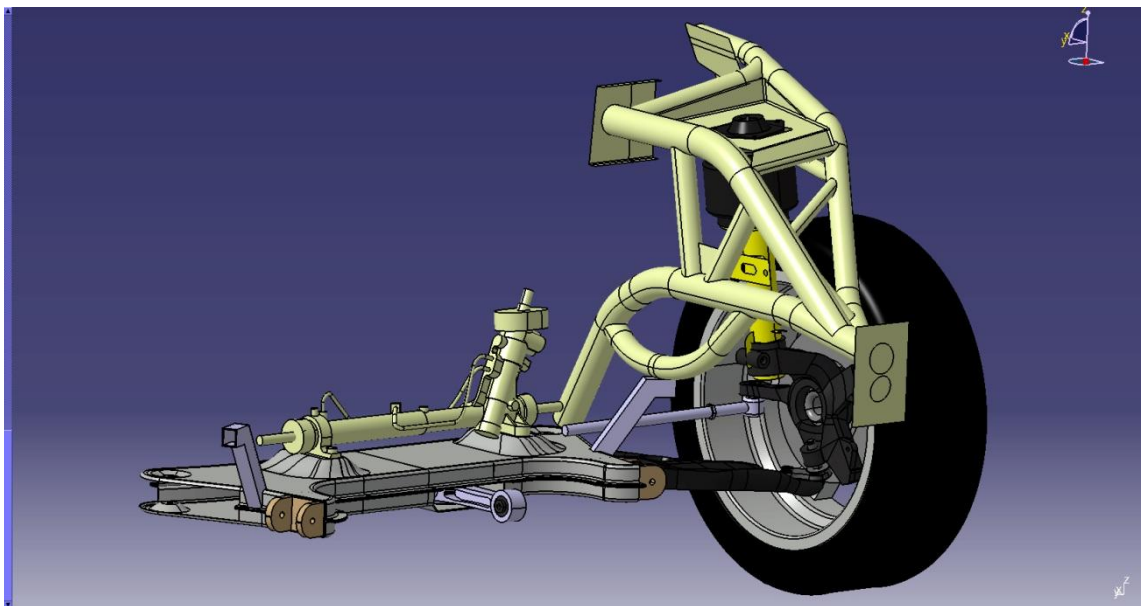
3.1 3D-mallin rakentaminen

Etupurungon 3D-mallin suunnittelulähtökohtina olivat annetut alustan ja ym. komponenttien kiinnityspisteet ja muiden auton osien sijainti. Haluttiin myös, että etupurunko olisi mahdollisimman pyöreämuotoinen, koska terävissä kulmissa jännitykset kasvavat suuriksi voimien vaikutuksessa. Lisäksi etupurungon tuli olla mahdollisimman pienikokoinen, sillä auton etuosasta oli tulossa melko lyhyt ja näin ollen tila auton etuosassa on melko vähäinen. Osan painolle ei annettu ohjetta, koska haluttiin keskittyä osan kestävyYTEEN. Catiasta saadun arvion mukaan etupurungon kokonaisuudessa tulisi olemaan noin 13,5 kg. 3D-mallin (kuva 5) tekeminen aloitettiin käyttämällä hyväksi aikaisemmin tehtyä tilankäyttömallia, josta nähtiin käytettävä tilan määrä. Koska alustan komponenttien ja hammastangon sijainti vaikuttavat oleellisesti etupurungon muotoon, täytyi myös näiden sijainnin olla oikealla paikalla tilankäyttömallissa. Nämä komponentit määrsivät hyvin pitkälti etupurungon muodon. Suunnittelussa pyrittiin ottamaan huomioon myös tuleva valmistustekniikka. Tämä tarkoitti käytännössä sitä, että osa tehtiin kahdesta suuremmasta levymäisestä osasta ja erillisistä kiinnikkeistä koriin. Myös monimutkaisia muotoja pyrittiin välttämään valitun valmistustekniikan takia.



Kuva 5. Lopullinen 3D-malli etupurungosta.

Rakennetta vahvistamaan lisättiin vahvikeputket hammastangon ja moottorin pyörähdyksenvaimentimen ruuvien kohdalle. Nämä putket sekä vahvistavat rakennetta että ehkäisevät etuapurungon painumista kasaan kiinnitysruuveja kiristettäessä. Etuapurungosta tehtiin myös erillinen versio valmistusta varten, jossa ei ollut leikkauksia kiinnitettäviä komponentteja varten. Etuapurunkoon kiinnittyvät alatukivarret, moottorin pyörähdyksen vaimennin ja hammastanko (kuva 6). Alatukivarsien etukiinnityksiä varten on etuapurungossa erilliset kiinnitysinsertit. Etuapurunkoon tullaan mahdollisesti kiinnittämään myös kallistuksenvakaaja, mutta tässä vaiheessa suunnittelua sen sijainti ei ollut tiedossa.



Kuva 6. Auton etuakselisto.

Ongelmia ja lisää työtä mallintamisessa aiheutti mm. moottorin ja vaihteiston sijainnin muuttuminen koko auton 3D-mallissa kesken etuapurunkomallin tekemisen. Lisäksi Smarteam-ohjelmiston ajoittaiset käyttövirheet projektin sisällä hidastivat työn tekoa. Smarteam on tuotteen elinkaarenhallintaohjelmisto, jolla esimerkiksi pystytään hallitsemaan osien versioita ja historiaa. Sen avulla on myös mahdollista muokata yhden kokonaisuuden eri osia samaan aikaan, kuitenkin niin, että vain yksi henkilö kerrallaan voi muokata yhtä osaa.

3.2 Osien digitointi

Koko auton 3D-mallia varten täytyi VW Polosta otetut alustan osat ja kiinnikkeet digitoida ja mallintaa 3D-muotoon. Digitoinnissa otetaan halutusta osasta mittapisteitä digitointiohjelmaan siihen tarkoitetulla mittakädellä. Näiden mittapisteiden avulla pystytään tekemään 3D-malli digitoidusta osasta ja niitä otetaan sen verran, että osan muodot ja kriittiset mitat saadaan tietoon.

Kiinnikkeiden digitointi tehtiin Rhinoxeros-ohjelmalla, mutta itse 3D-mallit tehtiin kuitenkin Catialla vähäisen Rhinoxeros käyttökokemuksen takia. Alustan osat oli digitoitu aikaisemmin projektissa eri ohjelmaa käyttäen. Kiinnikkeen mallin digitoinnin ja mallinnuksen onnistuminen varmistettiin tekemällä kappaleesta negatiivinen 3D-tuloste (kuva 7), jotta voitiin todeta osan istuvan korin ja apurungon muotoihin mahdollisimman hyvin. Mallinnus todettiin onnistuneeksi.



Kuva 7. Etuapurungon takakiinnikkeen mallinnuksen testaus 3D-tulosteen avulla.

4 Materiaalin ja valmistustekniikan valinta

4.1 Materiaalit

4.1.1 Vaaditut ominaisuudet

Käytettävältä materiaalilta vaadittiin hyvää kestävyyttä, muokattavuutta ja ympäristöystävällisyyttä. Päädyttiin käyttämään ruostumatonta terästä, jolta löytyvät kyseiset ominaisuudet. Vaikka ruostumattoman teräksen valmistus ei välttämättä ole kovinkaan ympäristöystävällistä, niin sen kierrätysominaisuudet ovat kuitenkin hyvät ja korroosionkestävyys erinomainen. Näiden ominaisuuksien lisäksi materiaalilta vaadittiin hyvää hitsattavuutta. Materiaalia valittaessa tuli ottaa huomioon seuraavia ominaisuuksia:

- Materiaalin kestävyys ja myötöraja. Myötörajalla tarkoitetaan materiaalin kykyä kestää jännitystä ilman pysyviä muodonmuutoksia. Myötöraja ($R_p 0,2$) ilmoitetaan yleensä Mpa:ina.
- Muokattavuus. Materiaalin kovuus ja kestävyys ei voi kuitenkaan olla liian suuri, koska se aiheuttaisi ongelmia osan muotoilussa ja valmistuksessa.
- Liitosominaisuudet. Koska osat tullaan yhdistämään hitsaamalla ja liimaamalla, täytyy materiaalien olla hyvin hitsattavaa.

4.1.2 Valitut materiaalit

Apurungon ala- ja yläosa päätettiin valmistaa Outokummun EN 1.4301 -teräksestä, jonka myötölujuus hehkutetussa tilassa on 230 Mpa [liite 1]. Materiaalia käytetään kuitenkin lujitettuna, jolloin myötölujuus kasvaa 750 Mpa:iin. Murtoraja kyseiselle materiaalille lujitettuna on min. 900 Mpa ja max. 1050 Mpa. EN 1.4031 valittiin materiaaliksi, koska siitä löytyvät tarvittavat lujuusominaisuudet lujitettuna ja se on hyvin hitsattavaa. Se myös lujittuu lisää muokattaessa austeniittisen rakenteensa takia, ja lisäksi kyseinen materiaali oli nopeasti saatavilla. Levyn paksuudeksi valittiin 2 mm, joka on hyvä kompromissi kestävyden ja valmistustekniikan kannalta.

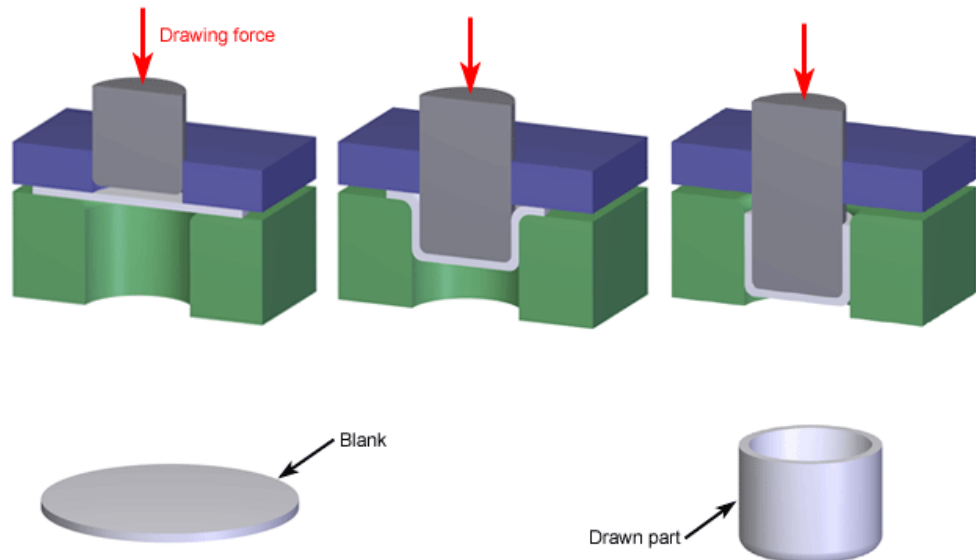
Inserttien materiaaliksi valittiin ruostumattomasta teräksestä valmistettu neliötanko, jonka mitat ovat 100 * 100 mm. Kyseinen materiaali löytyy Thyssen Gruppin valikoimasta. Kiinnityssarvet valmistetaan Ruukin valikoimasta löytyvästä suorakaideputkesta, jonka mitat ovat 50 * 30 mm ja paksuus 3 mm. Sekä inserttien että kiinnityssarvien teräslaatuena käytetään EN 1.4301:tä.

Inserttien ja kiinnityssarvien hitsaukseen tarvittava lisäaine valittiin luettelosta [liite 2, s. 2]. Hitsaussauman vaikutuksista lujuteen käydään läpi luvussa 5.3. Koska etuapurunko koostuu ylä- ja alaosasta, jotka liitetään yhteen pistehitsaamalla, päätettiin pistehitsauksen tukena käyttää liimaa. Liiman valintaan vaikutti liiman kovuus ja saatavuus. Haluttiin, että liima olisi niin sanottua High Strength -liimaa, joka ei joustaisi rasituksessa. Saatavuus oli liiman valinnassa myös melko määräävä tekijä, koska tämän tyyppiseen liimaukseen käytettävät liimat myydään yleensä isoina erinä suoraan valmistajille. Liimaksi valittiin Sikan SikaPower 4588, jonka vetolujuus on 30 Mpa [liite 3, s. 1].

4.2 Valmistustekniikka

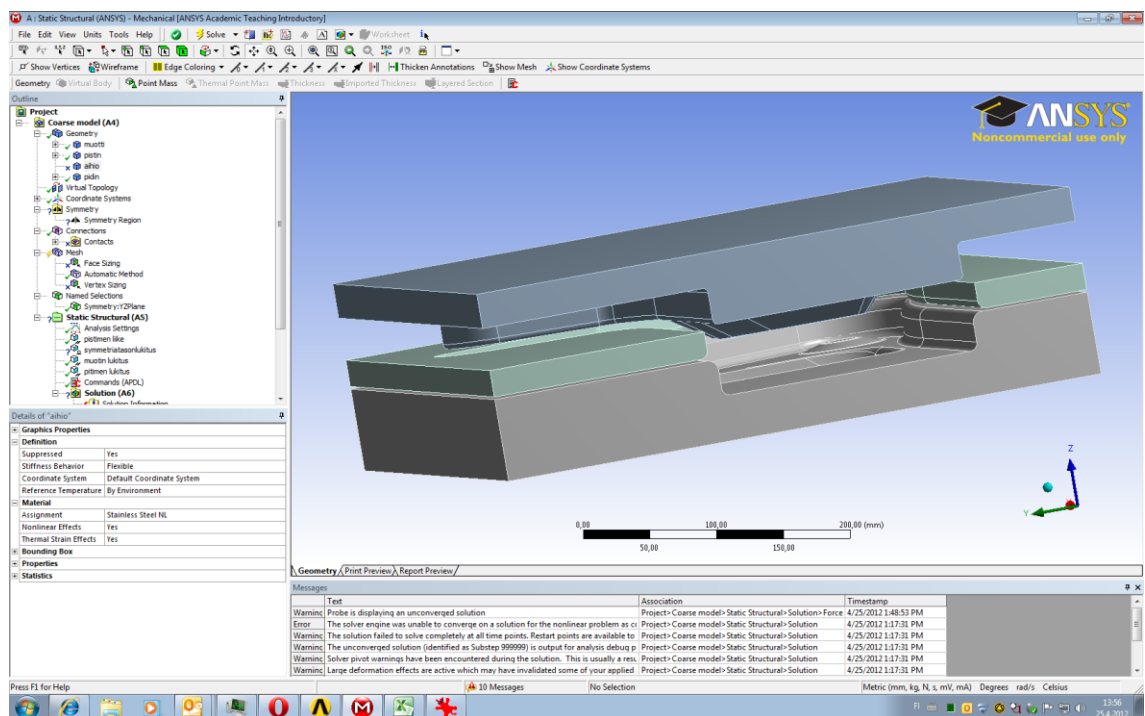
Kemi-Tornio AMK:n ollessa mukana projektissa päädyttiin käyttämään sen valmistusosaamista etuapurunon ala- ja yläosan valmistuksessa. Sen valikoimasta löytyy mm. hydroformauslaitteisto, jolla saadaan muokattua teräslevyistä hyvälaatuisia ja mittatarkkoja tuotteita. Valitettavasti ongelmat hydroformauslaitteen kanssa aiheuttivat lopulta sen, että osa päädyttiin valmistamaan perinteisellä syväveto-tekniikalla. Tämä taas aiheutti sen, että tukivarren etukiinnitys joudutaan valmistamaan erikseen teräsblokeista koneistamalla. Etuapurunon ala- ja yläosia tullaan valmistamaan 2 kappaletta mahdollisten kokoonpanovirheiden varalle.

Syväveto on varsinkin autoteollisuudessa hyvin yleisesti käytetty metalliosien muokkaustekniikka. Esimerkiksi yleisesti useat auton korin eri osat valmistetaan tällä tekniikalla. Syvävedossa osasta tehdään haluttu painamalla levymäistä aihiota muotilla (kuva 8). Sen hyvä puoli on se, että kappaleen seinämävahvuus ei muutu radikaalisti ellei toisin haluta. Seinämävahvuuden muuttumiseen pystytään vaikuttamaan muovattavan materiaalin liikkumista kontrolloimalla.



Kuva 8. Yksinkertainen syvävetoprosessi [3].

Mahdollisia ongelmia syvävedossa saattaa tulla siinä vaiheessa, jos osa on liian syvä. Tällöin levyaiho saattaa repeytyä painimen reunojen kohdalta. Ryppyntymistä saattaa myös aiheutua teräslevyn reunoille, jos levyaiho ei ole oikeanmuotoinen valmiiseen osaan nähden. [4, s. 24–25.] Huonoksi puoleksi voidaan siis todeta, että kovinkaan monimutkaisia ja yksityiskohtaisia muotoja ei pystytä tällä tekniikalla valmistamaan.



Kuva 9. Syvävedon simulointi.

Muottien materiaalina tullaan käyttämään koneistettuja teräsblokkeja. Yleensä terästä käytetään muottimateriaalina vain suurien määrien valmistukseen suurten materiaali- ja valmistuskustannusten takia, mutta sen todettiin olevan tässä tapauksessa ainoa tarpeeksi kestävä muottimateriaali. Etuapurungon suuren koon takia muotti joudutaan todennäköisesti valmistamaan useammasta eri osasta. Muottien suunnittelu, valmistus ja syvävedon simulointi jätettiin Kemi-Tornio AMK:n tehtäväksi (kuva 9).

4.3 Pintakäsittely

Etuapurunko päätettiin pintakäsitellä peittaamalla. Peittäus tehdään sen jälkeen, kun etuapurunko on hitsattu valmiiksi. Teräksen peittäuksessa typpi- ja fluorivetyhappo seoksella poistetaan käsiteltävän kappaleen pinnalta pieni kerros metallia pois. Tämän jälkeen passivoinnilla syntyy kappaleen pinnalle ruosteelta suojaava oksidikerros. Oksidikerros syntyy kappaleen pintaan ruostumattomasta teräksestä löytyvän kromin ja ilman hapen vaikutuksesta. Passivointi voidaan tehdä hapettavan hapon avulla, mutta sitä tapahtuu myös luonnostaan. Tämän takia esimerkiksi naarmutettaessa ruostumatonta terästä syntyy naarmutetulle pinnalle luonnostaan uusi oksidikerros. [5, s. 2–3.]

Peittauksen tarkoitus tässä tapauksessa on palauttaa ruostesuojaus hitsatuista kohdista. Käytännössä koko etuapurunko tullaan peittämään, koska peittäus tapahtuu joko uppo- tai ruiskutusmenetelmällä. Etuapurunko tullaan myös mahdollisesti maalaamaan suojamaalilla, koska etuapurunko sijaitsee auton alla ja on alttiina kiveniskuille ja muille kolhuille.

5 Lujuuslaskenta

5.1 Etuapurunkoon vaikuttavat voimat

Voimia laskettaessa oletettiin pahin mahdollinen tilanne, jossa pito on parhaimmillaan. Eri ajotilanteet sovittiin yhdessä projektin kanssa yhteneväiseksi. Koska auton kokonaismassaa ja painosuhdetta ei vielä tarkasti tiedetty, piti nämä tiedot arvioida. Auton kokonaismassaksi arvioitiin 1600 kg ja painosuhteeksi 60 % edessä ja 40 % takana. Arviot perustuvat luovuttaja-auton VW Polon arvoihin. Arvioitiin, että painopisteen etäisyys etuakselilta on 988 mm, taka-akselilta 1482 mm ja painopisteen korkeudeksi 592 mm. Suurimmaksi hidastuvuudeksi jarrutustilanteessa arvioitiin 12 m/s^2 ja suurimmaksi sivuttaiskiihtyvyydeksi $9,81 \text{ m/s}^2$. Kitkakertoimen arvioitiin olevan 1. Nämä arviot tehtiin Modern Vehicle Design -kirjan [6, s. 302] ja Auto Bild -lehden rengastestin perusteella [7, s. 27]. ConceptCar -auton akseliväli on 2470 mm ja raideväli 1550 mm, jotka olivat aikasemmin määritetty auton alustageometriaa suunniteltaessa.

Kun etuapurunkoon vaikuttavia voimia alettiin laskea, todettiin, että suurimmat voimat tulevat jarrutus- ja kaarreajotilanteissa. Periaatteessa pahin mahdollinen tilanne olisi näiden kahden edellisen yhdistelmä, mutta käytännössä renkaan kitkaominaisuudet eivät riitä molempien maksimiarvoihin samanaikaisesti. Kiihdytystilanteen voimat todettiin pienemmiksi kuin jarrutustilanteessa, joten niitä laskelmia ei tässä työssä käsitellä.

Pystysuuntaiset voimat eivät myöskään vaikuta olennaisesti etuapurunkoon, pientä jousituksen geometrian tekemää voimavaikutusta lukuun ottamatta. Laskettaessa etuapurunkoon vaikuttavia voimia oletettiin, että McPherson-jousituksessa alatukivarsi ottaa vastaan kaikki pitkittäiset ja poikittaiset voimat renkaalta [6, s. 285].

5.1.1 Voimat jarrutustilanteessa

Laskettaessa jarrutusvoimia, täytyi ensimmäiseksi laskea renkaan tiehen vaikuttava tukivoima jarrutustilanteesta. Tukivoima määräytyy auton massasta etuakselilla ja dynaamisesta painonsiirrosta [6, s. 132]. Seuraavassa kaavassa (1) lasketaan etuakselilla vaikuttavaan tukivoimaan jarrutustilanteessa.

$$R_F = \frac{Mg(L - a) + Mh\left(\frac{dV}{dT}\right)}{L} \quad (1)$$

R_F on etuakselilla vaikuttava tukivoima

M on auton kokonaismassa

g on putoamiskiikkyvyys

L on auton akseliväli

a on etuakselin etäisyys auton painopisteestä

h on auton painopisteen korkeus

dV/dT on auton hidastuvuus

Kun sijoitetaan auton tiedot, saadaan

$$R_F = \frac{1600kg * 9,81 m/s^2 * (2,47 m - 0,988m) + 1600kg * 0,592m * (12 m/s^2)}{2,47m} = 14\,019 N$$

Yksittäisellä etuakselin renkaan tukivoima on tällöin puolet etuakselin tukivoimasta ja jarrutusvoima on tukivoima kerrottuna kitkakertoimella [6, s. 136].

$$F_{\mu} = R_{F1} * \mu = 7009,5 N * 1 = 7009,5 N \quad (2)$$

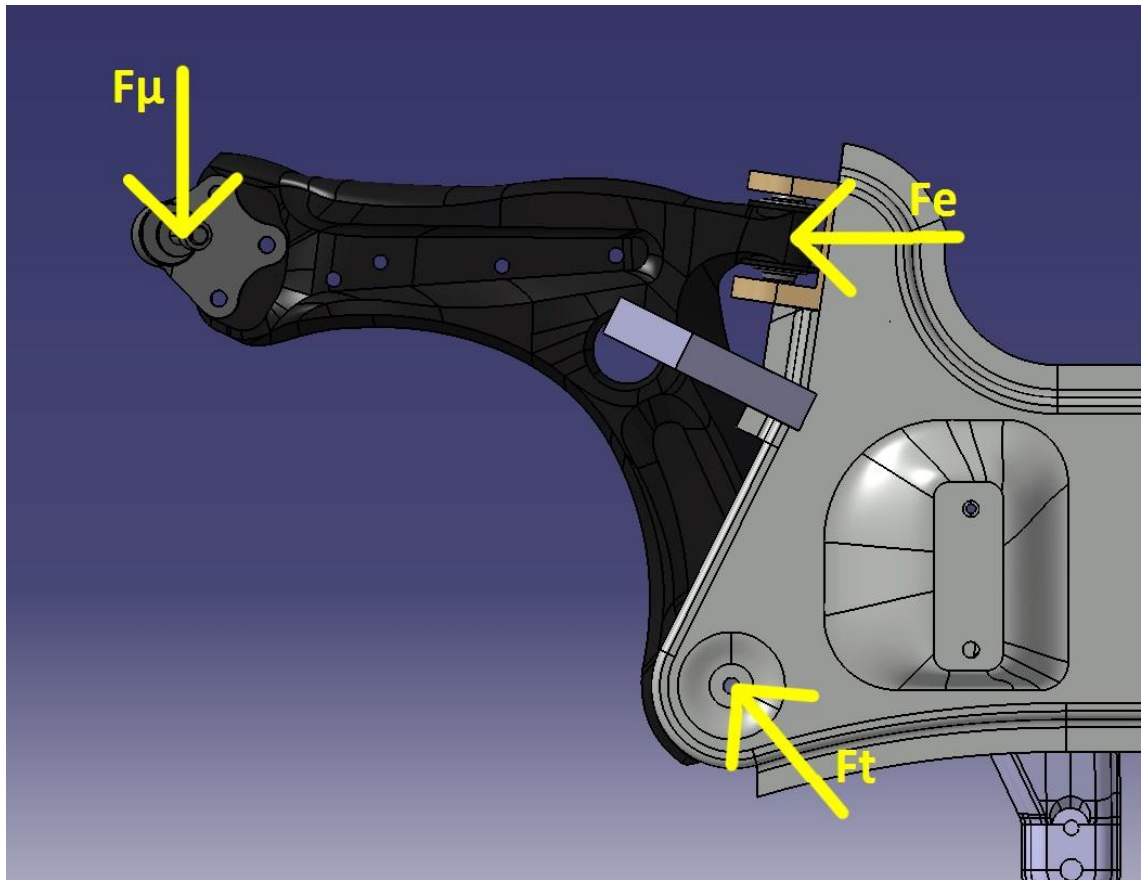
R_{F1} on yksittäisen eturenkaan tukivoima

μ on kitkakerroin

F_{μ} on tien ja renkaan välissä vaikuttava jarrutusvoima

Kun renkaalle on laskettu jarrutusvoima, voidaan laskea tukivarren kiinnikkeille vaikuttavat voimat. Jotta nämä voimat saatiin laskettua, täytyi alapallonivelen ja kiinnityskohtien väliset mitat tietää. Nämä tiedot saatiin alatukivarren 3D-mallista.

Etuapurungolle jakautuvia voimia laskettaessa on siis käytetty edellä mainittua oletusta, että alatukivarsi ottaa vastaan kaikki pitkittäiset voimat renkaalta (kuva 10).



Kuva 10. Voimien jakautuminen alatukivarrella jarrutustilanteessa.

Lasketaan momentti takakiinnityksen suhteen:

$$F_{\mu} * l + F_e * (h_2 - h_1) = 0$$

(3)

z on F_{μ} suuntaisen voiman ja takakiinnityksen välinen etäisyys

F_e on etukiinnityksellä vaikuttava voima

F_t on takakiinnityksellä vaikuttava voima

h_1 on F_e suuntaisen voiman ja alapallonivelen välinen etäisyys

h_2 on takakiinnityksen ja alapallonivelen etäisyys F_{μ} suunnassa

Kun sijoitetaan auton tiedot, saadaan

$$F_e = -F_\mu * \frac{z}{h_2 - h_1} = -7009,5 \text{ N} * \frac{0,35\text{m}}{(0,278\text{m} - 0,002\text{m})} = -10\,360 \text{ N}$$

Tämän jälkeen voidaan laskea takakiinnitykselle vaikuttava voima voimatasapaino laskulla:

$$F_t = F_\mu - F_e = 7009,5 \text{ N} - (-10\,360 \text{ N}) = 17\,363 \text{ N} \quad (4)$$

Näiden laskelmien perusteella todetaan, että jarrutustilanteessa takakiinnitykseen kohdistuu 17 363 N:n suuruinen puristusvoima ja etukiinnitykseen kohdistuu 10 360 N:n suuruinen vetovoima. Voimien suunnat ovat kohtisuoraan alatukivarren kiinnitysten ja alapallonivelen välillä.

5.1.2 Voimat kaarrejaotilanteessa

Kaarrejaotilanteessa on oletettu, että auton koko akselipaino on ulommalla renkaalla [6, s. 131]. Seuraavassa kaavassa (5) lasketaan renkaan ja tien välillä vaikuttava voima kaarrejaotilanteessa.

$$F_s = \frac{Mgtb}{2h(a + b)} \quad (5)$$

F_s on renkaan ja tien välillä vaikuttava voima

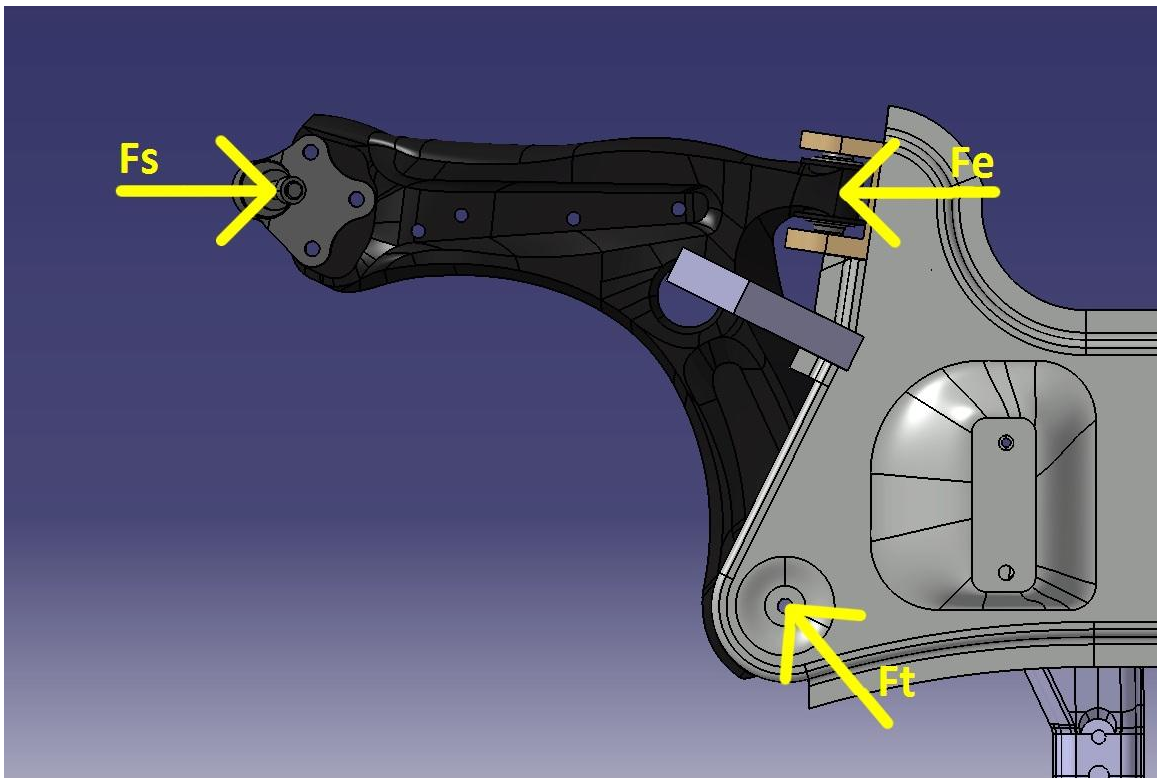
t on raideväli

b on taka-akselin etäisyys auton painopisteestä

Kyseinen kaava (5) laskee renkaan ja tien välisen voiman etuakselilla kaarreajotilanteessa, jossa auton sisärenkailla ei ole enää tukivoimaa ja auto on melkein kaatumassa. Kun sijoitetaan auton tiedot, saadaan

$$F_s = \frac{1600kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,155m * 0,1482m}{2 * 0,592m(0,998m + 0,1482m)} = 12\,329\,N$$

Kun tiedetään F_s , voidaan laskea apurungon kiinnityksille vaikuttavat voimat. Tässä kohtaa on käytetty jarrutustilanteessakin hyödynnettyä oletusta, että alatukivarsi ottaa vastaan kaikki auton pitkittäiset ja poikittaiset voimat etuakselilla (kuva 11).



Kuva 11. Voimien jakautuminen kaarreajossa

Lasketaan momentti takakiinnityksen suhteen:

$$F_s * h_2 - F_e * (h_2 - h_1) = 0$$

(6)

$$F_e = \frac{F_s * h_2}{h_2 - h_1} = \frac{12\,329\,N * 0,25m}{0,25m - 0,01m} = 12\,842\,N$$

Tämän jälkeen voidaan laskea takakiinnitykselle vaikuttava voima voimatasapaino laskulla:

$$F_t + F_e - F_s = 0$$

(7)

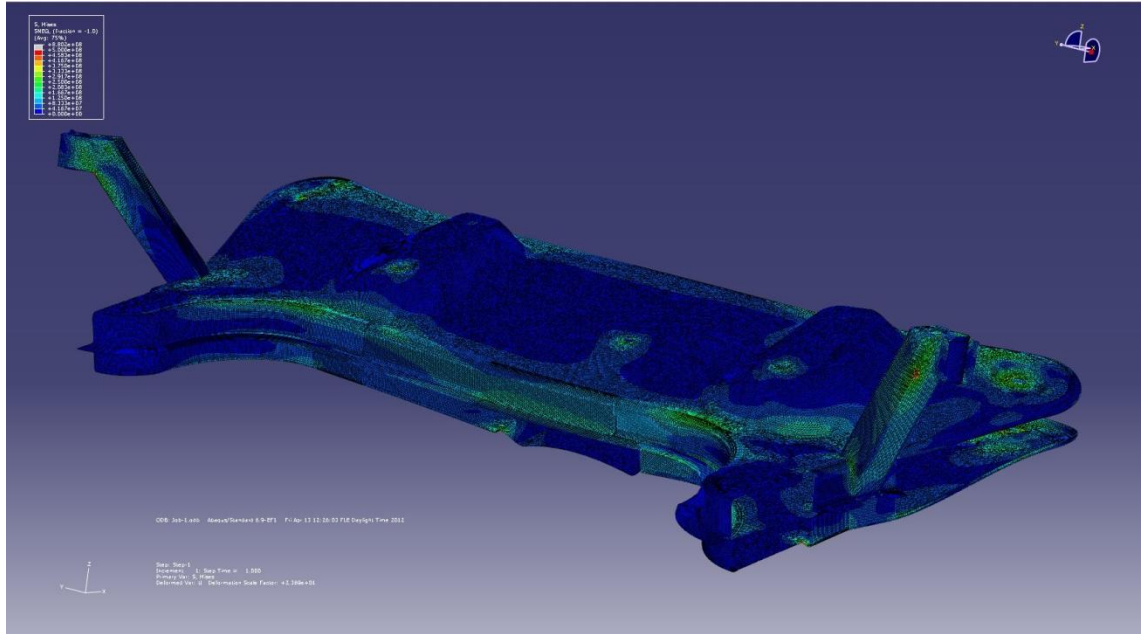
$$F_t = F_e - F_s = 12\,842\,N - 12\,329\,N = -514\,N$$

Tuloksista huomataan, että kaarreajotilanteessa etukiinnitykselle tulee 12 842 N:n suuruinen puristusvoima ja takakiinnitykselle 514 N:n suuruinen vetovoima.

5.2 FEM-laskenta

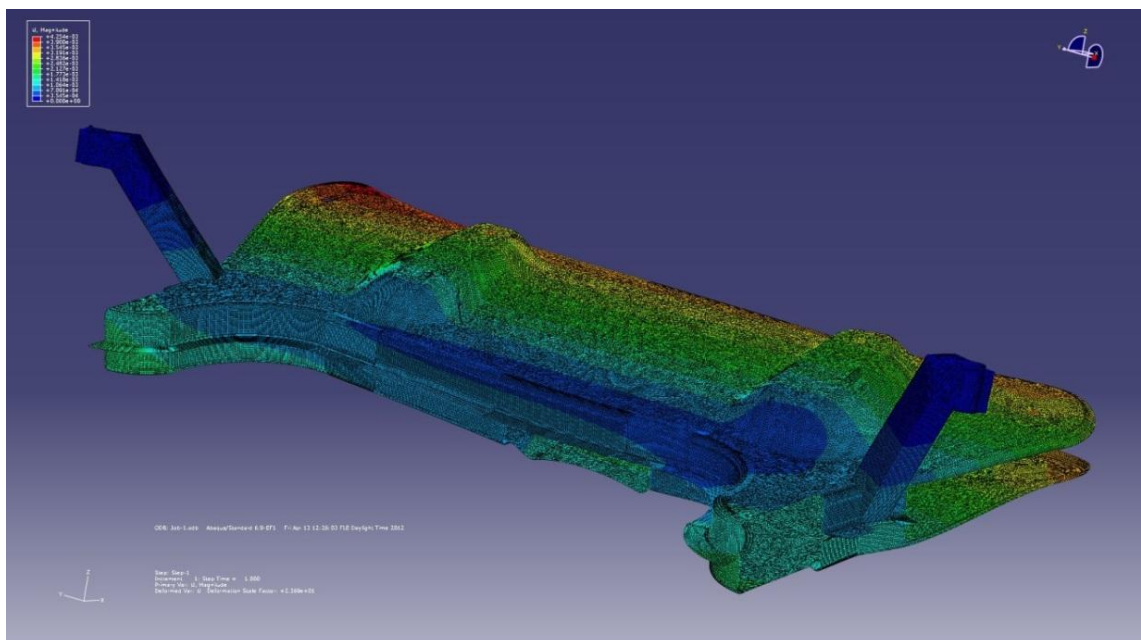
FEM-laskentaa varten täytyi alkuperäistä etuapurungon 3D-mallia muokata, sillä Abaqus ohjelmassa kannattaa käyttää pintamalleja ja alkuperäisessä mallissa oli käytetty osien ulkopintoja. Tämän takia pistehitsiliima-kohdat ovat pintamallissa irti toisistaan ja tämän tapaista rakennetta ei Abaqus ymmärrä. Lisäksi FEM-laskentaa varten mallinnettiin kuvitteelliset kiinnityspultit alatukivarrelle ja korikiinnitykseen.

Materiaalin mitoituslaskelmissa voidaan myötörajana käyttää 0,2 %:n venymisrajaa [8, s. 231], joka tässä tapauksessa on itse etuapurungolla 750 MPa. Muokatuissa kohdissa myötöraja on vielä suurempi, mutta koska tarkkaa tietoa lujuuden kasvamisesta ei ole niin niissä kohdissa käytettiin 750 Mpa:n myötörajaa. Tätä rajaa ei FEM-analyysissä saavutettu, joten rakenteen todettiin olevan kestävä. Suurimmat jännitykset etuapurungolla oli 370 MPa, kiinnityssarvilla 500 MPa (kuva 12).



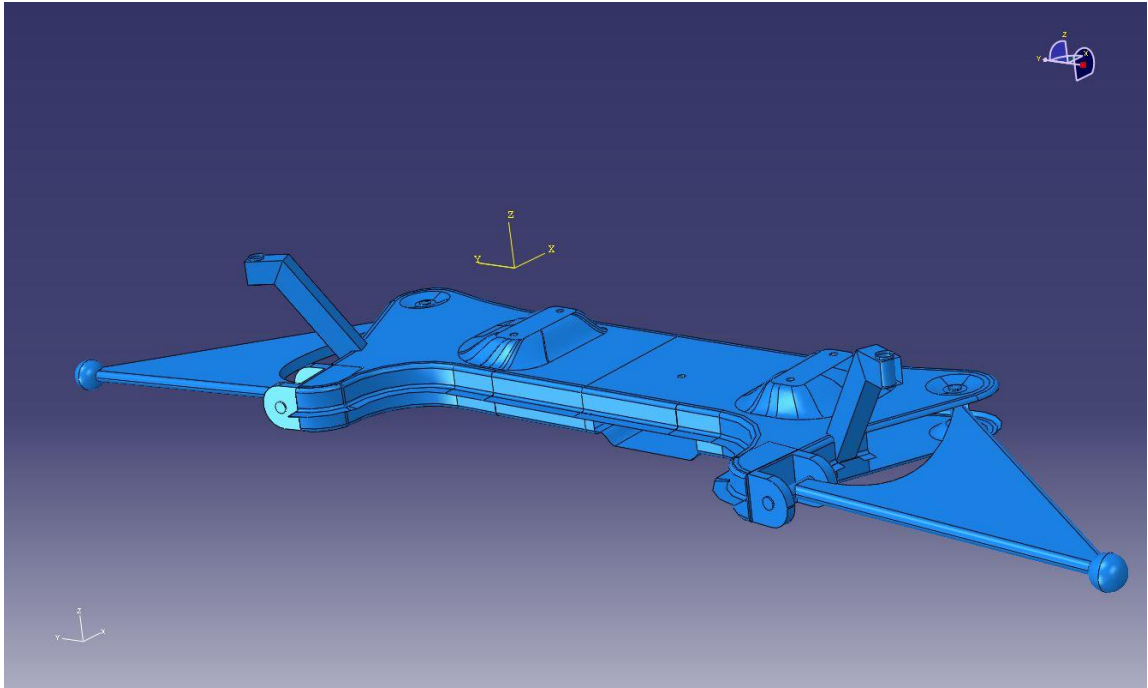
Kuva 12. Jännitykset jarrutusilanteessa. Punainen väri on 500 Mpa.

Siirtymät olivat melko suuret, varsinkin jarrutusilanteessa etuapurungon takaosassa (kuva 13). Tämä todettiin johtuvan takakiinnikkeiden heikosta rakenteesta. Itse etuapurungon muoto ja siirtymät kuitenkin pysyivät hyvänä, joten lisäkiinnitysten todettiin riittävän hillitsemään siirtymiä. Lisäkiinnityksiin palataan myöhemmin luvussa 5.4.



Kuva 13. Siirtymät jarrutusilanteessa. Suurimmat siirtymät ovat noin 4 mm.

Voimien siirtyminen alatukivarrelta etuapurungolle analysoitiin myös käyttämällä alatukivarren mukaan mallinnettua kappaletta (kuva 14). Tällä saatiin varmistettua, että etuapurungolle vaikuttavat voimat oli laskettu oikein ja voimien sijoittaminen Abaquksessa oli onnistunut. Tulokset olivat hyvin samankaltaiset molemmilla analyyseillä, joten täten voidaan olettaa alkuperäisten laskelmien olevan todenmukaisia.



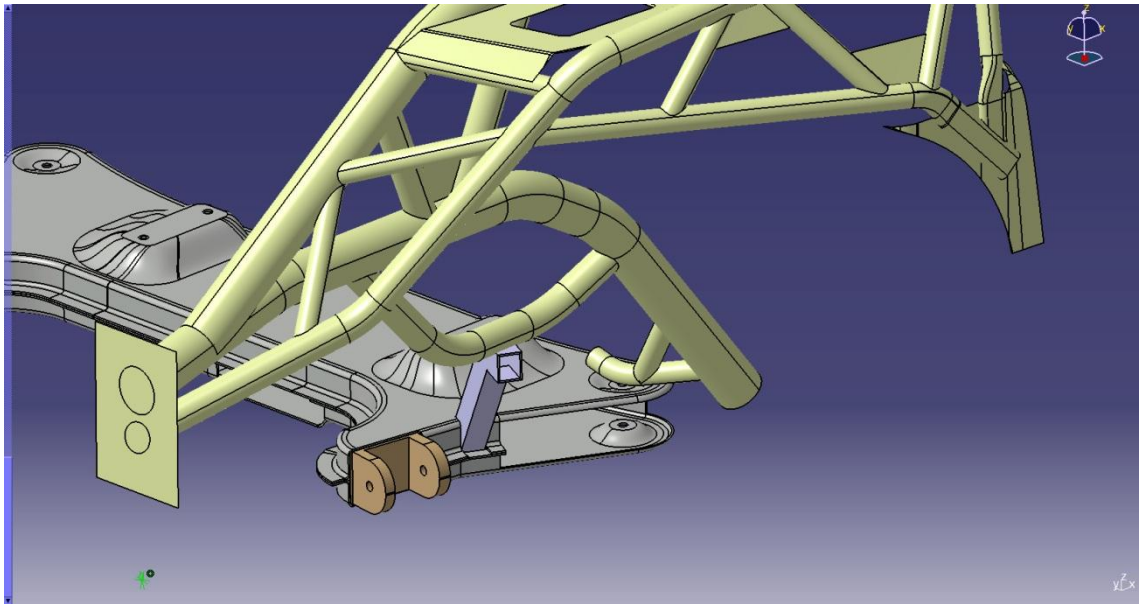
Kuva 14. Etuapurungon FEM-malli kuvitteellisilla alatukivarsilla.

5.3 Hitsauksen vaikutus lujuuteen

Lujuusmitoituksessa otettiin huomioon myös hitsin vaikutukset osan lujuuteen. Liitteessä 2 todetaan hitsaussauman lujuudeksi 350 Mpa EN 1.4031 -materiaalin ollessa perusaineena. Abaqus-ohjelmalla tehdyt laskelmat osoittavat, että hitsisaumoille ei kohdistu niin suuria voimia paitsi inserttien alareunaan. Tämän oletettiin kuitenkin johtuvan Abaquksen laskentatavasta. Ohjelma ei ottanut huomioon sitä, että insertti on kiinni myös toiselta puolelta hitsausrailoista. Sen takia todellisuudessa hitsisaumaan ei kohdistu niin suuria voimia kuin Abaqus näyttää.

5.4 Lujuuslaskelmien yhteenveto

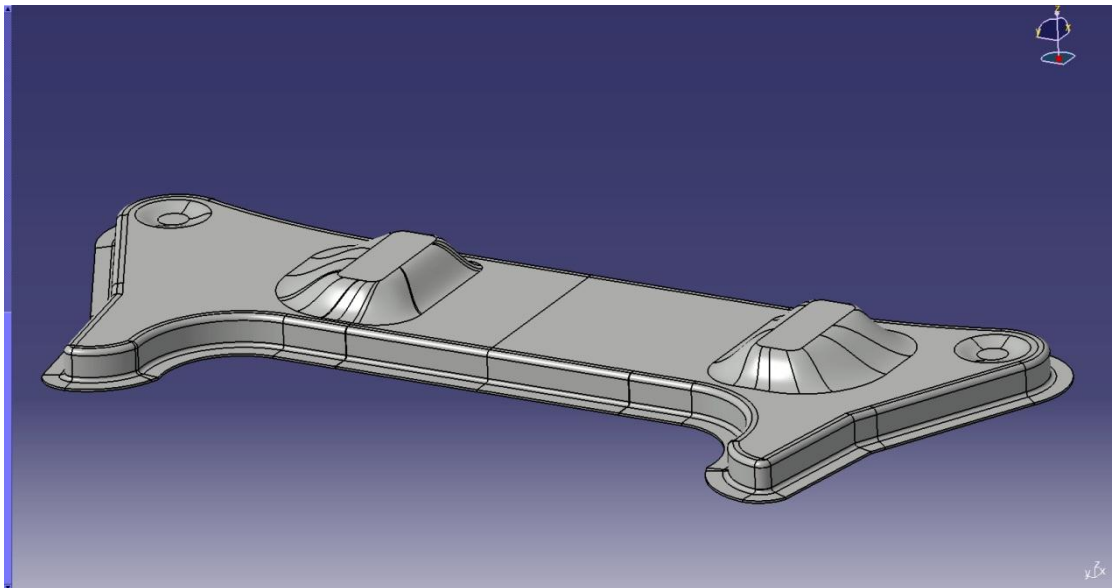
Tuloksista huomattiin, että VW Polon kiinnikkeet joutuvat liian suurelle rasitukselle. Tosin näiden kiinnikkeiden lujuusarvot eivät olleet tiedossa ja ne oletettiin melko pieniksi. Tämän takia kuitenkin etuapurunkoon tullaan lisäämään yhden kiinnityksen alatukivarsien takakiinnitysten kohdalle (kuva 15). Myös kiinnityssarvilla jännitykset ovat melko suuret, mutta lisäkiinnitysten todettiin laskevan niitä jännityksiä runsaasti. Muutoin etuapurungossa jännitykset olivat rajojen sisällä ja rakenne kestää hyvin sekä jarrutus- että kaarreaajotilanteet.



Kuva 15. Kiinnityskohta lisättiin alatukivarren takakiinnityksen kohdalle

6 Etuapurungon valmistus

Etuapurungon kokoaminen tullaan tekemään Metropolia AMK:ssa. Tässä luvussa esitetään kokoonpanon osalta vain suunnitelma, joka toimii samalla etuapurungon valmistuksen ohjeena. Kuten aiemmin on mainittu, etuapurungon ala- ja yläosa tullaan liittämään yhteen liimalla ja pistehitsaamalla. Ennen tätä yhdistettäviin osiin tullaan laserleikkaamaan kiinnityssarvien, -inserttien, alatukivarsien ja moottorinpyörähdyksen- vaimentimen vaatimat kolot, sillä syvävedoissa etuapurungon ala- ja yläosa jäävät kuppimaisiksi (kuva 16).

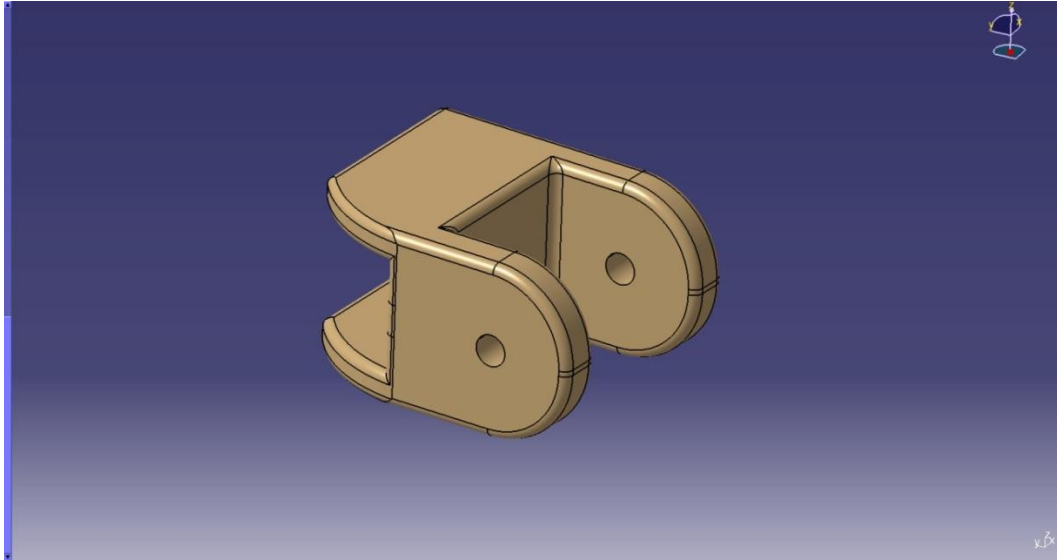


Kuva 16. 3D-malli syvävetotuotteesta

Valmistus tapahtuu seuraavassa järjestyksessä:

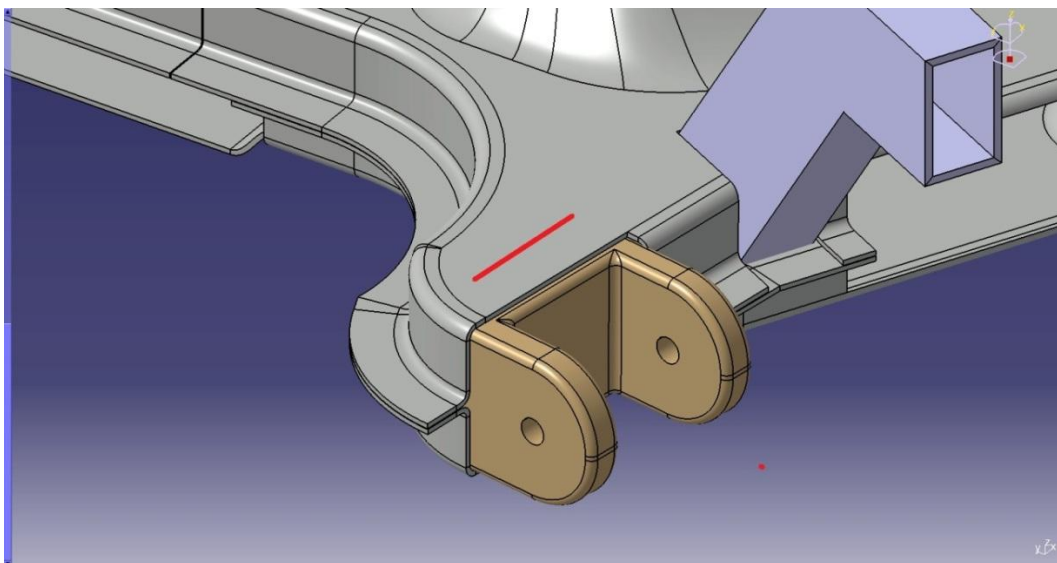
- etuapurungon kaikkien osien valmistus ja koneistus lopulliseen muotoon
- kiinnityssarvien hitsaus etuapurungon alaosaan ja vahvikeputkien hitsaus yläosaan, hammastangon muttereiden hitsaus
- ala- ja yläosan hitsaus yhteen liima/pistehitsauksella ja kiinnityssarvien ja -inserttien hitsaus
- etuapurunko kokonaisuuden uunitus liiman kuivumista varten
- etuapurungon peittäminen ja mahdollinen suojamaalaus

Alatukivarsien kiinnitysinsertit (kuva 17) koneistetaan teräsblokeista oikean muotoisiksi. Oikealla muodolla tarkoitetaan etuapurungon ala- ja yläosan muotoihin sopivaa muotoa.



Kuva 17. Alatukivarren kiinnitysinsertti

Inserttien hitsausta varten etuapurungon ala- ja yläosaan tehdään railot. Tällä tavoin insertit saadaan hitsattua useammasta kohdasta. Railot tullaan tekemään etuapurungon ala- ja yläpuolelle (kuva 18). Hitsaussaumot tulevat ulkoreunalle ja railoihin.



Kuva 18. Hitsausta varten tehtävät railot on merkittynä punaisella.

Kiinnityssarvet tullaan tekemään suorakaideputkesta. Putki taivutetaan poistamalla putkesta lovi, niin että päällimmäinen pinta jää ehjäksi. Tämän jälkeen osa taivutetaan haluttuun kulmaan ja hitsataan kiinteäksi osaksi. Sivuille tullaan mahdollisesti lisäämään vahvikelevyt, jos hitsausauma ei ole tarpeeksi vahva. Kiinnityssarvet hitsataan sekä etuapurungon alaosaan että yläosan läpimenon ympäri. Etuapurungon sisällä olevat vahvikeputket hitsataan kiinni etuapurungon yläosaan. Näiden vahvikeputkien tarkoitus on estää etuapurunkoa painumasta kasaan hammastangon ja moottorituen pultteja kiristettäessä. Hammastangon vahvikeputket tulevat vain etupultteja varten, koska takapultit eivät mene koko etuapurungon läpi. Hammastangon takapultteja varten täytyy etuapurungon yläosan sisäpuolelle hitsata mutterit.

Pistehitsauksen arvoina käytetään seuraavia parametreja:

- elektrodin kärjen halkaisijan tulee olla 8 mm ja puristusvoima 4,9 kN
- virta 13,5 kA, hitsaus aika 0,34 s ja hitsien väli min. 35 mm

Näillä parametreilla saavutetaan paras lopputulos [9, s. 264]. Kiinnitysinerttien ja -sarvien TIG-hitsausarvojen antaminen etukäteen ei ole mielekäästä. Tämä johtuu siitä, että TIG-hitsauksessa käytettävät arvot määrittyvät hyvin pitkälti hitsaajan omista mieltymyksistä ja hitsausolosuhteista.

Ennen hitsauksen aloittamista täytyy liima levittää paikoilleen. Liima sisältää lasikuulia, joiden tarkoituksena on pitää sopiva väli liimattavien pintojen kesken. Liiman levityksen jälkeen pistehitsataan etuapurungon ala- ja yläosa yhteen, TIG-hitsataan muut osat ja sitten liiman kuivumista varten uunitetaan koko etuapurunko. Uunitus tehdään liitteen 3 mukaisesti. Tämän jälkeen etuapurungolle tehdään peittäys, jonka jälkeen osa on valmis testattavaksi mock-upissa. Todennäköisesti osa ei kiinnity mock-upiin suoraan, koska mock-upin mitat poikkeavat ConceptCar-autosta.

7 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella tulevaan ConceptCar -projektin autoon etuapurunko, joka kestäisi normaaleissa ajotilanteissa esiintyvät rasitukset. ConceptCar -projektin tarkoituksena on valmistaa ympäristöystävällinen kaupunkiolosuhteisiin sopiva auto. Projektia rahoittaa Tekes ja useita eri yrityksiä ja Metropolia AMK on myös osallisena rahoituksessa. Auto tullaan valmistamaan Metropolia AMK:n toimesta, mutta mukana on myös muita oppilaitoksia, kuten Aalto-yliopisto ja Kemi-Tornio AMK.

Etupurungon suunnittelun lähtökohdaksi asetettiin se, että osa tulisi olla kestävä ja pienikokoinen. Valmistustekniikan haluttiin olevan alusta loppuun suurten autovalmistajien mukainen. Sen takia osien valmistuksessa käytettiin syvävetotekniikkaa ja kokoonpanossa pistehitsausta ja liimausta. Nämä ovat erittäin yleisiä valmistustekniikoita suurten autovalmistajien keskuudessa. Materiaalina oli projektin puitteissa päätetty käyttää ruostumatonta terästä. Alun perin tarkoituksena oli käyttää erikoisempaa teräslaatua EN 1.4318, joka olisi mahdollistanut ohuemman seinämäpaksuuden etupurungon ala- ja yläosissa. Valitettavasti kyseinen materiaalin saatavuus oli heikko, joten päädyttiin käyttämään perinteisempää teräslaatua EN 1.4301.

Työ aloitettiin keräämällä tietoa erilaisista etupurungoista, joita on käytetty vastaavissa tilanteissa. Yhtenä vaihtoehtona oli käyttää luovuttaja-autosta lainattua ja muokattua etuapurunkoa, jota käytettiin mock-up -tilankäyttömallissa. Melko nopeasti kuitenkin todettiin, että kyseinen etuapurunko ei tulisi kestävänsä varsinaisessa autossa. Muokattu etuapurunko ei kestäisi, koska tulevan auton mitat ja osien sijainnit ovat erilaiset kuin luovuttaja-autossa VW Polossa ja etuapurunkoa jouduttiin muokkaamaan useasta eri kohdasta.

Samaan aikaan kun kerättiin tietoa yleisesti käytetyistä etupurungoista, aloitettiin uuden etupurungon 3D-mallin rakentaminen. 3D-mallin rakentamisessa määräävinä tekijöinä olivat valmistustekniikka, etuapurunkoon kiinnittyvien osien sijainnit ja niiden kiinnityspisteet. Muodoltaan etupurungon haluttiin olevan mahdollisimman sulava ja teräviä kulmia haluttiin välttää, koska niissä tunnetusti rasituksissa jännitykset kasvavat suuriksi. Ongelmia ja lisää työtä aiheutti suunnittelussa Smarteam-ohjelman käyttövirheet. Käyttövirheet aiheuttivat sen, että osien sijainnit koko auton 3D-mallissa

muuttuivat kesken suunnittelun ja siitä johtuen etuapurungon 3D-mallia jouduttiin muokkaamaan useaan otteeseen. Päällimmäinen syy käyttövirheissä oli vähäinen kokemus kyseisestä ohjelmasta. Smarteam otettiin Metropolia AMK:ssa ensimmäistä kertaa käyttöön ConceptCar -projektissa, ja siten kokemus ja taitotaso oli melko alhainen projektin sisällä. Virheistä on kuitenkin opittu ja ohjelman käyttöä jatketaan projektissa.

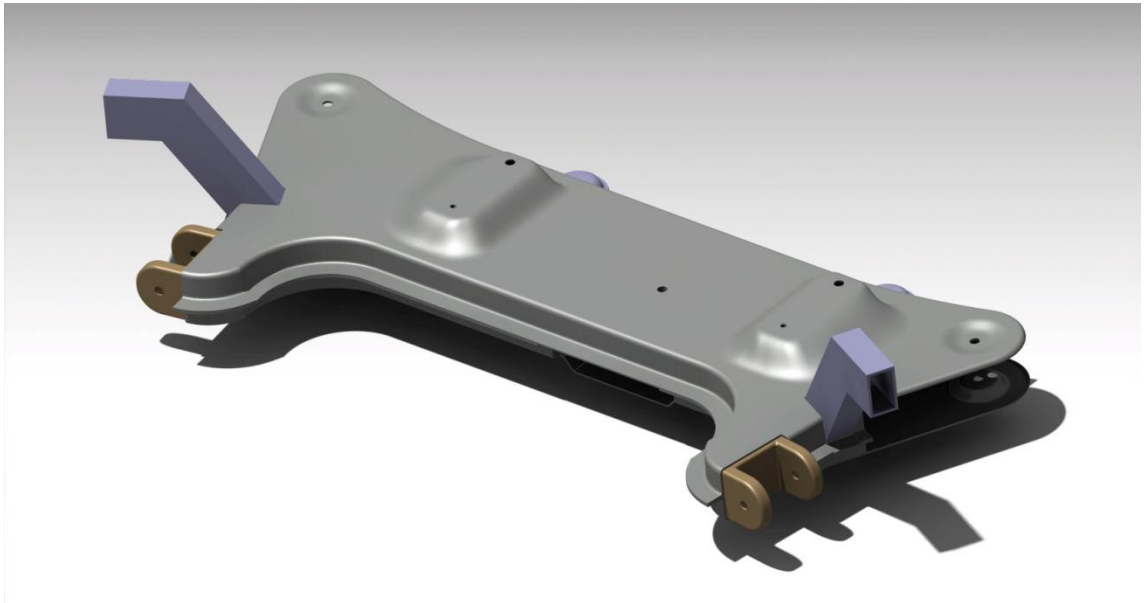
3D-mallin (kuva 19) rakentamisen ohessa aloitettiin etuapurunkoon vaikuttavien voimien laskenta eri ajotilanteissa. Ennen kuin etuapurunkoon vaikuttavia voimien laskeminen aloitettiin, sovittiin ConceptCar -projektin henkilöiden kanssa yhteisesti yhtenevät ajotilanteet. Ajotilanteet oletettiin pahimmiksi mahdollisiksi ja ne eivät tulevassa autossa tule olemaan mahdollisia, koska kitkakerroin oletettiin erittäin suureksi. Etuapurungolle vaikuttavia voimia laskettaessa oletettiin, että kaikki auton etuakselilla vaikuttavat auton pitkittäiset- ja poikittaiset voimat tulevat alatukivarren kautta etuapurungolle. Tämän pohjalta laskettiin staattiset kuormat alapallonivelen kohdalta etuapurungon kiinnityksiin. Kun nämä voimat olivat laskettu, siirrettiin laskelmat Abaqus-lujuuslaskentaohjelmaan. Abaqusta varten tehtiin 3D-mallista erillinen versio, jonka Abaqus ymmärtäisi.

FEM-analysistä huomattiin, että VW Polon etuapurungon takakiinnikkeet eivät kestäisi asetettuja rasituksia. Tämän takia lisättiin alatukivarren takakiinnitysten kohdille kiinnityspiste eturunkoon. Muuten osan todettiin kestävänsä eri ajotilanteista syntyviä rasituksia.

Etuapurungon kokoamisen piti alun perin ehtiä tähän insinööriyöhön, mutta erinäisten viivästysten takia ehdittiin vain tehdä suunnitelma kokoamisesta. Ennen kuin etuapurungon kokoonpano pystytään aloittamaan, täytyy ala- ja yläosa laserleikata. Tämä johtuu siitä, että syvävetotuotteena on kuppimainen osa ja siinä ei ole esimerkiksi alatukivarsia varten läpivientejä. Lisäksi alatukivarren etukiinnitysinsertit ja kiinnityssarvet täytyy valmistaa ennen kasausta. Itse kokoonpanoa suunniteltaessa täytyi ottaa huomioon osien kiinnitysjärjestys.

Tälle insinööriyölle asetetut tavoitteet mielestäni saavutettiin, ja etuapurunkoon tulevat osat ovat kirjoittamishetkellä valmistuksessa. Alun perin työhön piti sisällyttää kokoonpanon lisäksi testaus, jossa valmis osa olisi sovitettu mock-upiin. Valitettavasti

erilaiset ongelmat osan suunnittelussa ja valmistuksessa aiheuttivat tämän työn tavoitteiden supistamisen. Kuitenkin voidaan olla tyytyväisiä lopputulokseen, sillä 3D-mallien ja FEM-analyysien mukaan etuapurunko täyttää sille asetetut vaatimukset. Lisäksi voidaan todeta, että Catiasta saadun arvion mukaan etuapurungon massa kokonaisuudessaan tulee olemaan noin 13,5 kg, joka on melko vähän tämäntyyppiselle auton komponentille. Suurimmat ongelmat olivat lujuuslaskelmien teossa ja lisää töitä aiheutti osan useaan kertaan muokkaaminen. Nämä virheet olisi voinut välttää tuntemalla paremmin käytetyt tietokoneohjelmat.



Kuva 19. ConceptCar -auton etuapurunko

Lähteet

- 1 Boron Extrication. 2011. Peugeot 3008 Body Structure. Verkkojulkaisu. <<http://boronextrication.com/2011/01/2011-peugeot-3008-body-structure/>>. Luettu 24.1.2012.
- 2 Vehicle Dynamics International. 2009. Vauxhall/Opel reveals details of new Astra's chassis. Verkkojulkaisu. <<http://www.vehicledynamicsinternational.com/astra.php>>. Luettu 3.2.2012.
- 3 CustomPartNet. 2009. Sheet Metal Forming. Verkkojulkaisu. <<http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>> Luettu 28.2.2012.
- 4 Kivivuori, Seppo. 2001. Teräsohutlevyjen muovattavuus ja materiaalilaadut. Verkkojulkaisu. <http://www.ohutlevy.com/pdf/terasohutlevy_seppo_kivivuori.pdf>. Luettu 8.3.2012.
- 5 Euroinox. 2004. Ruostumattoman teräksen peittäus ja passivointi. Verkkojulkaisu. <http://www.euro-inox.org/pdf/map/Passivating_Pickling_FI.pdf>. Luettu 11.5.2012.
- 6 Happian-Smith, Julian. 2002. An Introduction to Modern Vehicle Design. Warrendale: SAE.
- 7 Kesärengastesti. Auto-Bild Suomi. 06/2011, s. 24–29.
- 8 Metalliteollisuuden keskusliitto, MET. 2001. Muokatut teräkset. Helsinki. Metalliteollisuuden Kustannus OY.
- 9 Lepola, Pertti. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.

EN 1.4031 datasheet, Outokumpu

Outokumpu 4301



Chemical composition

		C	Mn	Cr	Ni	Mo	N	Other
Typical	4301	0.04		18.1	8.1			
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4301	≤0.070	≤2.00	17.5-19.5	8.0-10.5		≤0.10	
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4948	0.04-0.08	≤2.00	17.0-19.0	8.0-11.0		≤0.10	
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4950							
ARSOPL-O.F.140230	1.4301	≤0.07	≤2.00	17.5-19.5	8.0-10.5		≤0.10	
ASME II A SA-240	TYPE 304	≤0.08	≤2.00	18.0-20.0	8.0-10.5		≤0.10	
ASME II A SA-240	TYPE 304H	0.04-0.10	≤2.00	18.0-20.0	8.0-10.5			
ASTM A240	TYPE 304	≤0.07	≤2.00	17.5-19.5	8.0-10.5		≤0.10	
ASTM A240	TYPE 304H	0.04-0.10	≤2.00	18.0-20.0	8.0-10.5			
ASTM A666	TYPE 304	≤0.08	≤2.00	18.0-20.0	8.0-10.5		≤0.10	
EN 10028-7	1.4301	≤0.07	≤2.00	17.5-19.5	8.0-10.5		≤0.10	
EN 10028-7	1.4948	0.04-0.08	≤2.00	17.00-19.00	8.00-11.00		≤0.10	
EN 10088-2	1.4301	≤0.07	≤2.0	17.5-19.5	8.0-10.5		≤0.11	
EN 10088-2	1.4310	0.05-0.15	≤2.0	16.0-19.0	6.0-9.5	≤0.80	≤0.11	
EN 10088-4	1.4301	≤0.07	≤2.0	17.5-19.5	8.0-10.5		≤0.11	
GOST 5632-72	12X18H9	≤0.12	≤2.0	17.0-19.0	8.0-10.0	≤0.35	≤0.10	
JIS G4304 : 2005	SUS 304	≤0.08	≤2.00	18.00-20.00	8.00-10.50			
JIS G4305 : 2005	SUS 304	≤0.08	≤2.00	18.00-20.00	8.00-10.50			

Outokumpu 4301



Mechanical properties

The mechanical properties of the available products are given in the table below. In addition to these values, several of the chromium-nickel grades is available in temper rolled condition with higher mechanical strength. Please contact your local Outokumpu sales company for more information.

	$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	A_5	Impact strength	Rockwell	HB	HV
	MPa	MPa	MPa	%	J			
Product type: C								
Typical (Thickness 1mm)								
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4301	≥ 230	≥ 260	540 - 750	≥ 45			
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4948	≥ 230	≥ 260	530 - 740	≥ 45			
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4950	≥ 220	≥ 250	530 - 730	≥ 35			
ASME II A SA-240	304	≥ 205		≥ 515			≤ 201	
ASME II A SA-240	304H	≥ 205		≥ 515			≤ 201	
ASTM A240	304	≥ 205		≥ 515			≤ 201	
ASTM A240	304H	≥ 205		≥ 515			≤ 201	
EN 10028-7	1.4301	≥ 230	≥ 260	540 - 750	≥ 45			
EN 10028-7	1.4948	≥ 230	≥ 260	530 - 740	≥ 45			
EN 10088-2	1.4301	≥ 230	≥ 260	540 - 750	≥ 45			
EN 10088-2	1.4310	≥ 250	≥ 280	600 - 950	≥ 40			
EN 10088-4	1.4301	≥ 230	≥ 260	540 - 750	≥ 45			
GOST 5632-72	12X18H9	≥ 230	≥ 260	540 - 670	≥ 45			
JIS G4305 : 2005	SUS 304	≥ 205		≥ 520		≤ 90HRB		
Product type: H								
Typical (Thickness 4mm)								
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4301	≥ 230	≥ 260	520 - 720	≥ 45			
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4950	≥ 220	≥ 250	510 - 710	≥ 35			
ASME II A SA-240	304	≥ 205		≥ 515			≤ 201	
ASME II A SA-240	304H	≥ 205		≥ 515			≤ 201	
ASTM A240	304	≥ 205		≥ 515			≤ 201	
ASTM A240	304H	≥ 205		≥ 515			≤ 201	
EN 10028-7	1.4301	≥ 230	≥ 260	520 - 720	≥ 45			
EN 10088-2	1.4301	≥ 230	≥ 260	520 - 720	≥ 45			
EN 10088-4	1.4301	≥ 230	≥ 260	520 - 720	≥ 45			
GOST 5632-72	12X18H9	≥ 230	≥ 260	540 - 670	≥ 45			
JIS G4304 : 2005	SUS 304	≥ 205		≥ 520				
Product type: P								
Typical (Thickness 15mm)								
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4301	≥ 210	≥ 250	520 - 720	≥ 45			
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4948	≥ 190	≥ 230	510 - 710	≥ 45			
AD2000 W2, W10 & EN10028-7	1.4950	≥ 200	≥ 240	510 - 710	≥ 35			
ARSOPI-O.F.140230	1.4301	≥ 210	≥ 250	520 - 720	≥ 45			
ASME II A SA-240	304	≥ 205		≥ 515		≤ 92HRB	≤ 201	
ASME II A SA-240	304H	≥ 205		≥ 515		≤ 92HRB	≤ 201	
ASTM A240	304	≥ 205		≥ 515		≤ 92HRB	≤ 201	
ASTM A240	304H	≥ 205		≥ 515		≤ 92HRB	≤ 201	
ASTM A666	304	≥ 205		≥ 515			≤ 201	
EN 10028-7	1.4301	≥ 210	≥ 250	520 - 720	≥ 45			
EN 10028-7	1.4948	≥ 190	≥ 230	510 - 710	≥ 45			
EN 10088-2	1.4301	≥ 210	≥ 250	520 - 720	≥ 45			
EN 10088-4	1.4301	≥ 210	≥ 250	520 - 720	≥ 45			
JIS G4304 : 2005	SUS 304	≥ 205		≥ 520		≤ 90HRB	≤ 187	

Outokumpu 4301



Typical values for Standard steels for comparison

	$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	A_5	Impact strength	Rockwell	HB	HV
	MPa	MPa	MPa	%	J			
Product type: C								
Typical (Thickness 1mm)	LDX 2101							
Product type: H								
Typical (Thickness 4mm)	LDX 2101	560	755	35				
Product type: P								
Typical (Thickness 15mm)	LDX 2101	480	700	38				

Physical properties

Physical properties. Values according to EN 10088

OK Grade	Density	Modulus of elasticity	Thermal exp. at 100°C	Thermal conductivity	Thermal capacity	Electrical resistance	Magnetisability
	kg/dm ³	GPa	10 ⁻⁶ /°C	W/m°C	J/kg°C	μΩm	
4301	7.9	200	16	15	500	0.73	No
LDX 2101	7.8	200	13.0	15	500	0.80	Yes

Corrosion resistance

The chromium-nickel grades have a versatile corrosion resistance and are suitable for a wide range of general-purpose applications. For a more detailed description of their corrosion resistance properties in different environments, please refer to our Corrosion Handbook.

OK Grade	Pitting corrosion resistance		Crevice corrosion resistance
	PRE	CPT	CCT
4301	18	<10	<0
LDX 2101	26	17	<0

PRE Pitting Resistant Equivalent calculated using the formula: $PRE = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16 \times \%N$

CPT Corrosion Pitting Temperature as measured in the Avesta Cell (ASTM G 150), in a 1M NaCl solution (35,000 ppm or mg/l chloride ions).

CCT Critical Crevice Corrosion Temperature is the critical crevice corrosion temperature which is obtained by laboratory tests according to ASTM G 48 Method F

Outokumpu 4301



Fabrication

Hot forming

Hot working can be carried out in the 850 – 1150°C range. For maximum corrosion resistance, forgings should be annealed at 1050°C and rapidly cooled in air or water after hot working operations.

Cold forming

These grades can be readily formed and fabricated by a full range of cold working operations. They can be used in heading, drawing and bending. Any cold working operations will increase the strength and hardness of the material and may leave it slightly magnetic. Work hardening is accentuated by the partial transformation of the austenite phase of the material to hard martensite. For more information contact Avesta Research Centre.

Welding

These grades can be readily welded by a full range of conventional welding methods such as:

- Shielded metal arc welding (SMAW)
- Gas tungsten arc welding, TIG (GTAW)
- Gas metal arc welding, MIG (GMAW)
- Flux-cored arc welding (FCAW)
- Plasma arc welding (PAW)
- Submerged arc welding (SAW)

Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa, Euroinox

6.4 Hitsauskiinnitykset

6.4.1 Yleistä

Oleellista on, että käytetään oikeita hitsausprosesseja ja että käytetään perusaineen kanssa yhteensopivia lisäaineita ja että pätevöityneet hitsaajat tekevät työn, ks. kohta 10.4. Tämä on tärkeä hitsin riittävän lujuuden ja oikean muodon saavuttamiseksi sekä hitsin ja ympäröivän perusaineen korroosiokestävyyden säilymiseksi.

Seuraavia ohjeita sovelletaan täysin ja osittain läpihitsattuihin päittäishitseihin sekä pienenahitseihin, jotka hitsataan kaarihitsausmenetelmillä, kuten:

Menetelmän numero	Menetelmän nimi
111	Puikkohitsaus
121	Jauhekaarihitsaus
122	Jauhekaarinauhahitsaus
131	MIG-hitsaus
135	MAG-hitsaus
137	MIG-täytelankahitsaus
141	TIG-hitsaus
15	Plasmahitsaus

Menetelmien numerot ovat EN ISO 4063 mukaisia.

Yhteensopivat hitsausaineet valitaan siten, että niiden myötöraja ja murtolujuus ylittävät perusaineen vastaavat arvot. (Alilujat hitsausaineet, ks. kohta 6.4.4). Taulukossa 6.2 esitetään teräslajien ja erilaisten hitsausaineiden yhteensopivuus ja taulukossa 6.3 esitetään näiden hitsausaineiden mekaaniset ominaisuudet.

Taulukko 6.2 Yhteensopivat teräslajit ja hitsausaineet

Perusaine Numero	Hitsausaineet Hitsauspuikot EN 1600	Hitsauslangat ja hitsaussauvat EN 12072	Ydintäytelangat EN 12073
1.4301	E 19 9	G 19 9 L	T 19 9 L
1.4306	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
1.4307	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
1.4318	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
1.4541	E 19 9 Nb	G 19 9 Nb	T 19 9 Nb
1.4401	E 19 12 2	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
1.4404	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
1.4571	E 19 12 3 Nb	G 19 12 3 Nb	T 19 12 3 Nb
1.4362	E 25 7 2 N L	G 25 7 2 L	T 22 9 3 N L
1.4462	E 25 7 2 N L	G 25 7 2 L	T 22 9 3 N L

Taulukko 6.3 Hitsatun hitsiaineen mekaaniset ominaisuudet standardien EN 1600, EN 12072 ja EN 12073 mukaan

Hitsiaine	Myötöraja N/mm ²	Vetomurtolujuus N/mm ²
E 19 9	350	550
E/G/T 19 9 L	320	510
E/G/T 19 9 Nb	350	550
E 19 12 2	350	550
E/G/T 19 12 3 L	320	510
E/G/T 19 12 3 Nb	350	550
E 25 7 2 N L	500	700
G 25 7 2 L	500	700
T 22 9 3 N L	450	550

Erityistä huomiota tulee kiinnittää tapaukseen, kun käytetään kokeisiin perustuvaa 0,2-rajaa mitoituksen perusteena (ks. kohta 3.2.4 (ii)). Ruostumattoman teräksen ja hitsauslisäaineiden valmistajat neuvovat tarkoituksenmukaisen hitsauslisäaineen valinnassa. Hitsausmetallin tulee olla vähintään yhtä jaloa kuin perusaine.

Katkopienahitsejä ja ei-jatkuvia osittain läpihitsattuja päittäishitsejä tulee välttää korroosiomahdollisuuden pienentämiseksi lukuun ottamatta lieviä ympäristöolosuhteita. Katkonaisia päittäishitsejä tulee käyttää varoen meri-ilmastossa tai voimakkaasti saastuneissa ympäristöissä erityisesti tilanteissa, joissa voi esiintyä kapillaarisuutta.

6.4.2 Pienahitsit

Soveltamisalue

Pienahitsejä voidaan käyttää osien liittämiseen, jos liitospintojen muodostama kulma on 60° - 120°. Jos em. kulma on pienempi kuin 60°, pienahitsejä voidaan käyttää, mutta ne mitoitetaan silloin osittain läpihitsattuina päittäishitseinä. Kulman ollessa yli 120° ei saa luottaa siihen, että hitsit siirtävät voimia.

Pienahitsiä ei saa käyttää tapauksissa, joissa siihen kohdistuu taivutusmomentti hitsin pituussuuntaisen akselin suhteen siten, että se aiheuttaa vetoa hitsin juureen.

Tehollinen pituus ja a-mitta

Pienahitsin teholliseksi pituudeksi valitaan täysikokoisen hitsin kokonaispituus. Hitsejä, joiden tehollinen pituus on lyhyempi kuin 40 mm tai kuusi kertaa hitsin a-mitta, ei käsitellä voimia siirtävinä hitseinä.

Pienahitsin efektiivinen a-mitta on suurimman kolmion (joko tasakylkinen tai erikylkinen) korkeus, joka voidaan piirtää railon kylkien ja hitsin pinnan sisään mitattuna kohtisuorassa suunnassa tämän kolmion uloimpaan pintaan nähden, ks. kuva 6.3. Pienahitsin tunkeumaa, ks. kuva 6.4 voidaan hyödyntää, jos menetelmäkokeet osoittavat, että vaadittu tunkeuma saavutetaan systemaattisesti.

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää standardin EN 1993-1-8 kohdan 4.5.3.3 mukaista yksinkertaistettua menetelmää pienahitsien kestävyuden mitoitusarvon määrittämiseksi.

6.4.3 Päittäishitsit

Täysin läpihitsatut päittäishitsit

Täysin läpihitsattujen päittäishitsien kestävyuden mitoitusarvoksi valitaan heikomman liitettävän osan kestävyuden mitoitusarvo edellyttäen, että hitsi suunnitellaan kohdan 6.3.1 mukaan.

Osittain läpihitsatut päittäishitsit

Osittain läpihitsattuja päittäishitsejä voidaan käyttää leikkausvoimien siirtämiseksi. Niitä ei suositella rakenteisiin, joissa hitseihin kohdistuu vetoa.

Osittain läpihitsattujen päittäishitsien kestävyys lasketaan kuten sellaisten pienahitsien kestävyys, joissa hyödynnetään tunkeumaa. Osittain läpihitsatun päittäishitsin a-mitaksi valitaan systemaattisesti saavutettavan tunkeuman syvyys, joka määritetään menetelmäkokein.

6.3.4 Kylmämuokattujen ruostumattomien terästen hitsaus

Kylmämuokattujen ruostumattomien terästen hitsaukseen sovelletaan samoja periaatteita kuin hehkutettujen ruostumattomien terästen hitsaukseen edellyttäen, että:

- Hitsauskiinnitykseen kohdistuu aksiaalinen kuorma;
- Kylmämuokatun ruostumattoman teräksen kylmämuokkaustaso on enintään CP500 tai C850;
- Hitsauslisäaineet valitaan taulukon 6.2 mukaan;
- Perusaineen kestävyys lämpövaikutusvyöhykkeellä määritetään hehkutetun perusaineen vetomurtolujuuden perusteella.

Hitsiaineen lujuus voi olla pienempi kuin perusaineen lujuus. Alilujia lisäaineita käytettäessä pienahitsien ja päittäishitsien kestävyuden mitoitusarvo määritetään hitsimetallin vetomurtolujuuden perusteella (ks. taulukko 6.3) ja β_w :n arvona käytetään arvoa 1,0.

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

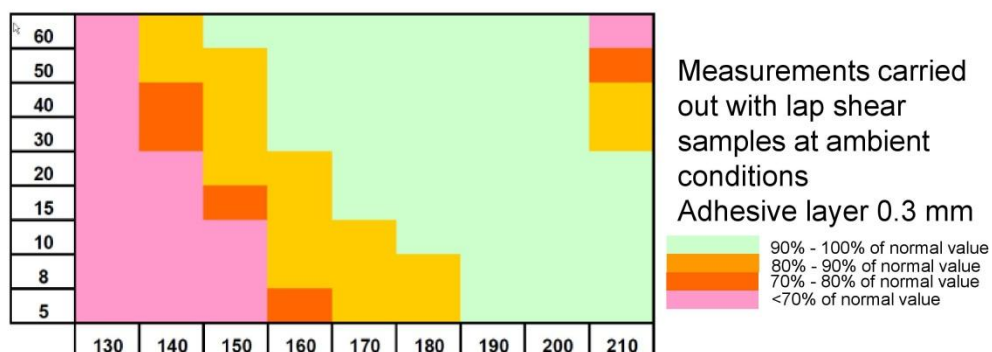
Tensile strength	30 MPa
Tensile elongation	8 %
Tensile Modulus (E-Modulus)	1600 MPa
Lap shear strength (CQP 580-1)	30 MPa
T-peel strength (CQP 580-2)	9 N/mm



Sika Services AG

Industry

Curing Window of SikaPower®-4588



- ▲ Product has a small curing window
- ▲ Performance depends strongly on curing process



Sika Services AG