

Olli Isokoski

**TURVAKAARIEN SUUNNITTELU, MALLINTAMINEN JA
ANALYSOINTI**

TURVAKAARIEN SUUNNITTELU, MALLINTAMINEN JA ANALYSOINTI

Olli Isokoski
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Olli Isokoski
Opinnäytetyön nimi: Turvakaarien suunnittelu, mallintaminen ja analysointi.
Työn ohjaaja: Mauri Haataja
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 69 + 0 liitettä

Opinnäytetyön aiheena oli perehtyä turvakaarien suunnitteluun, mallintamiseen ja kuvitellussa törmäystilanteessa turvakaarien maksimijännitysten analysointiin edestä- ja sivustapäin. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä turvakaarien säännöksiin ja näiden perusteella turvakaarien mallintamiseen Oulun ammattikorkeakoulun Audi A1 -projektin autoon. Tavoitteena turvakaarien mallintamisessa oli saada turvakaaret kestävämmän kuvitellun törmäystilanteen iskuja. Turvakaarien analysoinnissa tavoitteena oli saada maksimijännitykset esille törmäystilanteessa edestä- ja sivustapäin.

Turvakaarien suunnittelussa perehdyttiin turvakaarien säännöksiin ja säännösten perusteella turvakaaret suunniteltiin Audi A1 -projektin autoon. Turvakaarien mallintamisessa käytettiin Catia V5R20 -mallinnusohjelmaa ja turvakaarien säännöksiä ja turvakaaret mallinnettiin näiden säännösten perusteella. Turvakaarien analysoinnissa käytettiin Catia V5R20 -mallinnusohjelmaa. Analysoinnissa laskettiin autoon vaikuttava maksimivoima 100 km/h nopeudesta sekunnin aikana tapahtuvassa törmäyksessä ja osoitettiin tämä voima mallinnettuihin turvakaariin ja analysoitiin von mises stress -työkalulla turvakaariin vaikuttavat maksimijännitykset edestä- ja sivustapäin.

Työn tuloksena on saavutettu mallinnetut turvakaaret säännöskien perusteella Oulun ammattikorkeakoulun Audi A1 -projektin autoon. Työssä analysoitiin turvakaaret ja näiden maksimijännitykset törmäystilanteessa edestä- ja sivustapäin ovat 891,827 Mpa ja 777,219 Mpa. Turvakaarissa käytettävän materiaalin murtolujuus on vähintään 1 000 Mpa. Säännösten perusteella mallinnetut turvakaaret kestävät kuvitellun törmäystilanteen iskun.

Asiasanat: suunnittelu, mallintaminen, analyysi

ALKULAUSE

Opinnäyteprojekti sai alkunsa Oulun ammattikorkeakoulun Audi A1 -projektista. Projektin tarkoituksena oli antaa opiskelijoille mahdollisuus tehdä Audi A1 -projektin autosta radalle sopiva, ja turvakaarien suunnittelu, mallintaminen ja analysointi oli yksi projektin osista. Opinnäytetyön valvojana toimi Oulun ammattikorkeakoulun yliopettaja Mauri Haataja. Työ suoritettiin kokonaisuudessa kevään 2015 aikana.

Haluan osoittaa kiitokseni ystäväilleni Ville Raudaskoskelle, Ville Olkkolalle ja Kimmo Toppilalle, isälleni Rauno Isokoskelle sekä äidilleni Vuokko Lukkarille, jotka opastivat ja antoivat minulle voimaa saattaa opinnäytetyöni loppuun.

Oulussa 23.5.2015

Olli Isokoski

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 TURVAKAARIEN SUUNNITTELU	7
2.1 Turvakaarien säännökset	7
2.2 Turvakaarien muodot	11
2.2.1 Pää- ja etukaari	12
2.2.2 Pitkittäinen turvakaari eli sivukaari	12
2.2.3 Puolisivukaaret	13
2.3 Turvakaarien muodon valinta	13
3 TURVAKAARIEN MALLINTAMINEN	16
3.1 3D-mallinnusohjelma	16
3.2 Kaarien mallinnusperiaatteet	20
3.3 Kaarien liitoskohdat	48
3.4 Kaarien vahvikkeet	50
4 TURVAKAARIEN ANALYSOINTI	59
4.1 3D-mallinnusohjelmalla analysointi	59
4.2 Turvakaarien kiinnityspisteet	61
4.3 Turvakaariin vaikuttavat voimat törmäystilanteessa	62
4.4 Turvakaariin vaikuttavat maksimijännitykset törmäystilanteessa	64
4.4.1 Maksimijännitykset edestä	65
4.4.2 Maksimijännitykset sivusta	66
5 YHTEENVETO	68
LÄHTEET	69

1 JOHDANTO

Työssä perehdytään Oulun ammattikorkeakoulun Audi A1 -projektin turvakaarien suunnittelemiseen, mallintamiseen 3D-ohjelmalla ja törmäysvoimien analysointiin 3D-ohjelmalla. Työssä perehdytään turvakaarien säännöksiin ja suunnitellaan niiden perusteella turvakaaret Audi A1-projektin autoon. Säännöksien ja suunnitelmien perusteella turvakaaret mallinnetaan ja mallinnuksen perusteella turvakaariin vaikuttavat voimat kuvitellussa törmäystilanteessa edestä- ja sivustapäin analysoidaan. Tavoitteena turvakaarien mallintamisessa on, että turvakaaret kestävät kuvitellussa törmäystilanteessa ja turvakaariin vaikuttavat maksimijännitykset ovat pienemmät kuin valitun aineen murtolujuus.

Säännöksissä on otettava huomioon auton vuosimalli ja sen perusteella on suunniteltava auton turvakaaret. Suunnittelussa ja mallinnuksessa on otettava huomioon turvavöiden kiinnitys turvakaariin. Työssä käytettävän auto on Audi A1 1.4TSFI vuosimallia 2013. Auton paino on 1 200 kg.

2 TURVAKAARIEN SUUNNITTELU

Turvakaarien suunnittelussa täytyy ottaa huomioon auton rakenne, sillä turvakaaret on hitsattava lisävahvistuksineen auton sisällä. Ainoastaan turvakaarien päämuodot voidaan hitsata auton ulkopuolella, minkä jälkeen turvakaaret siirretään auton sisään ja valmistetaan loppuun lisäämällä turvakaaren lisävahvistukset hitsaamalla turvakaarien päämuotoihin.

Turvakaarien suunnittelussa täytyy myös ottaa huomioon turvavöiden kiinnitys turvakaariin. Turvakaarien säännöksissä pitää ottaa huomioon auton vuosimalli.

Kohdassa 2.1 Turvakaarien säännökset käydään läpi turvakaaria koskevat säännökset sekä käydään läpi turvakaarien pakolliset vahvistukset. Kohdassa 2.2 Turvakaarien muodot esitellään turvakaarien kolme eri päämuotoa. Kohdassa 2.3 Turvakaarien muodon valinta valitaan kolmesta päämuodosta työhön sopivin sekä valitaan turvakaariin tulevat lisävahvistukset.

2.1 Turvakaarien säännökset

Turvakaaret tulee olla joko ASN-luokiteltuja tai FIA-luokiteltuja (1, s. 6–7) tai ne pitää valmistaa Autourheilun Sääntökirja 2015:n (2, s. 16–20) määritelmien mukaan. Turvakaarien perusrakenteessa tulee olla kuusi kiinnitysjalkaa ja perusrakenne täytyy muodostua jostain seuraavista rakenteista (2, s. 17):

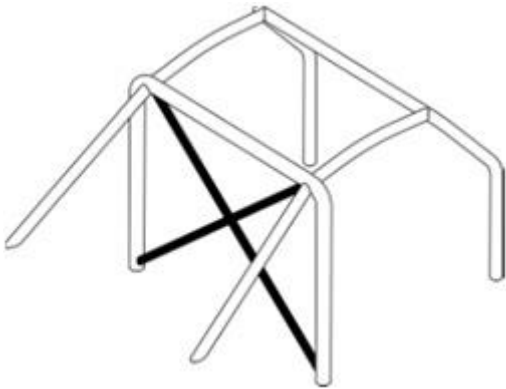
- pääkaari ja etukaari, kaksi pitkittäistukea, kaksi takatukea ja kuusi kiinnitysjalkaa
- kaksi sivukaarta, kaksi poikittaistukea, kaksi takatukea ja kuusi kiinnitysjalkaa
- pääkaari, kaksi puolisivukaarta, poikittaistuki, kaksi takatukea ja kuusi kiinnitysjalkaa.

Turvakaarien perusrakenteet käydään läpi tarkemmin kohdassa 2.2

Turvakaarien muodot. Turvakaaren perusrakenteeseen on lisättävä seuraavat pakolliset osat (2, s. 17–18):

- diagonaalituki
- oviputket
- kattovahvistukset
- tuulilasipilarin vahvistukset.

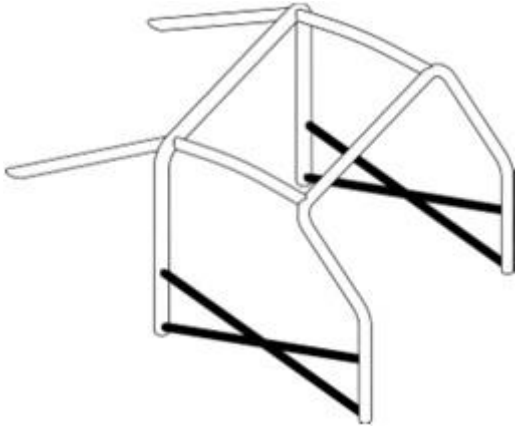
Diagonaalitukia on oltava kaksi, koska auto on luokiteltu 1.1.2002 jälkeen ja ne sijaitsevat pääkaareissa etuistuinten takana (2, s. 17). Kuvassa 1 on esitetty työn auton pääkaariin liitettävät diagonaalituet.



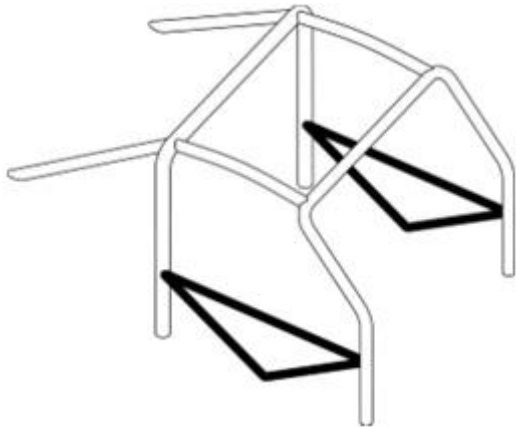
KUVA 1. Diagonaalituet (1, s. 10)

Oviputket ovat pää- ja etukaarien, pitkittäisten turvakaarien eli sivukaarien tai puolisivukaarien väliin sijoitettavat putkivahvikkeet. Oviputkien kiinnityspisteiden korkeus saa olla enintään puolet oviaukosta. (1, s. 10)

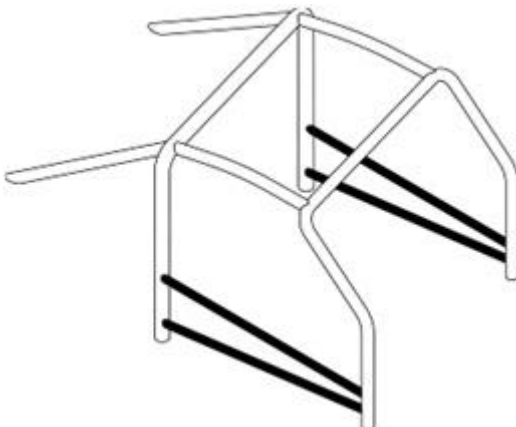
Kuvissa 2, 3 ja 4 on esitetty autoon soveltuvat ovikaarien muodot, sillä auto on luokiteltu 1.1.2007 jälkeen. (2, s. 17)



KUVA 2. Oviputki ristituki (1, s. 10)



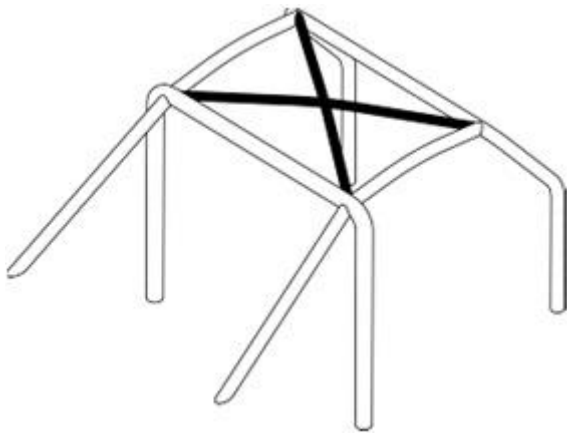
KUVA 3. Oviputki kolmiotuki (1, s. 10)



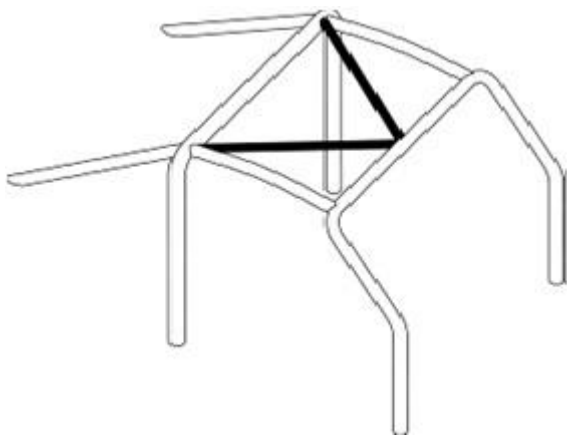
KUVA 4. Oviputki suora ja vinosti nouseva putki (1, s. 10)

Kattovahvistukset sijaitsevat kehikon yläosassa, ja niillä on kolme muotoa: ristikkäistuki, eteenpäin osoittava V-muoto ja taaksepäin osoittava V-muoto.

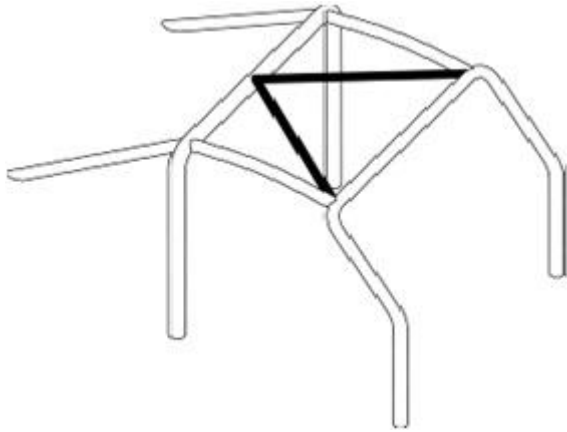
Kuvissa 5, 6 ja 7 on esitetty kattovahvistuksien kolme eri muotoa.



KUVA 5. Kattovahvistus ristikkäistuki (1, s. 11)

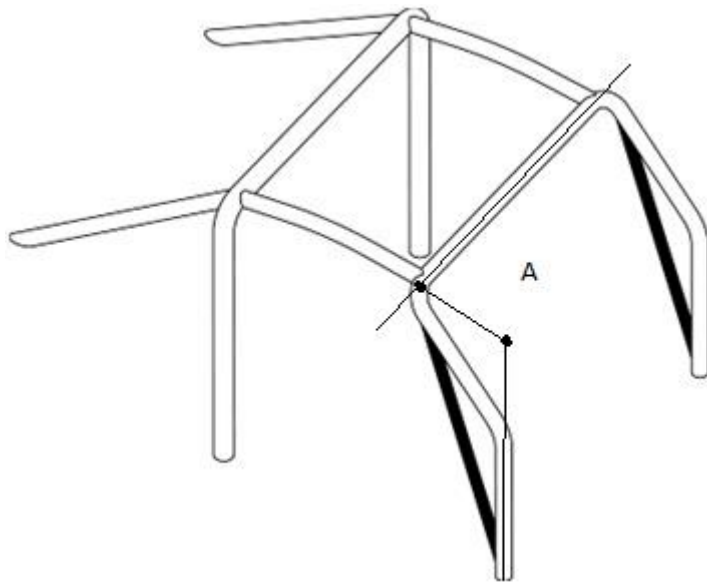


KUVA 6. Kattovahvistus eteenpäin osoittava V-muoto (1, s. 11)



KUVA 7. Kattovahvistus taaksepäin osoittava V-muoto (1, s. 11)

Tuulilasipilarin vahvistukset tulee lisätä autoon mikäli mitta "A" on suurempi kuin 200 mm ja auto on luokiteltu 1.1.2006 jälkeen (1, s. 11). Tuulilasipilarin vahvistukset sekä mitta "A" on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Tuulilasipilarin vahvistukset sekä mitta "A" (1, s. 11)

2.2 Turvakaarien muodot

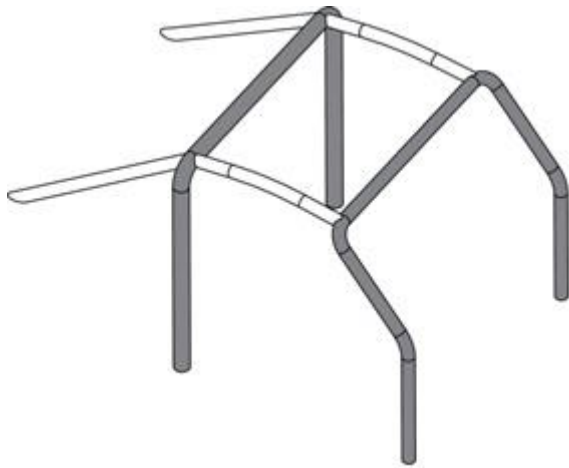
Turvakaaret koostuvat yleensä kahdesta pääkaaresta, joihin turvakaarien muut osat kiinnitetään hitsaamalla. Turvakaarien päämuodot voidaan valmistaa auton

ulkopuolella, mutta turvaarien lopullinen muoto tulee valmistaa auton sisällä, sillä kokonaisena turvakaaret eivät mahdu autoon.

Turvakaarille on kolme päämuotoa, jotka esitellään kohdissa 2.2.1 Pää- ja etukaari, 2.2.2 Pitkittäinen turvakaari eli sivukaari sekä 2.2.3 Puolisivukaaret.

2.2.1 Pää- ja etukaari

Pääkaari on yhdestä putkesta muodostuva turvakaari, joka sijaitsee etuistuinten takana (2, s. 16). Etukaari on yhdestä putkesta muodostuva turvakaari ja sen muoto seuraa tuulilasin reunoja (2, s. 16). Kuvassa 9 on esitetty pää- ja etukaari tummennettuna.



KUVA 9. Pää- ja etukaari (1, s. 9)

2.2.2 Pitkittäinen turvakaari eli sivukaari

Pitkittäiset turvakaaret ovat auton vasemmalla ja oikealla puolella olevat pituussuunnassa ja pystysuorassa yhdestä putkesta taivutetut turvakaaret. Takapystyosa on etuistuinten taakse kiinnitetty ja etuosa seuraa tuulilasia sekä ovipilaria. (2, s. 16). Kuvassa 10 on esitetty pitkittäiset turvakaaret eli sivukaaret tummennettuna.

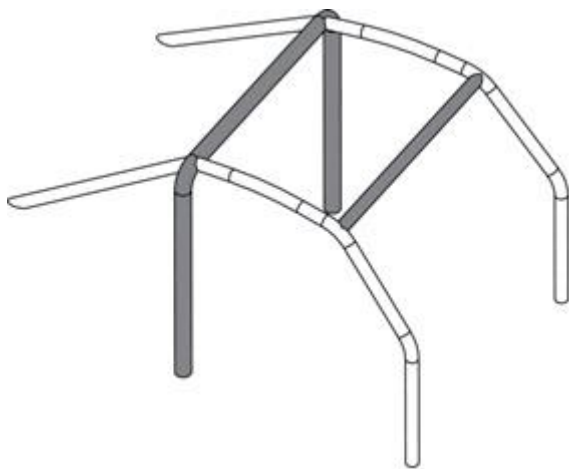


KUVA 10. Pitkittäiset turvakaaret eli sivukaaret (1, s. 9)

2.2.3 Puolisivukaaret

Puolisivukaaret ovat kuten pitkittäiset turvakaaret eli sivukaaret, mutta ilman takapystyosaa. (2, s. 16). Kuvassa 11 on esitetty puolisivukaarien muoto.

Tummennetut kaaret ovat pääkaari ja poikittaistuki.



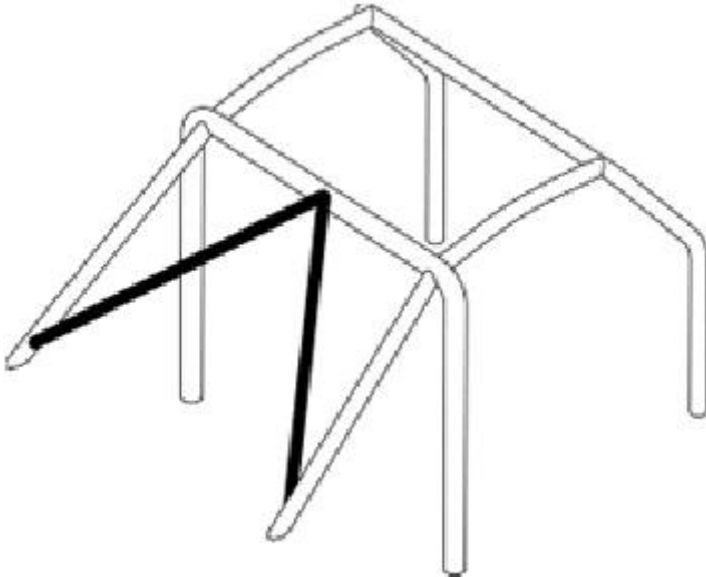
KUVA 11. Puolisivukaaret (1, s. 9)

2.3 Turvakaarien muodon valinta

Turvakaarien perusrakeenteeksi valitaan pääkaari, kaksi puolisivukaarta, yksi poikittaistuki, kaksi takatukea ja kuusi kiinnitysjalkaa, sillä tämä konstruktio on

helpoin toteuttaa työssä käytettävään autoon. Pääkaari, puolisivukaaret, poikittaistuki ja takatuet voidaan valmistaa auton ulkopuolella.

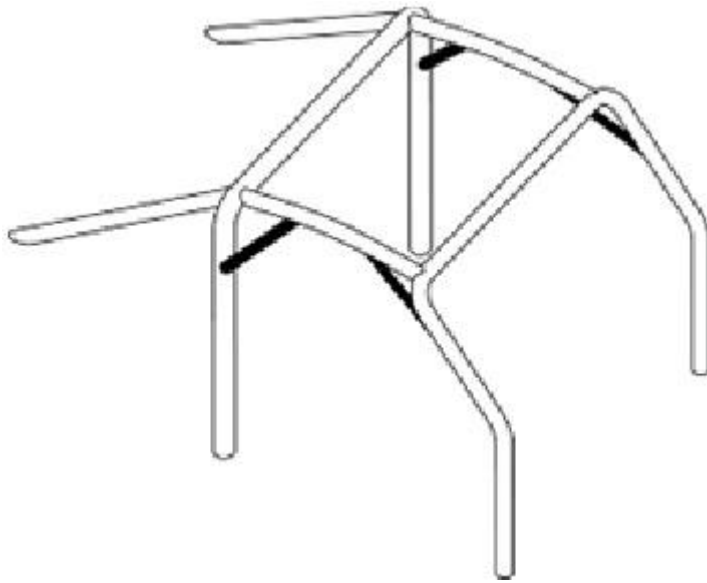
Takadiagonaalituista ainostaan yksi muoto kelpaa työssä käytettävään autoon ja se on esitetty kuvassa 12. Nämä diagonaalituet lisätään perusrakenteeseen.



KUVA 12. Eteenpäin osoittava V-muotoinen takadiagonaalituki (1, s. 12)

Oviputkista valitaan oviputkien ristikkäistuki, joka on esitetty kuvassa 2. Kattovahvistuksista valitaan taaksepäin sijoittuva V-muoto, joka on esitetty kuvassa 7. Tuulilasipilarin vahvistus tulee lisätä, sillä oletettavasti mitta "A" on suurempi kuin 200 mm. Tuulilasipilarin vahvistus sekä mitta "A" on esitetty kuvassa 8.

Perusrakenteeseen lisätään vielä eteenpäin osoittava V-muotoinen takadiagonaalituki ja taivutuksen vahvistukset pääkaaren sekä puolisivukaarien väliin auton pitkittäissuunnassa turvakehikon vahvuuden parantamiseksi. Taivutuksien vahvistuksien liitoskohdat saavat sijaita maksimissaan puolessavälin vahvistettavien osien mitasta paitsi tuulilasisivukaaren tapauksessa (1, s. 12). Taivutuksien vahvistukset on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Taivutuksien vahvistukset (1, s. 13)

3 TURVAKAARIEN MALLINTAMINEN

Turvakaarien mallintamisessa käytetään 3D-mallinnusohjelmaa Catia V5R20, jonka toimintaperiaate esitellään kohdassa 3.1 3D-mallinnusohjelma sekä tehdään esimerkkikappale toimintaperiaatteen mukaisesti. Turvakaaria mallintaessa valitaan aloituspisteeksi kuljettajan penkin taakse sijoittuva kiinnitysalku.

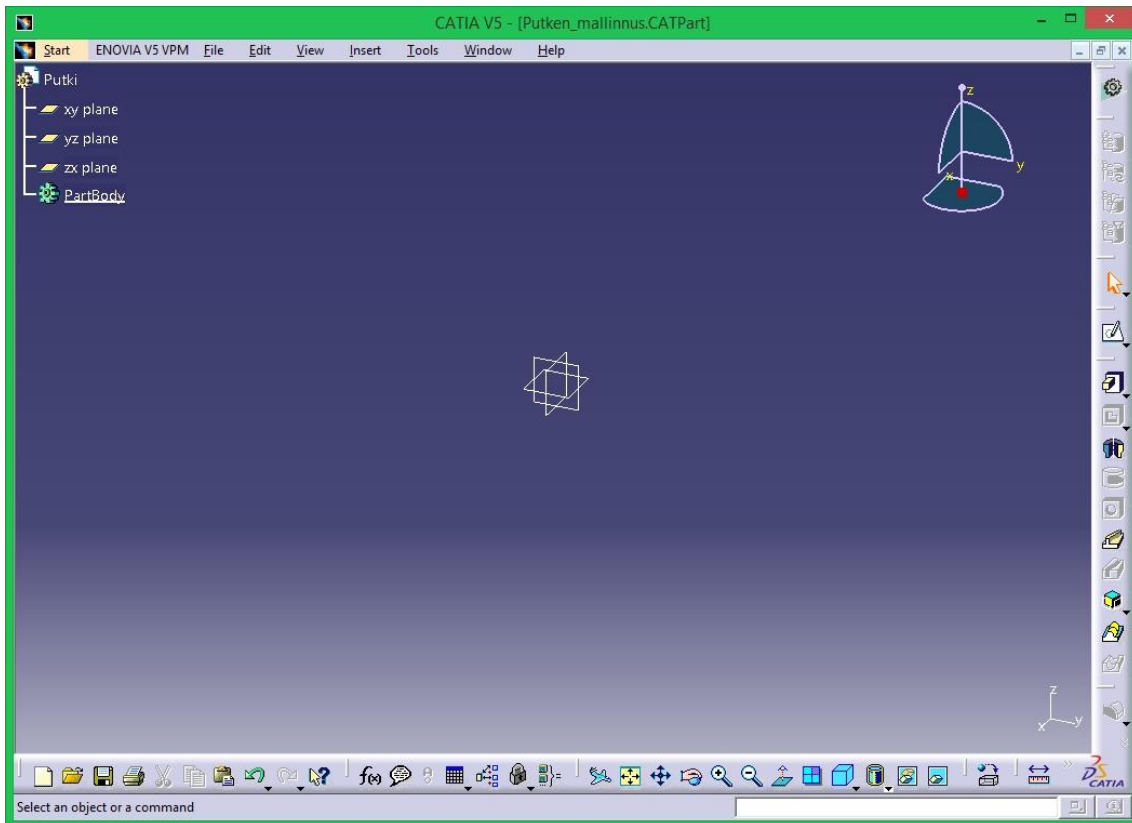
Kaikki mallinnetut putket ovat 50 mm paksuja. Materiaalina käytetään ruukin FORM 1 000 -ohutseinäputkea. Ruukin FORM 1 000 -ohutseinäputken myötölujuus on vähintään 750 Mpa ja murtolujuus vähintään 1 000 Mpa (5, Ominaisuudet)

Auton sisätilan mitat ovat seuraavat:

- lattiasta kattoon 1 200 mm
- auton sisätilan leveys 1 300 mm
- kuljettajan penkin taakse sijoittuvasta kiinnitysalkusta auton etukiinnitysalkuun 1 380 mm
- auton etukiinnitysalkusta a-pilarin alkuun 630 mm
- auton katon korkeus 700 mm
- auton katto on 120 mm sisempänä auton taakse sijoittuvasta kiinnitysalkusta
- auton takadiagonaalitukien sijainti on 900 mm pitkittäissuunnassa ja 120 mm sisempänä auton taakse sijoittuvasta kiinnitysalkusta korkeudella 630 mm.

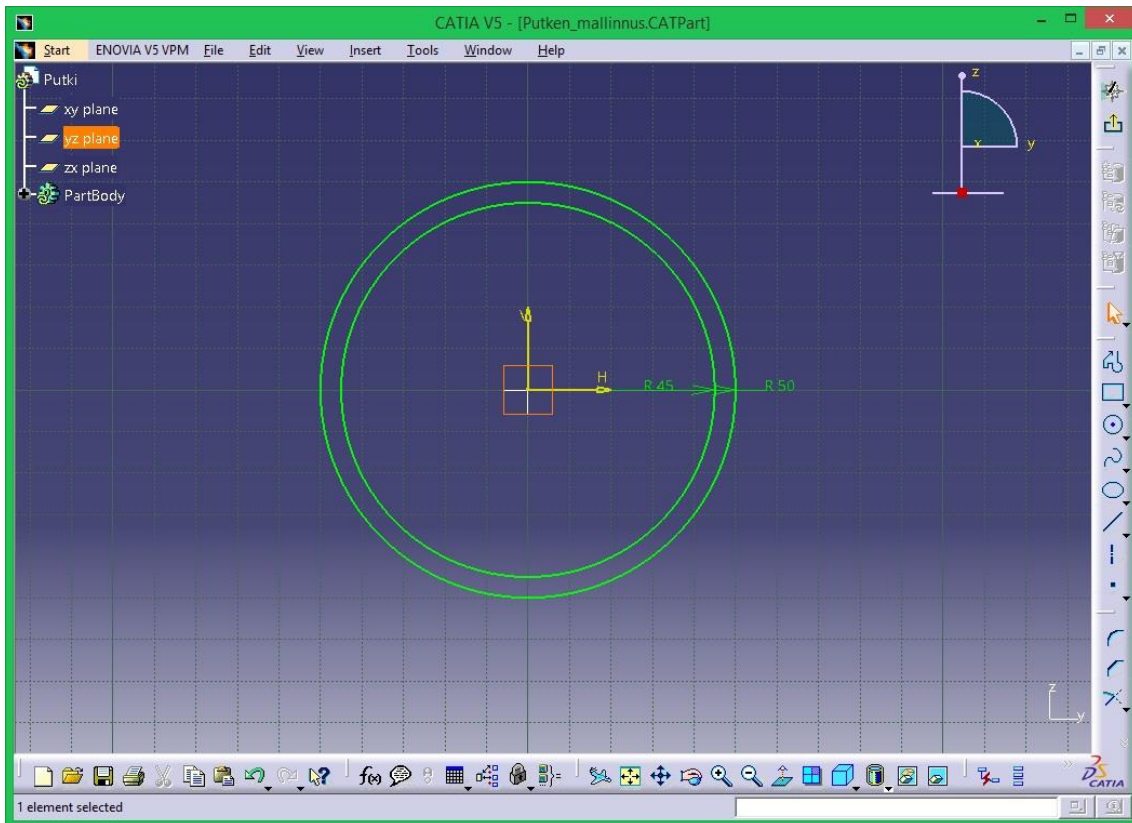
3.1 3D-mallinnusohjelma

Turvakaarien mallintamisessa käytettävä 3D-mallinnusohjelma on Catia V5R20. Mallinnusohjelmassa on kolme eri tasoa, XY-, YZ- sekä ZX-taso. Kuvassa 14 on havainnollistettu Catia V5R20 -mallinnusohjelman kolme eri tasoa.



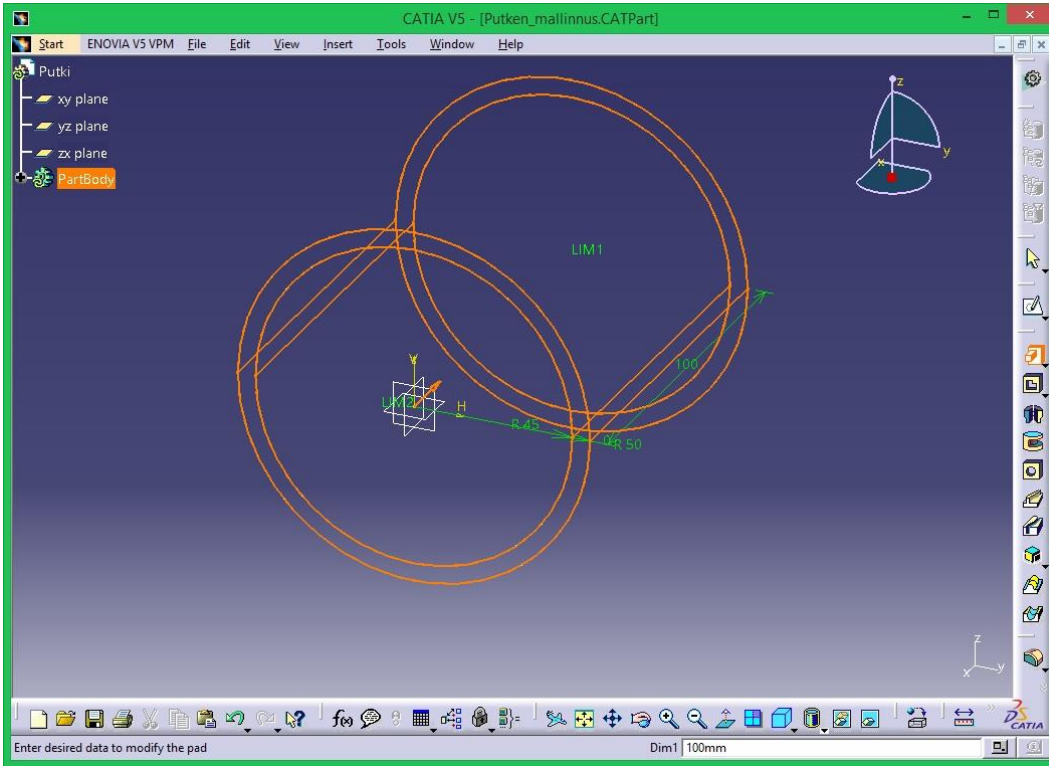
KUVA 14. Catia V5R20 -mallinnusohjelman kolme tasoa

Mallinnusohjelmassa kappaletta mallinnettaessa valitaan jokin taso ja piirretään kappaleen alkumuoto. Tässä tapauksessa valitaan tasoksi YZ-taso sekä kappaleeksi putki. Putki on 50 mm säteeltään ja putken sisäpaksuus on 5 mm. Kuvassa 15 on esitetty putken alkumuoto YZ-tasolle piirrettynä

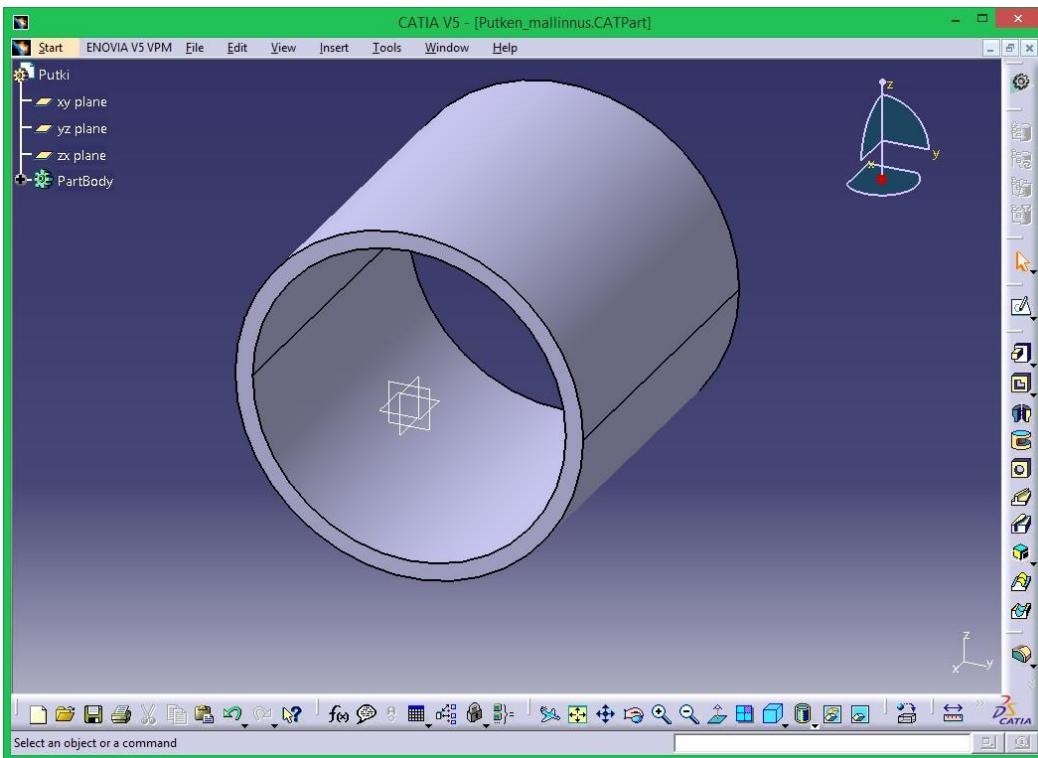


KUVA 15. Catia V5R20 -mallinnusohjelman YZ-tasolle piirretty putken alkumuoto

Kappaleen alkumuodon piirtämisen jälkeen piirretty muoto pursotetaan 100 mm ZX-tasoa pitkin. Kuvassa 16 havainnollistetaan putken pursotusta 100 mm ZX-tasoa pitkin. Kuvassa 17 on esitetty kappaleen lopullinen muoto.



KUVA 16. Putken pursotus 100 mm ZX-tasoa pitkin



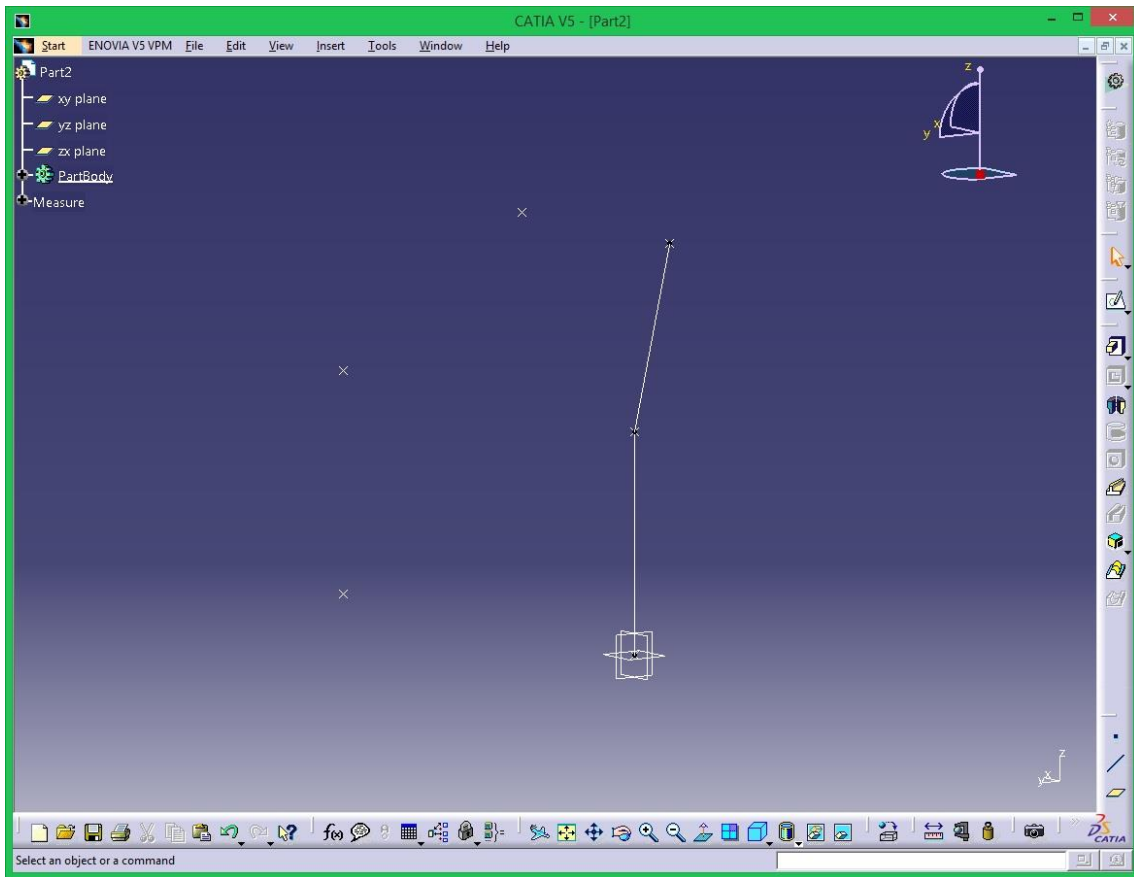
KUVA 17. Putken lopullinen muoto

3.2 Kaarien mallinnusperiaatteet

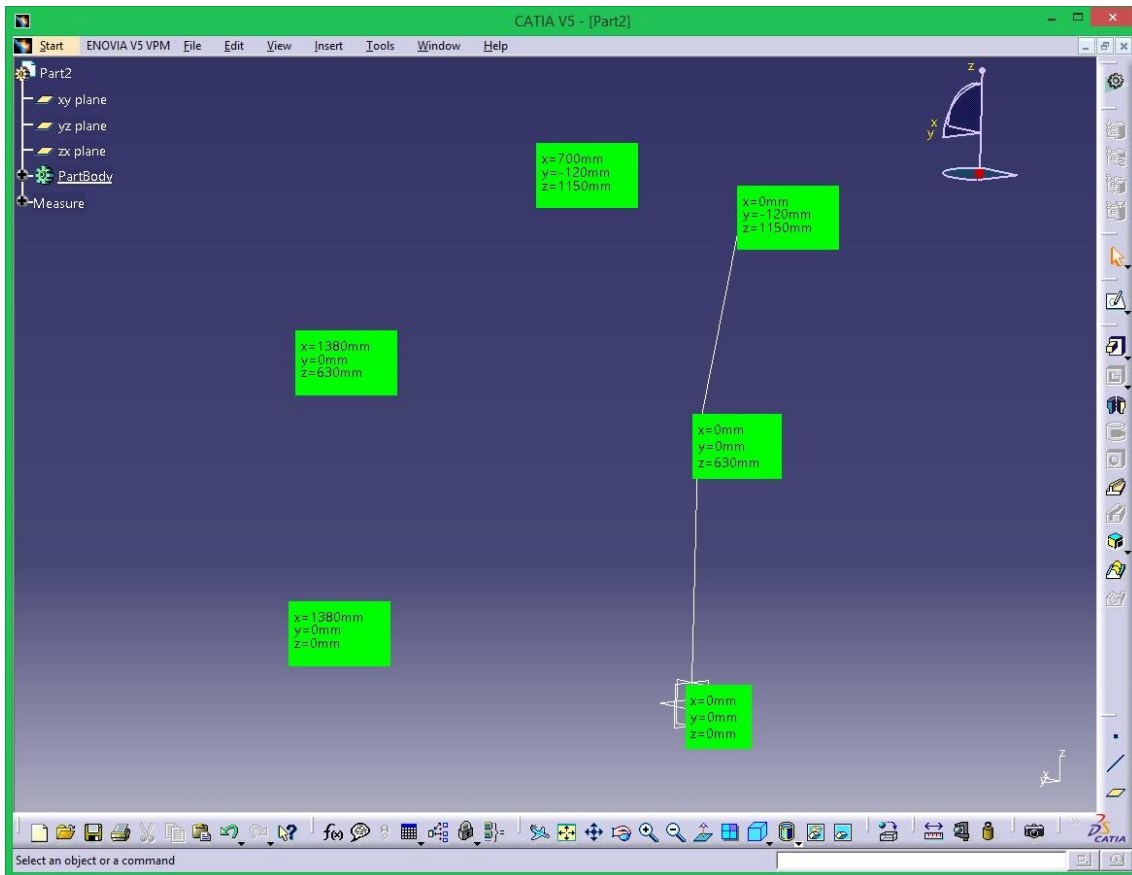
Kaaret mallinnetaan 3D-mallinnusohjelmassa luomalla apupisteet annettujen sisätilojen mittojen perusteella, minkä jälkeen pisteet yhdistetään viivoilla ja viivoihin tehdään tarvittavat pyöristykset. Tämän jälkeen piirretään putken muoto tarvittaviin pisteisiin ja pursotetaan muoto tehtyjä viivoja pitkin.

Turvakaaret mallinnetaan yksipuoleisesti ja pursotuksen jälkeen kaaret peilataan apukuljettajan puolelle. Turvakaaret mallinnetaan Catia R5V20 generative shape design -työkalulla ja mallinnuksen jälkeen turvakaarista tehdään solid-muoto. Tämän jälkeen turvakaariin lisätään Ruukki FORM 1 000 -materiaali.

Turvakaarien mallinnus aloitetaan tekemällä apupisteet sekä apuviivat pääkaarelle ja puolisivukaarille annettujen mittojen mukaisesti. Kuvassa 18 on piirretty apupisteet pääkaarelle ja puolisivukaarelle sekä piirretty pääkaaren apuviivat. Kuvassa 19 on esitetty apupisteiden mitat. Kuvassa 19 lattiasta kattoon etäisyydessä on otettu huomioon 50 mm hitsausvara puolisivukaarille sekä kattovahvistuksille.

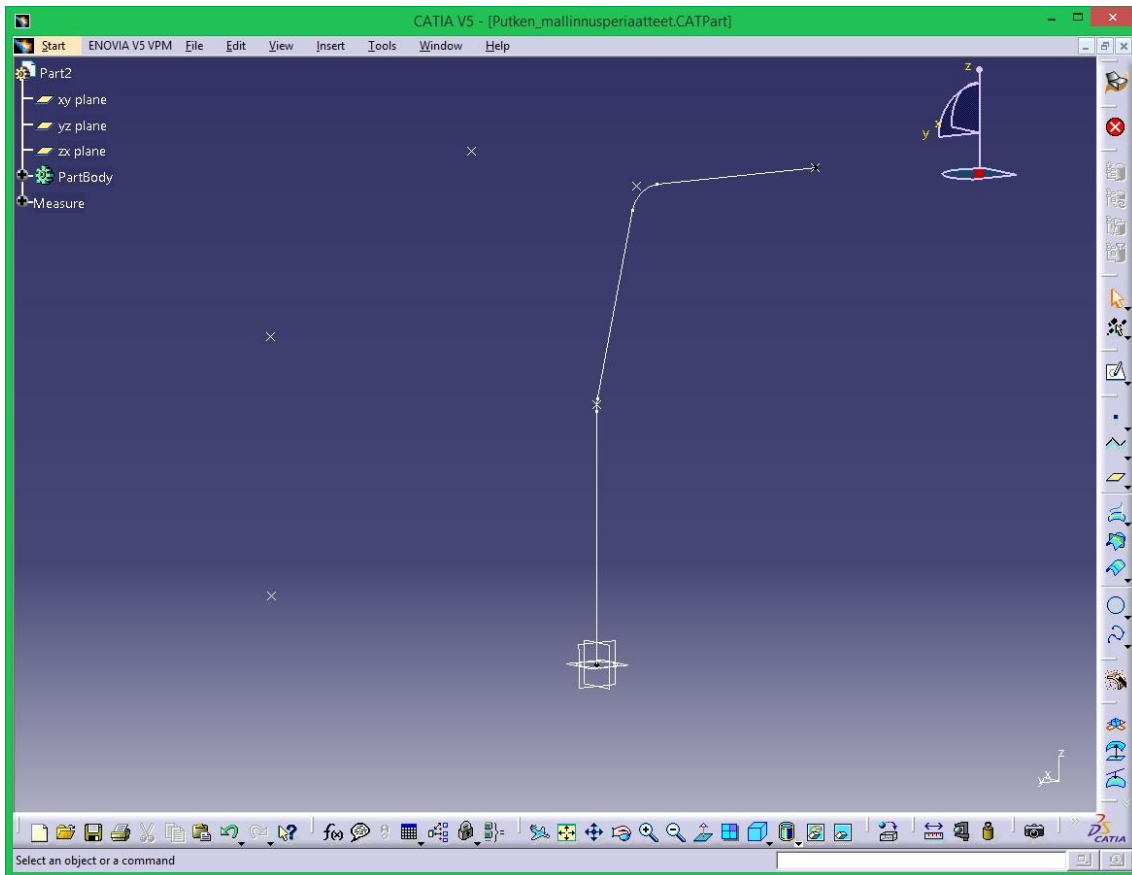


KUVA 18. Pääkaaren apupisteet ja apuviivat sekä puolisivukaaren apupisteet



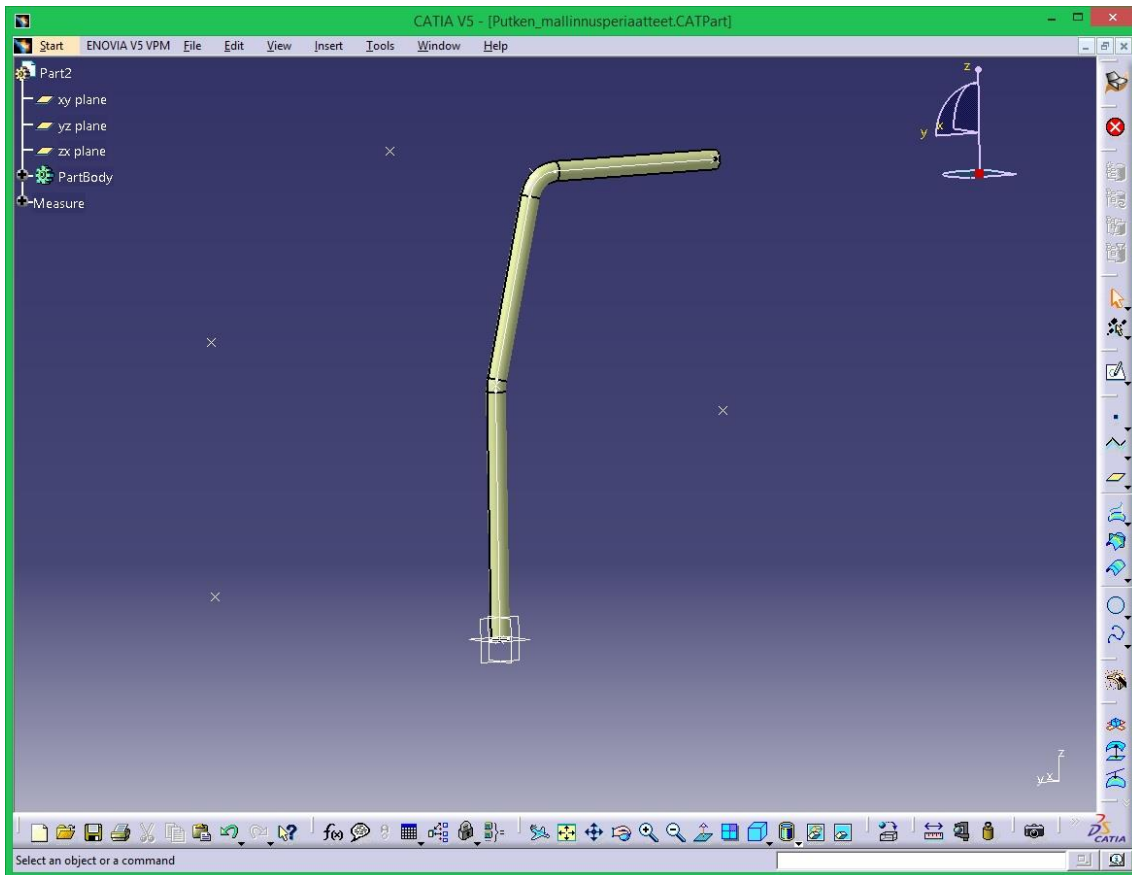
KUVA 19. Pääkaaren sekä puolisivukaaren apupisteet ja mitat

Apuviivojen piirtämisen jälkeen luodaan apupiste 640 mm päähän kuljettajan penkin takakiinnityspisteestä auton keskelle kattoon, ja jätetään 10 mm vara turvakaarien molemmille puolille leveysuunnassa. Tämän jälkeen luodaan apuviiva takakaaren yläpisteestä luotuaan apupisteeseen ja tehdään 75 mm pyöritys apuviivojen välille sekä 130 mm pyöritys toiseen apupisteeseen. Tässä vaiheessa myös luodaan kuljettajan takatuen kohdalle apuympyrä, jonka avulla voidaan myöhemmässä vaiheessa pursottaa pääkaari. Kuvassa 20 on esitetty mallinnusohjelmalla piirretyt muodot.



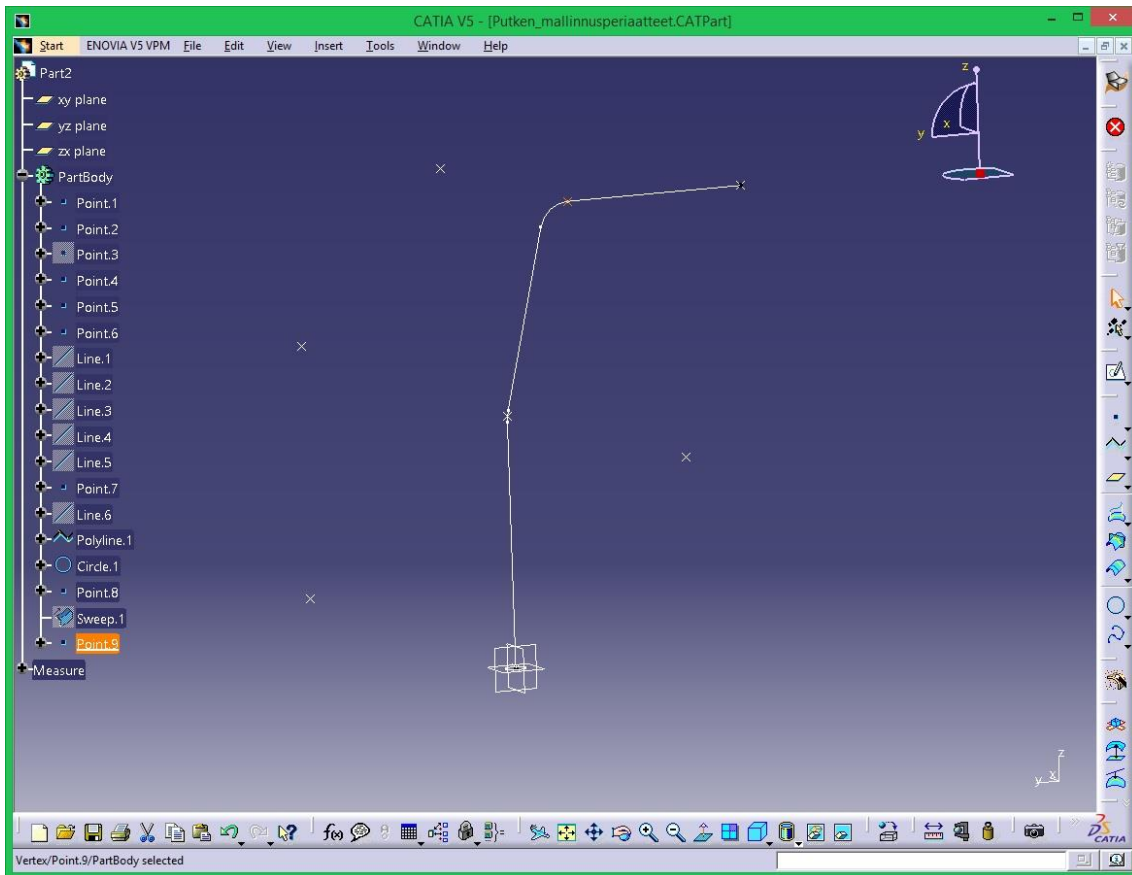
KUVA 20. Pääkaaren muoto apuviivoilla esitettynä

Seuraavaksi luodaan apupiste takatuen kiinnitysjalalle sekä pursotetaan pääkaari muotoon. Kuvassa 21 on esitetty pääkaari pursotettuna muotoonsa sekä apupiste takatuen kiinnitysjalalle.



KUVA 21. Pääkaari pursotettuna muotoon sekä apupiste takatuen kiinnitysjalalle

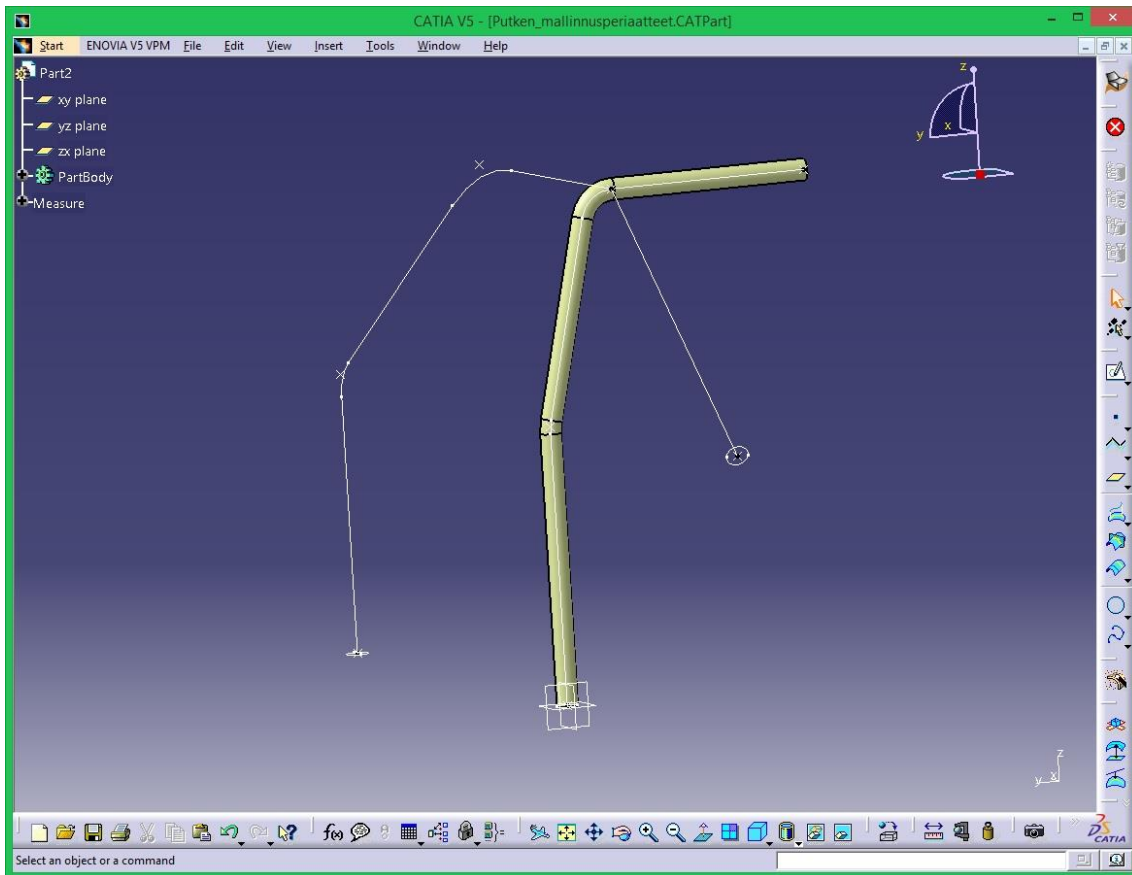
Tässä vaiheessa luodaan pääkaaren taivutuksen yläpään loppuun apupiste, johon puolisivukaari ja takatuki yhdistyvät. Kuvassa 22 on esitetty apupiste oranssina ja pääkaaren pursotus on piilotetty selvyiden takia.



KUVA 22. Puolisivukaaren sekä takatuen apupiste

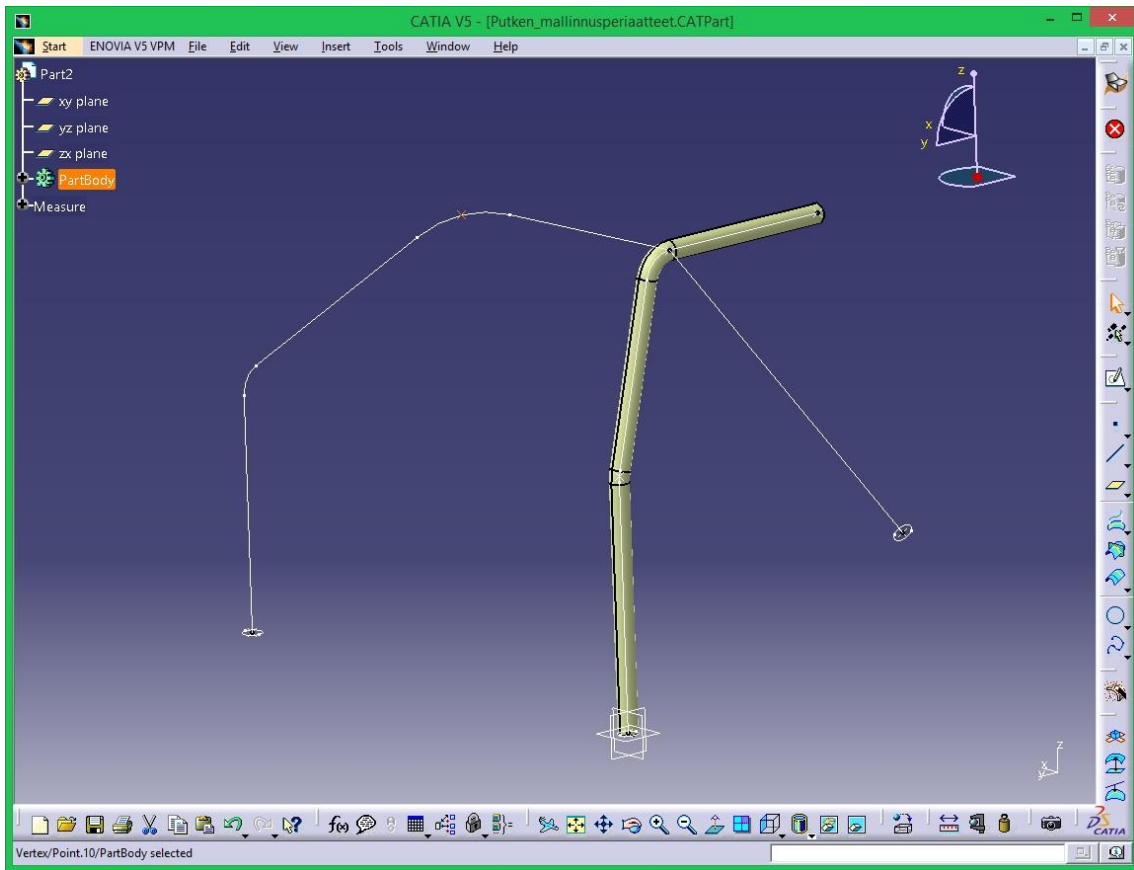
Seuraavaksi luodaan apuviivat takatuelle sekä puolisivukaarelle.

Puolisivukaaren ensimmäinen taivutus etujalasta katsottuna on 100 mm ja toinen taivutus 500 mm. Tässä vaiheessa myös mallinnetaan puolisivukaaren ja takatuen putkien muodot apupisteisiin. Kuvassa 23 on esitetty mallinnetut apuviivat sekä putkien muodot apupisteissä.

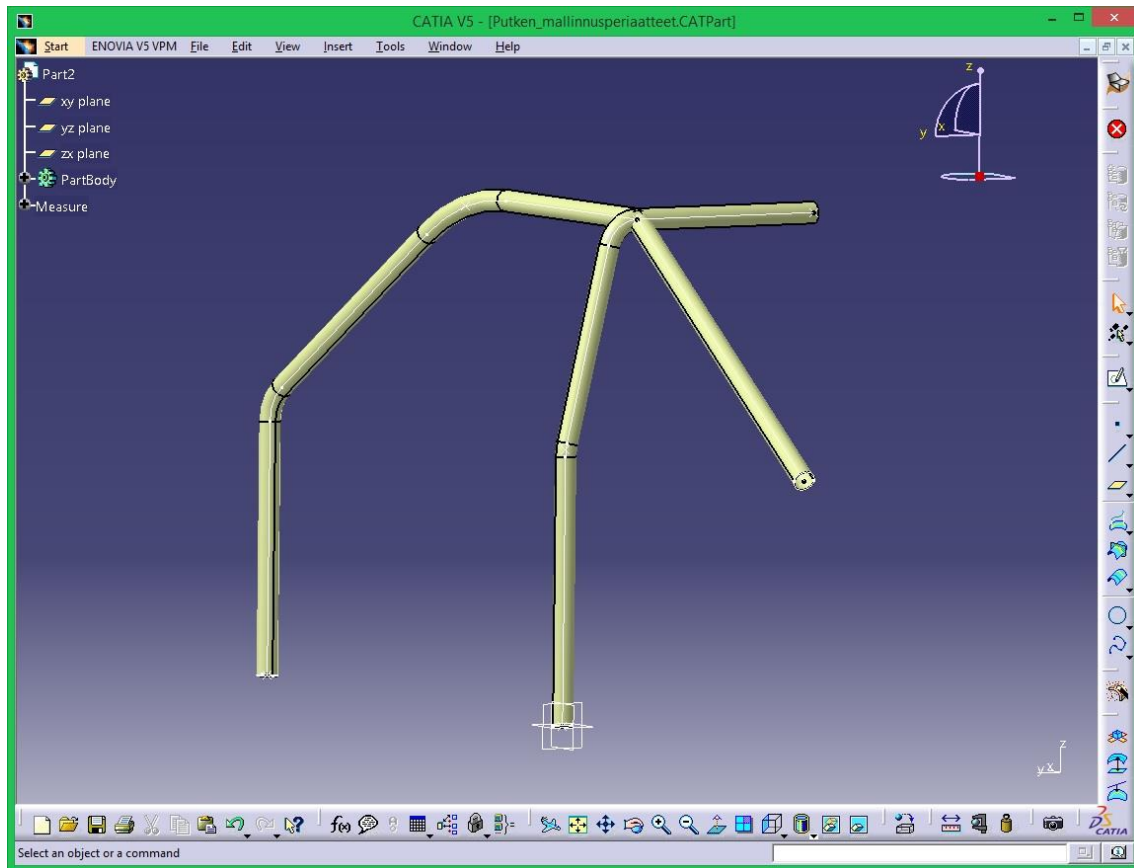


KUVA 23. Puolisivukaaren sekä takatuen apuviivat ja näiden putkien muodot apupisteissä

Seuraavaksi voidaan pursottaa puolisivukaari sekä takatuki, kun apuviivat on piirretty. Samalla lisätään yläpoikittaistuen apupiste puolisivukaaren apuviivan keskelle käyttäen apuna puolisivukaaren apupistettä sekä taivutusta tässä kohdassa. Kuvassa 24 on esitetty yläpoikittaistuen apupiste oranssina selvyuden vuoksi. Kuvassa 25 on pursotettu puolisivukaari sekä takatuki.

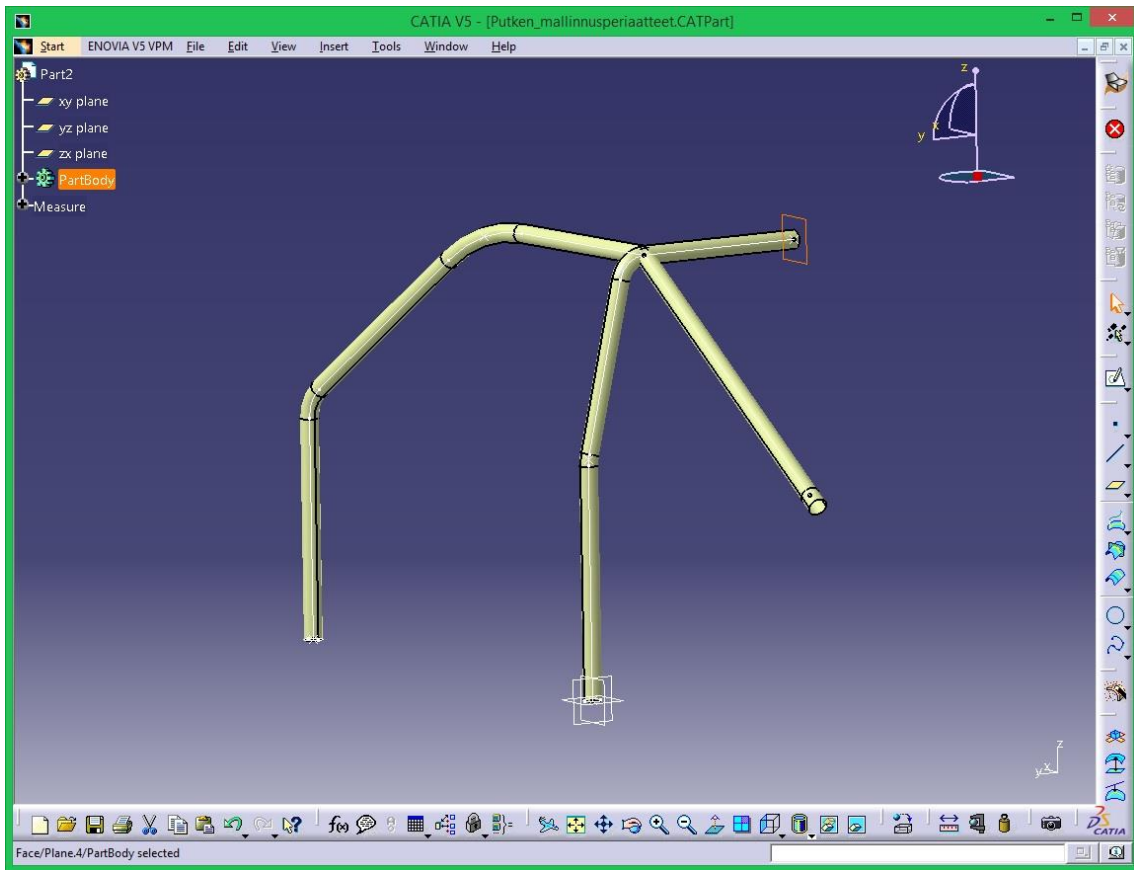


KUVA 24. Yläpoikittaistuen apupiste

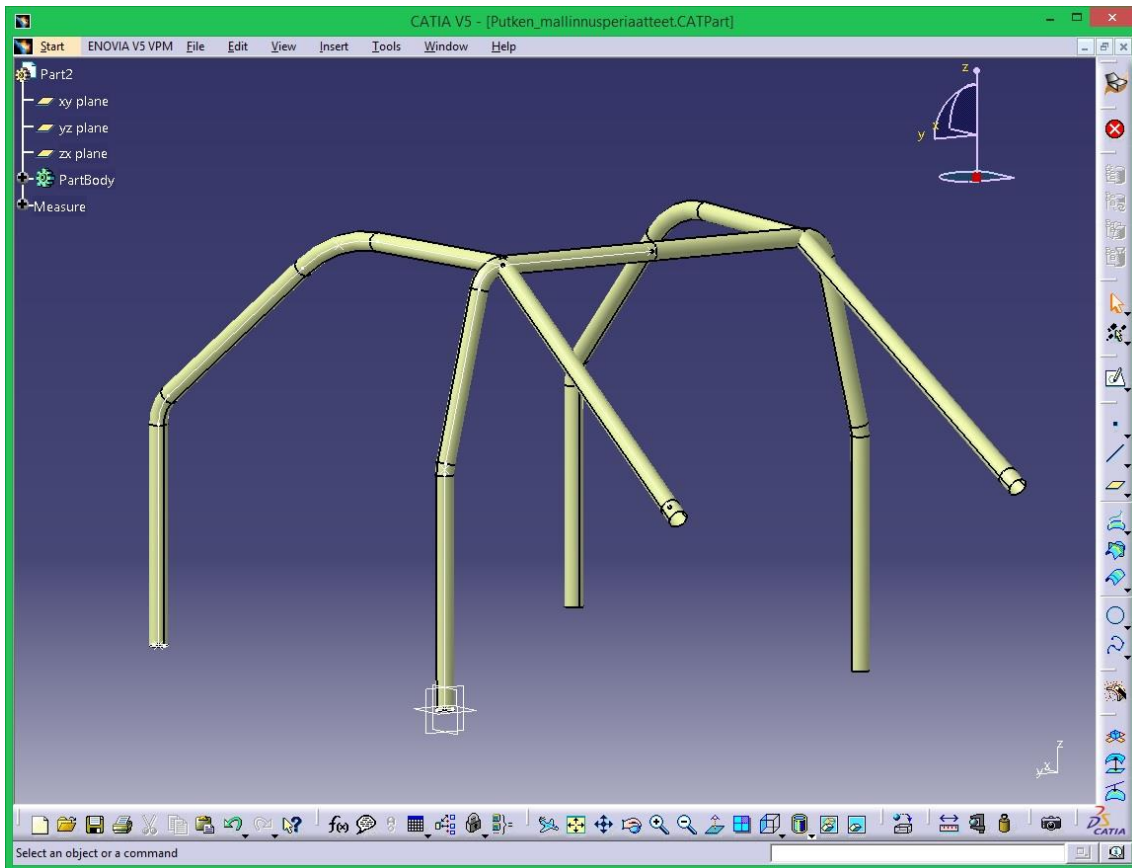


KUVA 25. Pursotettu puolisivukaari sekä takatuki

Seuraavaksi pursotetut kaaret peilataan aputason avulla sekä lisätään 50 mm lisää pituutta takaputkiin. Kuvassa 26 on esitetty oranssina aputaso, jonka avulla pursotetut kaaret peilataan, sekä 50 mm pursotus takaputkiin. Kuvassa 27 on esitetty peilatut kaaret.

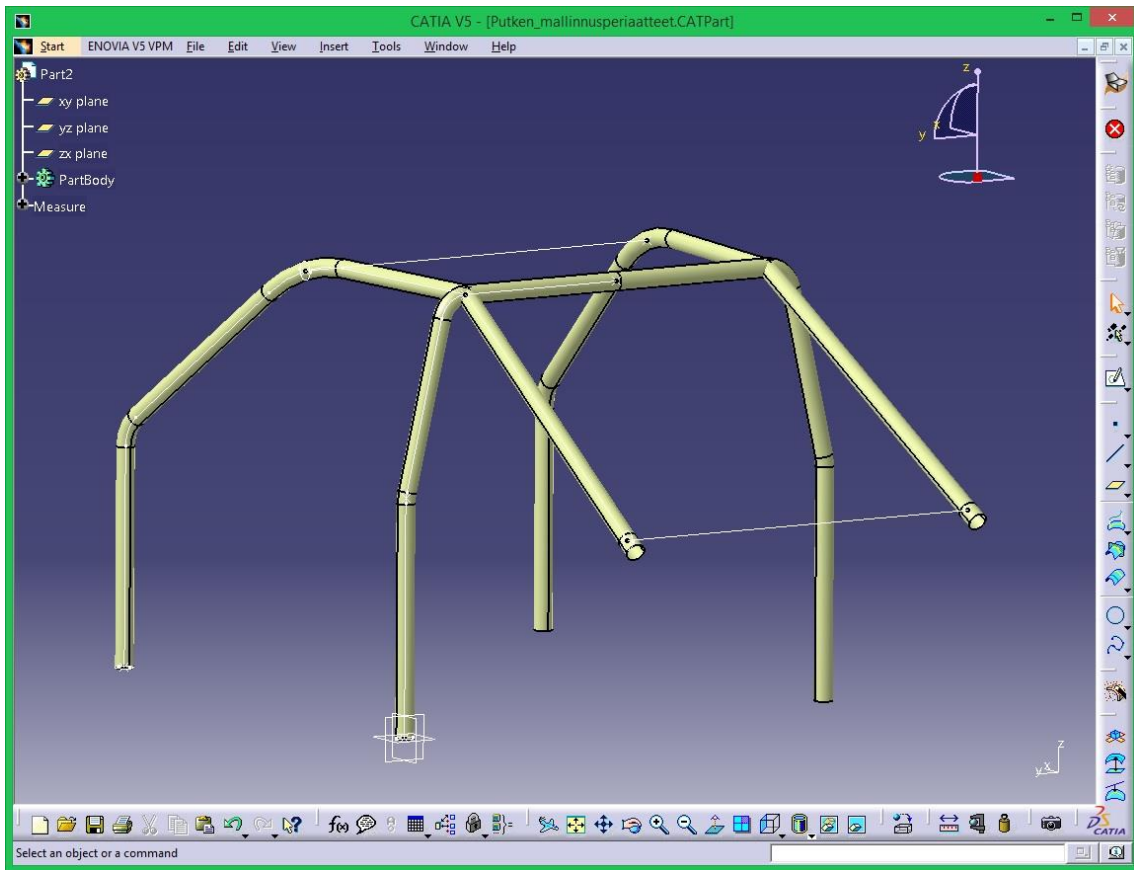


KUVA 26. Peilauksessa käytettävä aputaso oranssina sekä 50 mm pursotus takaputkiin

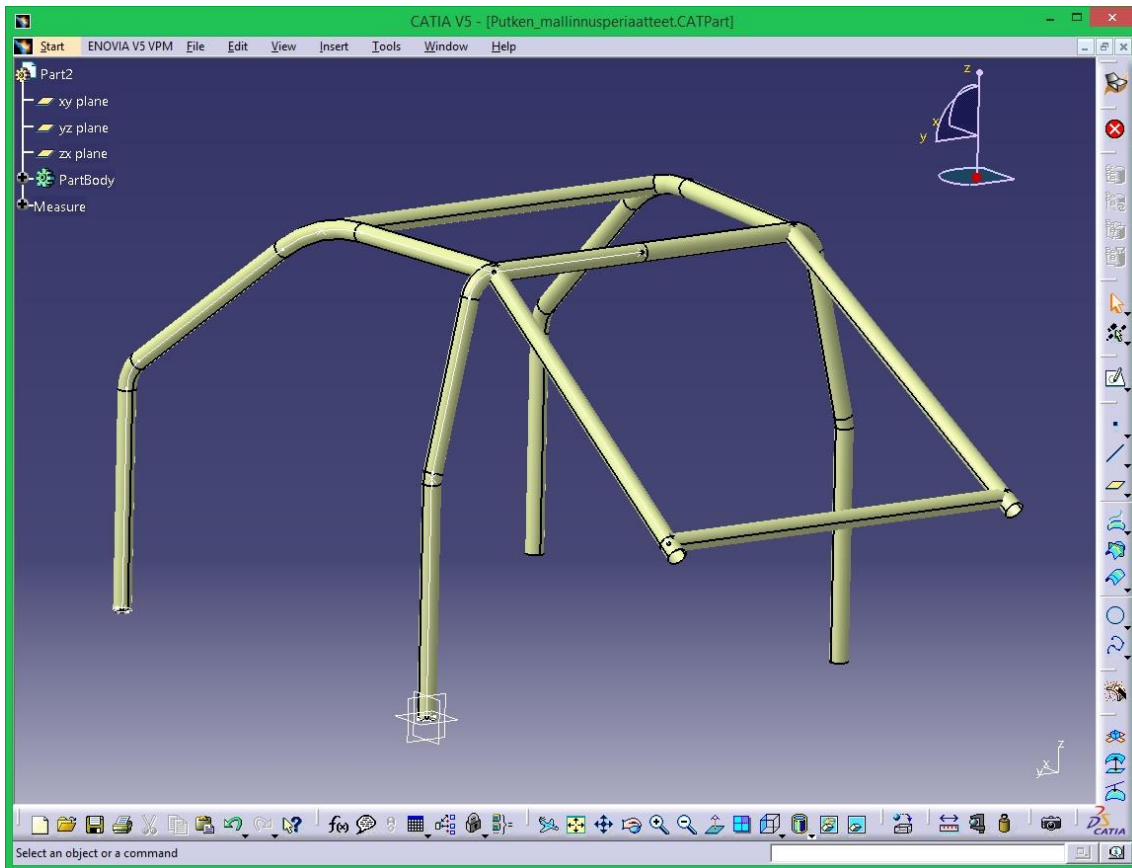


KUVA 27. Peilattut kaaret

Seuraavaksi peilataan poikittaistukien apupisteet puolisivukaarille ja takatuille sekä mallinnetaan näiden väliin apuviivat sekä päihin piirretään ympyrämuoto pursotusta varten. Takatukien väliin tulevaan poikittaistukeen kiinnitetään turvavyöt. Kuvassa 28 on esitetty apupisteet sekä apuviivat puolisivukaarien ja takatukien poikittastuille. Kuvassa 29 on esitetty pursotetut poikittastuet puolisivukaarien ja takatukien välissä.

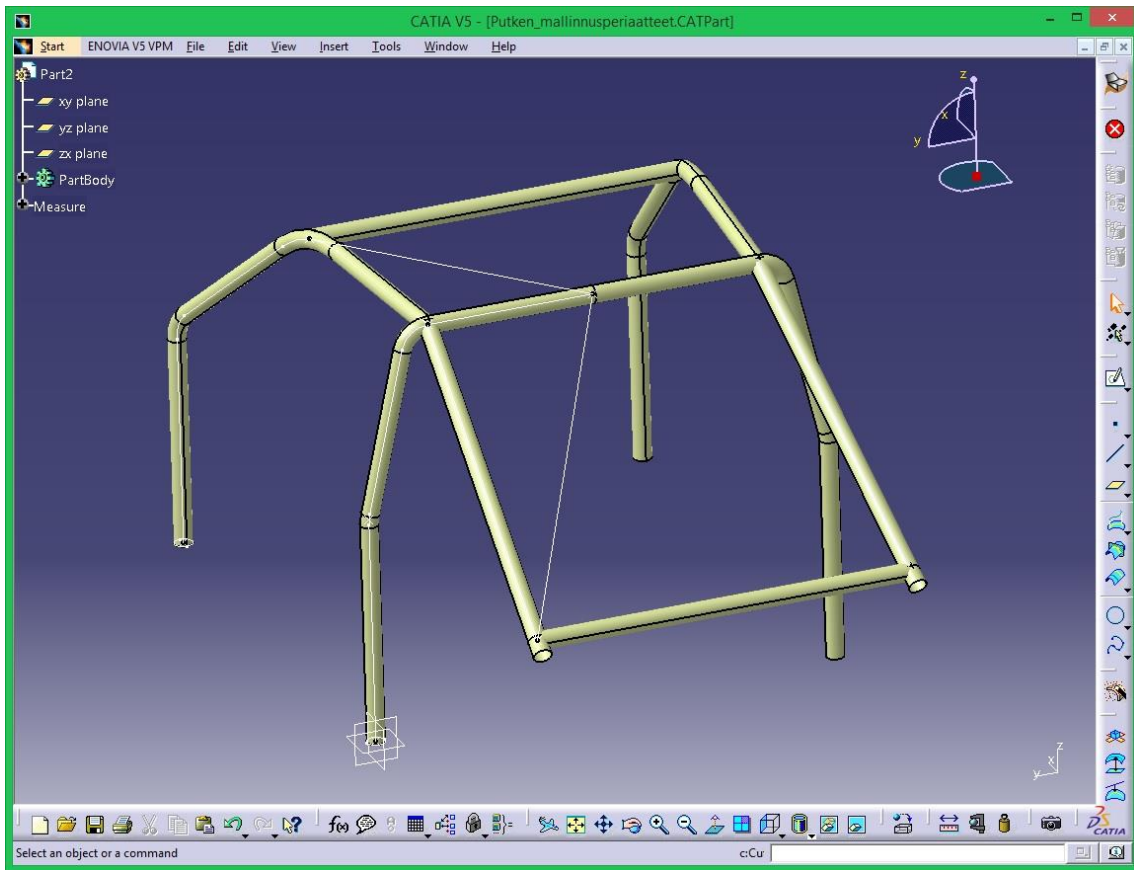


KUVA 28. Apupisteet sekä apuviivat puolisivukaarien ja takatukien poikittaistuille

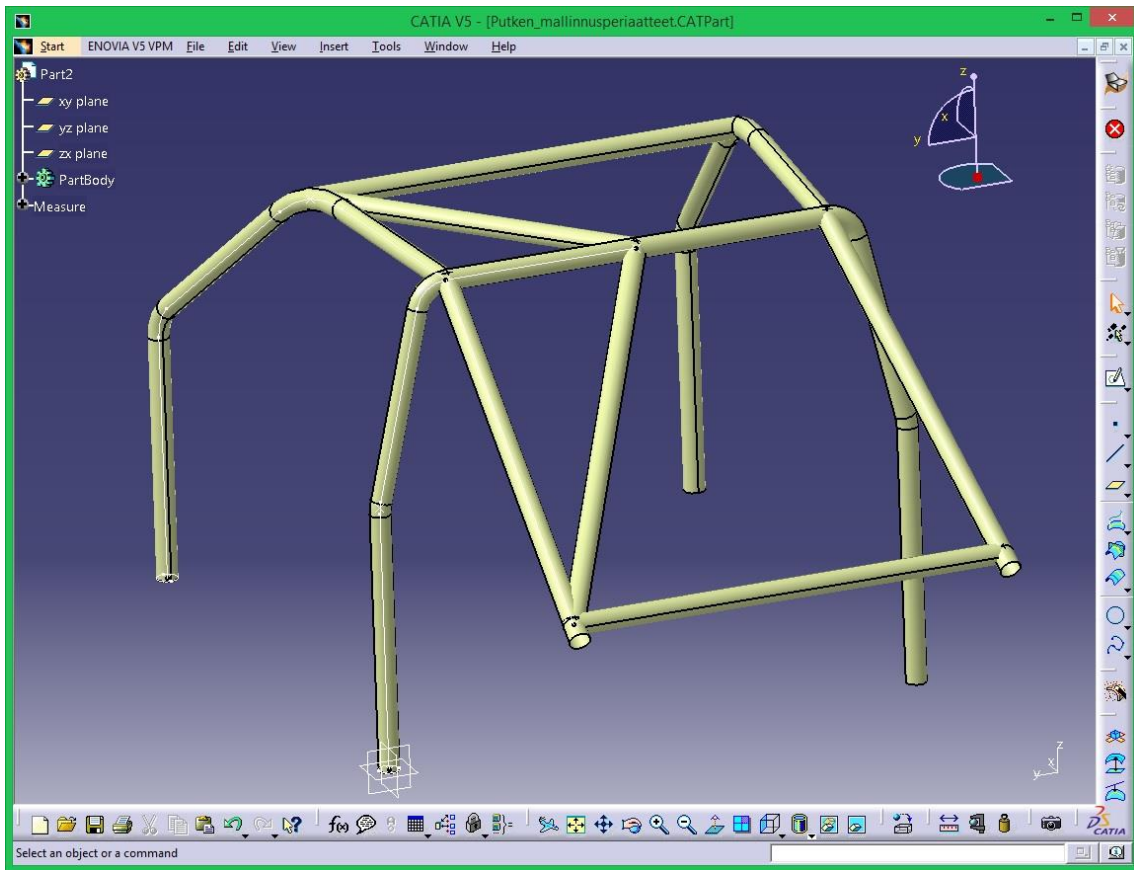


KUVA 29. Puolisivukaarien ja takatukien poikittaistuet

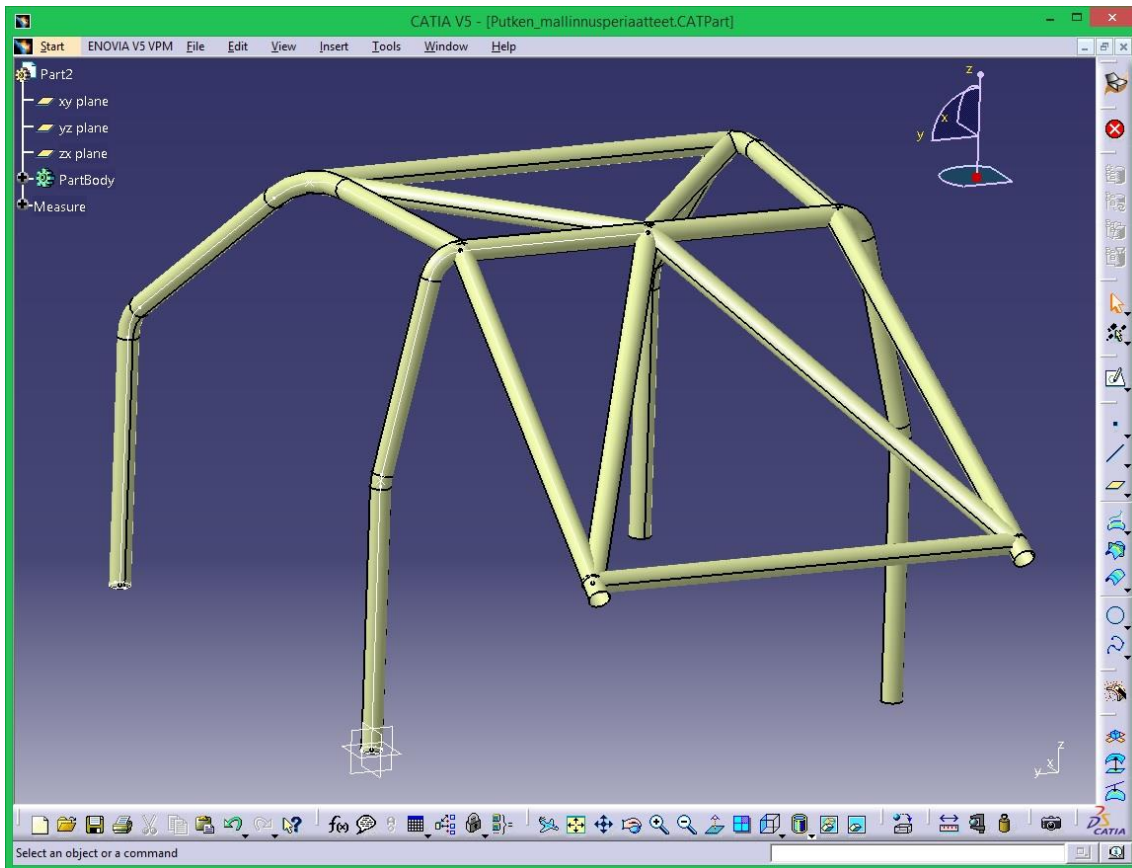
Seuraavaksi tehdään apuviivat takatukien diagonaalituille sekä kattovahvistuksien taaksepäin osoittavalle V-muodolle. Molempien apupisteet ovat jo olemassa ja käytetään hyväksi pääkaaren puolessavälissä olevaa apupistettä sekä takatuen apupistettä piirrettäessä takatukien diagonaalitukia. Kattovahvistuksen apuviivassa käytetään hyväksi pääkaaren puolessavälissä olevaa apupistettä sekä puolisivukaaren poikittaistuen apupistettä. Kuvassa 30 on esitetty takatuen diagonaalituen apuviiva sekä kattovahvistuksen apuviiva. Kuvassa 31 on esitetty pursotettuna kattovahvistus sekä takatuen diagonaalituki. Kuvassa 32 on peilattu pursotettu kattovahvistus sekä takatuen diagonaalituki.



KUVA 30. Takatuen diagonaalituen apuviiva sekä kattovahvistuksen apuviiva

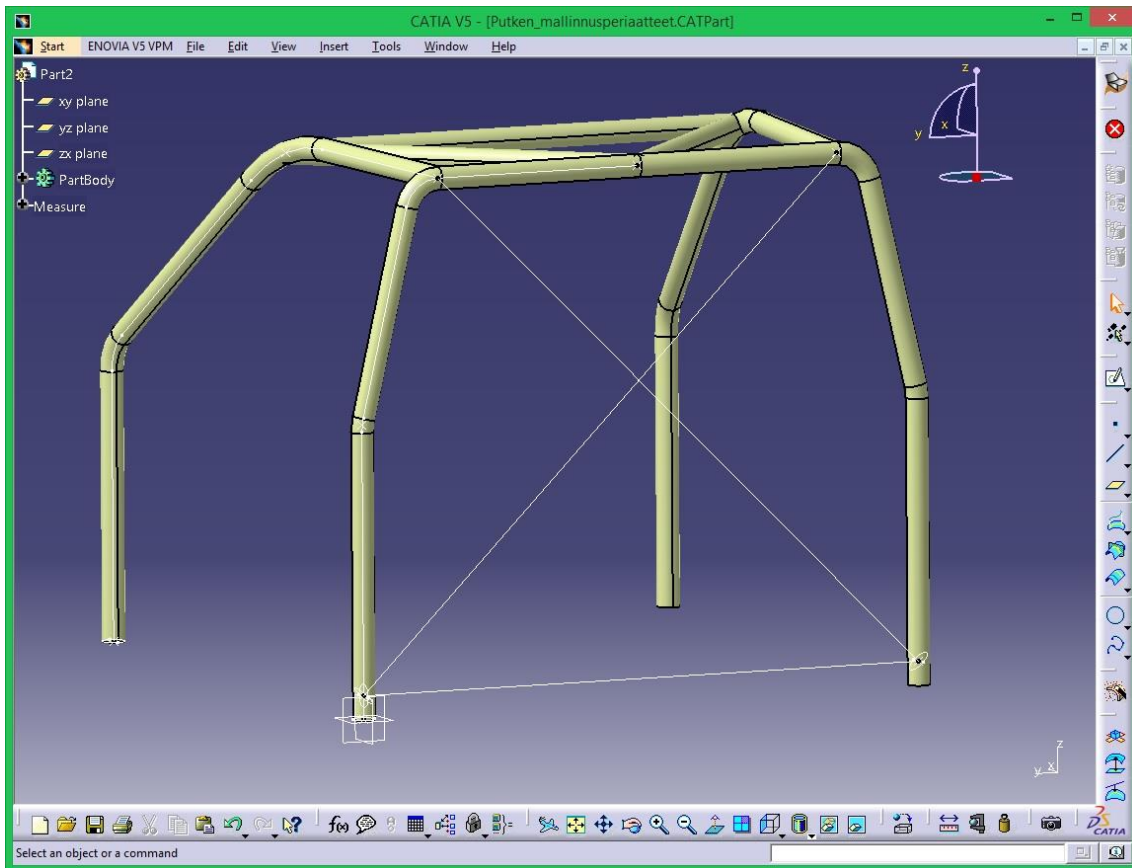


KUVA 31. Pursotettu takatuen diagonaalituki sekä kattovahvistus



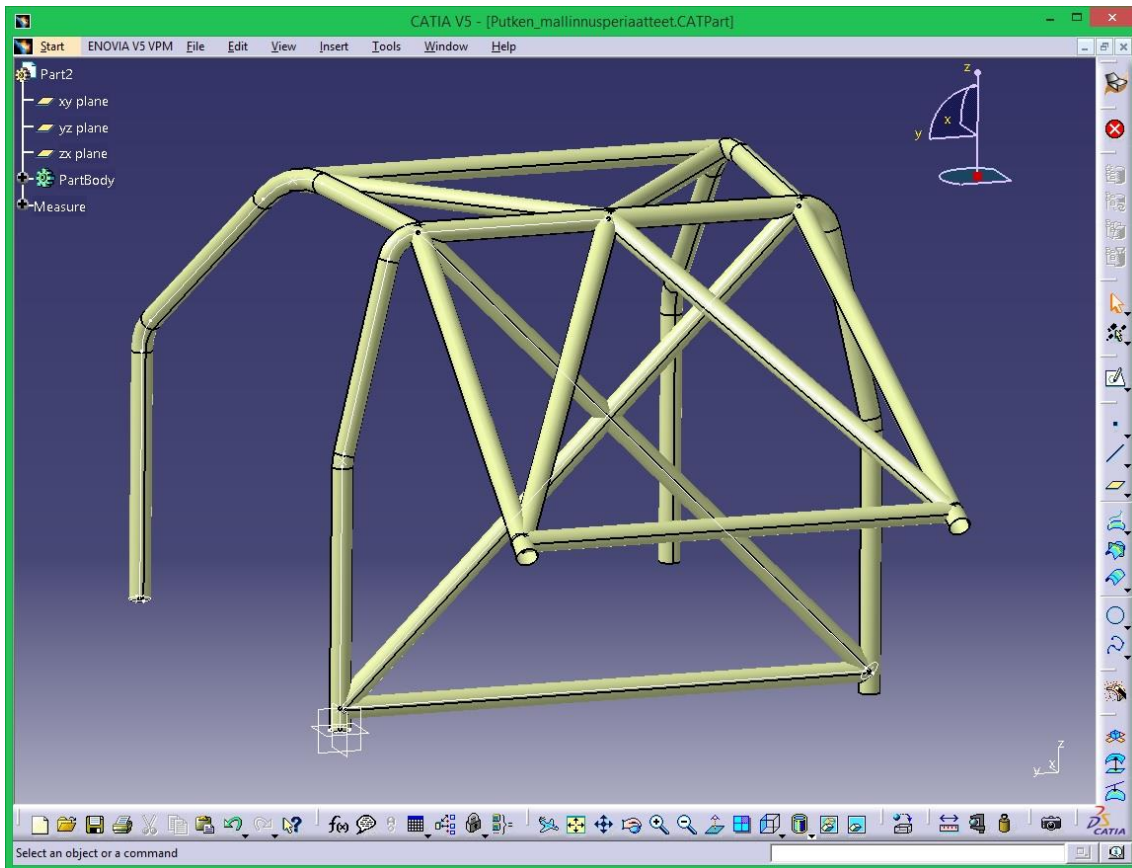
KUVA 32. Peilattu kattovahvistus sekä takatuen diagonaalituki

Nyt luodaan kaksi apupistettä 50 mm korkeammalle takakiinnitysaloista, joista pääkaaren diagonaaliputket sekä pääkaaren poikittastuki lähtevät. Pääkaaren diagonaalitukien yläpisteenä käytetään samaa pistettä, johon takatuet tulevat. Luodaan samalla myös apuviivat pääkaaren diagonaalituille ja poikittaistuulle sekä piirretään apuympyrät pursotusta varten jokaiselle tuelle. Kuvassa 33 on esitetty pääkaaren poikittaistuen apupisteet, apuviiva ja apuympyrä sekä pääkaaren diagonaalitukien apupisteet, apuviivat ja apuympyrät. Kuvasta 33 on piilotettu takatuet ja takatukien diagonaalituet selvyiden vuoksi.



KUVA 33. Pääkaaren poikittaistuen apupisteet, apuviiva ja apuympyrä sekä pääkaaren diagonaalitukien apupisteet, apuviivat ja apuympyrät

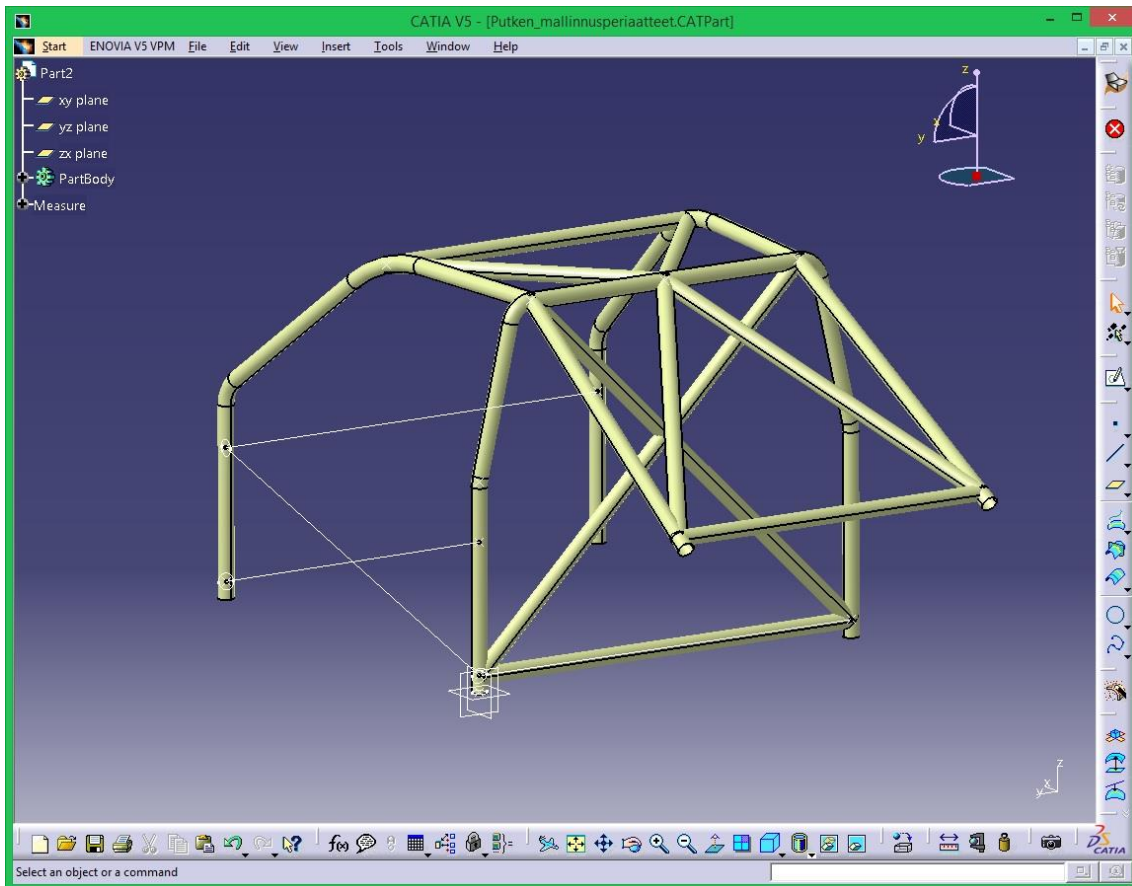
Seuraavaksi pursotetaan pääkaaren poikittaistuki sekä pääkaaren diagonaalituet ja tuodaan näkyviin takatuet sekä takatukien diagonaalituet. Kuvassa 34 on esitetty pääkaaren poikittaistuki sekä pääkaaren diagonaalituet pursotettuna.



KUVA 34. Pääkaaren poikittaistuki sekä pääkaaren diagonaalituet pursotettuna

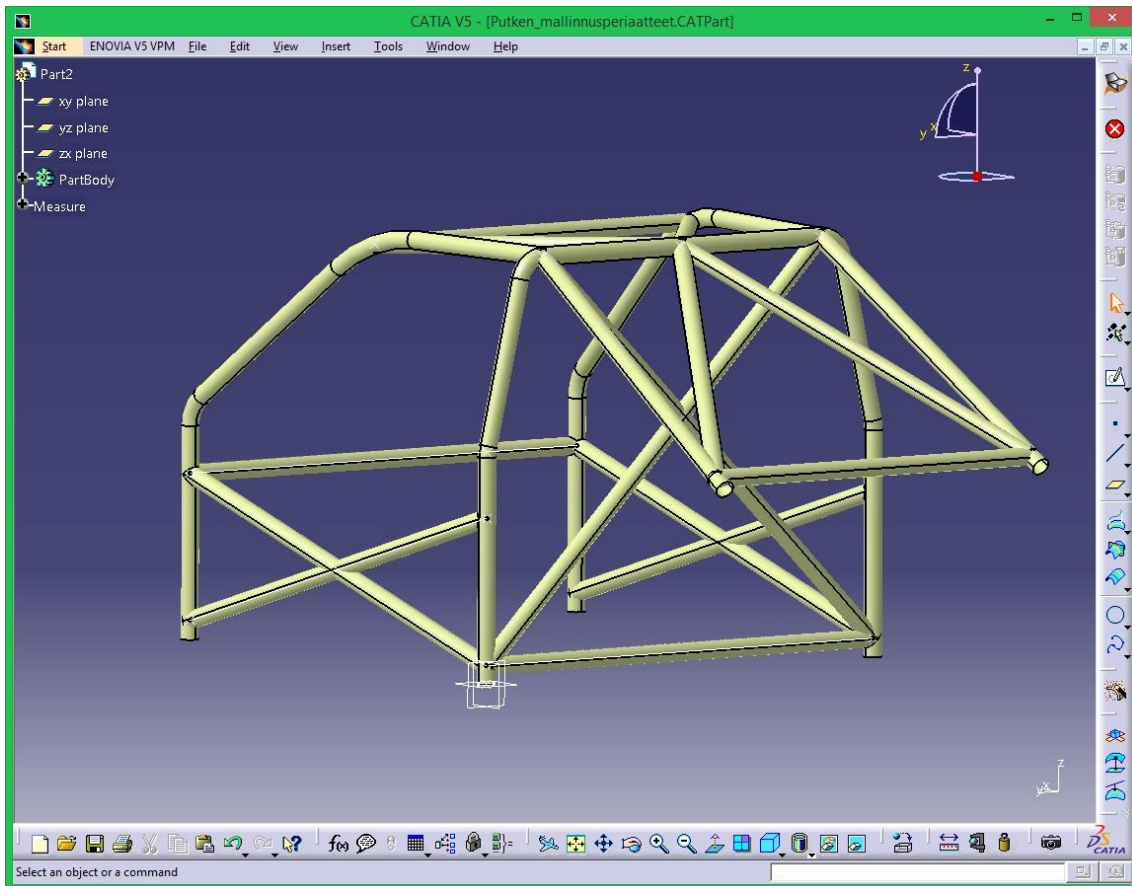
Seuraavaksi luodaan apupisteet, apuviivat sekä apuympyrät ovivahvistuksien putkille ja puolisivukaarien poikittaisvahvistukselle kojelaudan alle.

Ovivahvistuksen yläpää sijoitetaan 450 mm korkeudelle ja alapää 50 mm korkeudelle kiinnitysaloista katsottuna. Puolisivukaarien poikittaistuki sijoitetaan myös 450 mm korkeudelle eteen. Takakiinnitysalkojen kohdalla on jo valmis apupiste 50 mm korkeudella. Kuvassa 35 on esitetty ovivahvistuksien apupisteet, apuviivat sekä apuympyrät ja puolisivukaaren poikittaistuen apupisteet, apuviiva ja apuympyrä.



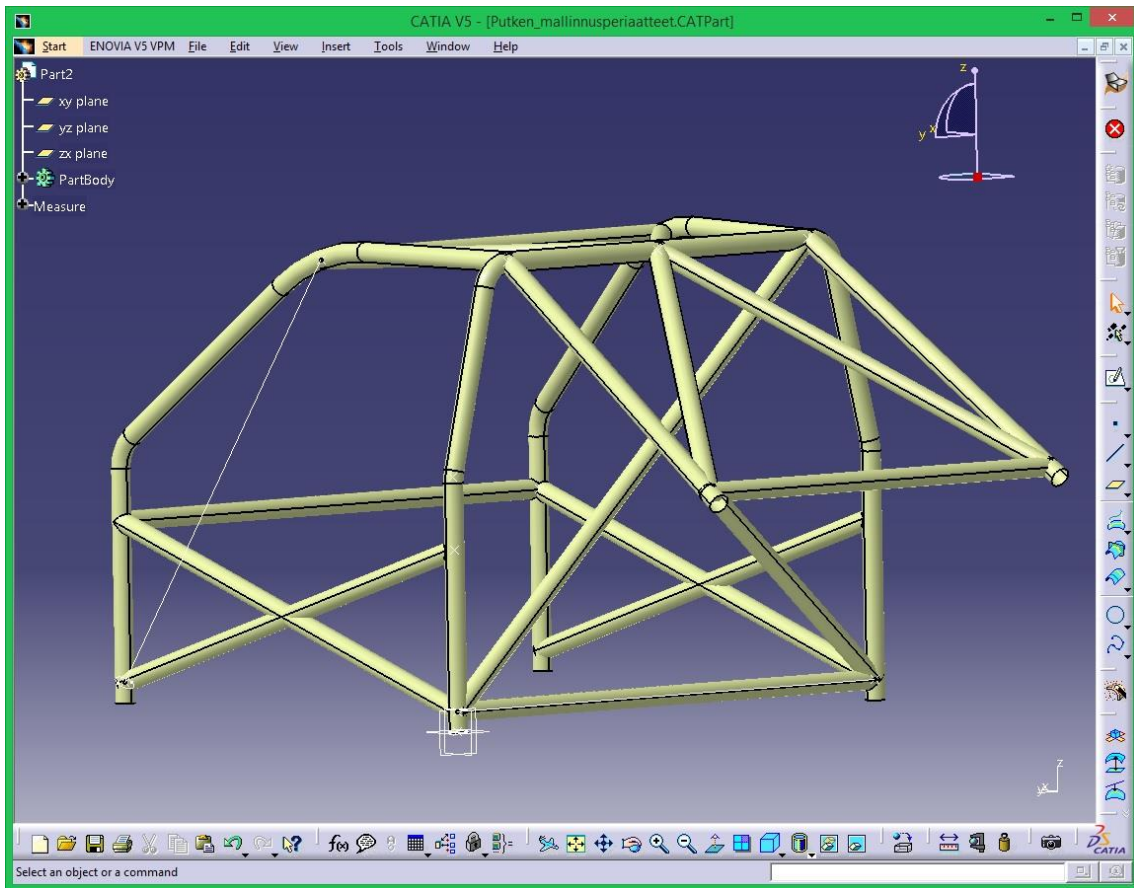
KUVA 35. Ovivahvistuksien apupisteet, apuviivat ja apuympyrät sekä puolisivukaaren poikittaistuen apupisteet, apuviiva ja apuympyrä

Seuraavaksi pursotetaan ovivahvistukset ja puolisivukaaren poikittaistuki alapäässä ja peilataan ovivahvistukset. Kuvassa 36 on esitetty pursotetut ja peilatut ovivahvistukset sekä pursotettu puolisivukaaren poikittaistuki edessä.

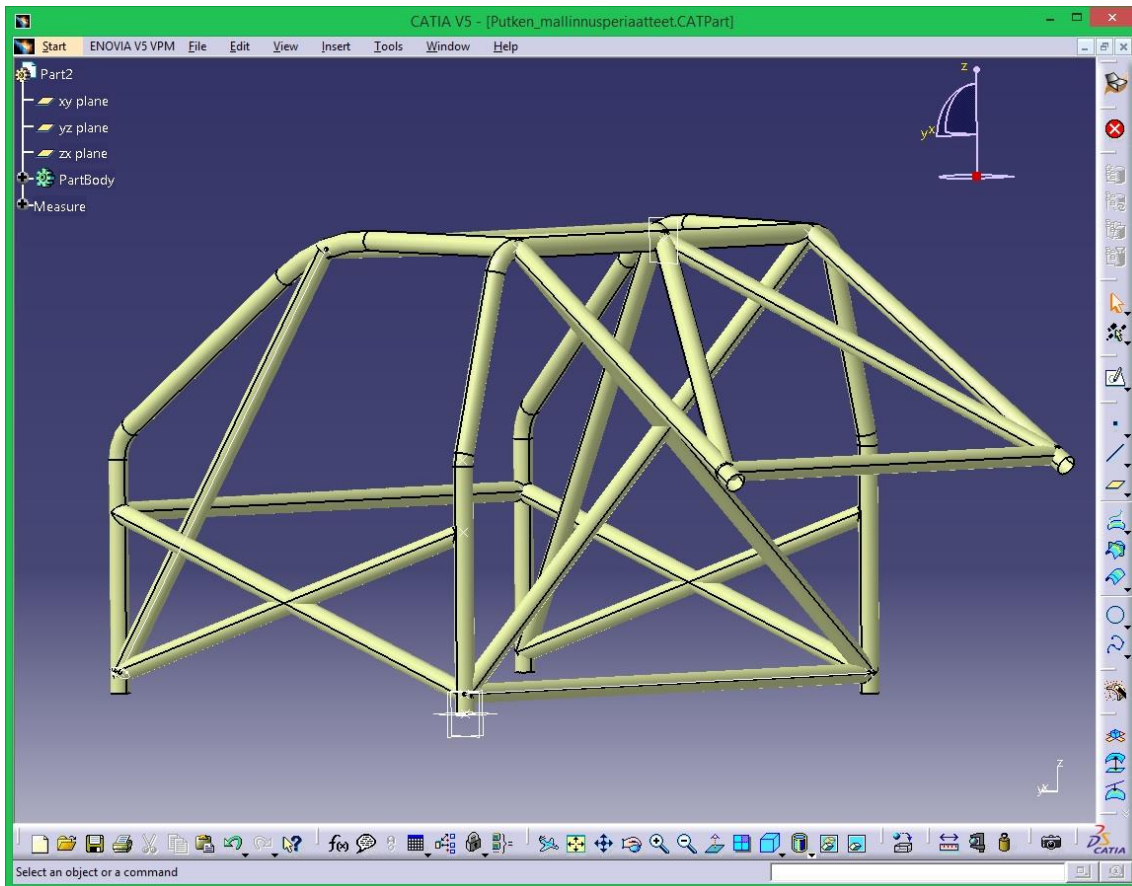


KUVA 36. Pursotetut ja peilatut ovivahvistukset sekä pursotettu puolisivukaaren poikittaistuki edessä

Seuraavaksi luodaan taivutuksen vahvistus pääkaaren ja puolisivukaaren väliin sekä tuulilasipilarin vahvistus, koska aiemmassa kuvassa 8 esitetty mitta "A" on suurempi kuin 200 mm ja se voidaan päätellä kuvasta 19 jossa puolisivukaaren yläpoikittaistuen apupiste on 700 mm päässä kuljettajan penkin takana olevasta takajalasta ja etujalka on 1 380 mm päässä kuljettajan penkin takana olevasta takajalasta ja näiden erotus on 680 mm. Tuulilasipilarin vahvistuksen apupisteet ovat jo olemassa 50 mm korkeudella etujalasta sekä puolisivukaaren yläpoikittaistuen apupisteessä. Piirretään näiden väliin apuviiva ja tehdään apuympyrä pursotusta varten. Kuvassa 37 on esitetty tuulilasipilarin vahvistuksen apuviiva sekä apuympyrä. Kuvassa 38 on esitetty pursotettu ja peillattu tuulilasipilarin vahvistus.

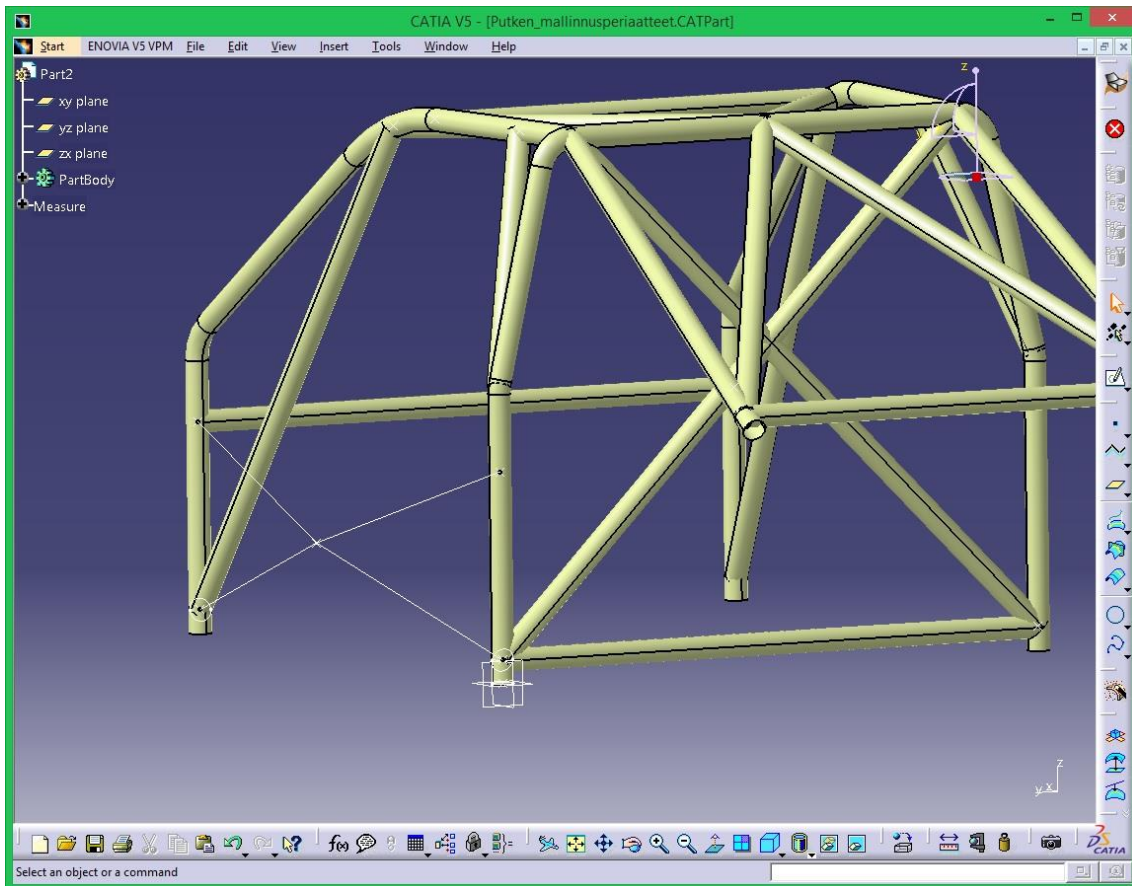


KUVA 37. Tuulilasipilarin vahvistuksen apuviiva ja apuympyrä



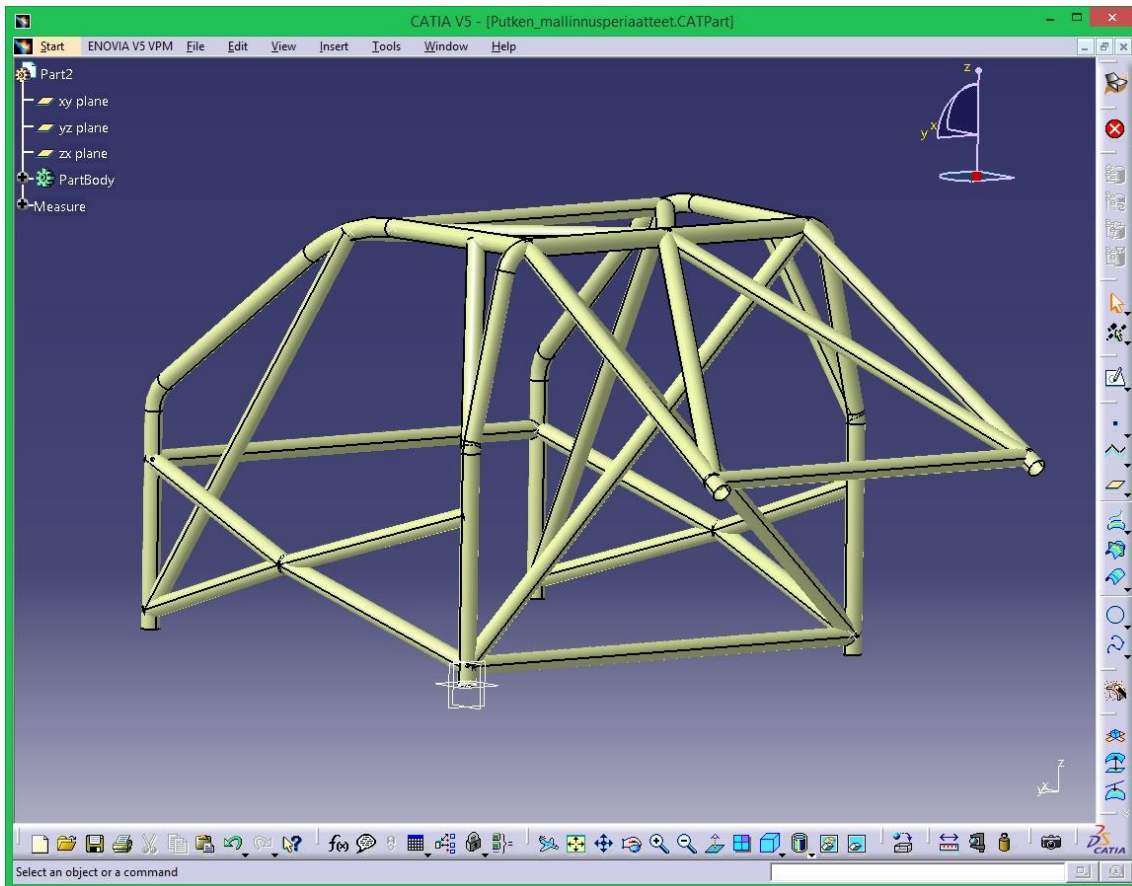
KUVA 38. Tuulilasipilarin vahvistuksen pursotus ja peilaus

Turvakaaria tarkasteltaessa huomataan tuulilasipilarin vahvistuksen ottavan yhteen ovivahvistuksen kanssa. Siirretään ovivahvistuksen keskikohtaa 80 mm ulospäin, jotta tuulilasipilarin vahvistus mahtuu kulkemaan koskematta ovivahvistuksiin. Luodaan uusi apupiste ovivahvistuksien yhtymäkohtaan ja tämän avulla luodaan uusi apupiste 80 mm ulospäin ovivahvistuksien yhtymäkohdasta. Kuvassa 39 on esitetty uusi apupiste, apuviivat ja olemassaolevat apuympyrät ovivahvistuksille.



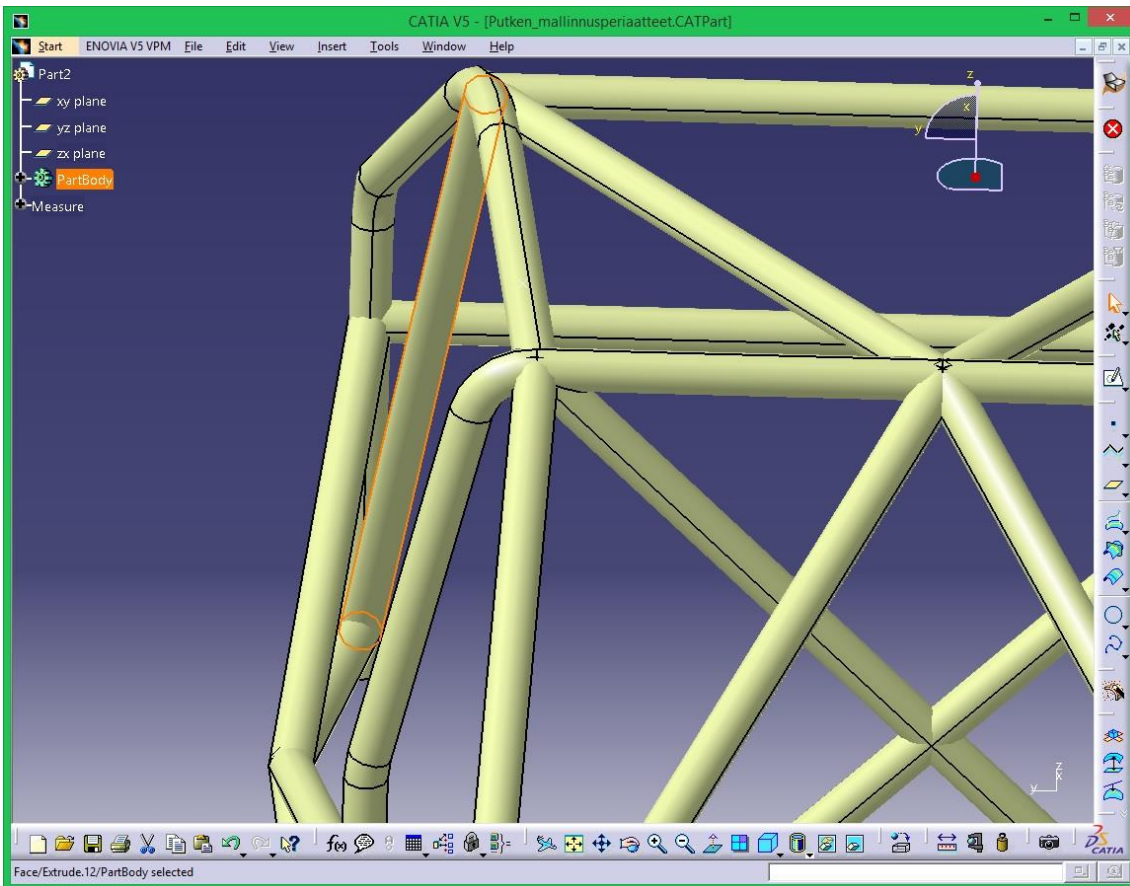
KUVA 39. Ovivahvistuksen uudet apupisteet ja apuviivat sekä olemassaolevat apuympyrät

Seuraavaksi pursotetaan ja peilataan muokatut ovivahvistukset. Kuvassa 40 on esitetty siirretyt ovivahvistukset.



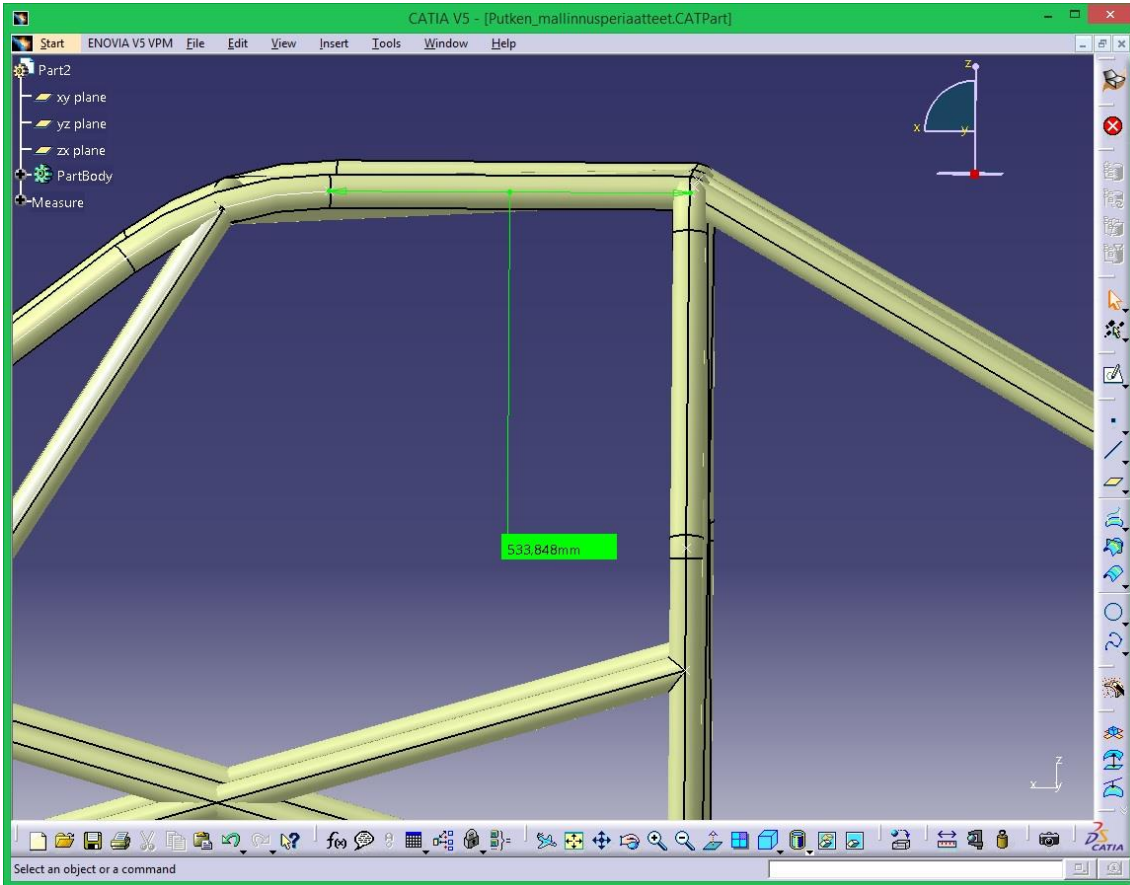
KUVA 40. Siirretyt ovivahvistukset

Tarkastetaan että tuulilasipilarin vahvistus ei ota kiinni ovivahvistuksiin. Kuvassa 41 nähdään etteivät tuulilasipilarin vahvistukset eivätkä ovivahvistukset ota toisiinsa enää kiinni. Tuulilasin vahvistus on esitetty oranssina selvyiden vuoksi.



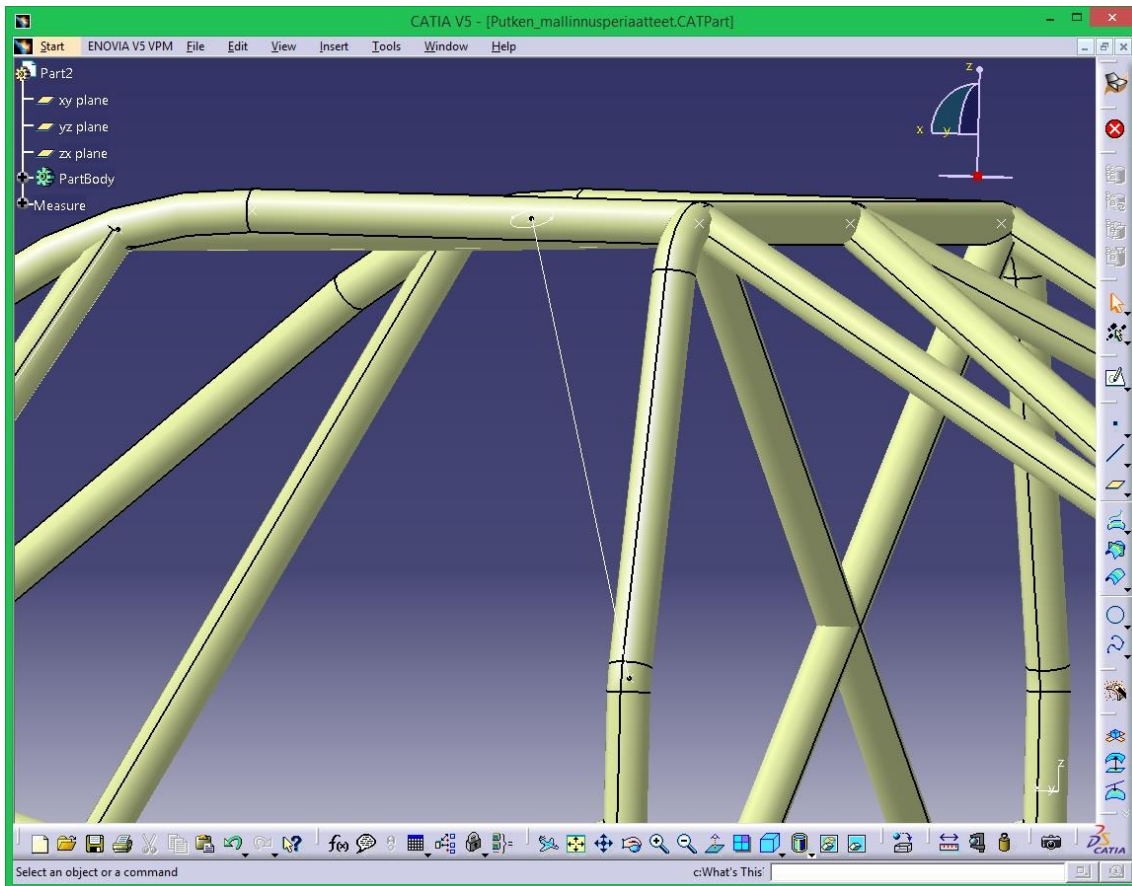
KUVA 41. Tuulilasipilarin vahvistus ja ovivahvistukset

Taivutuksen vahvistuksen alapään apupiste on pääkaaren ensimmäisessä taivutuskohdassa, mutta yläpiste tulee sijoittaa maksimissaan puoleenväliin puolisivukaaren yläpään putkesta (1, s 12). Mitoitetaan puolisivukaaren yläpään putken pituus ja sen perusteella sijoitetaan taivutuksen vahvistuksen yläpiste. Kuvassa 42 on esitetty puolisivukaaren yläpään putken pituus. Tästä mitasta on vähennettävä 25 mm, sillä on otettava huomioon pääkaaren putki.



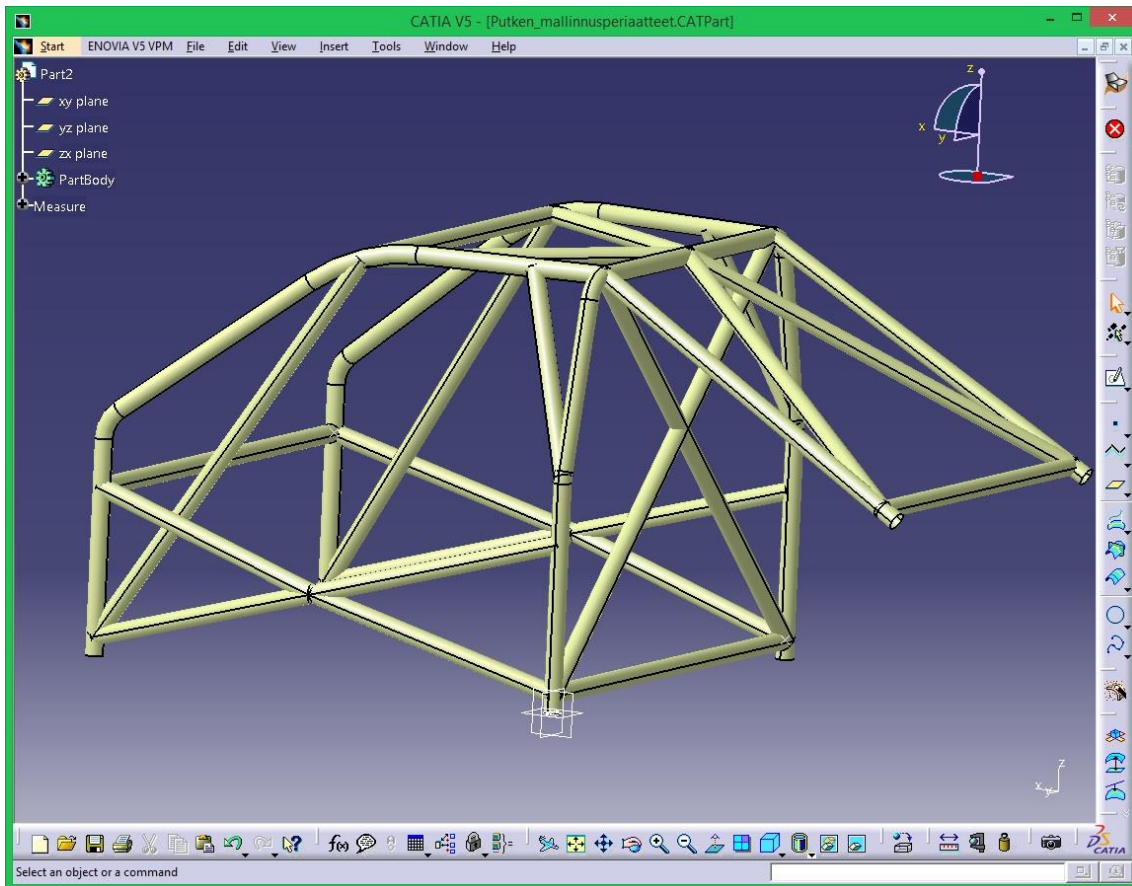
KUVA 42. Puolisivukaaren yläpään putken pituus

Kuvasta 42 huomataan puolisivukaaren yläpään putken pituuden olevan 533,848 mm, josta vähennetään 25 mm ottaessa huomioon pääkaaren putken paksuus, saadaan mitaksi 508,848 mm. Tällöin asetetaan taivutuksen vahvistuksen yläpään apupiste 200 mm päähän pääkaaresta katsottuna. Kuvassa 43 on esitetty taivutuksen vahvistuksen yläpään ja alapään apupiste, näiden väliin piirretty apuviiva sekä apuympyrä pursotusta varten.



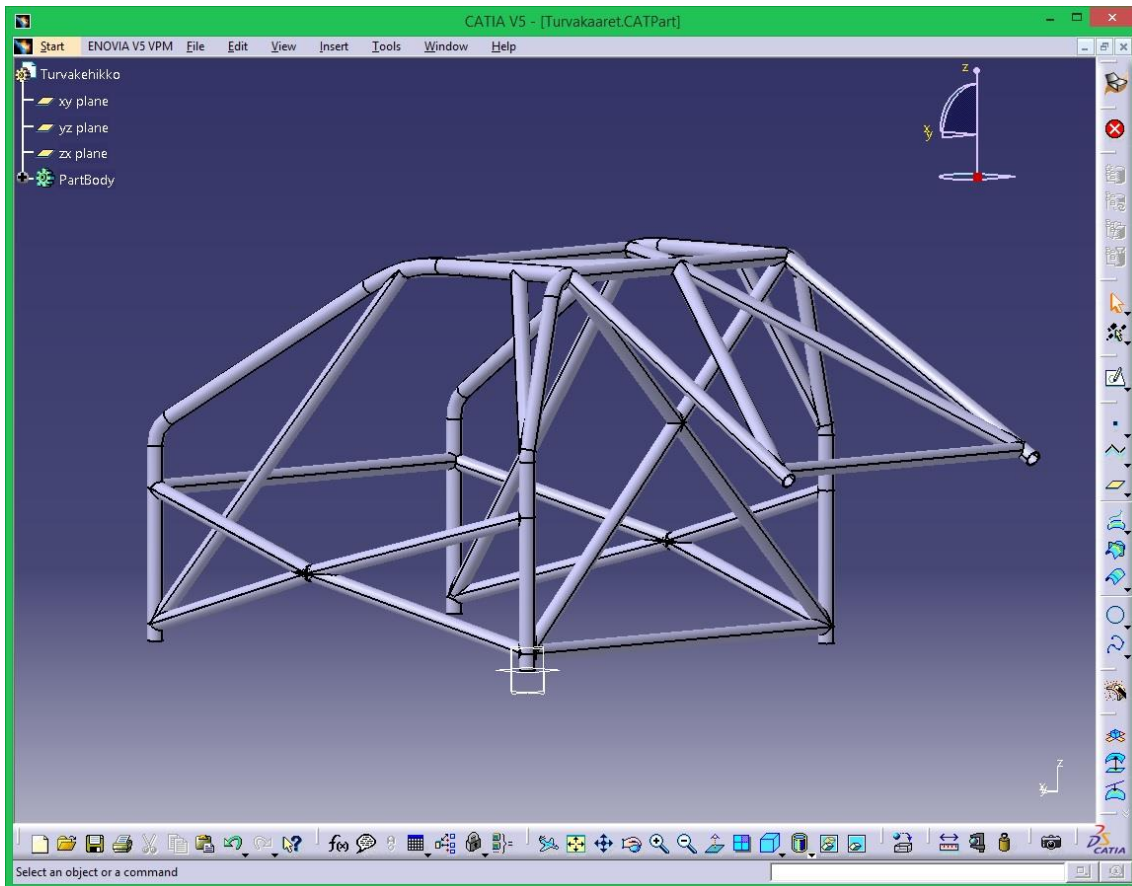
KUVA 43. Taivutuksen vahvistuksen apupisteet, apuviiva ja apuympyrä

Seuraavaksi pursotetaan ja peilataan taivutuksen vahvistukset. Kuvassa 44 on esitetty pursotettu ja peilattu taivutuksen vahvistus.



KUVA 44. Taivutuksen vahvistuksen pursotus ja peilaus

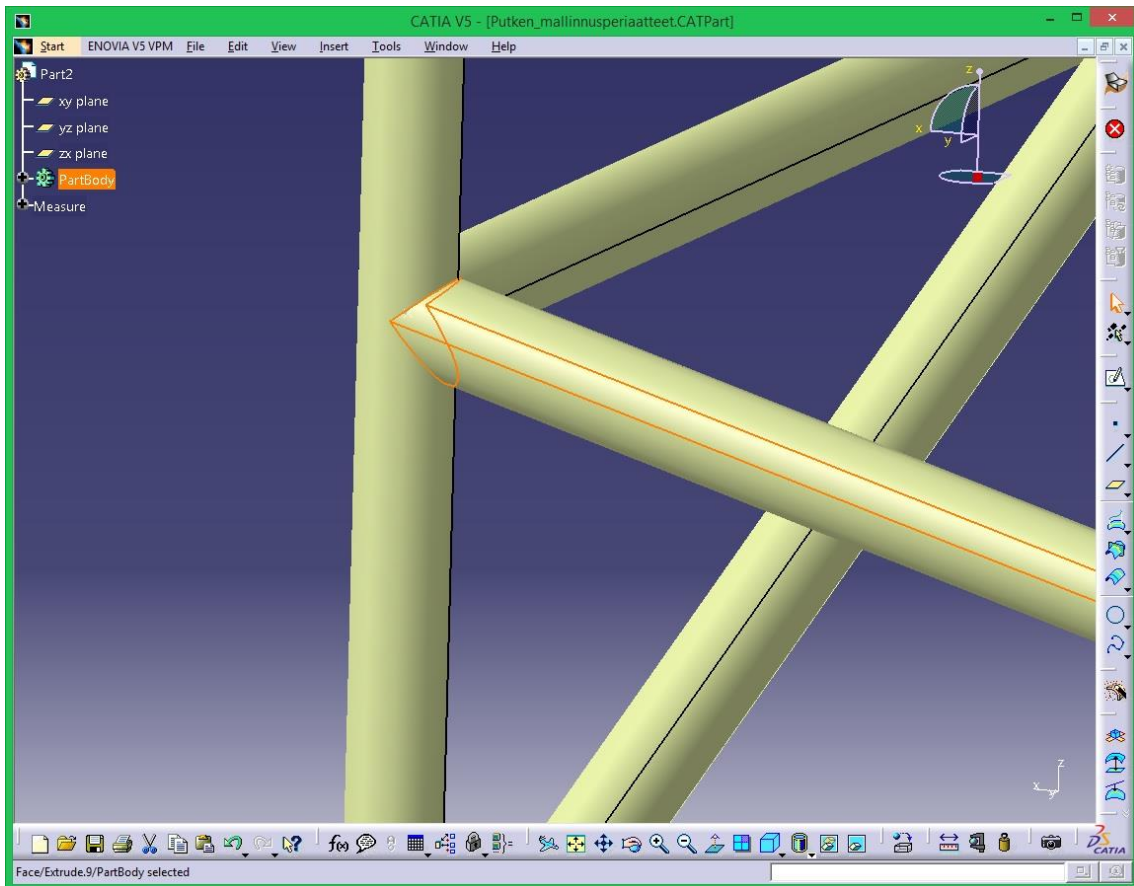
Nyt turvakaaret ovat mallinnettu valmiiksi perusmuodoiltaan. Luodaan turvakaarista solid-muoto sekä lisätään materiaali Ruukki FORM 1 000 turvakaariin. Kuvassa 45 on esitetty turvakaaren solid-muoto sekä lisätty materiaali turvakaariin.



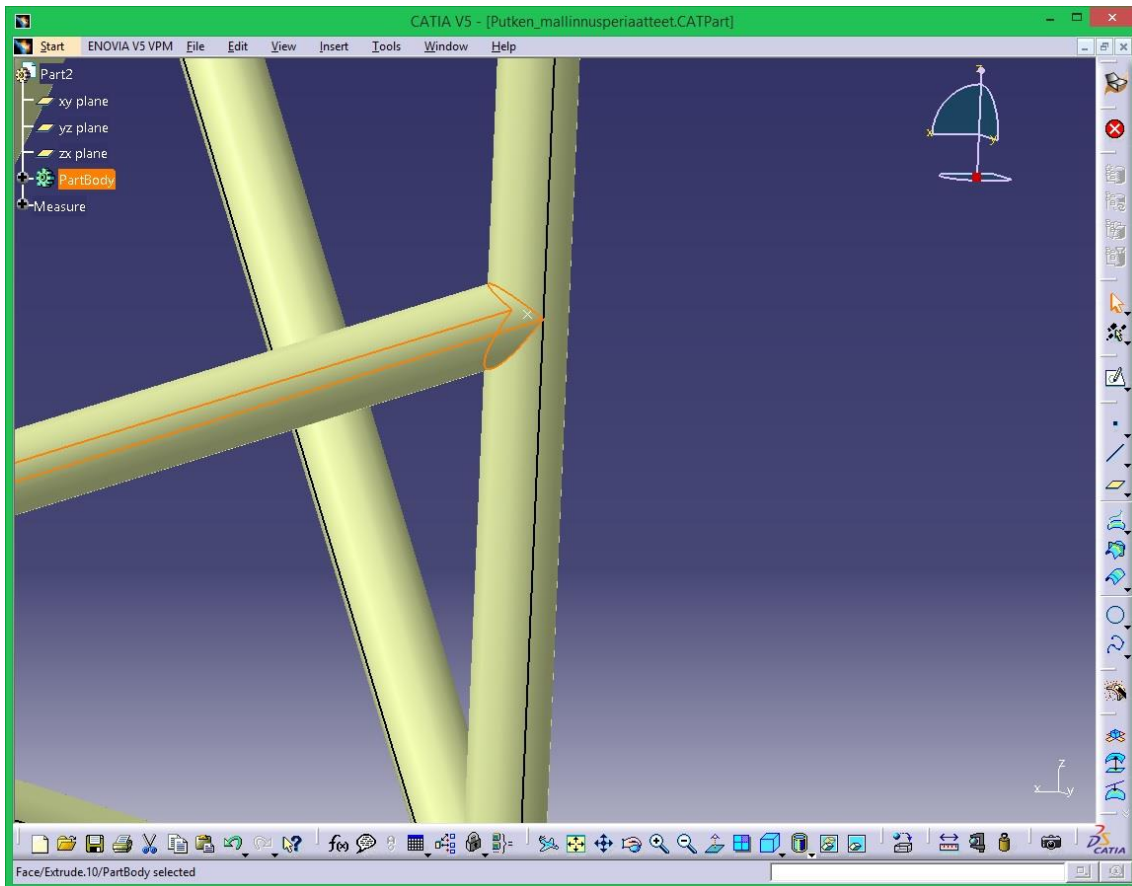
KUVA 45. Turvakaaret solid-muotona sekä materiaali Ruukki FORM 1 000

3.3 Kaarien liitoskohdat

Kaarien mallinnuksessa putket yhtyvät päärakenteeseen niin että yhtyvään putkeen tehdään tarvittavat muotoilut päähän, jotta putket voidaan hitsata helposti kiinni toisiinsa. Kuvissa 46 ja 47 on esitetty kaksi esimerkkikuvaa tilanteesta. Yhtyvä liitos nähdään oranssina kuvissa 46 ja 47.



KUVA 46. Putkien liitokset



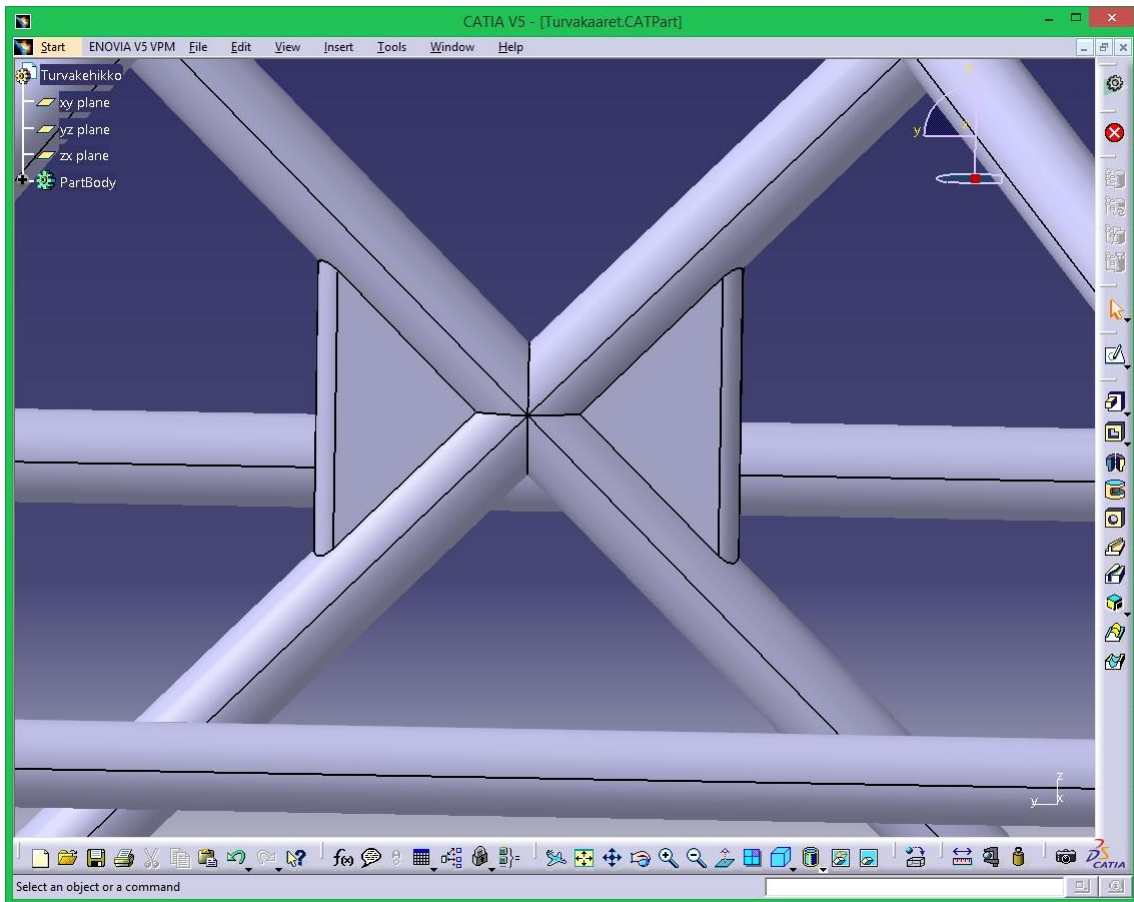
KUVA 47. Putkien liitokset

3.4 Kaarien vahvikkeet

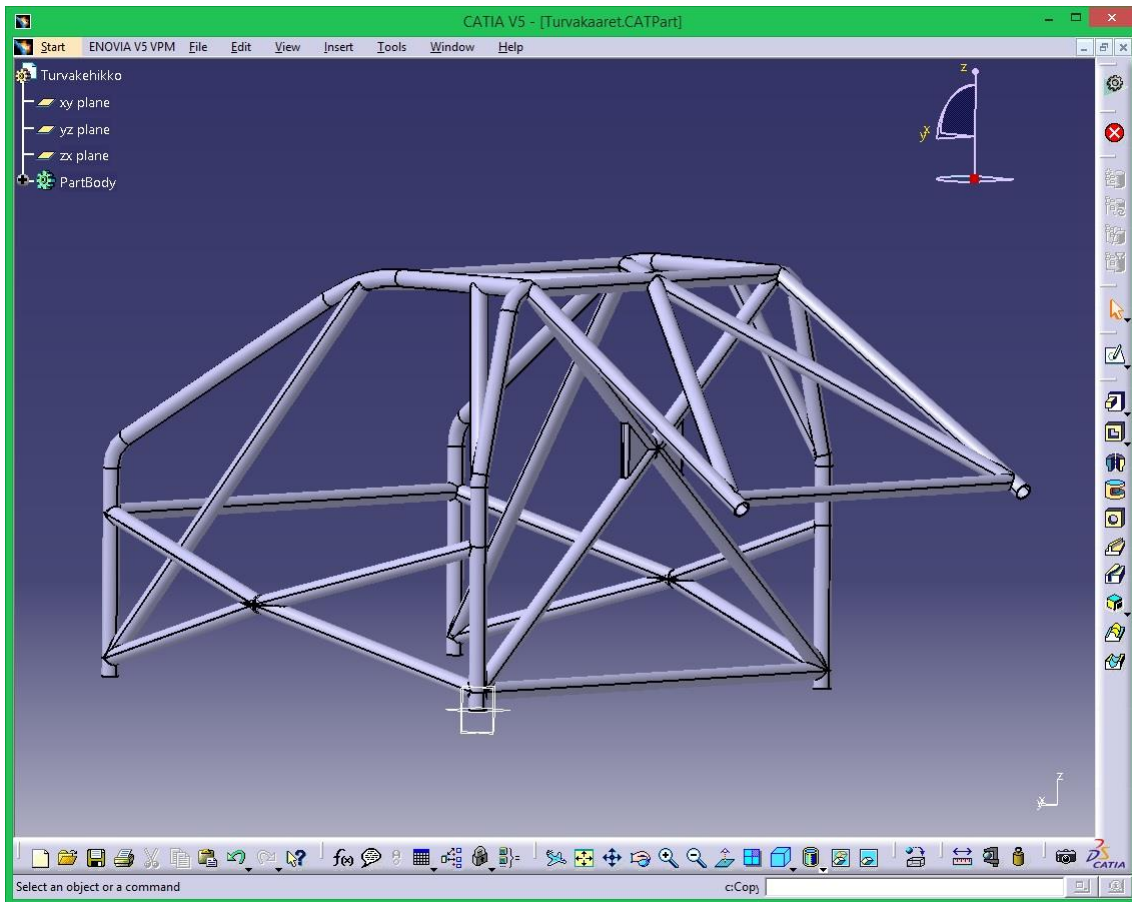
Kaarien vahvikkeet luodaan pääkaaren diagonaalitukiin.

Kuvassa 48 on esitetty luodut kaarien vahvikkeet pääkaaren diagonaalitukiin.

Kuvassa 49 on esitetty kokonaiskuva turvakaarista.



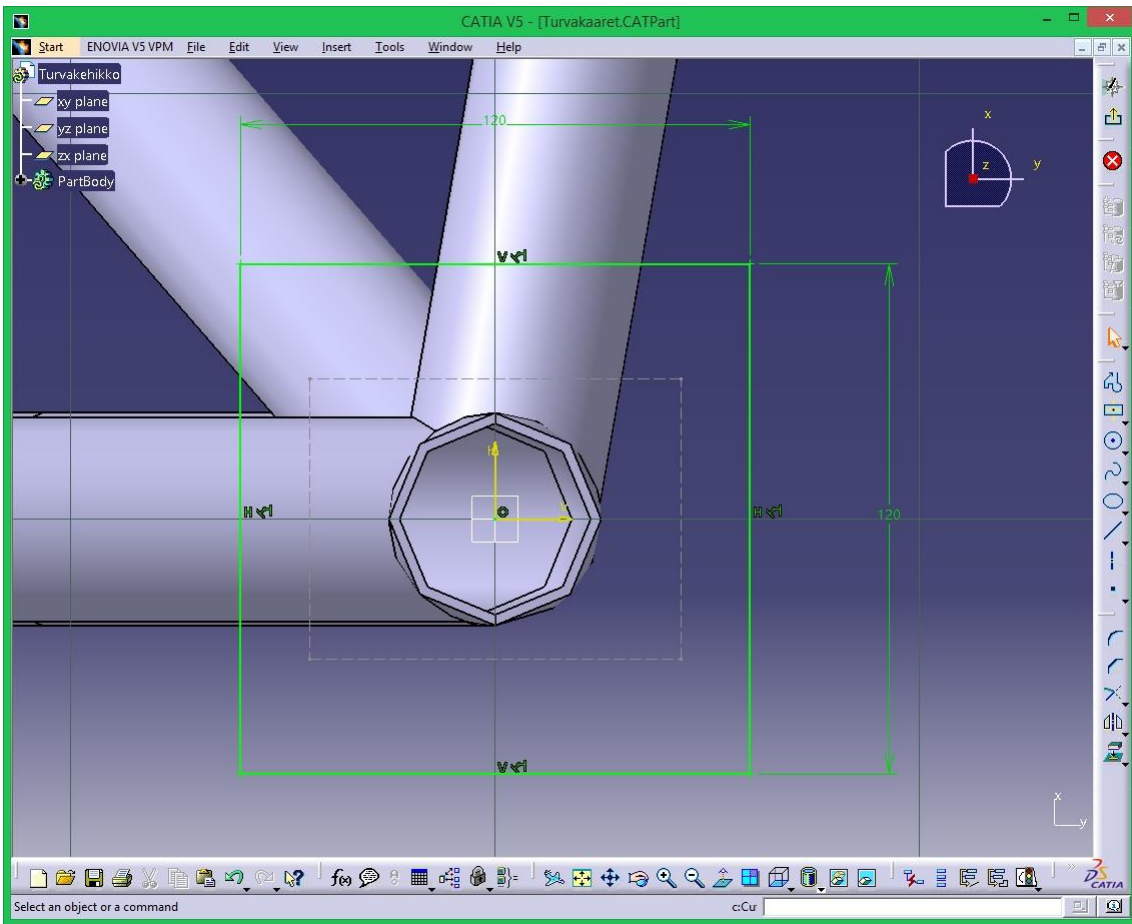
KUVA 48. Kaarien vahvikkeet pääkaaren diagonaalitukiin



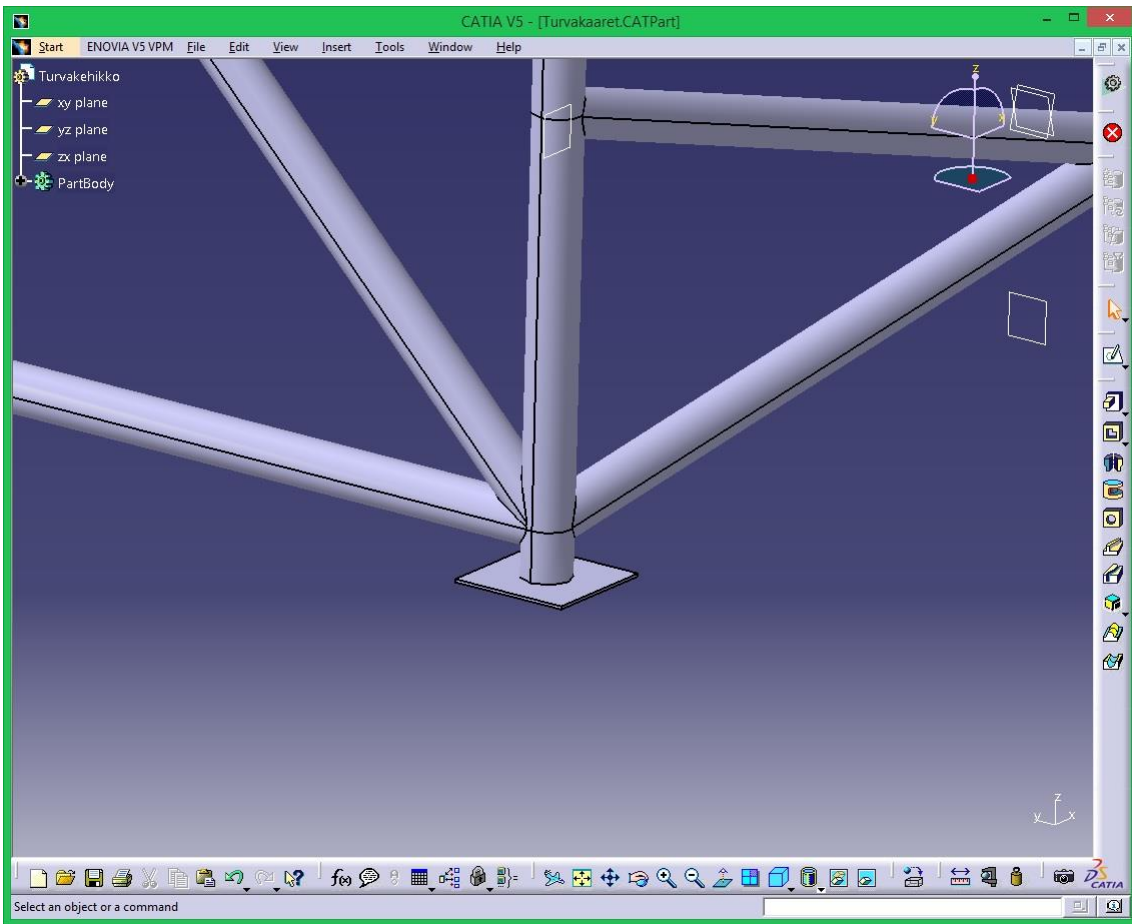
KUVA 49. Turvakaarien kokonaismuoto vahvikkeiden kera

Viimeisinä vahvikkeina luodaan kiinnityslevyt puolisivukaarien, pääkaarien ja takatukien päihin. Puolisivukaarien ja pääkaarien kiinnityslevyn vahvuus on oltava vähintään 3 mm ja pinta-alan tulee olla vähintään 120 cm^2 (2, s. 22). Takatukien kiinnityslevyn vahvuus on oltava vähintään 3 mm ja pinta-alan tulee olla vähintään 60 cm^2 (2, s. 22)

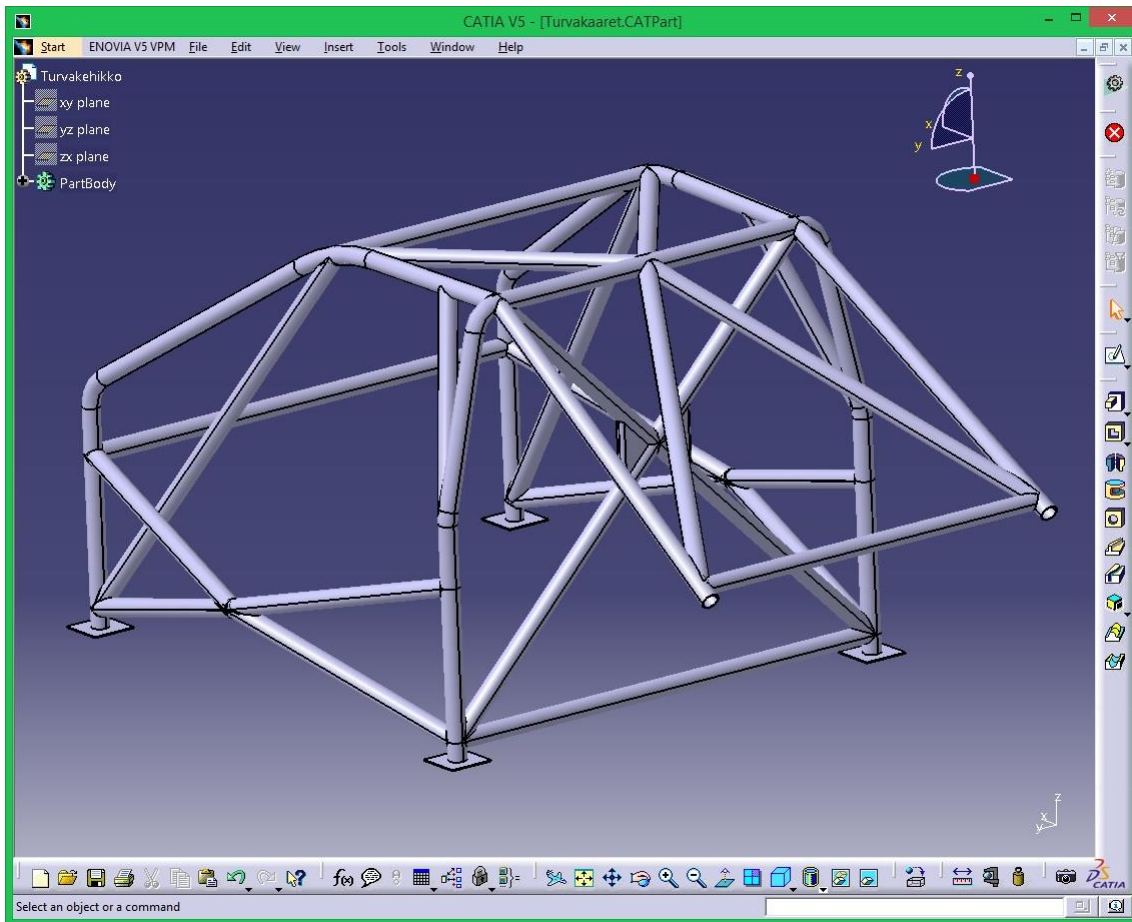
Luodaan puolisivukaarien ja pääkaarien kiinnityslevyiksi 3 mm vahuiset 120 mm x 120 mm levyt. Piirretään kiinnityslevyn muodot puolisivukaarien ja pääkaarien jalkojen alle ja pursotetaan nämä. Kuvassa 50 on esitetty piirretty muoto kiinnityslevyn pääkaaren jalan alle. Kuvassa 51 on esitetty pursotettu kiinnityslevy pääkaaren jalan alle. Kuvassa 52 on esitetty puolisivukaarien ja pääkaarien kiinnityslevyt pursotettuna.



KUVA 50. Pääkaaren kiinnitysjalan muoto

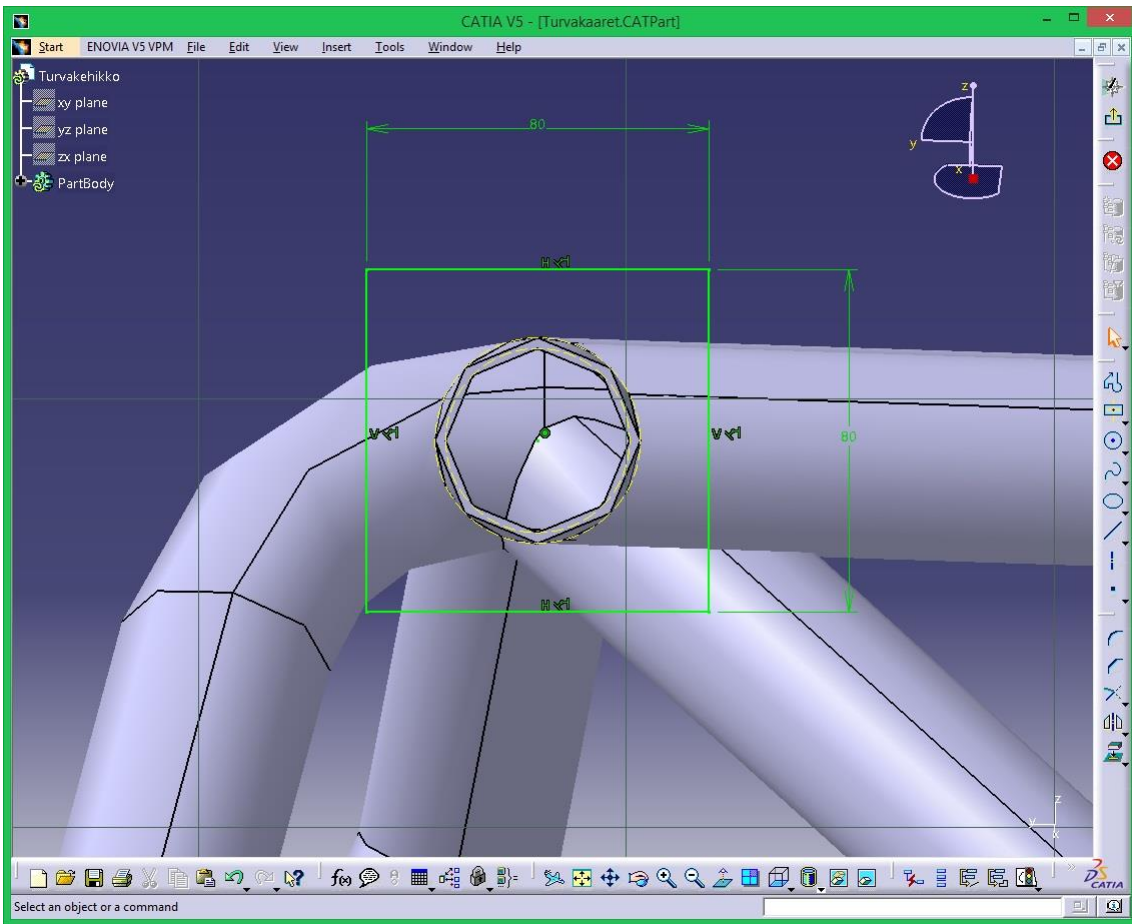


KUVA 51. Pääkaaren kiinnitysalka pursotettuna

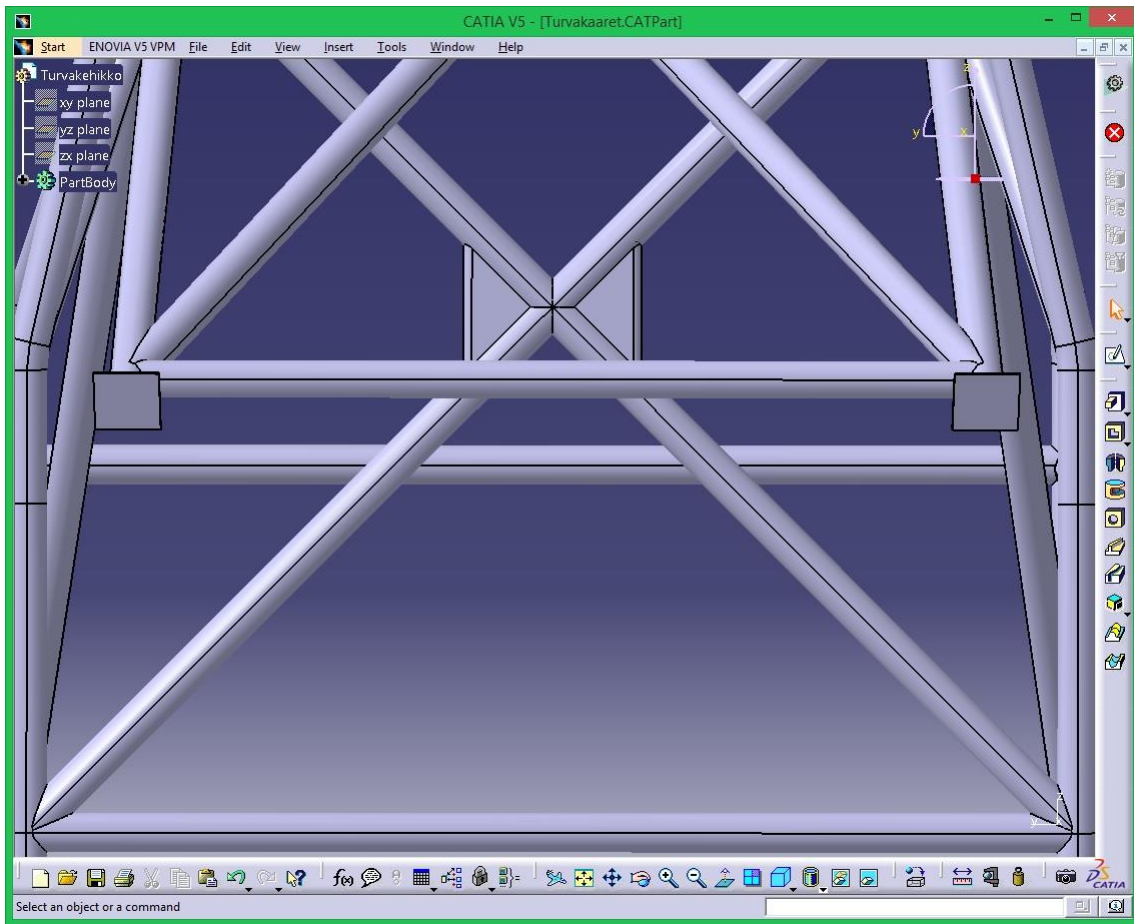


KUVA 52. Pääkaaren ja puolisivukaarien kiinnitysjalat

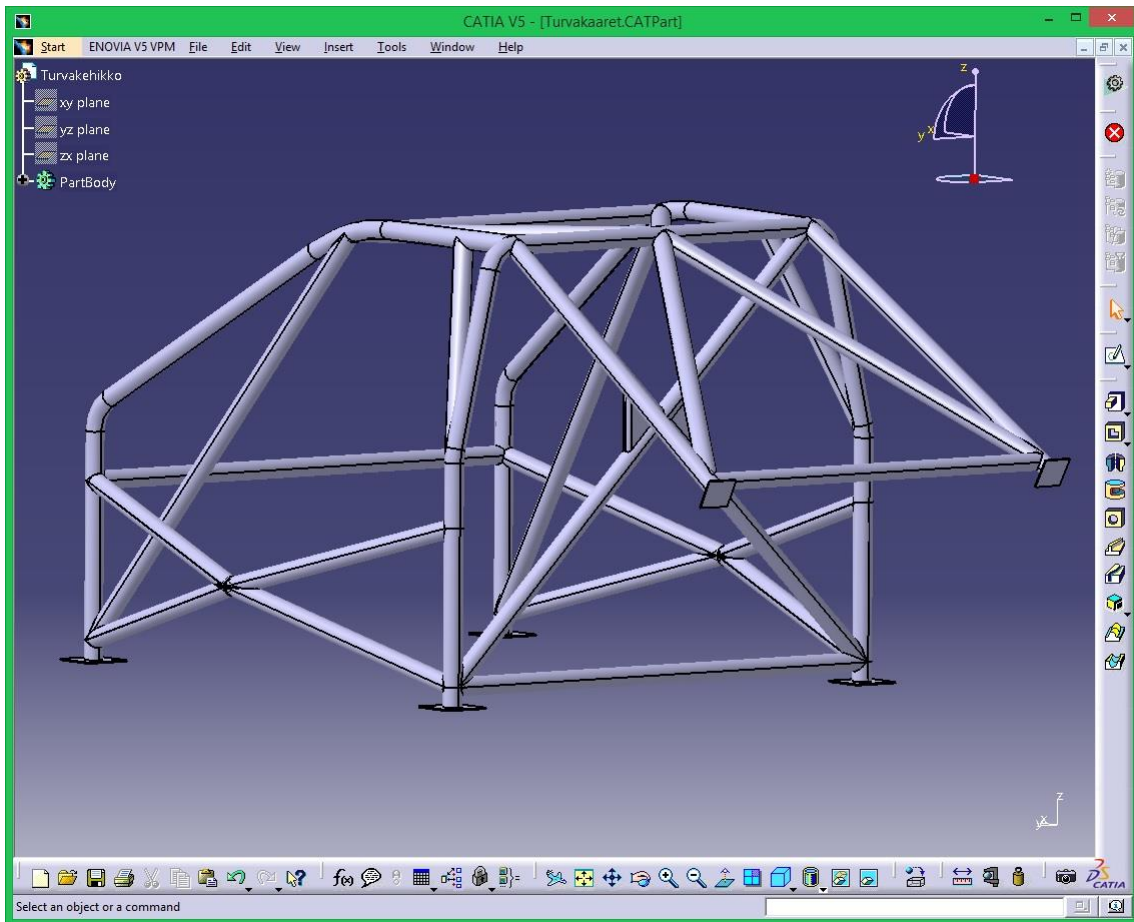
Luodaan takatukien kiinnitysaloille 3 mm vahvuiset 80 mm x 80 mm kiinnitysjalat. Piirretään takatuen kiinnitysalkojen muodot ja pursotetaan nämä. Kuvassa 53 on esitetty piirretty muoto takatukien kiinnitysaloille. Kuvassa 54 on esitetty pursotetut takatuen kiinnitysjalat. Kuvassa 55 on esitetty turvakehikko kiinnitysalkojen kanssa.



KUVA 53. Takatukien kiinnitysjalan muoto



KUVA 54. Takatukien kiinnitysjalat



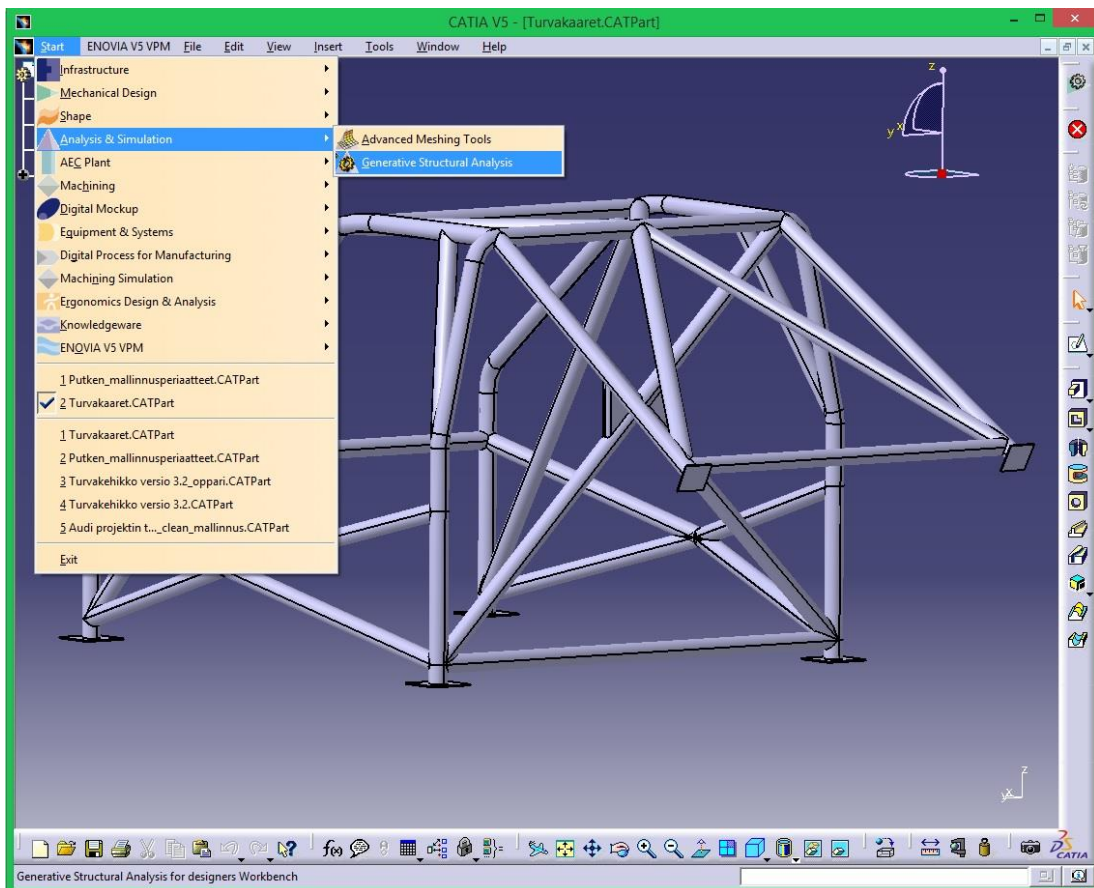
KUVA 55. Turvakehikko kiinnitysalkojen kanssa

4 TURVAKAARIEN ANALYSOINTI

Turvakaarien analysoinnissa käytetään Catia V5R20 -ohjelman generative structural analysis -työkalua. Oletetaan törmäyksen tapahtuvan 100 km/h nopeudesta edestä- ja sivustapäin ja oletetaan törmäyksen tapahtuvan yhdessä sekunnissa. Oletetaan myös koko törmäysvoiman siirtyvän turvakaariin. Näin ei kuitenkaan todellisuudessa tapahdu, sillä osa törmäysvoimasta absorboituu korin rakenteisiin.

4.1 3D-mallinnusohjelmalla analysointi

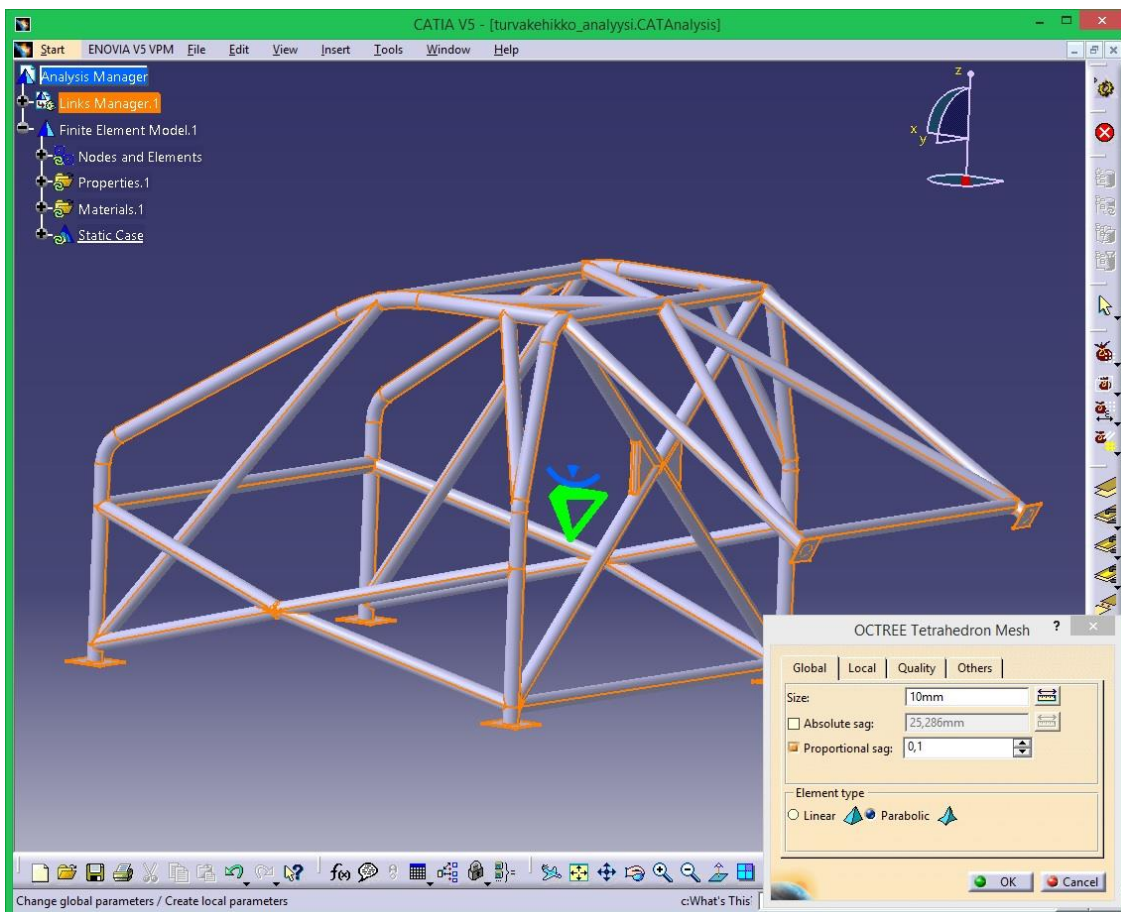
Aloitetaan uusi analyysi Catia V5R20 -ohjelman generative structural analysis -työkalulla. Kuvassa 56 on esitetty kuinka mallinnusohjelmassa saadaan esille generative structural analysis -työkalu.



KUVA 56. Generative structural analysis -työkalu

Seuraavaksi luodaan mesh-verkko mallinnetulle turvakaarille octree tetrahedron mesher-työkalulla. Valitaan octree tetrahedron mesher -työkalu ja osoitetaan turvakehikkoa johon mesh-verkko luodaan. Tällöin aukeaa valikko, jossa voidaan määrittää mesh-verkon sivun pituus kohdassa size, maksimiväli mesh -verkon ja elementin välillä kohdassa absolute sag sekä suhdeluku absolute sag ja mesh-verkon sivun pituuden välillä (4, FEM Solid) Valikossa voidaan myös valita elementin tyyppi kahden elementin välillä: Linear ja parabolic. Näistä elementeistä parabolic on tarkin.

Valitaan mesh-verkon sivunpituudeksi 10 mm ja suhdeluvuksi 0.1 sekä elementin tyyppiä parabolic mahdollisimman tarkan tuloksen saavuttamiseksi. Kuvassa 57 on esitetty octree tetrahedron mesher -työkalun valikko mihin arvot on sijoitettu.

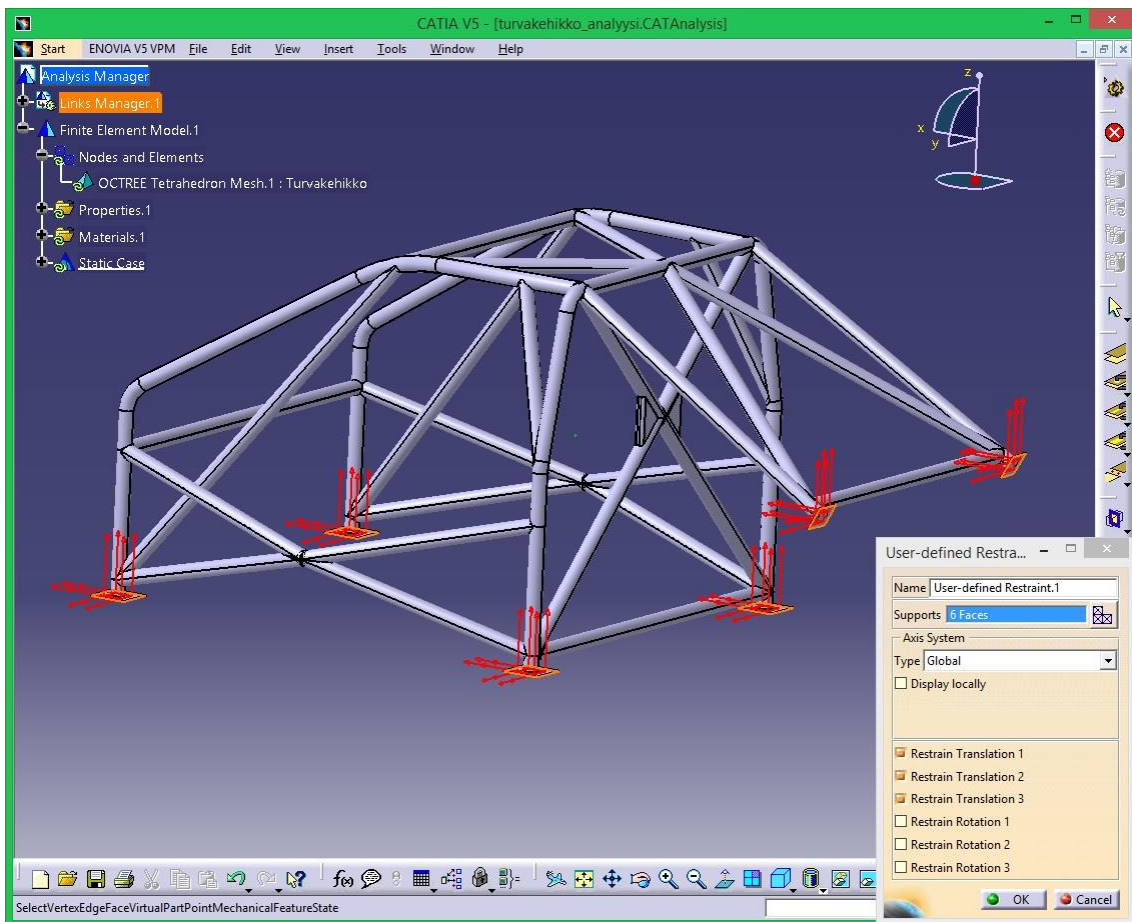


KUVA 57. Octree tetrahedron mesher -työkalun valikko

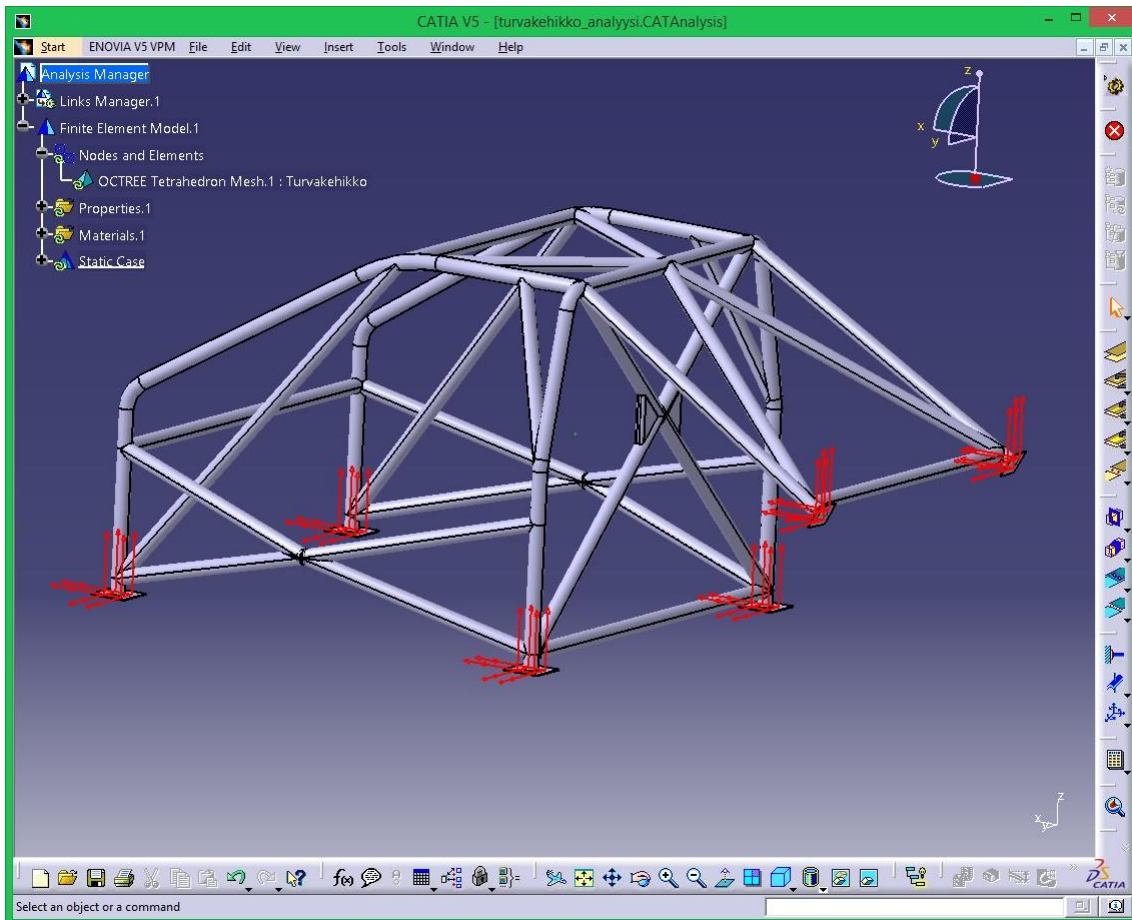
Materiaali on jo valmiiksi valittu mallintaessa ja tämä siirtyy general structural analysis -työkaluun.

4.2 Turvakaarien kiinnityspisteet

Luodaan kiinnityspisteet turvakaaren jalkoihin user-defined restraint -työkalulla ja estetään kiinnitysjalkojen siirtyminen jokaisessa suunnassa. Kuvassa 58 on esitetty kiinnityspisteiden luonti jokaiseen jalkaan. Kuvassa 59 on esitetty luodut kiinnityspisteet jokaiseen jalkaan.



KUVA 58. Kiinnityspisteiden luonti jokaiseen jalkaan



KUVA 59. Kiinnityspisteet jokaisessa jalassa

Nyt kun turvakehikon kiinnityspisteet on määritelty, voidaan siihen osoitettuja voimia tarkastella.

4.3 Turvakaariin vaikuttavat voimat törmäystilanteessa

Aiemmassa kohdassa 4 Turvakaarien analysointi oletettiin törmäyksen tapahtuvan 100 km/h vauhdista yhden sekunnin aikana. Lasketaan auton kiihtyvyys törmäystilanteessa ja kiihtyvyyden perusteella autoon vaikuttava voima törmäystilanteessa.

Kiihtyvyys lasketaan kaavalla 1 (3, s 36).

$$a = (v_2 - v_1)/t$$

KAAVA 1

a = kiihtyvyys (m/s^2)

v_1 = alkunopeus (m/s)

v_2 = loppunopeus (m/s)

t = aika (s)

Lasketaan nyt auton kiihtyvyys 100 km/h törmäyksessä yhden sekunnin aikana (kaava 1). Alkunopeus v_1 on 100 km/h, loppunopeus v_2 on 0 km/h ja aika t on 1 sekunti. Jaetaan nopeudet 3.6:lla jotta saadaan yksiköksi m/s.

$$a = (v_2 - v_1)/t = (0 \text{ km/h} / 3.6 - 100 \text{ km/h} / 3.6) / 1 \text{ s} = (-27,78 \text{ m/s}) / 1 \text{ s} = -27,78 \text{ m/s}^2$$

Huomataan kiihtyvyyden olevan negatiivinen ja tällöin on kyse hidastuvuudesta. Kun kiihtyvyys on laskettu, voidaan laskea autoon vaikuttava voima törmäystilanteessa.

Voima lasketaan kaavalla 2 (3, s. 37).

$$F = m * a$$

KAAVA 2

F = voima (N)

m = massa (kg)

a = kiihtyvyys (m/s^2)

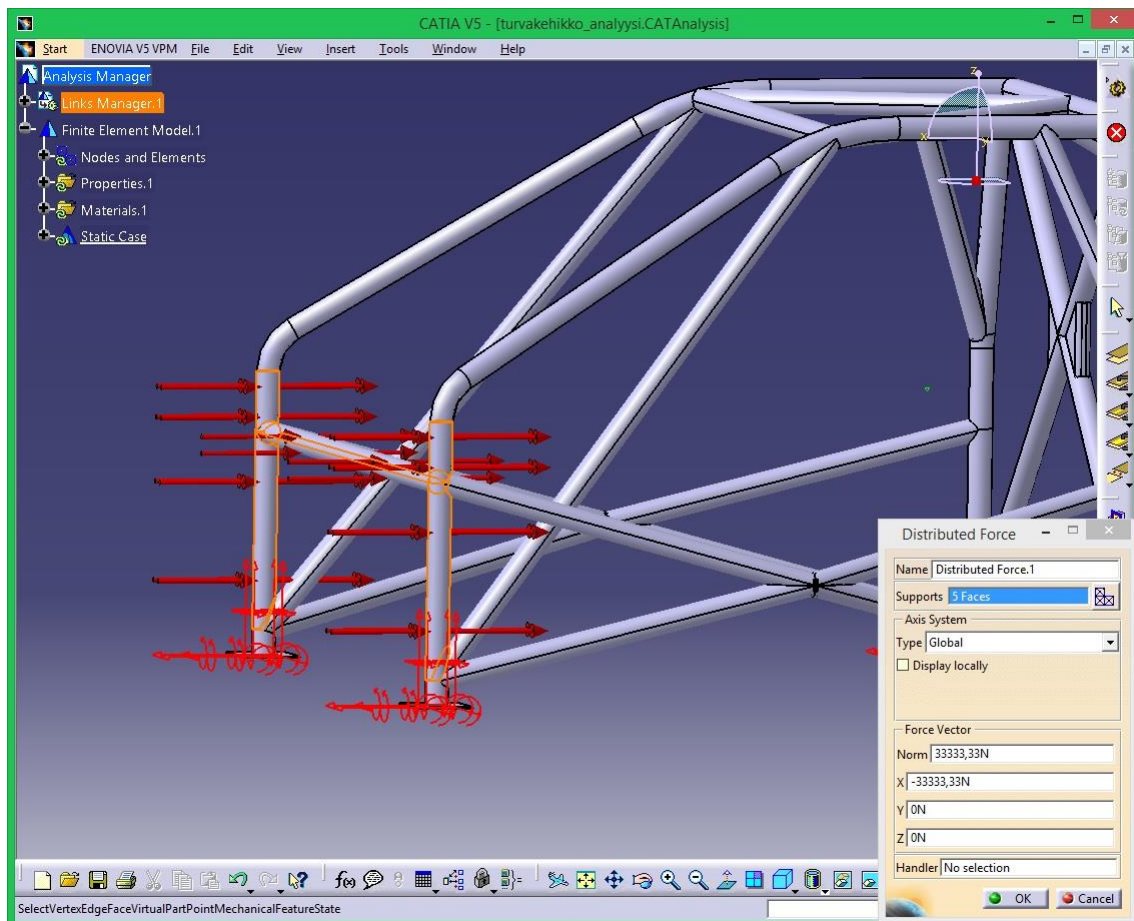
Lasketaan nyt autoon vaikuttava voima törmäystilanteessa (kaava 2) Massa m on 1 200 kg ja kiihtyvyys a on $-27,78 \text{ m/s}^2$.

$$F = m * a = 1\,200 \text{ kg} * -27,78 \text{ m/s}^2 = -33333,33 \text{ N}$$

Koska voiman etumerkki on negatiivinen, voimat vaikuttavat autoon päin.

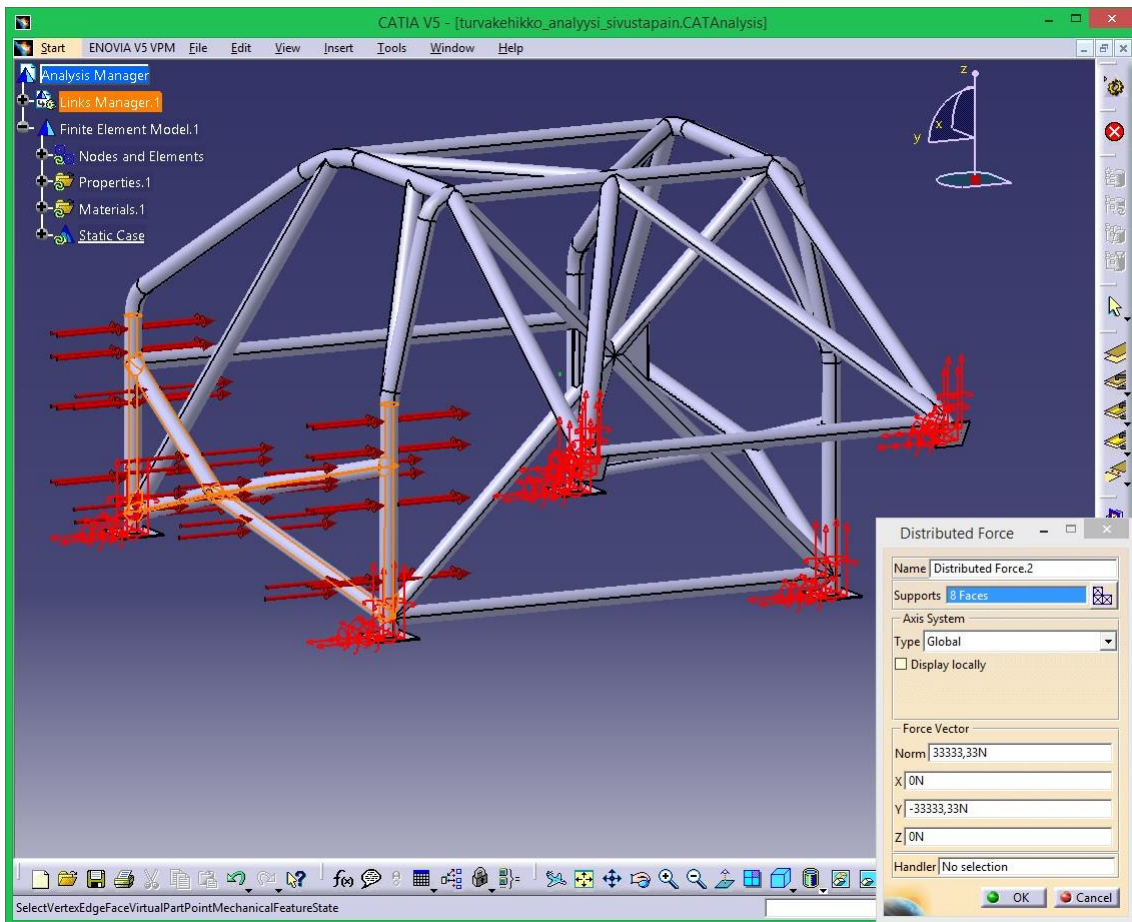
4.4 Turvakaariin vaikuttavat maksimijännitykset törmäystilanteessa

Kohdassa 4.3 Turvakaariin vaikuttavat voimat törmäystilanteessa laskettiin 100 km/h nopeudesta yhden sekunnin aikana tapahtuvan törmäyksen voima ja sitä sovelletaan 3D-mallinnusohjelman analysoinnissa. Oletetaan voiman olevan tasaisesti jakautuvaa ja osoitetaan autoon kohdistuvat voimat turvakaariin edestä- ja sivustapäin. Edestäpäin törmäyksessä turvakehikon puolisivukaarien etujalat sekä puolisivukaaren poikittaistuki edessä vastaanottavat autoon kohdistuvan voiman. Kohdistetaan voimat Catia V5R20 distributed force -työkalulla näihin putkiin. Voimien jakautuminen edestäpäin törmäyksessä on esitetty kuvassa 60.



KUVA 60. Voimien jakautuminen edestäpäin törmäyksessä

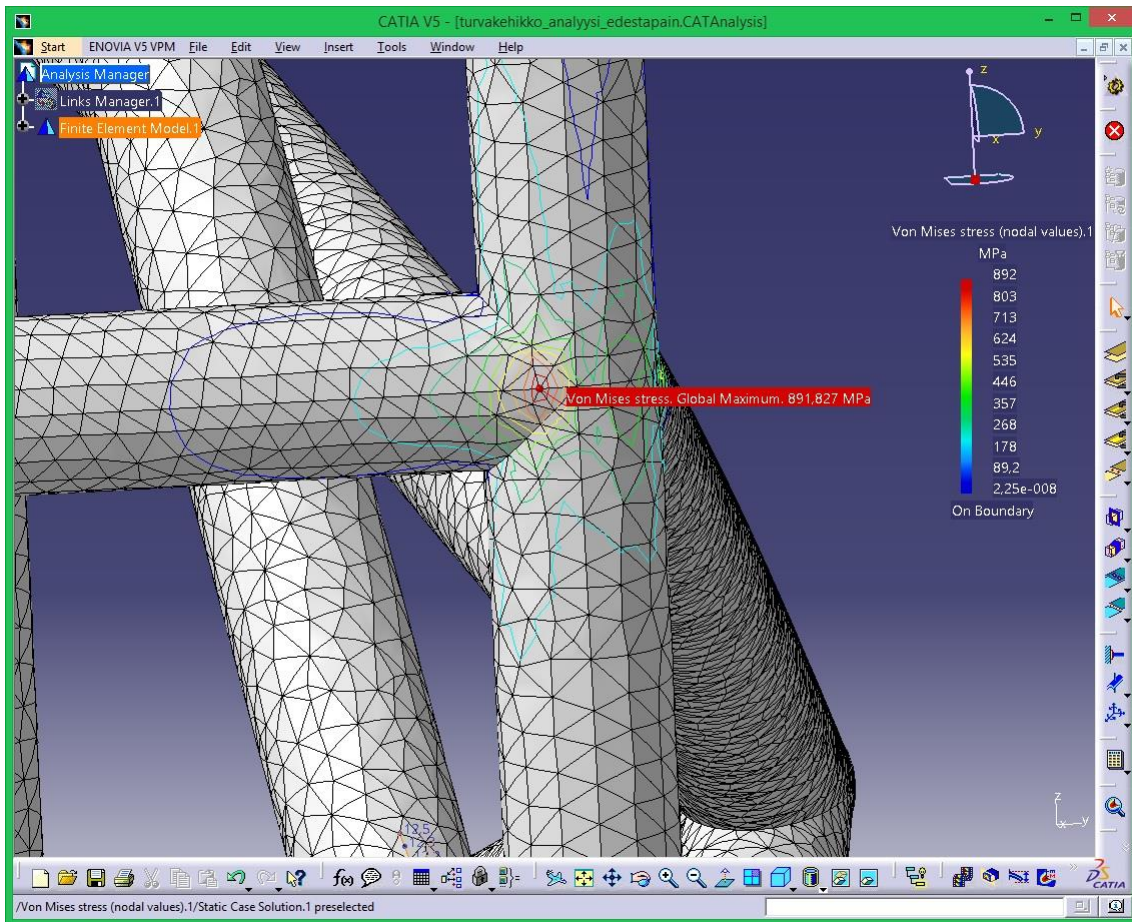
Sivuttaistörmäyksessä ovivahvistukset, puolisivukaari ja pääsivukaaren sivuttaisosa ottavat voimat vastaan. Kohdistetaan voimat Catia V5R20 distributed force -työkalulla näihin putkiin. Voimien jakautuminen sivustapäin on esitetty kuvassa 61.



KUVA 61. Voimien jakaantuminen sivustapäin törmäyksessä

4.4.1 Maksimijännitykset edestä

Turvakaariin vaikuttavat voimat edestäpäin on esitetty kuvassa 60. Seuraavaksi käytetään Catia V5R20 compute -työkalua ja lasketaan 3D-mallinnusohjelmalla turvakaariin vaikuttavat jännitykset sekä tarkastellaan turvakaariin vaikuttavaa maksimijännitystä Catia V5R20 Von mises stress -työkalulla. Kuvassa 62 on esitetty turvakaariin vaikuttavat maksimijännitykset edestäpäin törmäyksessä ja ne sijaitsevat puolisivukaarien ja poikittaistuen yhtymäkohdissa.

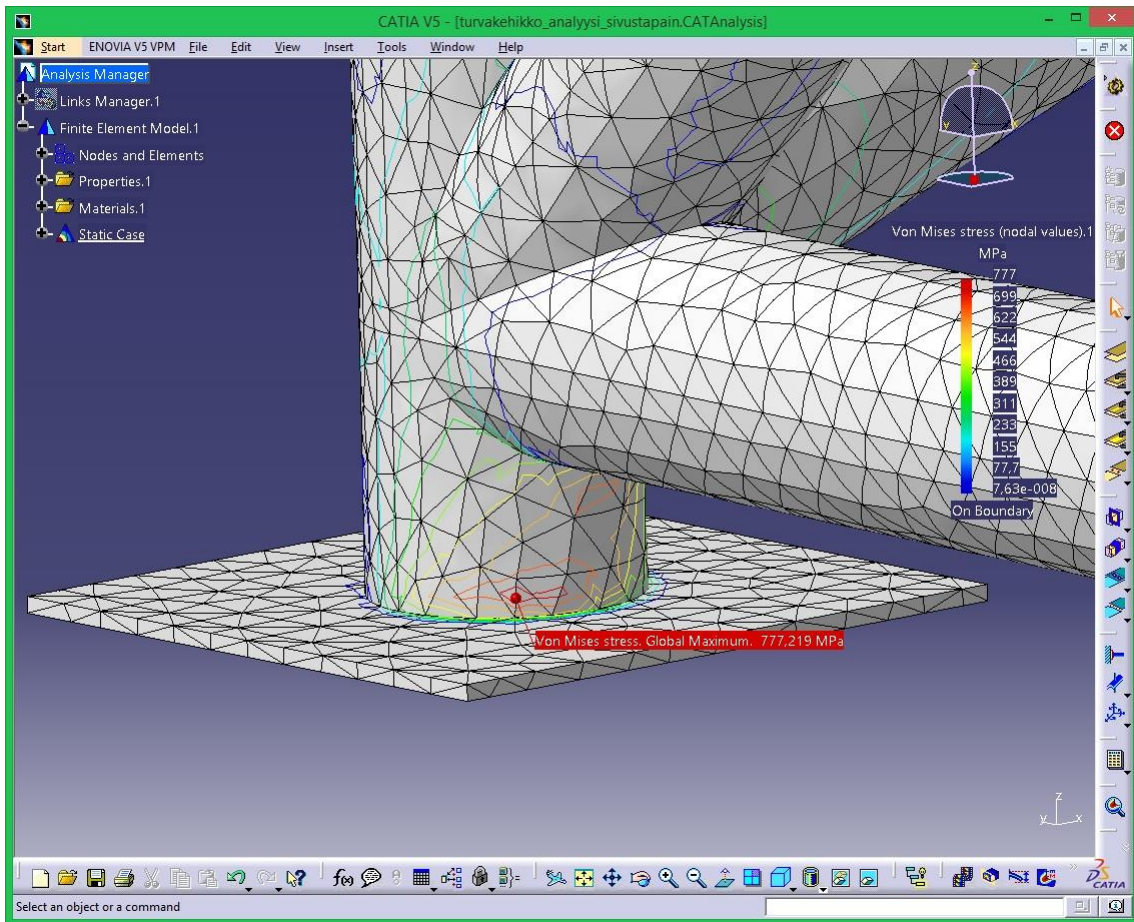


KUVA 62. Maksimijännitys edestäpäin törmäyksessä

Maksimijännitykseksi edestäpäin törmäyksessä saadaan 891,827 Mpa.

4.4.2 Maksimijännitykset sivusta

Turvakaariin vaikuttavat voimat sivustapäin on esitetty kuvassa 61. Käytetään taas Catia V5R20 compute -työkalua ja tarkastellaan turvakaariin vaikuttavaa maksimijännitystä Catia V5R20 Von mises stress -työkalulla. Kuvassa 62 on esitetty turvakaariin vaikuttava maksimijännitys sivustapäin törmäyksessä ja se sijaitsee pääkaarella lähellä kiinnitysalkaa.



KUVA 62. Maksimijännitys sivustapäin törmäyksessä

Maksimijännitykseksi sivustapäin törmäyksessä saadaan 777,219 Mpa.

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella ja mallintaa turvakaaret Oulun ammattikorkeakoulun Audi A1 -projektiin sekä analysoida niiden kestävyyttä törmäystilanteessa edestä- ja sivustapäin. Turvakaaret saatiin suunniteltua säännösten mukaisesti ja turvakaaret mallinnettiin näiden perusteella.

Mallinnetut turvakaaret analysoitiin törmäystilanteessa ja maksimijännitykseksi saatiin edestäpäin törmäyksessä 891,827 Mpa ja sivustapäin törmäyksessä 777,219 Mpa. Kuvista 61 ja 62 nähdään maksimijännityksien kohdistuvan hyvin pienille alueille. Valitun materiaalin Ruukki FORM 1 000 -ohutseinäputken murtolujuus on vähintään 1 000 Mpa ja maksimijännitykset törmäystilanteessa edestä- ja sivustapäin ovat pienemmät kuin 1 000 Mpa. Tästä voidaan päätellä turvakaarien kestävän törmäystilanteessa edestä- ja sivustapäin.

Todellisuudessa turvakaariin vaikuttavat voimat ja maksimijännitykset ovat pienemmät, koska osa törmäysenergiasta absorboituu korin rakenteisiin. Työn tavoitteet saatiin täytettyä ja turvakaaret mallinnettiin onnistuneesti kestämään törmäystilanteesta aiheutuvaa iskuja.

LÄHTEET

1. Article 253 (2015) – Safety Equipment (Groups N, A and RGT) – Published on 19.12.2014. FIA. Saatavissa:
<http://www.fia.com/regulations/regulation/fia-european-autocross-championship-102> Hakupäivä 4.5.2015.
2. Autojen tekniset määräykset ja kuljettajien ajovarusteet. Liite J. 2015. Autourheilun Sääntökirja 2015. Vantaa: AKK-Motorsport ry. Saatavissa:
<http://www.autourheilu.fi/attachements/2015-01-08T11-03-07218.pdf>
Hakupäivä 4.5.2015.
3. Bosch 2003. Autoteknillinen taskukirja 6. painos. Jyväskylä: Gummerus Oy.
4. Creating octree 3d mesh parts. Catiadoc. Saatavissa:
http://catiadoc.free.fr/online/cfyuganalysis_C2/cfyuganalysis3dmeshpart.htm
Hakupäivä 22.5.2015.
5. Pyöreät FORM 1 000 -ohutseinäputket. Ruukki. Saatavissa:
<http://www.ruukki.fi/Teras/Ohutseinaputket-EN-10305-standardin-mukaan/Pyoreat-ohutseinaputket/Pyoreat-Form-1000--ohutseinaputket>
Hakupäivä 22.5.2015.