

Lauri Pasanen

# Kilpa-auton rungon suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinööriytyö

8.5.2015

Tekijä Otsikko	Lauri Pasanen Kilpa-auton rungon suunnittelu
Sivumäärä Aika	28 sivua + 5 liitettä 8.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja	Projekti-insinööri Joel Kontturi, Metropolia AMK
<p>Tässä insinööriyössä suunniteltiin ja osin myös valmistettiin kilpakäyttöön tarkoitetun henkilöauton runko. Rungon perustana toimivat BMW E30 –korimallin henkilöauto, siihen valitut uudenmalliset alustakomponentit sekä käytössä ollut osittain valmis turvakehikko. Rungon suunnittelun päätavoitteiksi asetettiin turvallisuuden ohella kestävyys ja keveys.</p> <p>Työssä käsitellään kilpa-auton rungon suunnittelua ja sen vaatimia valmisteluja sekä teräsputki- ja profiilirakenteiden käyttöä rungon suunnittelussa ja valmistamisessa. Lisäksi työssä tutustutaan 3D-mittausvarren ja jigipöydän käyttöön sekä hitsaamiseen, tietokoneella tehtävään lujuuslaskentaan ja 3D-mallintamiseen.</p> <p>Suunnitteluprosessissa hankittujen mittojen perusteella tehdään erilliset 3D-mallit, joita toisiinsa vertaamalla suunnitellaan työlle asetetut tavoitteet täyttävä uusi runko. Suunnittelusta uudesta rungosta tehdään laserleikkausta varten valmistuspiirrustukset, joiden avulla putket laserleikkautetaan. Lopuksi laserleikatut putket yhdistetään toisiinsa jigipöydässä hitsaamalla.</p> <p>Runko valmistui keväällä 2013 ja siihen suunnittelussa asetetut tavoitteet onnistuivat kiittävästi. Rungon suunnittelun tiukan aikataulun vuoksi suunnittelussa kiinnitettiin erityistä huomiota valmiin rungon muokattavuuteen rungon valmistuttua. Tämän johdosta rungon ja sen pohjalle myöhemmin syntyvän kilpa-auton jatkokehitys on ollut mielekästä, sillä uusien komponenttien suunnittelu mittatarkan pohjarakenteen päälle on ollut helppoa.</p>	
Avainsanat	kilpa-auto, runko, rakentaminen

Author Title	Lauri Pasanen Designing a Race Car Chassis
Number of Pages Date	28 pages + 5 appendices 8 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor	Joel Kontturi, Project-Engineer, Helsinki Metropolia UAS
<p>This Bachelor's thesis describes designing and partly building a race car chassis. The basis for the chassis is a BMW E30 –model passenger car, the new suspension components chosen for the project and a partly finished rollcage suitable for the car. The main goals for designing the chassis were safety, rigidity and lightness.</p> <p>This thesis discusses designing a race car and what needs to be taken in consideration when trying to build one. Other topics are the usage of steel tubes, 3D -measuring devices, structural analysis, JIG-tables, welding and 3D-modeling.</p> <p>The design process started by measuring every part needed for the project and converting them into separate 3D-models. Comparing these models in CAD-environment helped to create a new chassis that would meet the requirements set for the project. After the chassis was designed the model was converted into manufacturing drafts which were used to lasercut the new frame. The cut frame was then welded on a JIG-table.</p> <p>The chassis was completed in spring 2013 and the goals set for the project were achieved. Because of the tight schedule in designing and building the frame, the frame was designed so that it would be easy to modify and implement new designs afterwards. In consequence of that, continuing building the chassis has been rewarding as designing new parts for a precise base is a straightforward and simple procedure.</p>	
Keywords	race car, chassis, building

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Suunnittelun lähtökohdat	3
2.1	Rungon ominaisuudet	3
2.2	Rungon sovittaminen jo olemassa oleviin korirakenteisiin	3
2.3	Alustan ominaisuuksien vaikutus suunnitteluun	4
3	Rungon suunnittelu	5
3.1	Mittaukset	5
3.2	Rungon materiaalien valinta	6
3.3	Rungon kiinnikkeiden valinta	8
3.4	Mallinnus	9
3.4.1	Mallinnusohjelma	9
3.4.2	Rungon 3D-mallinnus	9
3.4.3	Leikkauspiirrustukset	12
3.4.4	Etuiskunvaimentimien kiinnitysten suunnittelu	13
3.4.5	Mallintamisen rajoitukset ja ongelmat	14
4	Lujuuslaskenta	15
4.1	Keulatörmäyksen tarkastelu	15
4.2	Sivuttaistörmäys tarkastelu	18
4.3	Vääntöjäykkyyden arviointi	19
4.4	Yhteenveto lujuuslaskelmista	20
5	Rungon valmistus	20
5.1	Materiaalien leikkauttaminen	20
5.2	Leikattujen putkien liittäminen	21
6	Päätelmät	24
	Lähteet	27
	Liitteet	28

## 1 Johdanto

Ihanteellisen kilpa-auton suunnittelu tapahtuu valitsemalla parhaat osat ja yhdistämällä ne toisiinsa äärimmäisen jäykällä rungolla tai itsekantavalla korilla niin kevyesti kuin mahdollista [1]. Käytännössä kilpa-auton suunnittelu on kuitenkin lukuisten kompromissien tekemistä sekä sääntöjen soveltamista käytettävissä olevien resurssien puitteissa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa kilpa-auton runko 1980-luvulla valmistettua BMW:n 3-sarjan henkilöautoa pohjana käyttäen (kuva 1). Projektin tarkoituksena oli korvata osa auton alkuperäisistä korirakenteista uusilla, mutta auton alkuperää ulkoisesti sekä tyyllisesti mukailevilla ratkaisuilla. Työn pohjana käytettävän automallin korirakenne on ns. itsekantava kori, jossa auton korikehikko ja runko ovat yhtenäistä toisiaan tukevaa rakennetta. Työn tarkoituksena oli korvata tämä vanha ja korroosion heikentämä rakenne teräsputkesta sekä teräsprofiilista valmistetulla rungolla, joka yhdessä kansainvälisen autoliiton FIA:n (Federation Internationale de l'Automobile) moottoriurheilun turvallisuusvaatimukset [2] täyttävän turvakehikon kanssa tekisivät autosta vääntöjäykän, kevyen, turvallisen ja kilpailukykyisen kilpa-auton. Sääntöjen tarkoituksena on määrittää autourheilulle yhteiset pelisäännöt ajoneuvojen turvallisuuden ollessa määräävänä tekijänä.



Kuva 1. Työn pohjana käytettävän BMW 316 -1989 -mallisen henkilöauton kori.

Uuden rungon ja erityisesti sen tärkeimpänä komponenttina sekä työn pohjana toimivan uuden rungon pohjarakenteen suunnittelun määräävinä rajapintoina toimivat projektiin valitut 2000-luvun taitteen BMW M3 -mallisen henkilöauton alustakomponenttien kiinnityspisteet, jo olemassa oleva autoon sopiva keskeneräinen turvakehikko sekä alkuperäisen auton muodot ja kiinnityspisteet. Koska runko on autossa keskeisessä asemassa auton muiden komponenttien sijoittelussa, tuli runkoa suunniteltaessa ottaa huomioon näiden lisäksi hyvin suuri määrä erilaisia rungon muotoon vaikuttavia tekijöitä. Runko (tai nykyautoissa kori) on auton perusrakenteessa pohja, johon muut auton komponentit kiinnittyvät. Insinöörin tehtävänä on runkoa suunnitellessa yhdistää nämä komponentit rungon avulla toisiinsa yhdeksi yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Ennen rungon suunnittelun varsinaista aloittamista hankittiin suunnittelun vaatimat pohjatiedot sekä etenkin uusien alustakomponenttien kiinnityspisteet, jotka saatiin autojen korien oikaisuun tarkoitetuista koribottien mittapistekartastoista [liitteet 1 ja 2]. Tarkemman mallinnuksen mahdollistamiseksi sekä mahdollisten virheiden poistamiseksi alustakomponentit myös digitoitiin 3D-mittavarrella. Itse suunnittelu toteutettiin 3D-mallintamalla käyttäen avuksi Catia V5 R20 -CAD-ohjelmistoa (Computer Aided Design).

## 2 Suunnittelun lähtökohdat

### 2.1 Rungon ominaisuudet

Kilpa-auton runkoa suunniteltaessa suorituskyvyn kannalta ajateltuna tärkeimpinä kriteereinä ovat rungon jäykkyys sekä rungon keveys ja etenkin näiden kahden välinen suhde. Rungon jäykkyydellä tarkoitetaan rungon ominaisuutta vastustaa muodonmuutosta, kun siihen kohdistuu ulkoisia rasituksia. Ulkoisiin rasituksiin voidaan laskea esimerkiksi kuopan yli ajettaessa renkaan kautta runkoon välittyvä voima. Jäykkä runko estää rungon tarpeettoman elämisen ja siten mahdollistaa suunniteltujen alustageometrioiden toiminnan niiden alkuperäisen käyttötarkoituksen mukaisesti. Rungon on lisäksi kestävä kaikki siihen käytössä aiheutuvat voimat rikkoontumatta tai muuttamatta muotoaan. Kilpa-auton rungolle on tärkeää, että runko on yhtä aikaa riittävän jäykkä ja kestävä sen ollessa samanaikaisesti mahdollisimman kevyt. Kevyen painon lisäksi massan olisi sijaittava mahdollisimman keskellä ja alhaalla. Kilpa-autojen rungoille on ominaista myös se, että rungon ollessa riittävän jäykkä on se samalla riittävän kestävä.

Projektin tiukan aikataulun johdosta rungon tarkan lujuuslaskennan vaatiman lujuuslaskentaohjelmiston käytön opiskelu ei mahtunut käytettävissä olevaan aikatauluun, joten runko oli suunniteltava rungon jäykkyyden ollessa etusijalla rungon painoon verrattuna. Vaikka rungon jäykkyys ja keveys ovat tärkeitä kriteereitä kilpa-auton suorituskyvyn kannalta, on auton turvallisuus asetettava silti niiden edelle. Turvallisuus otettiin huomioon rungon suunnittelussa suunnittelemalla uudet korirakenteet auton alkuperäisiin korirakenteisiin verrattuna huomattavasti kestävämmiksi sekä käyttäen apuna FIA:n uusimpia turvakehikkojen materiaalille asetettuja vaatimuksia [2, s. 23]. Myös osana auton runkoa toimiva turvakehikko suunniteltiin vastaamaan uusimpia FIA-luokituksia [2, s. 17-23]. Runkoon tehtiin myös yksinkertaisia lujuuslaskentoja varmistamaan rungon kestävyys mahdollisessa törmäystilanteessa.

### 2.2 Rungon sovittaminen jo olemassa oleviin korirakenteisiin

Suunnittelun alkaessa oli hankittuna työn pohjana toimiva vuonna 1989 valmistettu BMW 316 -mallinen henkilöauto sekä osa siihen soveltuvasta FIA-luokitusten

mukaisesti valmistetusta turvakehikosta. Työn ensimmäisenä tavoitteena oli suunnitella runko, joka yhdessä käytetyn auton ja turvakehikon kanssa muodostaisivat toimivan perusrakenteen rakennettavalle kilpa-autolle. Koska etenkin auton pohjarakenteesta oli tarkoitus jättää hyvin vähän vanhaa rakennetta käytettäväksi, tuettiin kori sisältä ja poistettiin ylimääräiset peltiosat korista suunnittelua helpottamaan (kuva 2).



Kuva 2. Kori purettuna.

### 2.3 Alustan ominaisuuksien vaikutus suunnitteluun

Koska työn perustaksi valitun automallin alustageometriset ominaisuudet olivat jo vanhentuneet eivätkä ne vastanneet ominaisuuksiltaan auton tulevaa käyttötarkoitusta, korvattiin ne BMW:n valmistaman vastaavan korimallin kaksi sukupolvea uudemman mallin alustakomponenteilla (BMW E36/E46) (kuva 3). Tähän rakenteeseen päädyttiin sen kustannustehokkuutensa puolesta sekä koska lähes kaikki tarvittavat osat olivat jo olemassa. Valitut alustakomponentit myös sopivat auton olemukseen niiden ollessa samasta mallisarjasta peräisin. Tämä valinta tarkoitti sitä, että rungon suunnittelussa isoksi osaksi muodostui uusien alustakomponenttien sovitus autoon, johon ne eivät alun perin kuuluneet. Erityisen hankalaksi muodostui uuden taka-akseliston suunnittelu runkoon sopivaksi. Alustakomponenttien valinta mahdollisti myös auton raidelevyden merkittävän suurentamisen ilman, että käytetyn alustageometrian alkuperäisistä

ominaisuuksista tarvitsi tinkiä. Valittu alustarakenne samalla myös mahdollisti vahvemman voimansiirron sijoittamisen autoon.



Kuva 3. Osa työssä käytettävistä alustakomponenteista.

### 3 Rungon suunnittelu

#### 3.1 Mittaukset

Rungon suunnittelu aloitettiin mittaamalla käytettävät alustakomponentit sekä niiden korissa sijaitsevat kiinnityspisteet käyttäen apuna Metropolia ammattikorkeakoululta lainattua 3D-mittauslaitetta (kuva 4). Käytetty mittauslaite on jalustan päällä seisova nivelöity varsi, jolla pisteitä mittaamalla saadaan tietokoneelle luotua 3D-kartasto mitattujen osien määrävistä paikoista, kuten esimerkiksi osien kiinnityspisteistä ja ulkomitoista. Mittavarrella pystyy pisteiden lisäksi mittaamaan esimerkiksi ympyröitä tai viivoja käyttäen haluamansa määrän mittauspisteitä, joista ohjelma laskee keskiarvon mahdollistaen vielä tarkemman mittaamisen. Digitointiin käytettiin mittauslaitteen yhteydessä Rhinoxeros-3D-mallinusohjelmaa, jolla mitatut pisteet saatiin muutettua CAD-ohjelmien lukemiksi 3D-kartastoiksi.



Kuva 4. Työssä käytetty 3D-mittausvarsi.

Osien digitoinnin jälkeen kartoitettuja pisteitä verrattiin jo olemassa oleviin 3D-malleihin sekä korirobottipöytäkirjoihin [liitteet 1 ja 2]. Mittauslaitteella varmistetut mitat osittain vastasivat jo olemassa olevaa dataa, mutta myös projektin onnistumisen kannalta oleellisia eroavaisuuksia kävi ilmi. Komponenttien mallinnuksen lisäksi työssä käytettävän auton sekä turvakehikon mitat kirjattiin ylös mallinnusta varten.

### 3.2 Rungon materiaalien valinta

Käytettävien materiaalien valinnassa kiinnitettiin huomiota materiaalin kestävyteen, muokattavuuteen, hitsattavuuteen, saatavuuteen sekä yhteneväisyyteen jo olemassa olevan turvakehikon kanssa. Rungon materiaalien valinnannassa tärkeänä kriteerinä oli rungon valmistettavuus. Valmistuksen kannalta materiaalivalinnoissa oli huomioitava etenkin valmistuksen helppous ja kustannustehokkuus. Rungon keveyden ja jäykkyyden suhteen ehdottomasti paras ratkaisu olisi ollut valmistaa hiilikuituepoksikomposiitista monokokkirunko, mutta hiilikuidun vaikean työstämisen ja

kalliin hankintahinnan vuoksi valikoiduttiin projektissa käyttämään erilaisia teräksestä valmistettuja putki- ja profiilipalkkirakenteita.

Turvakehikossa käytetty materiaali on pääkaarien osalta 45 x 2,5 mm kokoista EN 10305-4 235 -luokituksen mukaista ohutseinäistä kylmävedettyä saumatonta hiiliteräsputkea. Kilpa-autoilussa FIA-luokiteltujen turvakaarien määräykset ovat pääkaarien osalta 350 Mpa:n myötölujuus ja putkien mitat vähintään 45 x 2,5 mm tai 50 x 2,0 mm. Muiden turvakehikossa käytettävien putkien on oltava vähintään 38 x 2,5 mm tai 40 x 2,0 mm [2, s. 23]. Tämä otettiin myös lähtökohdaksi ja minimivaatimukseksi käytettäviä materiaaleja valittaessa. Materiaalien hinnat ja toimitusajat huomioitaessa rajautuivat pois myös eksoottisemmat teräslaadut ja koot.

Rungon perusrakenne eli tässä tapauksessa rungon pohjan tukirakenne päätettiin tehdä työssä pohjana käytettävän automallin pohjarakenteen mukaisesti 60 x 60 x 2 mm teräsprofiiliputkesta. Laadun takaamiseksi käytettävä materiaali päätettiin tilata Rautaruukilta, jonka valikoiman laajuus samalla takaisi myös halutunlaisen teräsprofiilipalkin löytymisen. Ruukin valikoimasta tähän käyttötarkoitukseen parhaiten sopiva ja kriteerit täyttävä materiaali löytyi Ruuking Form-luokan teräksistä. Form-luokan teräksiä on tarjolla eri myötölujuuksissa 240–1000 Mpa:n asteikolla ja näistä työhön sopivaksi valikoitui Form 600 -ohutseinäputki [liite 3].

Käytettäväksi materiaaliksi valittiin lopulta kuitenkin yhdessä Putkilaser Oy:n kanssa Ruukin Optim 700 Plus MH -rakenneteräs [liite 4], joka on ominaisuuksiltaan kohtalaisen lähellä Form 600 -terästä. Optim 700 -teräksen tavallisia käyttökohteita ovat nosturit, koneiden rungot ja muut rakenteet, jotka vaativat korkean lujuuden omaavan rakenteen. Optim 700 -teräksen valintaan vaikutti suureksi osaksi se, että kyseistä materiaalia oli saatavilla sopiva määrä suoraan varastosta todella nopealla toimitusajalla. Optim 700 -teräsputken myötölujuus on vähintään 700 Mpa eli noin kaksi kertaa enemmän kuin FIA-hyväksytyn turvakehikon vähimmäisvaatimukset [2, s. 23]. Optim 700 -teräsputki on lisäksi todella hyvin hitsattavissa pienen hiilipitoisuutensa (hiilipitoisuus max 0,1%) ja hitsaamisen erityisvaatimusten puuttumisen vuoksi. Hitsauksessa käytettäväksi lisäaineeksi valikoitui koululta saatavilla ollut Esab OK tigrod 12.64 [liite 5], jonka myötöraja (420 Mpa) ja murtoraja (500–640 Mpa) vastasivat kohtalaisesti käytettävää Optim 700 -putkea. Teräsputken seinämäpaksuudeksi muodostui lopulta 3

mm, jonka johdosta rungon pohjarakenteen ensimmäisen version lopulliseksi painoksi muodostui n. 72 kg.

### 3.3 Rungon kiinnikkeiden valinta

Runkoon suoraan pulttiliitoksin kiinnittyvistä komponenteista tärkeimmät sekä kovimmalle rasitukselle joutuvat ovat etu- ja taka-apurungot kiinnittävät M12-kokoiset pultit. Kierreniittimutterit (kuva 5) valittiin apurunkojen pulttien vastakappaleiksi niiden helpon ja yksipuolisen asennustapansa vuoksi: kierreniittimuttereiden asennus onnistuu rungon pintapuolelta ilman, että sisäpuolelle tarvitsee päästä lainkaan käsiksi [3]. Kierreniittimuttereiden kanssa ei myöskään tarvitse hitsata eikä liimata.



Kuva 5. Pintapuolelta asennettava kierreniittimutteri.

Sopiva lujasta teräksestä valmistettu kierreniittimutteri löytyi Böllhoffin Rivkle-tuotesarjasta. Kierreniitteinä päädyttiin käyttämään Rivkle HRT -sarjan kierreniittejä, jotka yhdessä 12.9-luokituksen mukaisten pulttien kanssa takaavat varmasti riittävän kiinnityksen alustan osille. Apurunkojen kiinnitysten lisäksi muita tärkeitä suoraan

runkoon tulevia kiinnityksiä ovat etualatukivarsien korikiinnitykset, joiden vastakappaleiksi valittiin saman tuotesarjan M10-kokoiselle pultille sopiva kierreniittimutteri. Rivkle-kierreniittimuttereiden vaatimien runkoon porattavien reikien koot löytyivät myös 3D-mallinnusta ajatellen suoraan tuote-esitteestä [3]. Rivkle-sarjaa vastaavia kierreniittimuttereita on tarjolla myös usealta muulta valmistajalta, mutta Rivkle-sarjan laatu, hyvä saatavuus sekä koulultamme entuudestaan löytynyt positiivinen kokemus (E-RA-konseptiauto) auttoi valinnassa.

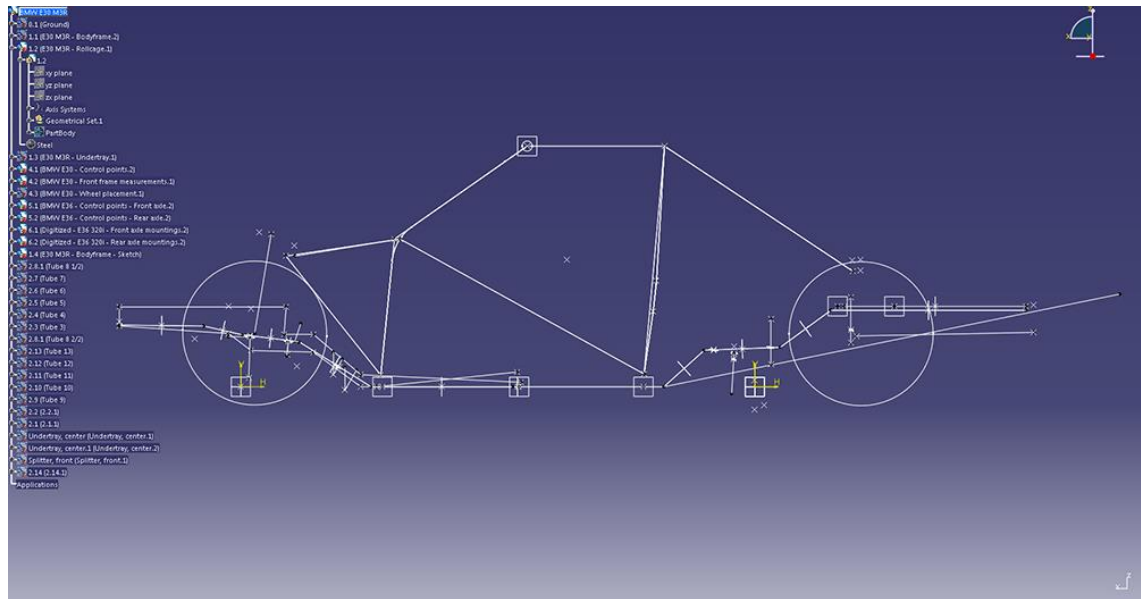
### 3.4 Mallinnus

#### 3.4.1 Mallinnusohjelma

Mallintamisessa päädyttiin käyttämään Dassault Systèmes -yhtiön Catia V5 R20 -3D-mallinnusohjelmistoa sen perusteiden hallitsemisen vuoksi. Catia on yksi maailman johtavista tuotesuunniteluohjelmisto, joka mahdollistaa suurten kokonaisuuksien suunnittelun sekä tarvittaessa myös suunniteltujen osien sekä kokoonpanojen toimivuuden testaamisen erilaisten virtuaalisten simulaatioiden avulla. Catia mahdollistaa tarvittaessa vaikka kokonaisen lentokoneen suunnittelun ja sen toimintojen testaamisen työpöydälläsi.

#### 3.4.2 Rungon 3D-mallinnus

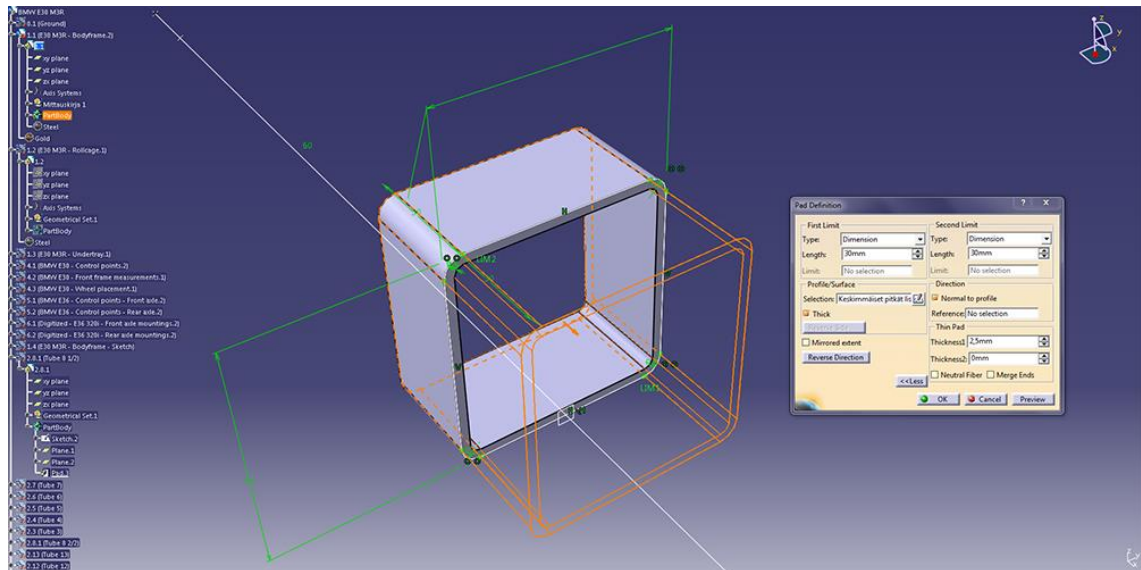
Rungon 3D-mallinnus tehtiin kokoonpanotilassa, jossa jokainen komponentti mallinnettiin ensin erillisenä kappaleina, jonka jälkeen nämä kappaleet liitettiin erilaisia geometrisia ehtoja käyttämällä toisiinsa. Mallinnus aloitettiin mallintamalla kaikki jo olemassa oleva tieto työn pohjana toimivasta autosta, turvakehikosta sekä käytettävistä alustakomponenteista ja autosta, josta käytettävät alustakomponentit olivat peräisin. Myös 3D-mittavarrella mitatuista koordinaateista piirrettiin 3D-mallit, mikäli ne eivät vastanneet suoraan mitään valmista teknistä piirustusta tai mallia. Kun kaikki komponentit olivat mallinnettu (kuva 6) saatiin niitä tarkastelemalla ja vertailemalla suunniteltua uusi määrätyt tavoitteet täyttävä runko.



Kuva 6. CAD-malli, jossa mallinnuksen lähtötiedot esillä.

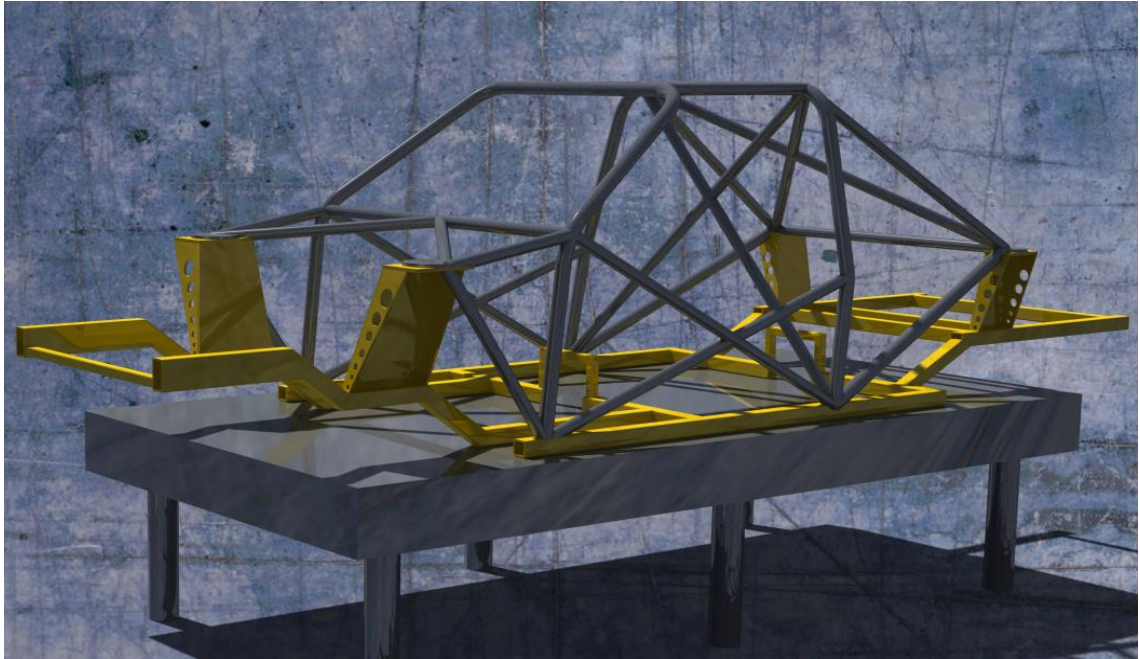
Runko pyrittiin suunnittelemaan siten, että sen ensimmäisessä kokoonpanovaiheessa syntyvän rungon pohjaosa olisi mahdollisimman yksinkertainen rakentaa ja jotta siihen olisi helppo myöhemmin liittää jälkepäin suunniteltavia rungon ja auton muita komponentteja.

Rungon putki- ja palkkiprofiilit mallinnettiin piirtämällä osien solmukohtat 3D-kartastoon ja yhdistämällä nämä pisteet viivoilla rautalankamallin rakentamiseksi. Viivojen keskilinjoiden päälle piirrettiin kunkin osan poikkileikkausprofiili, josta pursottamalla geometrisia ehtoja käyttäen saatiin muodostettua haluttu osa (kuva 7). Menetelmä mahdollistaa osien yksittäisten arvojen muuttamisen jälkepäin nopeuttaen suunnittelua merkittävästi perinteiseen piirtämiseen tai osien jatkuvaan uudelleen mallintamiseen verrattuna. Tämän lisäksi pituusakseliltaan symmetriset osat tehtiin ainoastaan toiselle puolelle, josta peilaamalla saatiin ne kopioitua toiselle puolelle edelleen työmäärän vähentämiseksi. Mallinnuksessa kiinnitettiin erityistä huomiota siihen, että suunniteltavat osat pysyvät jatkuvasti muokattavina ilman, että osia tarvitsisi jokaiseen kehitysversioon suunnitella alusta asti uudestaan



Kuva 7. Profiiliputken mallintaminen.

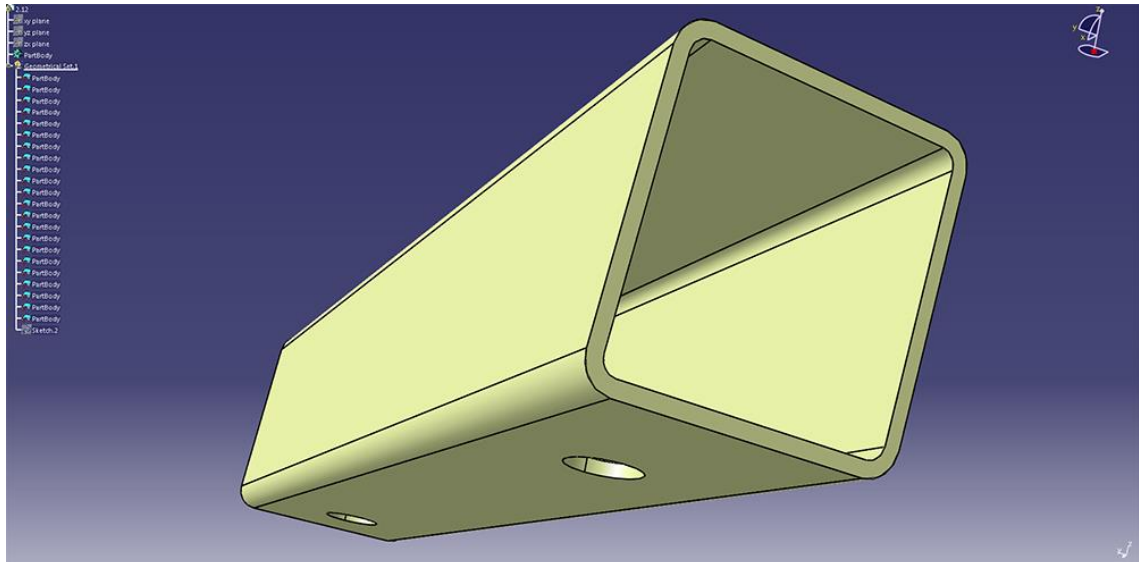
Rungon varsinainen mallinnus tapahtui mallintamalla pohjana käytetyn auton runkopalkkien perusteella suunnitellut uudet runkopalkit ja yhdistämällä nämä toisiinsa käyttäen samanlaista profiilipalkkia alkuperäisen muotopellin sijaan. Nämä palkit toimivat myös rungon pohjana, johon auton koria mukailevat turvakaaret yhdistyvät tukevasti yhtenäiseksi muotoaktiiviseksi rakenteeksi. Kun rungon pohjarakenne täytti suunnittelun alussa asetetut tavoitteet sekä erityisesti auton alustan ja turvakaarien oikeanlaisen kiinnityksen vaatimat kriteerit, oli suunnittelutyö rungon kasausta ajatellen valmis (kuva 8).



Kuva 8. Rungon pohjaosa, alustan kiinnitykset ja turvakehikko lähes mallinnettuna.

### 3.4.3 Leikkauspiirrustukset

Kun rungon malli oli valmis leikattavaksi täytyi leikattavista putkista tehdä jokaisesta oma, laserleikkauksen ymmärtämä leikkauspiirros (tiedostotyyppi .iges). Tämä johti siihen, että valmiiksi suunniteltu runko täytyi mallintaa vielä lähes kokonaan uudestaan siten, että jokainen rungon pohjarakenteen muodostava putki oli oma erillinen kappaleensa mallissa. Laserleikattavaksi pilkottu runko sisälsi lopulta yhteensä 14 erilaista profiiliputkea (kuva 9).



Kuva 9. Laserleikkaukseen sopiva CAD-piirustus (tiedostomuoto .iges).

#### 3.4.4 Etuskunvaimentimien kiinnitysten suunnittelu

Etuskunvaimentimien yläkiinnitysten ensimmäinen versio (kuva 10) suunniteltiin siten, että etuakseliston alustageometriat vastaisivat suurelta osin BMW E46 M3 -korimallin henkilöauton geometrioita. Kiinnitykset suunniteltiin niin, että ne olisivat mahdollisimman yksinkertaiset liittää tarkasti runkoon. Kiinnitykset koostuivat neljästä laserleikatusta levystä, jotka olivat muotoiltu siten, että ne yhdessä pystyi liittämään vain ennalta määrätystä asennossa runkoon. Tämä yhdessä laserleikkauksen tarkkojen toleranssien sekä iskunvaimentimen yläosan kiinnityksen pitkittäis- ja sivuttaissuuntaisen säädön kanssa takaisivat toimivaksi säädettävän alustageometrian.

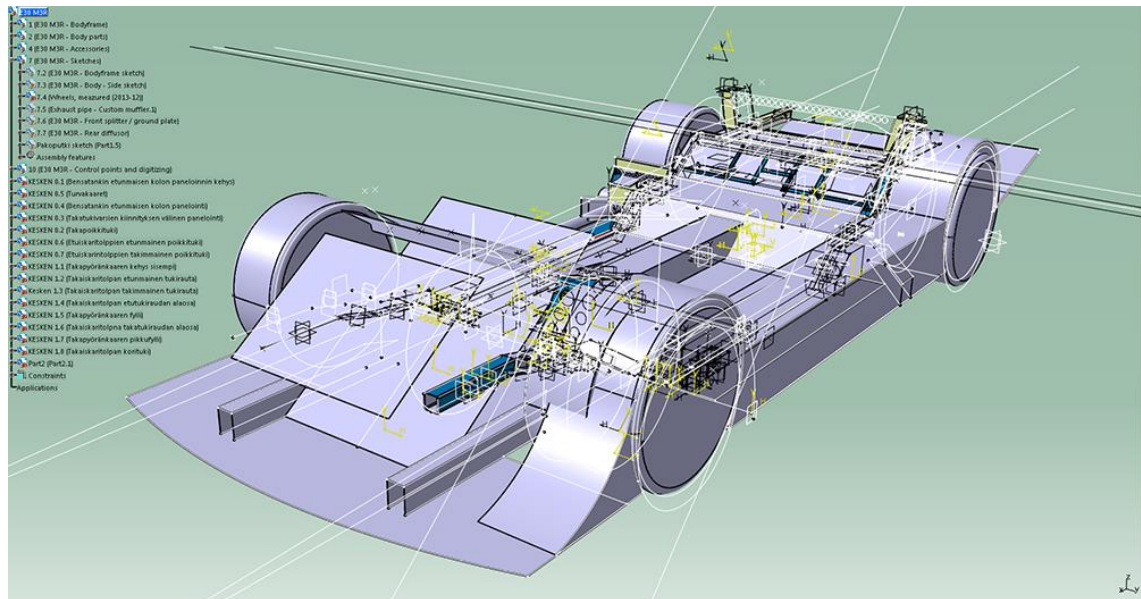


Kuva 10. Mallinnettu, laserleikkautettu ja koottu etuiskunvaimentimen yläkiinnitys.

### 3.4.5 Mallintamisen rajoitukset ja ongelmat

Runkoa ja siihen liittyviä osia mallinnettiin ennen rungon kokoonpanoa useita ja rungon valmistuessa kokoonpanossa oli jo lähes 100 erillistä osaa sisältäen niihin liittyvät valmiit mallit ja geometriat (kuva 7). Itse rungon mallintamisen kannalta tämä osaltaan teki mallintamisesta edelleen vaikeampaa yhä useamman uuden tekijän tullessa mukaan vaikuttamaan rungon lopulliseen muotoon.

Rungon isoimmaksi rajoitukseksi mallintaessa muodostui pohjana käytetyn auton korin muotojen mukaileminen suunniteltavaan runkoon siten, että myöhemmässä vaiheessa runko ja osa alkuperäisestä korista olisi liitettävissä toisiinsa sekä se, että uusi runko säilyisi muutoksista huolimatta muodoiltaan alkuperäiseen uskollisena. Tämä seikka osaltaan esti rungon suunnittelun puhtaasti muotoaktiivisuuden periaatteiden mukaisesti lisäten rungon painoa verrattuna ilman vastaavia rajoituksia suunniteltuun runkoon. Jälkeenpäin on helppoa todeta, että mikäli suunnittelun lähtökohtana olisi ollut valmiiksi tarkasti määrätyt ja mallinnetut komponentit eikä auton alkuperäisten pintapeltien käyttö olisi ollut tarpeen, olisi rungon suunnittelu ollut huomattavasti yksinkertaisempaa.



Kuva 11. Osa mallissa olevista osista ja geometrioista.

## 4 Lujuuslaskenta

Rungon kestävyyttä ja mahdollisia ongelmakohtia pyrittiin työn aikana simuloimaan käyttämällä Catia-mallinnusohjelmasta löytyvää jännityshypoteesi-toimintoa (Generative structural analysis), joka mahdollistaa runkoon kohdistuvien voimien tarkastelemisen kohtalaisella tarkkuudella. Käytetty menetelmä toimii tarkastelemalla rakennetta vakio muodonvääristymisenergia-hypoteesin (von Mises) perusteella. Tarkastelun kohteena olevan mallin ollessa keskeneräinen ja siitä puuttuessa merkittäviä massaan sekä jäykkyyten vaikuttavia komponentteja ovat saadut tulokset tulkittava ainoastaan suuntaa-antavina.

### 4.1 Keulatörmäyksen tarkastelu

Keulatörmäyksen osalta päädyttiin simuloimaan törmäystä äärimmäisen kovaan tiiliseinään 100 km/h nopeudella. Koska törmäyksessä seinään auton rakenteet antavat aina hieman periksi, ei törmäys ole täysin välitön vaan kestää se normaalisti noin 0.1-0.2 sekuntia [4, s. 27]. Koska työssä käytettävän auton rakenteet ovat suunniteltu jäykiksi eikä keulaan ole rakennettu erillisiä törmäysvaimentimia tai muita törmäysenergiaa absorboivia rakenteita, voidaan olettaa törmäyksen kestävän korkeintaan n. 0,15 sekuntia. Kun auto pysähtyy 100 km/h (27,78 m/s) nopeudesta

täysin pysähdyksiin 0,15 sekunnissa, saadaan auton törmäyksen aikaiseksi hidastuvuudeksi:

$$\text{Kiihtyvyys } (a) = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{27,78 \frac{m}{s} - 0 \frac{m}{s}}{0,2s - 0s} = 185,2 \text{ m/s}^2$$

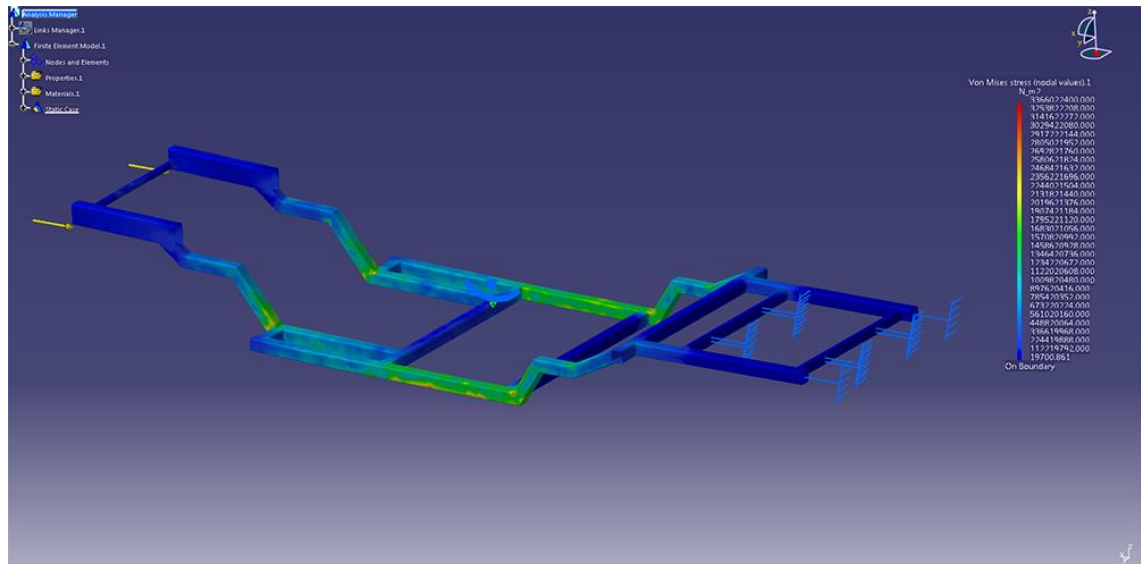
Joka jakamalla maan painovoimalla antaa vastauksen G-voimissa:

$$G - \text{voima} = \frac{185,2 \frac{m}{s^2}}{9,81 \frac{m}{s}} = 28,3 \text{ G}$$

Auton arvioitu paino ajokuntoisena on n. 1000 kg, joten 28,3 G:n hidastuvuudella saadaan autoon syntyvä voima laskettua käyttämällä dynamiikan peruslakia eli Newtonin II lakia:

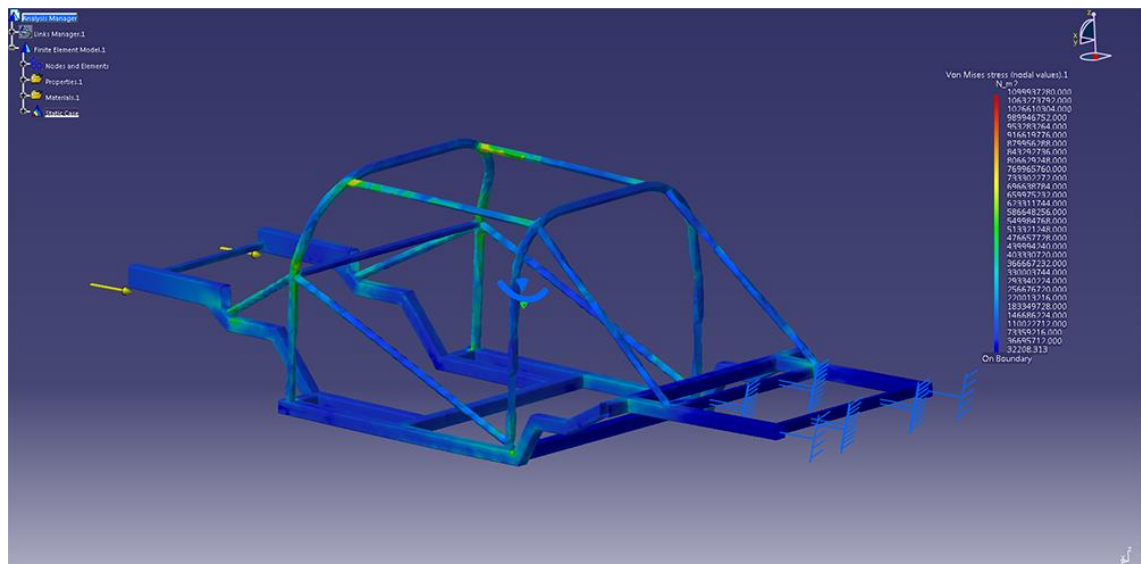
$$\text{Voima } (\overline{F}) = m\overline{a} = 1000kg * 185,2 \frac{m}{s^2} = 185,2kN$$

Keulatörmäystä simuloitiin kolmella eri rungon variaatiolla rungon muotoaktiivisten ominaisuuksien tutkimiseksi sekä simuloinnin onnistumisen arvioimiseksi. Ensimmäisessä simulaatiossa (kuva 12) nähdään pelkkään rungon pohjarakenteeseen törmäyksessä vaikuttavat voimat. Laskelmista havaitaan, että suurimmat pisteittäiset voimat rungossa ovat yli 3000 N/mm<sup>2</sup>, joka vastaa moninkertaisesti käytetyn teräksen murtorajaa.



Kuva 12. Rungon pohjarakenteen keulatörmäys.

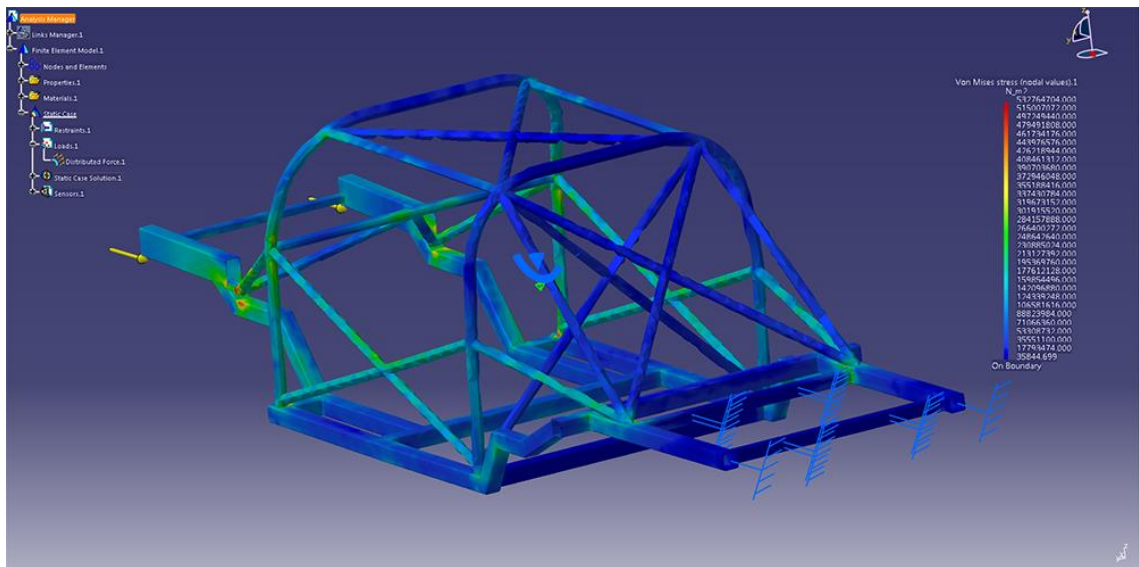
Seuraavassa simulaatiossa runkoon on lisätty osa turvakehikosta vahvistamaan rakennetta. Tuloksista havaitaan (kuva 13), että runkoon kohdistuvat voimat ovat enään noin kolmannes osa verrattuna pelkän rungon törmäyksessä syntyviin rasituksiin ja maksimirasitus on 1099,9 N/mm<sup>2</sup>, joka ylittää yhä noin kaksi kertaa käytettävien materiaalien murtolujuuden.



Kuva 13. Turvakehikolla vahvistetun rungon keulatörmäys.

Viimeisessä simulaatiossa turvakehikon rakennetta on parennettu muotoaktiivisen suunnitteluperiaatteen mukaan lisäämällä siihen putkia muodostaen runkoon useita kolmiorakenteita. Havaitaan, että törmäyksestä aiheutuvat voimat jakaantuvat lähes

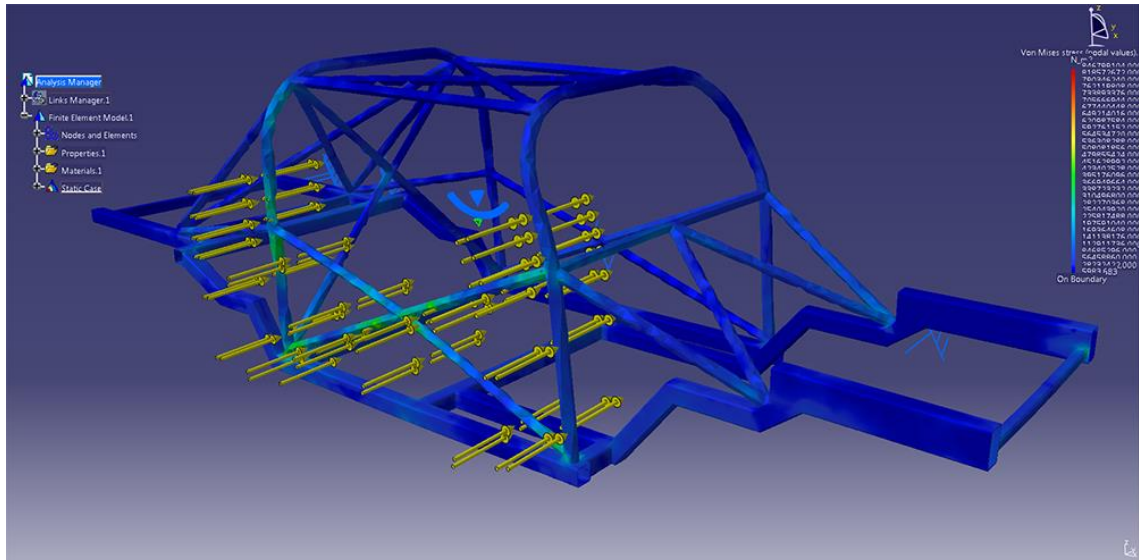
tasaisesti ympäri rakennetta (kuva 14) runkoon kohdistuvan maksimirasituksen ollessa enään  $532,8 \text{ N/mm}^2$ , joka on lähellä rungossa käytettävien terästen murtolujuutta. Saatujen tulosten perusteella runko mahdollisesti kestäisi laskelmien mukaisen törmäyksen murtumatta, mutta muodonmuutoksia todennäköisesti syntyisi. Tuloksista on myös hyvin huomattavissa terävien kulmien heikkous verrattuna pyöreisiin kulmiin voimien jaossa. Saadut tulokset kuvaavat hyvin muotoaktiivisen rakenteen kykyä jakaa rakenteeseen kohdistuneita voimia sekä tietokonesimuloinnilla rakenteen suunnittelun optimoinnissa saavutettavaa mahdollista hyötyä.



Kuva 14. Muotoaktiivisella turvakehikolla varustetun rungon keulatörmäys.

#### 4.2 Sivuttaistörmäys tarkastelu

Sivuttaistörmäystä tarkasteltiin  $100 \text{ kN}$ :n voiman osuessa turvakehikolla vahvistetun rungon kylkeen (kuva 15). Simulaatiosta havaitaan, että törmäyksessä syntyvät voimat eivät ylitä merkittävästi rungossa käytettyjen materiaalien murtorajoja voimien ollessa korkeimmillaan  $477,62 \text{ N/mm}^2$ .

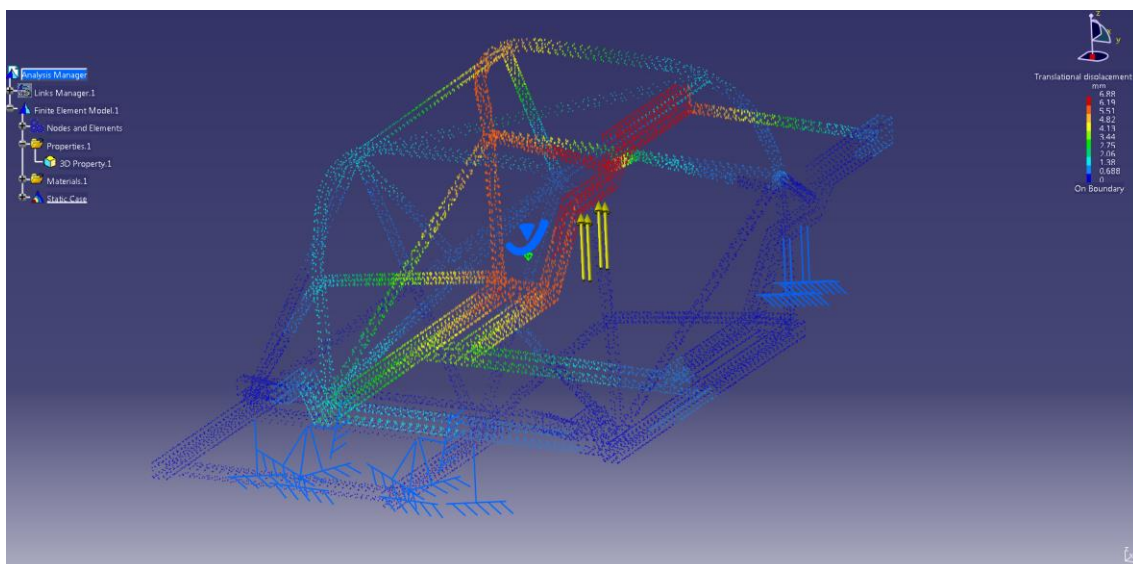


Kuva 15. Sivuttaistörmäys 100 kN:n voimalla.

### 4.3 Vääntöjäykkyyden arviointi

Rungon vääntö- tai kiertojäykkyys kuvaa kuinka hyvin runko pystyy vastustamaan muodonmuutosta, kun siihen kohdistetaan vääntävää voimaa. Kilpa-auton toiminnan kannalta tämänlainen joustaminen ei ole suotavaa. Korin jousto estää alustaa toimimasta suunnitellulla tavalla ja haittaa siten ajo-ominaisuuksia. Vääntöjäykkä auto on myös vakaampi ajettava etenkin suurissa nopeuksissa.

Rungon kiertojäykkyyttä pyrittiin arvioimaan tukemalla runko paikoilleen akseleiden kohdilta rungon molemmista takakulmista sekä vasemmasta etukulmasta, minkä jälkeen oikean eturenkaat kohdalle runkopalkkiin kohdistettiin voima alhaalta ylöspäin (kuva 14). Tarkoituksena oli selvittää millä voimalla runkopalkki nousisi siten, että korin pitkittäinen kiertymä olisi yhden asteen verran. Jotta runkopalkki vääntyi ylöspäin, niin että rungon vääntyminen oli  $1^\circ$ , täytyi runkoa kuormittaa 17.000 N:n voimalla. Etuakselin runkopalkkien etäisyyttä (760 mm) hyväksi käyttämällä saadaan laskettua auton kiertojäykkyydeksi n. 6500 Nm/ $^\circ$ .



Kuva 16. Rungon vääntäminen 17.000 N:n voimalla.

#### 4.4 Yhteenveto lujuuslaskelmista

Lujuuslaskelmista saadut tulokset antavat hyvän pohjan rungon jatkokehitykselle. Rungon voi todeta jo esitetyn mallisena omaavan lähes riittävän jäykkyyden tavallisimpien ulkoisten iskujen kestämiseksi. Huomionarvoista on myös se, että tehdyissä simulaatioissa rungon ympäriltä puuttuu kokonaan rungon päälle tuleva korirakenne. Näihin korirakenteisiin voi laskea esimerkiksi ovet, lokasuojat, puskurit ja konepeiton, jotka jokainen itsessään toimivat mahdollisessa törmäystilanteessa eräänlaisina törmäysvaimentimina käyttämällä osan törmäyksessä runkoon syntyvästä energiasta oman muotonsa muuttamiseen ja siten vaimentaen runkoon kohdistuvaa iskuä.

## 5 Rungon valmistus

### 5.1 Materiaalien leikkauttaminen

Runkoprofiilipalkkien leikkaus ja samalla apurunkojen kiinnityspulttien kierreniittimutterien asennukseen vaadittavat reijät leikkautettiin Putkilaser Oy:ssä rungon valmistusprosessin nopeuttamiseksi sekä vaadittavien toleranssien täyttämiseksi. Putkilaser Oy:n palveluiden käyttöön laserleikkauksessa päädyttiin

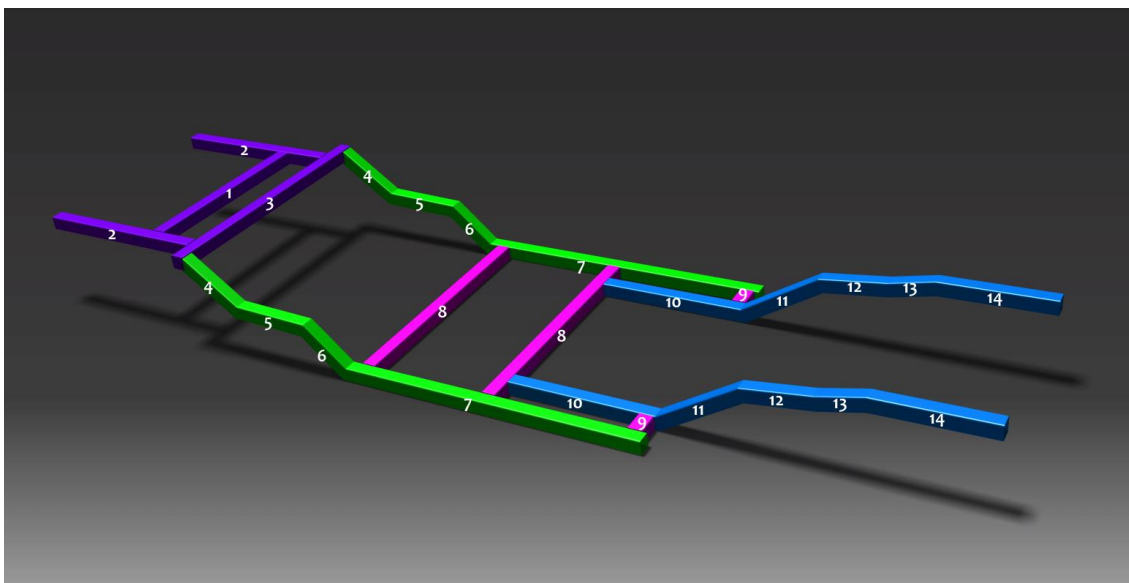
hyvän asiakaspalvelun sekä heiltä löytyvän laadukkaan putkilaserleikkauskoneen (Trulaser Tube 7000) perusteella. Putkilaser Oy:n käyttämän Trulaser Tube 7000 - laserleikkauskoneen leikkaustoleranssi on ainoastaan n. 0,2 mm. Laserleikkauksen käyttö mallinnettujen osien leikkauksessa valittiin laserleikkauksen kustannustehokkuuden puolesta. Laserleikkauksen yhteydessä runkoon tarvittavat reijät kierreniittimutterien asennukseen saatiin myös samalla tarkasti ja lähes ilman lisäkustannuksia teetettyä (kuva 12).



Kuva 17. Laserleikatut runkoprofiiliputket.

## 5.2 Leikattujen putkien liittäminen

Rungon valmistus suoritettiin Metropolia ammattikorkeakoulun hitsauslaboratorion jigipöydällä (ns. millimetripöytä), jossa rungon kokoaminen riittävän suurella tarkkuudella oli mahdollista. Jigipöytä on teräksestä valmistettu pöytätaaso, jossa on määrätyn välein osien tukevan kiinnittämisen mahdollistavien kiinnitysokalujen asennusreiät. Pöytä on myös kauttaaltaan merkattu millimetrin välein, jotta osien sijoittelussa ei erillisiä mittauslaitteita tarvitse yhdellä tasolla työskenneltäessä käyttää. Oheisessa kuvassa (kuva 13) on rungon eri kokoonpanovaiheet eroteltuina värein ja numeroin.



Kuva 18. Rungon pohjaosan kokoonpanokuva.

Kokoonpanon suunnittelussa oli kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että järjestys mahdollistaisi rungon hitsaamisen jokaisesta suunnasta rungon ollessa tukevasti jigipöydässä. Rungon pohjaosan valmistus päätettiin tehdä seuraavassa järjestyksessä:

- osat 1–3 yhdistettiin toisiinsa yhdellä tasolla erillisenä kokoonpanona
- osat 4–7 yhdistettiin toisiinsa yhdellä tasolla erillisenä kokoonpanona
- osat 10–14 yhdistettiin toisiinsa yhdellä tasolla erillisenä kokoonpanona
- osista 4–7 valmistetut osat yhdistettiin toisiinsa käyttäen apuna osia 8 ja 9
- edeltä mainittuun rakennelmaan yhdistettiin osista 10–14 valmistetut osat
- edeltä mainittuun rakennelmaan yhdistettiin osista 1–3 valmistetut osat

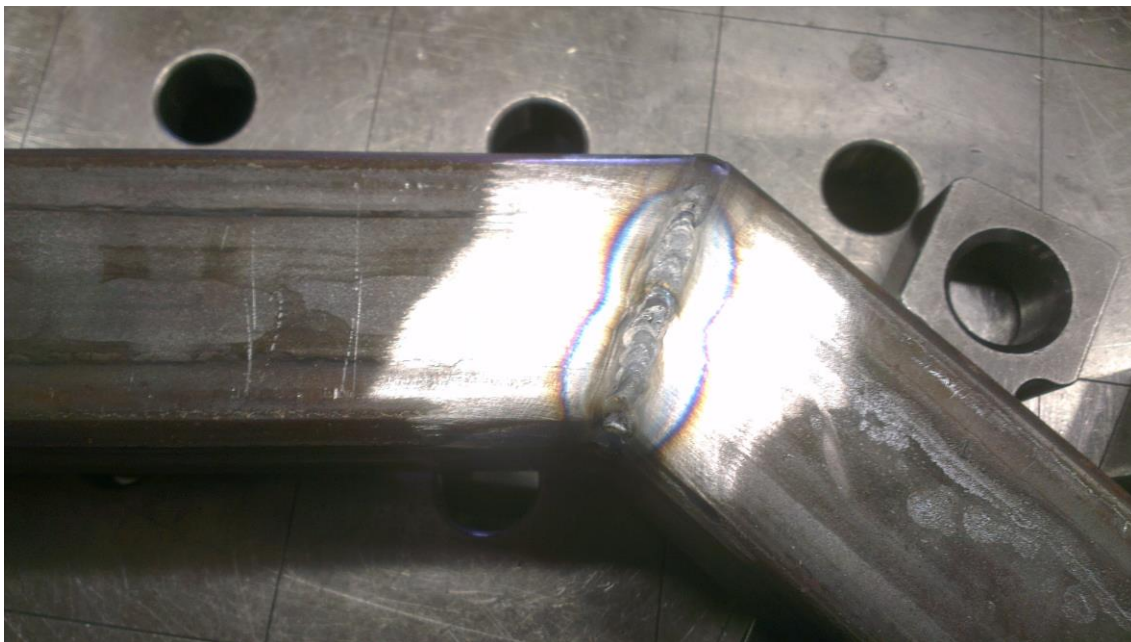
Rungon osat kiinnitettiin aluksi tukevasti jigipöytään kiinni (kuvat 15–16), jonka jälkeen osakokonaisuudet ensin alustavasti kasattiin käyttäen pistehitsaustekniikkaa. Hitsauksessa oli kiinnitettävä erityistä huomiota rakennelman venymiseen ja muodonmuutokseen TIG-hitsauksessa syntyvän materiaalia taivuttavan suuren lämmönmuodostuksen takia [5, s. 19–20]. Pistehitsaamisen jälkeen lopullinen hitsaaminen toteutettiin lyhyillä n. 3 cm pituisilla hitsaus-saumoilla (kuva 17). Hitsaaminen tehtiin symmetrisesti lämmöstä johtuvien vääristymien estämiseksi siten, että runko hitsattiin vuorotellen molemmiin puolin.



Kuva 19. Osat 1–3 kiinnitettynä tukevasti jigipöytään.



Kuva 20. Osat 10–14 kiinnitettynä tukevasti jigipöytään. Osat 4–7 taka-alalla valmiiksi koottuina.



Kuva 21. Rungon hitsaussauma sekä taustalla jigipöydän kiinnitysyökalujen asennusreiät.

Rungon valmistuksen jälkeen valmis runko digitoitiin 3D-mittausvarrella ja mitattuja pisteitä verrattiin CAD-ohjelmalla valmistuksen onnistumisen arvioimiseksi. Suurimmat ristikkäiset heitot rungossa olivat ainoastaan n. 2 mm (pisin mahdollinen mitattava väli), joten rungon valmistus todettiin onnistuneeksi.

## 6 Päätelmät

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa vanhaan ruostevaurioituneeseen autoon uusi runko, joka mahdollistaisi auton tarkoituksenmukaisen käytön moottoriurheilussa. Rungon tärkeimmiksi tavoitteiksi asetettiin keveys, lujuus ja turvallisuus.

Rungon suunnittelulle varatun ajan puitteissa suunnittelua ei ollut mahdollista viedä loppuun asti ennen varsinaista rungon valmistusta. Suurimmat ongelmat rungon suunnittelussa liittyivät runkoon vaikuttavien tekijöiden monilukuisuuteen ja niistä syntyvien ongelmien ratkaisemiseksi vaatineisiin lukuisiin kompromisseihin. Osa näistä kompromisseista olisi ollut paremmin ratkaistavissa, jos ne oli havaittu suunnittelun alkuvaiheessa. Rungon valmistuttua (kuva 16) ja varsinaisen auto kokoonpanon alettua on projektissa ilmennyt useita kehitystä vaativia seikkoja, mutta nämä kaikki ovat olleet kohtuullisella työmäärällä muutettavissa.



Kuva 22. Valmis runjon pohjaosa.

Runjon suunnittelu ja rakentaminen on ollut monella tapaa opettavainen kokemus, sillä runkoa suunnitellessa on joutunut opiskella hitsaustekniikkaa, teräksiä, auton alustadynamiikkaa ja ajokäyttäytymistä, muotoaktiivisen rakenteen suunnittelua, projektin aikataulutusta, auton koritekniikkaa, moottoritekniikkaa sekä oikeastaan lähes kaikkea auton valmistamiseen, suunnitteluun sekä rakenteeseen liittyvää.

Auton rakentamisen jatkuessa valmiin pohjan päälle on uusia komponentteja rakennettaessa ollut mielekästä jatkaa suunnittelua kohta kohdalta kohti valmista autoa (kuva 17). Auton 3D-malli myös täydentyy jatkuvasti rakentamisen edetessä. Seuraavana työvaiheena suunnittelussa on auton rungon tarkempi lujuuslaskenta Abaqus-ohjelmistolla ja sen jälkeiset muutostyöt runkoon sekä auton pintamallin valmistuttua tietokoneella tehtävä aerodynaaminen simulaatio Ansys-ohjelmistolla.

Haluan kiittää erityisesti Metropolia Ammattikorkeakoulun projekti-insinöörinä toiminutta Joel Kontturia, joka toimi projektissa suurena apuna ja mahdollisti rungon oikeaoppisen valmistamisen.



Kuva 23. Runko 30.8.2014.

## Lähteet

- 1 Forbers, Aird. 1997. Race Car Chassis: Design and Construction. MBI.
- 2 Autojen tekniset määräykset ja kuljettajan ajovarusteet, liite j. 2015. Verkkodokumentti. AKK-Motorsport ry. <<http://www.autourheilu.fi/attachements/2015-01-08T11-03-07218.pdf>>. Luettu 8.5.2015.
- 3 Rivkle – Blind rivet nuts and studs. 2015. Verkkodokumentti. Böllhoff Group. <<http://www.boellhoff.com/static/pdf/downloadcenter/EN-FR-DE-IT-ES/RIVKLE-EN-FR-DE-IT-ES.pdf>>. Luettu 8.5.2015.
- 4 Liikennejärjestelmän kolariväkivalta. 2006. Verkkodokumentti. LINTU-tutkimusohjelma. <<http://www.lintu.info/VIOLA.pdf>> . Luettu 8.5.2015.
- 5 Starck, Tuukka. 2011. Ovakon terästen hitsausesitteen päivittäminen. Verkkodokumentti. <<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/67387/nbnfi-fe201102081219.pdf?sequence=3>>. Luettu 8.5.2015.
- 6 2015. FIA regulations. Verkkodokumentti. FIA. <[www.fia.com/regulations](http://www.fia.com/regulations)>. Luettu 8.5.2015.

## Liitteet

Liite 1. BMW 3 Series E30 frame alignment control dimensions


Liite 2. BMW 3 Series E46 M3 (S54 COUPE) frame alignment control dimensions

Liite 3. Neliönmuotoiset Form 600 –ohutseinäputket, Ruukki

Liite 4. Neliönmuotoiset Optim 700 Plus MH –rakenneputket, Ruukki

Liite 5. Product Data Sheet OK Tigrod 12.64, Esab

### BMW 3 Series E30 frame alignment control dimensions

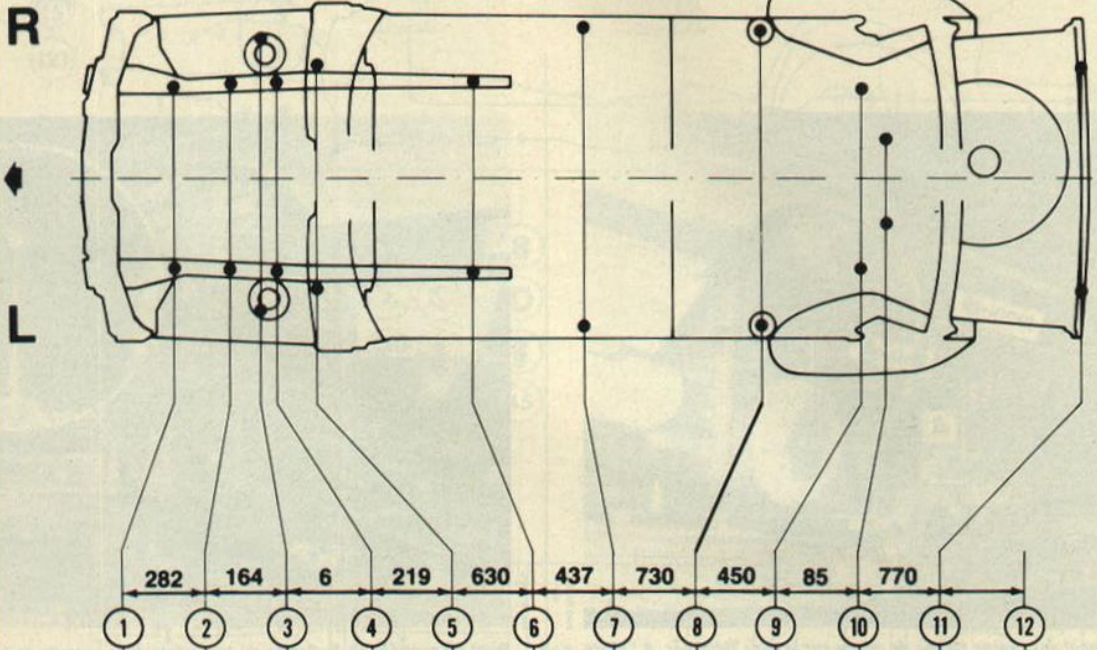



**BMW**  
3-serien 1983-


3225


151237


Feuille de mesure du banc Dataliner pour BMW « Série 3 » E 30  
Mécanique montée précisant les points à contrôler, les accessoires à utiliser et les cotes à relever.




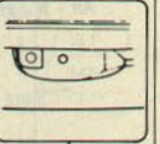


























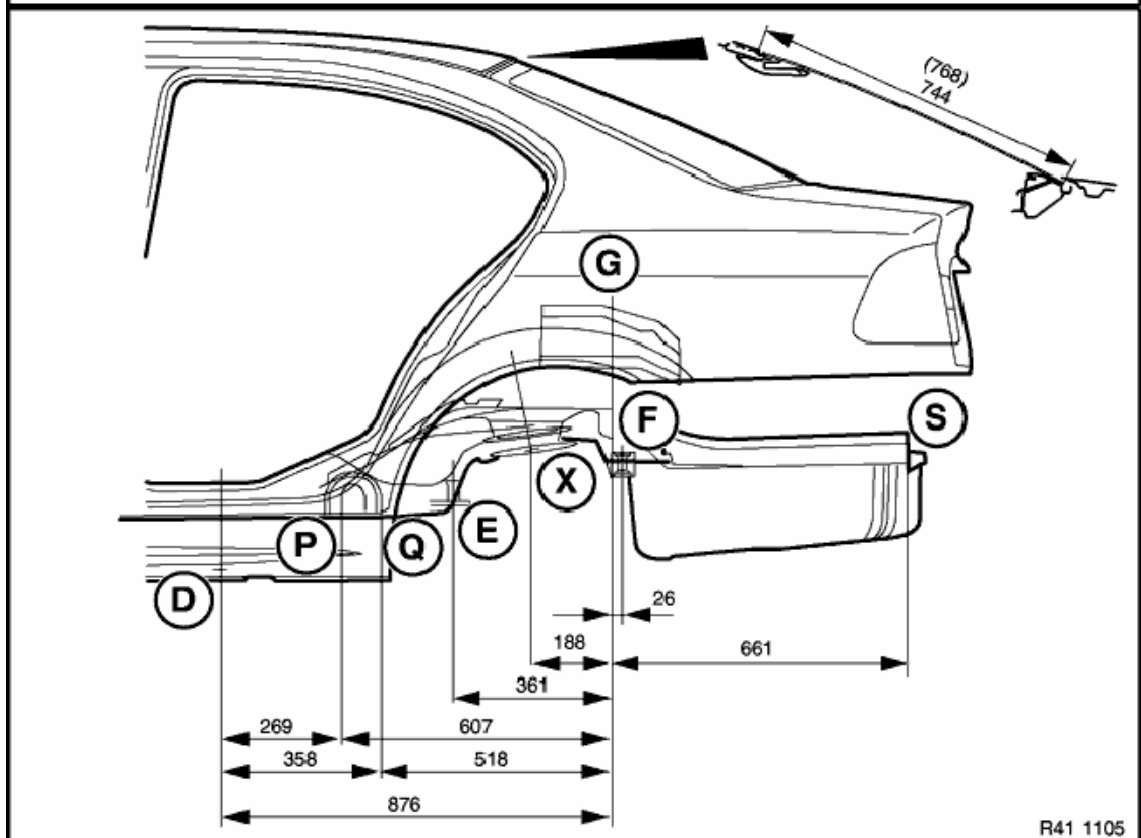
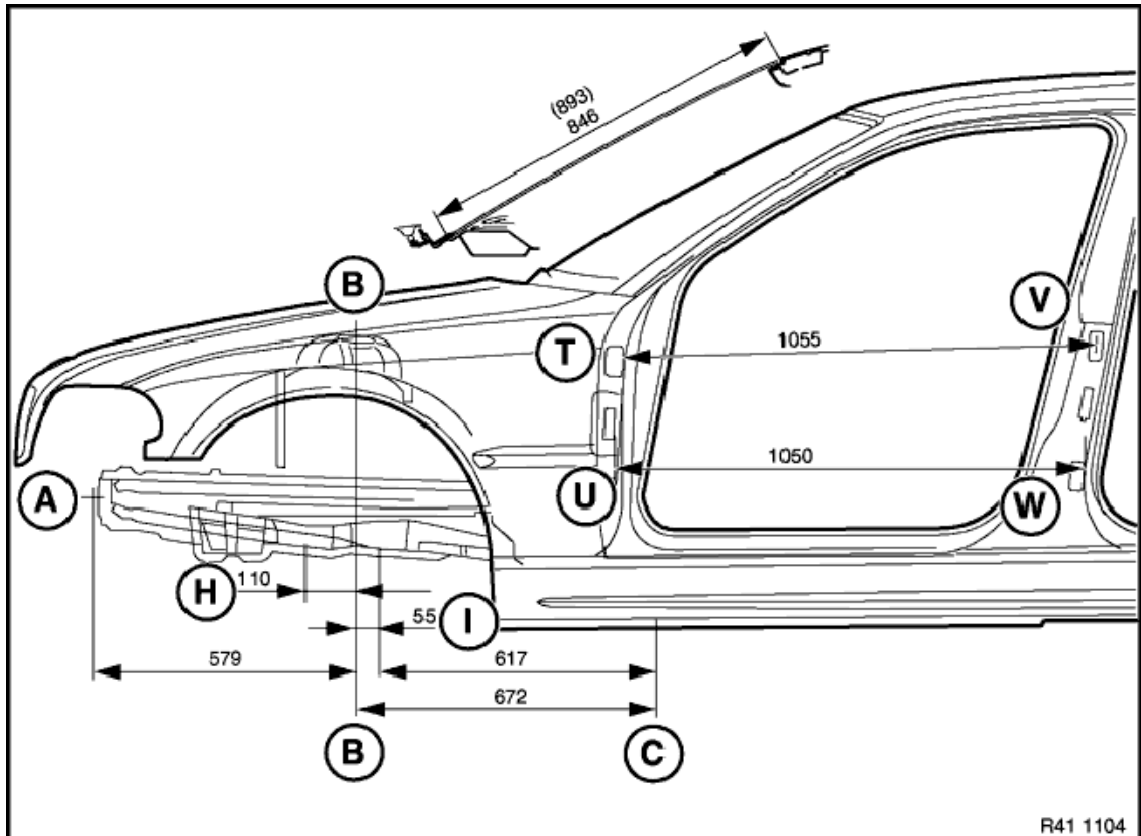




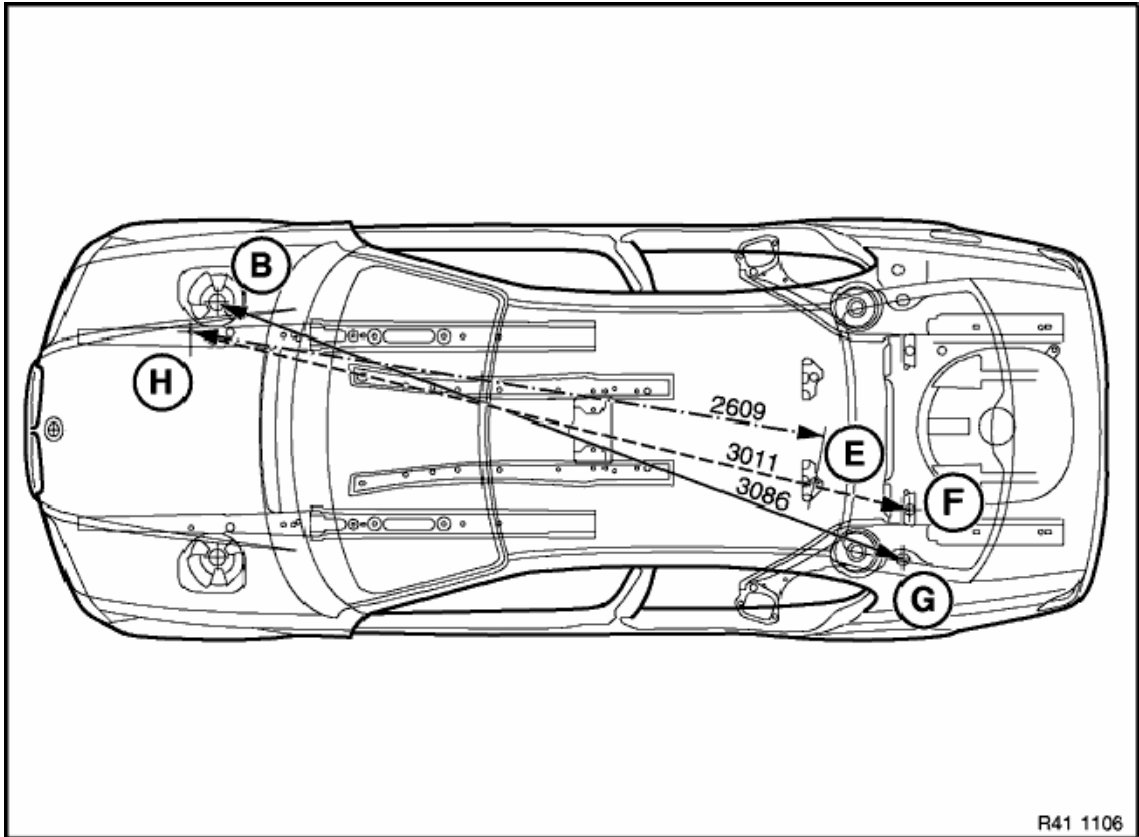
13	17	17	17	17	12x18	14	22	10	10	10	
1	1	1	1	2	1	3K	1	1	3	1	
100	100	600	100	-	-	-	-	200	200	200	
235	126	168	124	147	147	182	170	163	164	221	

	2468	2186	6°	2016	1797	1167	730	0	450	535	1305
	452	170	6°	0	219	859	1286	2016	2466	2551	3321
	741	785	1100	785	820	790	1216	1224	905	440	904
	370	392	550	392	410	395	608	612	452	220	452

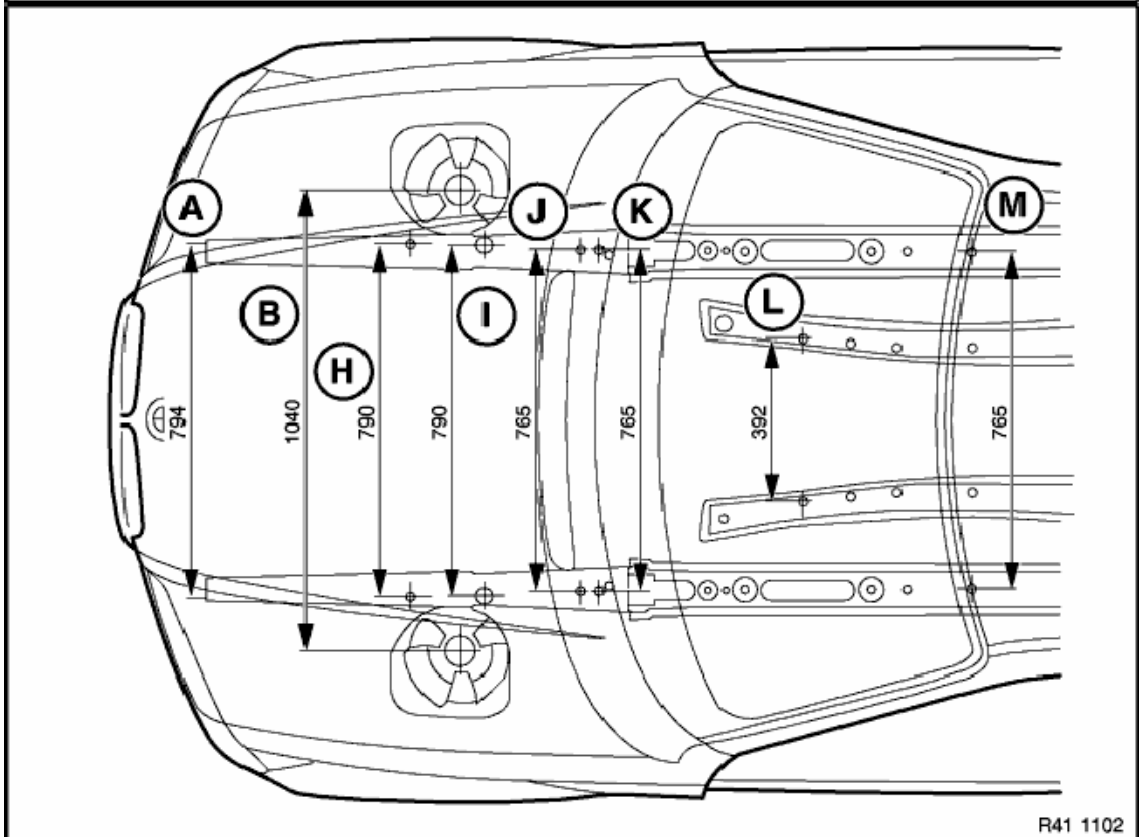
**BMW 3 Series E46 M3 (S54 COUPE) frame alignment control dimensions**



**BMW 3 Series E46 M3 (S54 COUPE) frame alignment control dimensions**

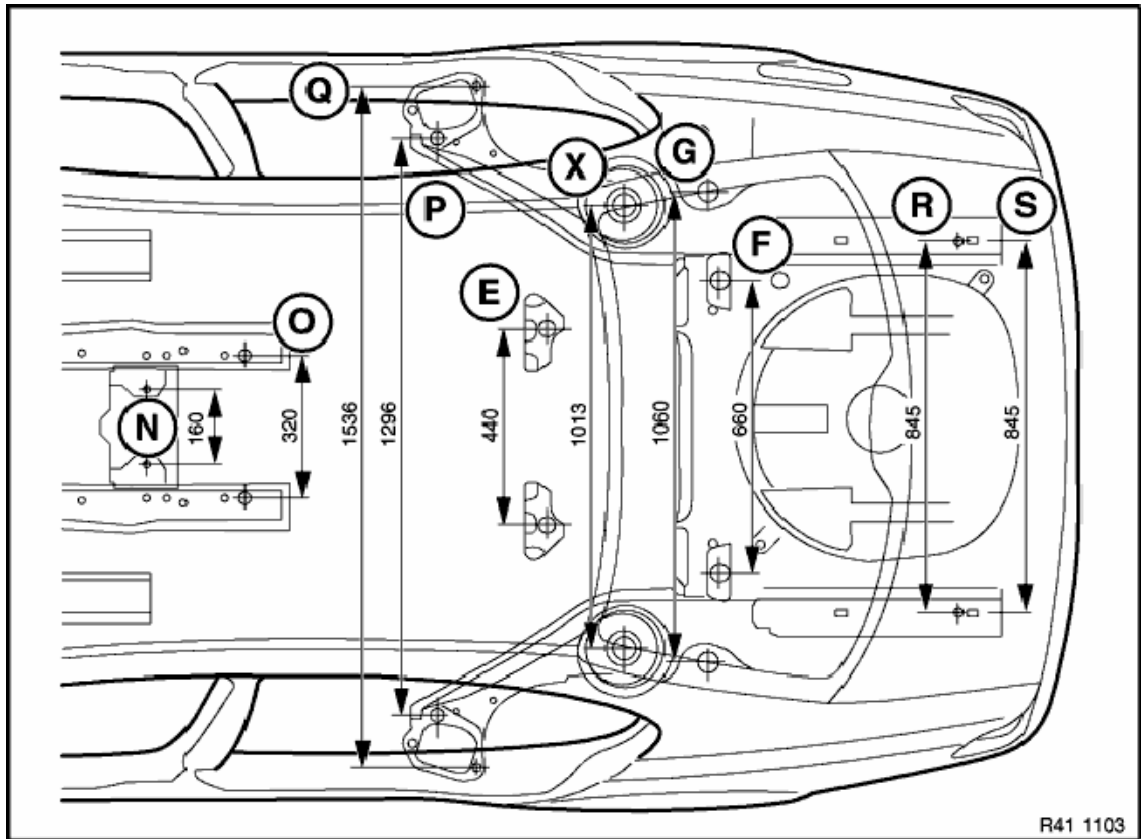


R41 1106



R41 1102

**BMW 3 Series E46 M3 (S54 COUPE) frame alignment control dimensions**

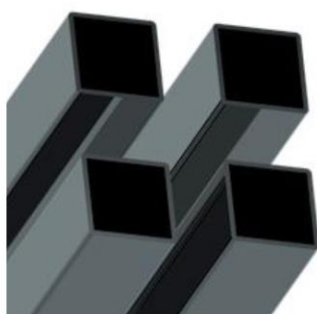


R41 1103

## Neliönmuotoiset Form 600 –ohutseinäputket, Ruukki



**RUUKKI**  
PART OF SSAB



### Neliönmuotoiset Form 600 -ohutseinäputket

Ruukin lujat Form-ohutseinäputket ovat optimaalisia käyttökohteissa, joissa teräsputkien on oltava erityisen lujia ja samalla kevyitä.

**Käyttökohteita:**

- Autojen tukirakenteet
- Kalusteet
- Työvälineet
- Urheilu- ja vapaa-ajan välineet

Tämä ohjelehti on tarkistettu mahdollisimman huolellisesti. Emme kuitenkaan vastaa mahdollisista virheistä tai tietojen väärästä soveltamisesta aiheutuneista välittömistä tai välillisistä vahingoista. Oikeudet muutoksiin pidätetään.

Copyright © 2015 SSAB tai sen konserniyhtiöt. Kaikki oikeudet pidätetään.

Tulostuspäivä 05.05.2015

[www.ruukki.fi](http://www.ruukki.fi)

## Neliönmuotoiset Form 600 –ohutseinäputket, Ruukki

Neliönmuotoiset Form 600 -ohutseinäputket

### Mitat

Ulko- mitat H x B mm	Seinämän paksuus mm / Paino kg/m			
	1	1.25	1.5	2
12,7 x 12,7	0.35	0.42		
15 x 15	0.42	0.51	0.59	
16 x 16	0.45	0.55	0.64	
19 x 19	0.55	0.67	0.78	0.99
20 x 20	0.58	0.70	0.83	1.05
22 x 22	0.64	0.78	0.92	
25 x 25	0.73	0.90	1.06	
25,4 x 25,4	0.75	0.92	1.08	
30 x 30	0.89	1.01	1.30	1.68
32 x 32	0.95	1.18	1.39	1.80
35 x 35	1.05	1.29	1.53	1.99
40 x 40		1.49	1.77	2.31
50 x 50		1.88	2.24	2.93
60 x 60			2.71	3.56
80 x 80			3.65	4.82
100 x 100			4.59	6.07

Putkia voidaan valmistaa eri mitoilla sopimuksen mukaan.

### Toleranssit

Ulkomitat Pidempi sivu, H	Toleranssit
H ≤ 25 mm	±0.20 mm
25 < H ≤ 35 mm	±0.25 mm
35 < H ≤ 50 mm	±0.30 mm
50 < H ≤ 60 mm	±0.35 mm
60 < H ≤ 70 mm	±0.40 mm
70 < H ≤ 80 mm	±0.50 mm
80 < H ≤ 90 mm	±0.60 mm
90 < H ≤ 100 mm	±0.65 mm
100 < H ≤ 150 mm	±0.70 mm

## Neliönmuotoiset Form 600 –ohutseinäputket, Ruukki

Neliönmuotoiset Form 600 -ohutseinäputket

Ominaisuus	Toleranssit <sup>1)</sup>
<b>Sivujen tasomaisuus:</b>	Sisältyy ulkomittojen toleranssiin
<b>Seinämän paksuus, T:</b>	±10 % nimellispaksuudesta tai +/-0,15 mm, kun T < 1,5 mm
<b>Suoruus:</b>	< 0,15 % mittapituudesta, kun lyhyempi sivu > 30 mm 0,25 % mittapituudesta, kun lyhyempi sivu ≤ 30 mm
<b>Hitsin sijainti (keskilinjasta):</b>	Vakiona kapealla sivulla ±10 % sivun pituudesta tai ±3 mm sivun pituudesta, kumpi vain on suurempi.

<sup>1)</sup> Toleranssit ulkomitoille H ja B

Putkia voidaan valmistaa myös asiakaskohtaisilla toleransseilla sopimuksen mukaan.

### Ominaisuudet

#### Mekaaniset ominaisuudet

Form 600 -ohutseinäputket valmistetaan kaksifaasiteräksestä (Dual Phase), jolle on ominaista korkea murtolujuus yhdistettynä hyviin venymäarvoihin. Ruukki takaa putken ominaisuudet raaka-aineen sijasta. Lujien ohutseinäputkien mekaaniset ominaisuudet on ilmoitettu alla olevassa taulussa. Hitsialueen kovuus on pääasiassa suurempi kuin perusaineen, mutta muutosvyöhykkeellä saattaa olla kapea pehmeämpi vyöhyke.

	Myötölujuus R <sub>p</sub> 0,2 MPa	Murtolujuus R <sub>m</sub> MPa	Murtovenymä A <sub>5</sub> %
Kylmävalssattu	väh. 500	väh. 600	väh. 15
Sinkkipinnoitettu	väh. 500	väh. 600	väh. 12

#### Kemiallinen koostumus

	Pitoisuuden painoprosentti enintään		
	C enintään	Si	Mn
Kylmävalssattu	0.15	0.50	1.10
Sinkkipinnoitettu	0.17	0.40	1.70

#### Pinnoitteet

Lujia suorakaiteenmuotoisia Form 600 -ohutseinäputkia voidaan valmistaa galvanoidusta tai kylmävalssatusta teräksestä.

#### Seinämän paksuudet

Kylmävalssattu	Sinkkipinnoitettu
1,0–2,0 mm	1,0–2,0 mm

#### Pinnansuojaus kuljetusta ja lyhytaikaista varastointia varten

Kylmävalssattu	Sinkkipinnoitettu
Kevytöljy (vakio)	Kevytöljy (vakio)
Kuiva <sup>2)</sup>	

<sup>2)</sup> Ruukki ei vastaa mahdollista ruosteaurioista.

## Neliönmuotoiset Form 600 –ohutseinäputket, Ruukki

Neliönmuotoiset Form 600 -ohutseinäputket

Sinkkipinnoitteen paino

Sinkkipinnoitteen merkintä	Sinkkipinnoitteen kuvio	<sup>1)</sup> Vähimmäispaino g/m <sup>2</sup>	Sinkkipinnoitteen paksuus yhdellä puolella (vakioarvo) <sup>1)</sup> μm
Z100 M	M (pienikuvioinen)	100	7
Z275 M	M (pienikuvioinen)	275	20

<sup>1)</sup>Kolmen kokeen keskiarvo. Merkintä g/m<sup>2</sup> tarkoittaa yhden neliömetrin (1 m<sup>2</sup>) suuruisen levyn kummankin puolen pinnoitteiden kokonaispainoa. Pinnoitteen paksuutta voidaan muuttaa sopimuksen mukaan (100–350 g/m<sup>2</sup>).

### Tilaukset ja toimitus

#### Laadunvarmistus

Form-ohutseinäputkien laatu taataan ISO 9001 -sertifioidulla laadunhallintajärjestelmällä, jota on täydennetty autoteollisuuden erikoisvaatimuksilla, kuten PPAP- ja SPC-prosesseilla. Pituussuuntaisen hitsisauman tarkastus suoritetaan täysin pyörrevirtalaitteistolla EN-standardien vaatimusten mukaisesti.

#### Ainestodistukset

Ohutseinäputkien mukana toimitetaan aina koetustodistus (EN 10204-2.2), joka sisältää käytettyjen valmistusmenetelmien mekaanisten kokeiden arvot. Putket voidaan toimittaa sopimuksen mukaan myös EN 10204-3.1 -tarkastustodistuksen kanssa.

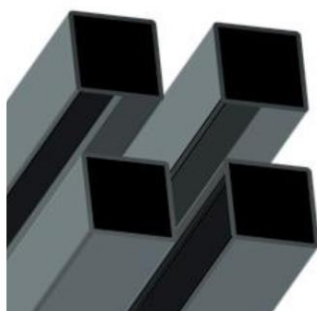
#### Yleiset toimitustiedot

Toimitusehdot löydät esitteestä *Yleiset myyntiehdot*.

## Neliönmuotoiset Optim 700 Plus MH –rakenneputket, Ruukki



**RUUKKI**  
PART OF SSAB



### Neliönmuotoiset Optim 700 Plus MH - rakenneputket

Ruukin erikoislujat Optim rakenneputket on kehitetty vaativia konepajatuotteita varten. Ne ovat parhaimmillaan korkeaa lujuutta vaativissa ja kovassa rasituksessa toimivissa tuotteissa.

Optim rakenneputkia on saatavissa neliön-, pyöreän- ja suorakaiteenmuotoisina. Neliön- ja suorakaiteenmuotoisten putkien nurkkapyöristykset ovat nyt täysin yhtenevät EN 10219 mukaan valmistettujen rakenneputkien kanssa.

#### Käyttökohteita:

- nosturit
- koneiden rungot
- kuljetuskalusto
- kuorman käsittelylaitteet
- pumppauslaitteet

SSAB

Tämä ohjelehti on tarkistettu mahdollisimman huolellisesti. Emme kuitenkaan vastaa mahdollisista virheistä tai tietojen väärästä soveltamisesta aiheutuneista välittömistä tai välillisistä vahingoista. Oikeudet muutoksiin pidätetään.

Copyright © 2015 SSAB tai sen konserniyhtiöt. Kaikki oikeudet pidätetään.

Tulostuspäivä 05.05.2015

[www.ruukki.fi](http://www.ruukki.fi)

## Neliönmuotoiset Optim 700 Plus MH –rakenneputket, Ruukki

Neliönmuotoiset Optim 700 Plus MH -rakenneputket

### Toleranssit

Ominaisuus	Toleranssi EN 10219-2:2006 -standardin mukainen
Ulkomitat <sup>1)</sup> (B, H):	Kun B, H < 100 mm: ±1 %, vähintään ±0,5 mm Kun 100 mm ≤ B, H ≤ 200 mm: ±0.8% Kun B, H > 200 mm: ±0.6%
Seinämän paksuus (T):	-5 % / +10 %, vähintään ±0,2 mm ja enintään ±0,5 mm
Nurkan ulkosäde (R):	Kun T ≤ 6 mm: 1,6 x T...2,4 x T Kun 6 mm < T ≤ 10 mm: 2,0 x T...3,0 x T
Nelikulmaisuus:	90° ±1°
Koveruus/kuperuus:	0,8 %, kuitenkin vähintään ±0,5 mm
Kiertymä (V):	2 mm + 0,5 mm/m
Suoruus:	0,15% putken pituudesta <sup>2)</sup>
Paino (M):	Yksittäinen putki: ±6%
Vakiopituus:	≥6 000 mm: 0/+50 mm
Määräpituus:	Sovitaan tilauksen yhteydessä

<sup>1)</sup>Kaikki ulkomitat mitataan vähintään B:n etäisyydeltä neliönmuotoisissa rakenneputkissa, vähintään H:n etäisyydeltä suorakaiteenmuotoisissa rakenneputkissa ja vähintään D:n etäisyydeltä rakenneputken päästä katsottuna. Etäisyyden on oltava vähintään 100 mm.

<sup>2)</sup> Kuitenkin enintään 3 mm yhden metrin pituisella alueella.

### Ominaisuudet

Mekaaniset ominaisuudet

Myötölujuus R <sub>p0,2</sub> MPA vähintään	Murtolujuus R <sub>m</sub> MPA vähintään	Murtovenymä A <sub>5</sub> % vähintään	Iskusitkeystestin lämpötila °C <sup>1)</sup>
700	750	10	-40

<sup>1)</sup> Vähimmäisiskusitkeysvaatimus on 40 J, kun koe suoritetaan 10 x 10 mm<sup>2</sup>:n kokoisella V-lovisauvalla EN 10045-1 -standardin mukaisesti. Rakenneputkien, joiden D/T < 15 (pyöreät) tai (B + H)/2T < 12,5 (neliö ja suorakaide), murtovenymän minimivaatimus on 2 %-yks. matalampi.

Kemiallinen koostumus

$$CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

Pitoisuus-%

C	Si	Mn	P	S	Al	CEV
enintään	enintään	enintään	enintään	enintään	vähintään	enintään
0.10	0.5	2.10	0.02	0.01	0.015	0.41

Lisäksi niobia (Nb), titaania (Ti), vanadiinia (V) ja molybdeeniä (Mo) tai niiden yhdistelmiä käytetään mikroostusaineina.

### Käsittelyohjeet

Hitsaaminen

Optim-rakenneputkista valmistettujen rakenteiden hitsaukselle ei ole erikoisvaatimuksia. Rakenteet voidaan hitsata kaikilla yleisillä hitsausmenetelmillä, sillä rakenneputket valmistetaan termomekaanisesti kuumavalssatusta teräksestä. Tämä johtuu alhaisista hiilikvivalenteista ja vähäseosteisuudesta rakenneputken lujuuteen nähden. Työlämpötilaa ei normaaleissa konepajaolosuhteissa tarvitse korottaa.

## Neliönmuotoiset Optim 700 Plus MH –rakenneputket, Ruukki

Neliönmuotoiset Optim 700 Plus MH -rakenneputket

### Referenssit

Dometal: Teräsvalinnoilla säästöjä perävaunujen tuotantoprosessiin

Rekola Juhani Tmi - METAKA-vaihtolavavaunut vaativille asiakkaille

Merivaara - Ensiluokkainen laatu ja toimitusvarmuus yhteistyön perusta

Helkama-kuski polkee Ruukin teräsrungolla

### Tilaukset ja toimitus

#### Tunnusmerkintä

Rakenneputket merkitään mustesuihkumerkinnällä, josta ilmenevät seuraavat tiedot:

- Ruukki-tunnus
- tuote
- tuotteen mitat
- tunnusnumero
- Näiden tietojen perusteella voidaan tarvittaessa selvittää valmistus- ja raaka-ainetiedot.

#### Ainestodistus

Valmiiden putkipalkkien mekaaniset ominaisuudet testataan, ja tuotteet toimitetaan yleensä EN 10204-3.1 - tarkastustodistuksen kanssa.

#### Yleiset toimitustiedot

Toimitusehdot löydät esitteestä *Yleiset toimitusehdot*.

## Product Data Sheet OK Tigrod 12.64, Esab


**Product Data Sheet**  
 W 'Tungsten inert gas arc welding'

**OK Tigrod 12.64**

Signed by Mats Linde	Approved by Per Sundberg/Barbro Karlström	Reg no EN002357	Cancelling EN002134	Reg date 2004-08-24	Page 1 (2)
-------------------------	--	--------------------	------------------------	------------------------	---------------

**REASON FOR ISSUE**

Classification Weld Metal added.

**GENERAL**

A copper coated, G4Si1/ER70S-6 rod for GTAW of general structural and engineering unalloyed and low-alloyed carbon-manganese steels. Compared with OK Tigrod 12.61, OK Tigrod 12.64 has a slightly higher silicon and manganese content, which increases the weld metal strength. The high silicon content promotes low sensitivity to surface impurities and contributes to smooth, sound welds.

**Shielding Gas:** Argon

**Alloy Type:** Carbon-manganese steel

**CLASSIFICATIONS Weld Metal**

EN 1668 W 46 3 W4Si1

**CLASSIFICATIONS Wire Electrode**

 EN 1668 W4Si1  
 SFA/AWS A5.18 ER70S-6

**APPROVALS**

 ABS 3, 3Y  
 CL  
 DNV III YM (I1)  
 GL 3Y  
 LR 3 3Y  
 UDT DIN 8559  
 VdTÜV 05260

**CHEMICAL COMPOSITION**

	All Weld Metal (%)		Wire/Strip (%)	
	Nom	Min	Max	
Ar				
C	0.08	0.06	0.12	
Si	0.80	0.80	1.15	
Mn	1.28	1.60	1.85	
P	0.015		0.025	
S	0.013		0.025	

**MECHANICAL PROPERTIES OF WELD METAL**

Properties	All Weld Metal			Ar (I1)
	Ar (I1)		Typ	AWS
	EN			
	As welded			As welded
	Min	Max		Min
ReL (MPa)	420		525	400
Rm (MPa)	500	640	595	480
A4-A5 (%)	20		26	22
Charpy V at -29°C (J)				27
Charpy V at -30°C (J)	47		70	

**Product Data Sheet OK Tigrod 12.64, Esab****Product Data Sheet**  
W 'Tungsten inert gas arc welding'**OK Tigrod 12.64**

Signed by Mats Linde	Approved by Per Sundberg/Barbro Karlström	Reg no EN002357	Cancelling EN002134	Reg date 2004-08-24	Page 2 (2)
-------------------------	--	--------------------	------------------------	------------------------	---------------

**OTHER DATA**

Length of rods: 1000 mm.

Dimensions available are: 1.6, 2.0, 2.4, 3.2 and 4.0 mm.

The wire rods are delivered in boxes of 5.0 kg net weight.

**Böllhoff Rivkle – Blind rivet nuts and studs**