

Tatu Stenbacka

FIA HYVÄKSYTYN CROSSKART-PUTKIRUNGON SUUNNITTELU

FIA HYVÄKSYTYN CROSSKART-PUTKIRUNGON SUUNNITTELU

Tatu Stenbacka
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, auto- ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Tatu Stenbacka

Opinnäytetyön nimi: FIA hyväksytyn Crosskart-putkirungon suunnittelu

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Design of Tubular Frame Chassis for a FIA Approved Cross Car

Työn ohjaaja: Janne Ilomäki

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: toukokuu 2023

Sivumäärä: 38

Työn aiheena oli FIA hyväksytty Crosskart-runko sekä sen valmistettavuuden parantaminen. Tavoitteena työssä oli suunnitella ja tehdä 3D-malli Crosskart-rungosta sekä harkita rungon suunnittelua valmistettavuuden kannalta. Työ suoritettiin yhteistyössä työn tilaajan Mtec Formula Technologyn Miikka Mäkelän sekä samanaikaisesti opinnäytetyötään samasta aiheesta tehneen Tatu Laapotin kanssa. Tatu Laapotti käsitteli opinnäytetyössään Crosskart-auton rungon FIA-sertifiointia.

Työssä perehdyttiin tuotesuunnittelun prosessiin. Tuotteen suunnittelua mietittiin valmistettavuuden ja tarkemmin putkentaivutuksien valmistettavuuden kannalta. Työ toteutettiin ensin suunnitteleamalla ja mallintamalla runko SolidWorks-mallinnusohjelmalla. 3D-mallituksen jälkeen työssä luotiin 3D-piirustuksen ja -mallin pohjalta prototyyppirunko, jonka avulla suunniteltuja mittoja ja muotoja päästiin oikeassa elämässä tutki-
maan ja sitä kautta parantamaan.

Työn lopputuloksena saatiin aikaiseksi kustannusarviovertailu kahden eri valmistustavan välillä. Vertailuun otettiin mukaan täysin käsityönä tehty runko sekä valmiiksi taivutettuina ja leikattuina tilatut putket. Työn tuloksena saatiin vertailun lisäksi 3D-malli, jonka avulla Mtec Formula Technology pystyy helposti hyödyntämään rungon valmistuksen osalta sopimusvalmistajia.

Asiasanat: Crosskart, tuotesuunnittelu, Design for Manufacturing, SolidWorks, 3D-mallinnus, protyyppi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Option of Automotive Engineering

Author: Tatu Stenbacka

Title of thesis: Design of Tubular Frame Chassis for a FIA Approved Cross Car

Supervisor: Janne Ilomäki

Term and year when the thesis was submitted: spring 2023

Number of pages: 38

The subject of the thesis was a FIA certified Cross Car chassis and how to improve its manufacturability. The aim of the work was to design and make a 3D model of the Cross Car chassis and to consider the design of the chassis from the point of view of manufacturability. The work was carried out in collaboration with Miikka Mäkelä from Mtec Formula Technology, who commissioned the work, and Tatu Laapotti, who was simultaneously working on his thesis on the same topic. Tatu Laapotti approached the topic from the perspective of the FIA certification of the Cross Car chassis.

This thesis focused on the product design process. The product design was considered in terms of manufacturability and more specifically the manufacturability of the pipe bending. The work was carried out by first designing and modelling the body using SolidWorks modelling software. After 3D modelling, the 3D drawing and model was used to create a prototype body, which allowed the designed dimensions and shapes to be studied and thus improved in real life.

The result of the work included a cost comparison between two different manufacturing methods. The comparison included a fully handmade frame and as an alternative, tubes ordered pre-bent and cut. Additionally, to the comparison, the created 3D model allows Mtec Formula Technology to easily use contract manufacturers for the manufacturing of the chassis.

Keywords: Cross Car, Product Design, Design for Manufacturing, SolidWorks, 3D-modelling, Mock-up prototype

ALKULAUSE

Tämän opinnäytetyön on mahdollistanut Mtec Formula Technology ja insinööri Miikka Mäkelä. Suuri kiitos heille.

Tämä opinnäytetyö on tehty samanaikaisesti Tatu Laapotin opinnäytetyön kanssa. Laapotti opinnäytetyössään käsittelee samaa aihepiiriä, mutta FIA:n sääntöjen ja vaatimusten näkökulmasta.

Janne Ilomäelle myös iso kiitos opinnäytetöiden ohjaamisesta, tuesta ja tarvittavista hoputuksista.

Tatu Stenbacka

30.4.2023

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	MTEC FORMULA TECHNOLOGY	8
3	CROSSKART	9
3.1	AKK	9
3.2	Suomessa ajettavat Crosskart-luokat	10
4	TUOTESUUNNITTELU JA VALMISTETTAVUUS	11
4.1	Design for Manufacturing	12
4.2	Valmistajien suunnitteluohjeita putkentaivutukseen	12
4.3	Aikaisempien runkojen valmistus ja havaitut haasteet.....	13
4.4	Putkien tilaus alihankintana valmiiksi taivutettuina ja leikattuina	13
5	RUNGON SUUNNITTELU.....	15
5.1	Suunnittelun aloitus	15
5.2	FIA:n vaatimukset rungolle	16
5.3	3D-mallinnus ja suunnittelun toteutus.....	17
5.4	Prototyyppi	26
6	RUNGON VALMISTUS JA KUSTANNUSVERTAILU	33
6.1	Rungon kustannukset käsin tehtynä.....	33
6.2	Rungon kustannukset putket valmiiksi taivutettuna ja leikattuina	34
7	YHTEENVETO	35
8	POHDINTA	36
	LÄHTEET	37

1 JOHDANTO

Lähtökohdat tälle opinnäytetyölle ovat Mtec Formula Technologyn aiemmat kokemukset Crosskart-autoista ja heidän halustaan laajentaa tarjoamiaan palveluja. Mtec Formula Technologyllä on tavoite päästä mukaan ajoneuvovalmistajana uusimpaan FIA-hyväksytyyn Crosskart-luokkaan sekä samalla saada nuorille ja lapsille tarkoitetun Crosskart-auton rinnalle aikuisille sopiva malli.

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on avustaa Mtec Formula Technologya suunnittelemaan uusi Crosskart-runko. Tavoitteina on myös samanaikaisesti korjata ja mahdollisuuksien mukaan parantaa ja antaa muita vaihtoehtoja aikaisempien autojen runkojen haastavalle ja paljon käsityötä vaativalle valmistusprosessille. Osana uusien valmistustapojen mahdollistamista tavoitteena on tehdä tarkka 3D-malli rungosta, jonka avulla sen valmistuksen voi haluttaessa ulkoistaa.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään Crosskart-auton rungon suunnitteluun, 3D-mallintamiseen ja valmistettavuuden parantamiseen.

Tämän opinnäytetyön aiheen ulkopuolelle on rajattu pois tarkemmat tarkastelut FIA:n asettamiin vaatimuksiin sekä rungoihin FIA-sertifiointiin, joihin Tatu Laapotti keskittyi samanaikaisesti tekemässään omassa opinnäytetyössään (1). Tästä opinnäytetyöstä on myös rajattu pois ajoneuvon lopullinen valmistaminen sekä pyöräntuennan suunnittelu. Eli niin sanotusti lopullisesta mallista keulan ja peräosan muodot ovat vain suuntaa antavia. Pyöräntuenta ja sen suunnittelu itsessään on niin laaja aihe, että se sopisi sellaisenaan opinnäytetyöksi.

2 MTEC FORMULA TECHNOLOGY

Mtec Formula Technology on Rantsilassa toimiva moottoriurheilualan toimija. Mtec Formula Technology on alkuperäisesti tullut tunnetuksi Formula Ford -valmistajana, mutta he tarjoavat myös valmiita ratkaisuja muihin moottoriurheilun luokkiin ja lajeihin. Heidän palveluihinsa kuuluu myös laadasta laitaan muita moottoriurheilun palveluja ajokoulutuksesta insinööripalveluihin ja kalusteiden huoltoon. (2.)

Viimeisimpänä aluevaltauksena Mtec Formula Technologyllä on vuonna 2018 ollut Crosskart. Mtec Tiger -niminen Crosskart-auto oli valmistettu ja suunniteltu sopimaan kolmeen luokkaan: Mini, 85cc ja 125cc. Tiger todisti Mtec Formula Technologyn taidot ja osaamisen heti ensimmäisellä kaudella voittaen 85cc-luokan vuoden 2018 talvimestaruuden. Kuvassa 1 Mtec Formula Technologyn valmistama Mtec Tiger Crosskart -auto. (3; 4.)



KUVA 1. Mtec Tiger (4)

3 CROSSKART

Crosskart-autot ovat suhteellisen pienikokoisia, yksipaikkaisia, putkirunkoisia ja yleisimmin moottori- tai motocrosspyörän moottorilla varustettuja kilpa-autoja. Autoilla ajetaan kaikilla pinnoilla: jäällä, lumella, soralla ja asfaltilla. Crosskartit tulivat kilpailuluokaksi ensimmäistä kertaa kaudelle 2012. Norjassa ja Ruotsissa on Crosskarteilla ajettu kilpaa jo 80-luvulla. (4; 5.)

Crosskart-luokkia on tarjolla monen eri kokoisen ajoneuvon ja moottorikoon avulla eri ikäluokille. Näin on saatu laji, jolla nuoremmatkin pääsevät kokeilemaan kilpa-ajoa kaikilla eri pinnoilla asfaltilla, jäällä, lumella ja soralla (kuva 2). Nuorimmat Crosskart-kuljettajat pääsevätkin kilpailemaan Mini-luokassa jo sinä vuonna, kun täyttävät 6 vuotta. (5.)



KUVA 2. Nuoret kuljettajat kilpailemassa Crosskarteilla asfalttiradalla (3)

3.1 AKK

AKK-Motorsport ry on suomalainen autourheilujärjestö, joka toimii Suomessa autourheilun harrastamisen mahdollistajana ja edustaa Suomea FIA:ssa, joka on kansainvälinen autourheiluliitto. AKK jäsenseurojensa kanssa järjestää Suomessa tapahtumia ja kilpailuja sekä kansallisesti että kansainvälisesti. AKK-Motorsport ry toimii yhteensä 15 eri lajissa. (6; 7.)

Suomessa Crosskarttia lajina hallinnoi AKK, ja Suomessa tällä hetkellä kilpaillaan viidessä eri luokassa. Luokkia on tarjolla 85cc-motocrossmoottorillisista 750cc-moottoripyöränmoottorillisiin. (5.)

3.2 Suomessa ajettavat Crosskart-luokat

Xtrem ja Xtrem Junior ovat pääasialliset kilpailuluokat Suomessa ja Pohjois-Euroopan alueella tällä hetkellä. Näissä luokissa kilpaillaan sekä NEZ Xtrem teknisten sääntöjen täyttävillä Crosskarteilla että FIA:n vaatimusten täyttävillä Crosskarteilla. Näissä kahdessa kilpailuluokassa on käytössä samat runkojen vaatimukset. Moottorivalinnat Xtremessä ovat joko 600cc tai 750cc. Junior-luokassa moottorivaihtoehtona on vain 600cc moottori ja sen pyörimisnopeus on rajoitettu 9300 kierrosta minuutissa. Junior-luokka on tarkoitettu 12–16-vuotiaille, ja sinä vuonna, kun täyttää 16 vuotta, pääsee ajamaan Xtrem-sarjaa. (5; 8; 9.)

NEZ Crosskart -mestaruuden, eli Pohjois-Euroopan ja Baltian maiden mestaruus, Xtrem-luokkaan vuonna 2022 osallistui jopa 109 kuljettajaa. Junior Xtrem -luokkaan vastaavasti osallistui samana vuonna 49 kuljettajaa. (9.)

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä Crosskart-auton runko sopisi edellä mainittuihin sarjoihin. Muita Suomessa ajettavia luokkia ovat Crosskart Mini, 85 ja 125 (5).

Crosskart Mini -luokka on pienimmille kuskeille tarkoitettu luokka, ja sen voi aloittaa jo sinä vuonna, kun täyttää kuusi vuotta. Mini-luokkaa saa ajaa niin pitkään, kunnes täyttää 11 vuotta ja sen vuoden loppuun. Mini-luokassa nopeusrajoitus on 60 km/hm, ja käytössä olevia moottoreita ei saa virittää. (5.)

Crosskart 85 -luokassa ajamisen voi aloittaa jo sinä vuonna, kun täyttää 9 vuotta, ja kyseisessä luokassa ajamista voi jatkaa sen vuoden loppuun asti, kun täyttää 13 vuotta. Moottorina Crosskart 85 -luokassa käytetään 85cc motocrosspyörän moottoria, ja luokassa maksiminopeus on rajoitettu 80 km/h. (5.)

Crosskart 125 -luokan voi aloittaa jo sinä vuonna, kun täyttää 12 vuotta, ja siinä voi ajaa vielä sen vuoden, kun täyttää 16 vuotta. Moottorina sarjassa käytetään 125cc moottoria ja runkona voi toimia sama, kuin 85-luokassa. (5.)

4 TUOTESUUNNITTELU JA VALMISTETTAVUUS

Tuotesuunnittelulla pystytään tarjoamaan ratkaisua tarpeisiin tai parantaa tuotteiden ominaisuuksia tai toimivuutta. Tuotesuunnittelussa pohjimmillaan tavoitteena on tehdä kaikilla tavoin parempia tuotteita. (10, s. 6.)

Ongelmanratkaisu on keskeinen osa tuotesuunnitteluprosessia. Tuotesuunnittelu aloitetaan yleisimmin tavoitteiden, vaatimusten, rajoitusten sekä onnistumisen määrittelemisestä. Tuotesuunnittelijan oletetaan ottavan huomioon mahdollisesti esiintyviä ongelmia sekä ratkaisevan niitä. Näiden lisäksi tuotesuunnittelijan oletetaan olevan tekemisissä esimerkiksi tuotteen valmistamisen ja valmistettavuuden kanssa. (10, s. 12.)

Jokaisen tuotteen suunnittelu voi olla hieman erilainen vaatimuksiltaan tai työvaiheiltaan. Yleisiä työvaiheita tuotesuunnittelussa on: (10, s. 15.)

- 1) Tutkimusvaihe, jossa keskitytään tutkimaan ja kartoittamaan tuotteen taustoja ja lähtökoh-
tia.
- 2) Toimeksiantovaihe, jossa määritellään ja tunnistetaan asiakkaan tarpeet, toiveet ja vaati-
mukset tuotteelle.
- 3) Konseptisuunnitteluvaihe, jossa luodaan ideoita, luonnoksia ja konsepteja.
- 4) Suunnittelun kehittämisvaihe, jossa luodaan teknisiä piirustuksia ja prototyyppejä.
- 5) Yksityiskohtainen suunnitteluvaihe, jossa tutkitaan materiaaleja, valmistustekniikoita sekä
testataan ja parannetaan suunnitelmia.
- 6) Tuotantovaihe, jossa hoidetaan tuotannon lisäksi markkinointia myyntiä ja toimituksia.

Tässä opinnäytetyössä käytetään työskentelyn hyväksi osittain ja vapaamuotoisesti läpi vaiheiden 1–5 sisältöjä. Kaikkien vaiheiden täysin läpikäynti vaatisi Crosskartin osalta rungon lisäksi myös muiden kokonaisuusien suunnittelua. Crosskart-rungon perusosan suunnittelu on vain pieni osa Crosskart-ajoneuvosta ja ajoneuvon muiden osa-alueiden käsittelyyn ottaminen laajentaisi opin-
näytetyönäihettä liikaa.

Vaikka tietokoneavusteiset suunnitteluohjelmat tarjoavat paljon mahdollisuuksia sekä helppoja ja nopeita tuloksia, tulisi silti tuotesuunnittelussa käyttää apuna myös fyysisiä malleja. Fyysisillä mal-
leilla pystytään kokeilemaan tai mittaamaan tuotteen, sen osan tai ominaisuuden toimivuutta. Tiet-
tyyn osaan tai ominaisuuteen, esimerkiksi muotoon, kohdennettu prototyyppi voidaan valmistaa

nopeammin ja edullisemmin kuin lopullinen tuote. Mock-up-prototyypillä tai -havainnemallilla pystytään havainnoimaan tuotteen kokoa, mittasuhteita sekä käyttäjän ja tuotteen välistä vuorovaikutusta. Mock-up-prototyyppi, myöhemmin prototyyppi, valmistetaan yleensä täysikokoisena sekä materiaaleista, joita on helppo muokata. (10, s. 98, 101.)

4.1 Design for Manufacturing

Design for Manufacturing, DFM, tarkoittaa suunnittelua valmistettavuuden kannalta tai suunnittelua valmistettavuuden edellytyksillä. DFM-periaatteisiin ja ideologiaan kuuluu osien tai esineiden suunnittelu valmistuksen helpottamiseksi. Lopputavoitteena siis onkin parempi tuote halvemmalla. (11.)

Kaikissa DFM-projekteissa tulisi miettiä ja suunnitella valmistusta ja valmistettavuutta etukäteen ja olla tietoisia valmistustapojen ja menetelmien kyvyistä ja vaatimuksista. Kannattaa myös konsultoida ja keskustella valmistajan tai tuottajan kanssa ja etsiä yleisiä suunnitteluperusteita ja tarkkoja valmistusprosessiin liittyviä ohjeita. (12, s. 12 – 13.)

Tuotteen lopulliset valmistuskustannukset ja hinta ovat tyypillisesti yksi suurimmista vaikuttajista suunnittelun päätöksenteossa. Luotettavien kustannusinformaatioiden saaminen monelle erilaiselle valmistustavalle suunnittelun alkuvaiheissa on kuitenkin erittäin haasteellista, mutta tärkeää olisi luopua epätaloudellisista suunnitelmista mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Valmistuksen aloituksen jälkeen muutokset tuotteeseen voivat olla erittäin kalliita, joten kustannustenlaskenta onkin paras tehdä, kun tuotteelle on tehty puolivalmis tai viimeistelemätön suunnitelma. (12, s. 351.)

4.2 Valmistajien suunnitteluohjeita putkentaivutukseen

Putkentaivutuksessa valmistettavuuden kannalta tarkat suunnitteluohjeet hieman vaihtelevat riippuen valmistajasta ja valmistajan omistavista taivutuskoneista. Kaikki asiasta löydetyt lähteet kuitenkin jollakin tavalla suosittelivat suunnittelussa ottamaan huomioon putken taivutussäteen, suoran osuuden taivutusten välillä sekä taivutusten kulma. Taivutussäteen osalta suositeltavaa kustannusten minimoimiseksi on pitää taivutussäde mahdollisimman suurena ja samana kaikissa taivutuksissa. Pääasiallisesti valmistajat ehdottavat käyttämään taivutussäteen mittana vähintään kaksi kertaa putken ulkohalkaisija. Putken suora osuus taivutusten välillä on myös kustannusten

vähentämisen kannalta parempi pitää mahdollisimman suurena. Suoran osuuden pituusmitan minimi riippuu taivutuskoneen tekniikasta, eikä tämän asian tarkastelu kuulu opinnäytetyön rajaukseen. Valmistettavuuden kannalta suoran osuuden pituusmitaksi kannattaakin valita vähintään kaksi kertaa putken ulkohalkaisija. Valmistettavuuden helppouden kannalta taivutuskulmat kannattaisi pitää mahdollisimman pieninä sekä välttää yli 90 asteen kulmia. (13; 14; 15; 16; 17.)

4.3 Aikaisempien runkojen valmistus ja havaitut haasteet

Mtec Formula Technology on aikaisemmin valmistanut Mtec Tiger Crosskart -autoa ja sen runkoa nuoremmille kuskeille. Mtec Tiger -runko on kooltaan hieman pienempi ja kevyempi kuin FIA-hyväksytty runko. Mtec Tiger -runkoon menee aikaa Miikka Mäkelän arvion mukaan 120 työtuntia, eli noin muutama viikko. Mäkelä arvioi tämän opinnäytetyön aiheena olevan rungon valmistamiseen menevän suurin piirtein saman verran aikaa. Rungon valmistus on suoritettu kokonaan käsityönä paikan päällä, eli putket on leikattu mittoihin, taivutettu, putkien päät on leikattu hitsausta varten oikeaan muotoon ja putket on hitsattu kasaan käsin. (18.)

Runkoja työkseen valmistaneen Mäkelän mukaan noin puolet työtunneista menee putkien taivutuksiin, leikkauksiin sekä putkien päihin oikean muodon saamiseen. Hän arvioi pelkän kasaamisen ja hitsauksen vievän 60 tuntia. Käsin tehtynä on haasteellista saada taivutuksissa oikeat muodot kerralla oikeiksi ja samanlaisiksi. Käsin tehtynä nykyisillä työmenetelmillä symmetrisiin putkiin on tullut helposti pieniä, mutta silti silmällä havaittavia, eroavaisuuksia. Mäkelän mukaan aikasäästö olisi huomattava, jos edes putket olisi taivutettu oikeaan muotoon, mutta vielä parempi, jos putkien päät olisi myös leikattu oikeaan muotoon. (18.)

4.4 Putkien tilaus alihankintana valmiiksi taivutettuina ja leikattuina

Rungon kasaamisen ja valmistamisen helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi apuna voisi käyttää eri menetelmiin erikoistuneita sopimusvalmistajia. Näin ollen pienen yrityksen ei tarvitsisi hankkia kaikkia valmistusta mahdollistavia ja nopeuttavia laitteita, koneita ja osaamista. Sopimusvalmistajia hyödyntämällä ei tarvitsisi keskittyä itse valmistamiseen, vaan pystyisi paremmin keskittymään tuotteiden innovointiin, markkinointiin ja myymiseen. (19, s. 119 – 122)

Putkien valmistuksen ulkoistamiseksi on rungosta saatava täsmälliset mitat valmistajalle. Vaihtoehtona on tehtävä joko tekniset piirustukset tai 3D-malli. Kaikilla sopimusvalmistajilla, joiden kanssa

kustannusarvioista keskusteltiin, oli itsellään myös käytössä 3D-mallinnusohjelmat, joten helpoiten he saivat rungon tarvittavat mitat ja muodot suoraan SolidWorks 3D -mallista.

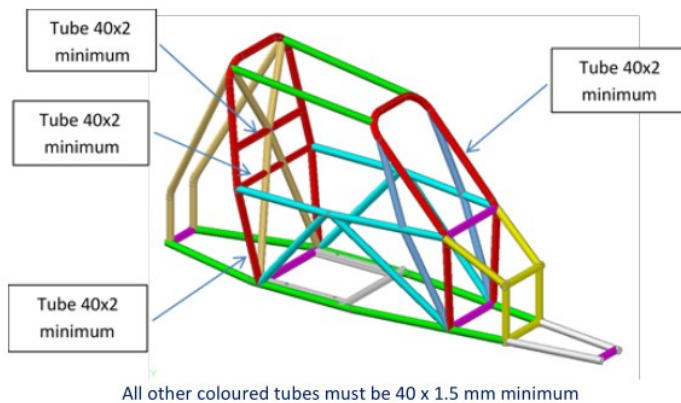
5 RUNGON SUUNNITTELU

5.1 Suunnittelun aloitus

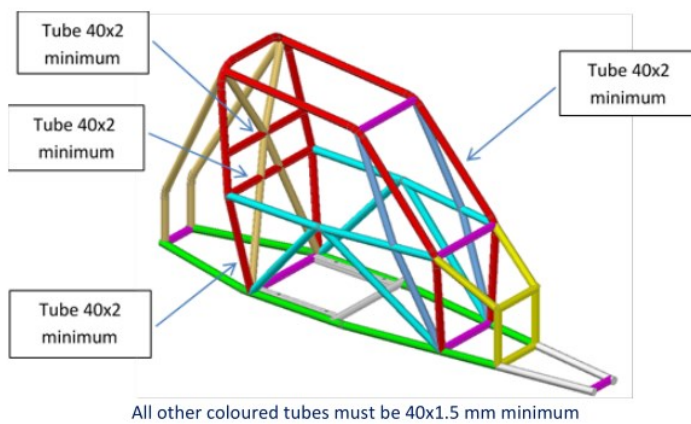
Rungon mallinnus- ja suunnitteluavuksi valittiin 3D-mallinnusohjelma SolidWorks. SolidWorks valittiin käytettäväksi ohjelmaksi, koska se tarjosi rungon mallintamiseen, suunnitteluun ja dokumentointiin helpottavia ominaisuuksia ja työkaluja. SolidWorksin käyttöönottoon vaikuttaa myös se, että sopimusvalmistajilla, joiden kanssa rungon valmistamisesta keskusteltiin, on myös käytössä SolidWorks, joten 3D-mallit ja tiedostot siirtyvät helposti heille valmistusta varten.

Suunnittelu aloitettiin päättämällä se, että valmistetaan FIA:n vaihtoehtoisista perusrakenteista perusrakenne 2 kuvassa 3. Perusrakenne 2 mahdollistaa putkien valmistettavuuden kannalta vähemmän tiukkoja taivutuksia sekä mahdollistaa pidemmän suoran osuuden taivutusten välille. Perusrakenne 2 vastaa myös enemmän Mtec Formula Technologyn aiemmin valmistamaa Mtec Tiger Crosskart -runkoa.

EXAMPLE OF DRAWING WITH ALL MANDATORY MEMBERS (BASE STRUCTURE 1)



EXAMPLE OF DRAWING WITH ALL MANDATORY MEMBERS (BASE STRUCTURE 2)



KUVA 3. FIA:n esimerkkikuvat vaatimukset täyttävistä vaihtoehdoista perusrakenteista (20, s. 28)

5.2 FIA:n vaatimukset rungolle

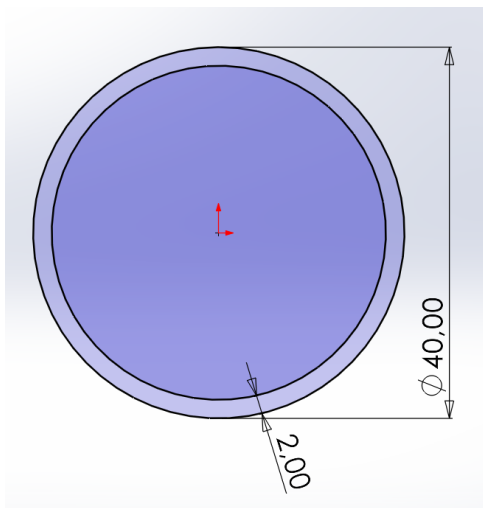
FIA:n vaatimukseen perehtyi tarkemmin Tatu Laapotti opinnäytetyössään. Valmistettavuuden ja mallinnuksen kannalta tärkein FIA:n vaatimus oli putkien taivutussäde. FIA vaatii, että putkien taivutussäde on oltava minimissään kolme kertaa putken ulkohalkaisija (20, s. 20).

Päätimme Laapotin ja Mäkelän kanssa mallinnuksien aluksi, että taivutussäteenä käytetään alustavasti FIA:n määrittelemää sädettä sillä kolme kertaa putken ulkohalkaisija vastaa muitakin löydettyjä lähteitä. Taivutussädettä pystyy kuitenkin myöhemmin 3D-mallissa ja piirustuksissa helposti vaihtamaan valmistajan laitteistolle sopivaksi. Kaikki 3D-mallin taivutukset suunniteltiin lähtökohdaisesti samalle taivutussäteelle, koska se helpottaisi valmistusta ja vähentäisi valmistuskustannuksia ja valmistusvirheitä, kun kaikki taivutukset voitaisiin tehdä samoilla työkaluilla.

5.3 3D-mallinnus ja suunnittelun toteutus

Mallinnus päätettiin suorittaa SolidWorksin Weldments-työkalun Structural Member -toiminnolla, jonka avulla pystyy nopeasti ja vaivattomasti mallintamaan rungon putkia antamalla ohjelmalle putken profiilin muodon sekä putken kulkeman reitin. Tällä tavalla mallintamalla mallinnuksessa määriteltyjen putkien mittoja ja reittejä on helppo ja nopea muuttaa jälkikäteen.

Mallinnus aloitettiin mallintamalla säännöstenmukaiset putkien profiilit eli pyöreät putket kahdella eri mitalla: 40 mm x 1,5 mm ja 40 mm x 2 mm. Kuvassa 4 on 40 mm x 2 mm putken profiilin piirros SolidWorks-ohjelmassa.

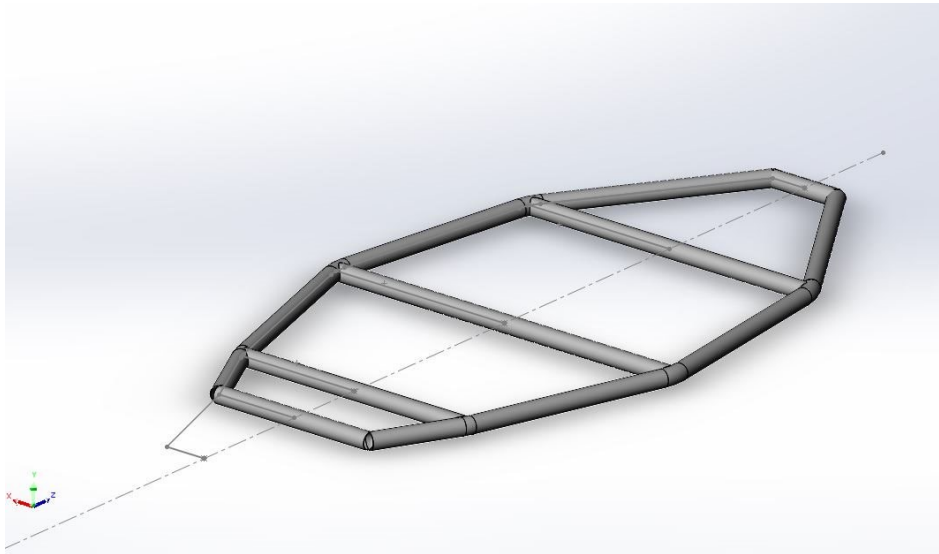


KUVA 4. 40 mm x 2 mm putken profiili

Mallintamisen pohjaksi sovittiin käytettävä koordinaatisto. SolidWorksin XZ-taso toimisi mallissa Crosskart-auton pohjana. Kun malli on oikein sijoitettu, SolidWorksin sisäänrakennetut mallinkatselukulmat edestä, ylhäältä, vasemmalta, oikealta ja takaa toimisivat oikein. Auton keskilinjaksi sovittiin samoista syistä ZY-taso. Runko pääasiassa suunniteltaisiin olemaan symmetrinen keskilinjan suhteen, joten keskilinjan sovittaminen ZY-tasolle helpottaa myös mallinnuksessa, kun muodot ja putket tarvitsee mallintaa vain kerran ja ne voi sitten peilata keskilinjan suhteen.

Itse rungon mallinnus aloitettiin pohjan putkista sommittelemalla vaatimuksen mukaiset putket ensin alkuun siten, että ne näyttäivät hyviltä tietokoneen näytöllä. Alustavia mittoja suunniteltiin tietokoneen ruudulle hyvännäköisiksi Laapotin kanssa mittanauhalla. Mittanauhalla saatiin selville, paljonko normaalikokoinen ihminen tarvitsee tilaa istuessaan kilpa-auton istuimella. Apuna mittojen alustaviin suunnitteluihin käytettiin myös FIA:n vaatimuksista saatuja rungon maksimittoja.

FIA on määritellyt ajoneuvon maksimipituudeksi 2 600 mm, maksimileveydeksi 1 600 mm ja maksimikorkeudeksi 1 400 mm (20, s. 3). Kuvassa 5 on pohjan alustava malli. Tätä pohjan geometriaa muutettiin vielä moneen otteeseen, mutta perusidea säilyi kuitenkin samana. FIA on määritellyt rungolle ja pohjalle tarkasti putkien määrän ja suuntaa antavan muodon, johon Laapotti perehtyy omassa opinnäytetyössään (1). Kuvasta 5 näkyy myös, kuinka mallinnettujen putkien sisällä on piirretty rautalankamaisia putkien reittejä. Näiden reittien mukaan SolidWorks taivuttaa kuvassa 4 annettua profiilia.

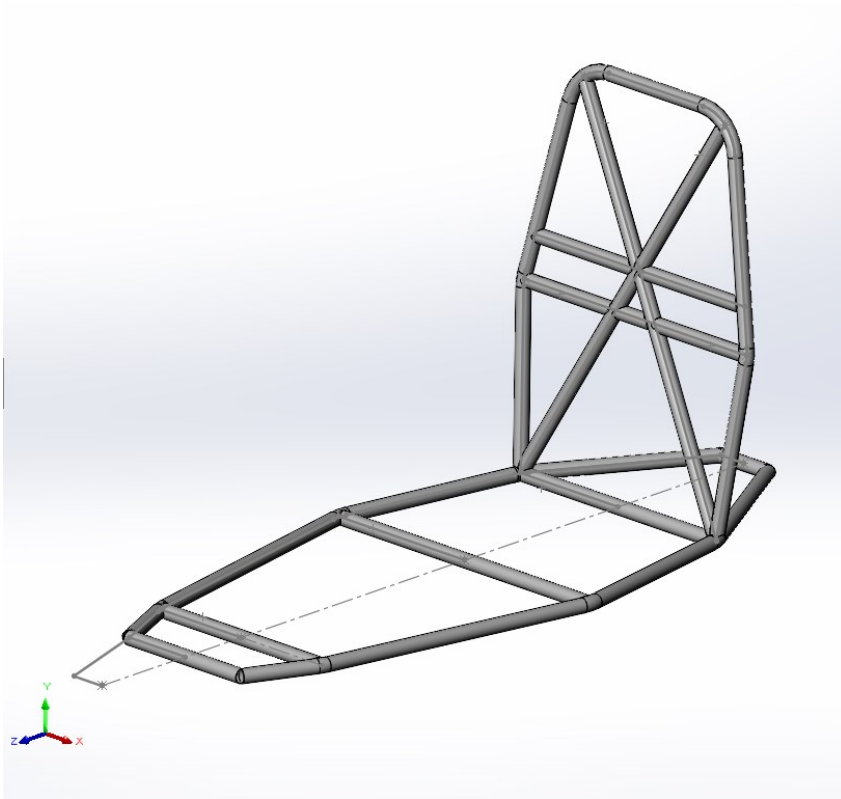


KUVA 5. Pohjan alustava malli

Pohjan alustavan mallinnuksen jälkeen seuraavana vaiheena päädyttiin mallintamaan pääturvakaarta. Pääturvakaari ja sen rautalankamalli mallinnettiin ja piirrettiin referenssitasolle, jonka avulla mallinnetun turvakaaren kulmaa suhteessa pysty akseliin pystytettiin helposti myöhemmin muokkaamaan useaan kertaan. FIA vaatii pääturvakaaren putken olevan yhdellä tasolla ja maksimissaan +/- 10° suhteessa pystysuoraan (20, s. 13).

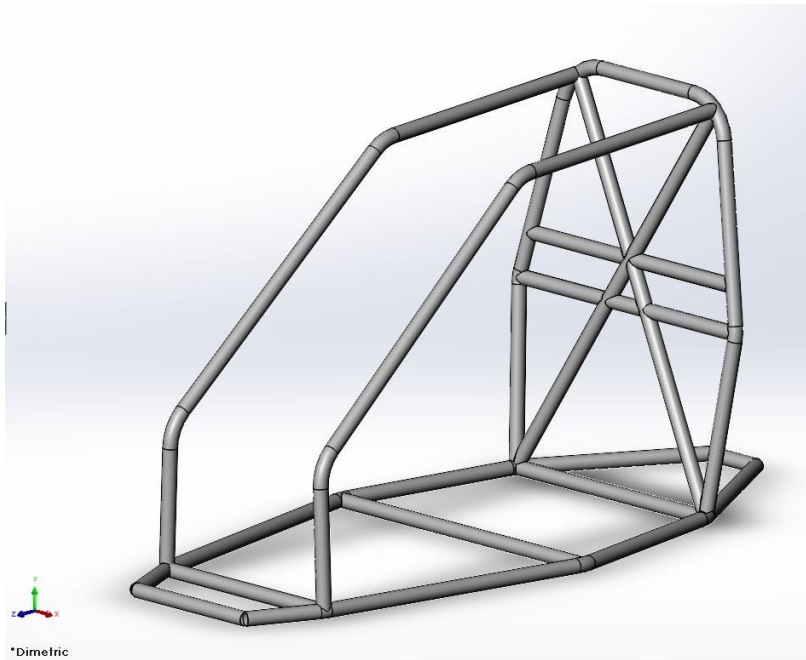
Pääturvakaareen mallinnettiin myös tässä vaiheessa poikkituet (kuva 6) sekä alustavasti pääturvakaaren vahvikkeet. Pääkaaren poikkituet olivat FIA:n vaatimuksissa tarkasti määritelty kaaren sisälle kulmasta kulmaan (20, s. 14, 18). Toisen pääturvakaarenavahvikkeen paikka oli määritelty tarkasti ovipalkkien korkeudelle ja toisen korkeus pitäisi olla sopiva turvavyölle (20, s. 17). Turvavöitä varten tuleva pääturvakaaren vahvikkeen tarkka sijainti varmistuisi vasta sitten, kun penkin korkeuden saa oikeaksi. Turvavyötä varten tulevan vahvikkeen paikka sijoitettiin alustavasti poikkitukien leikkauspisteeseen. Tämä paikka aiheuttaisi putkeen pienimmän määrän leikkauksia eli

olisi siten helpoin valmistaa. Laapotti käsittelee opinnäytetyössään tarkemmin turvavöiden sijoittelua (1).



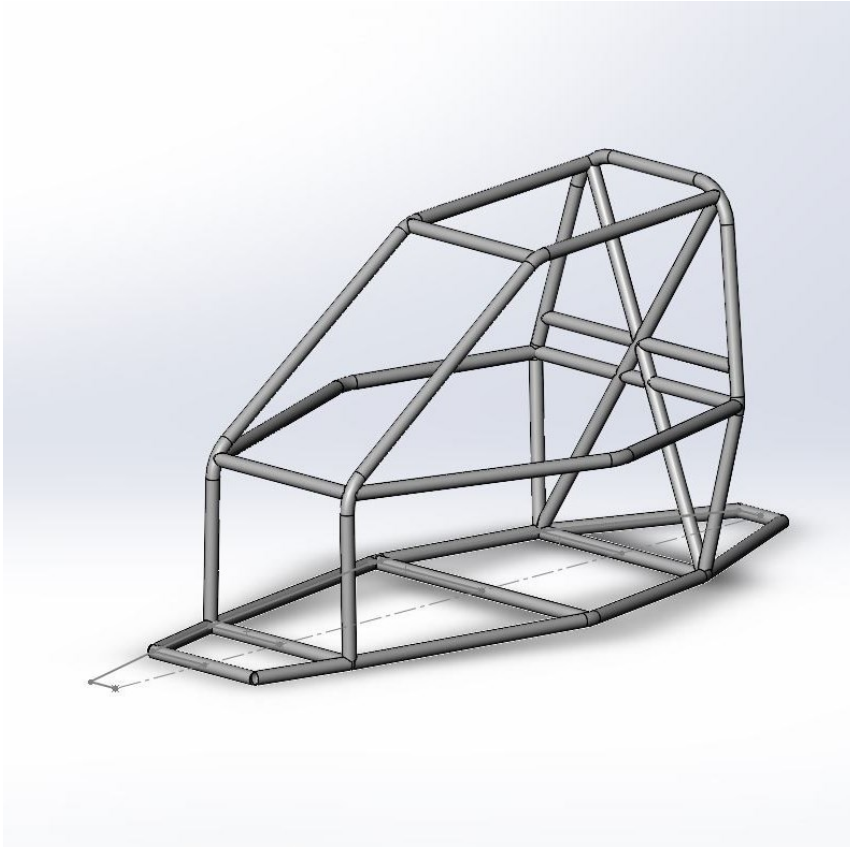
KUVA 6. Pääturvakaaren alustava muoto

Pääturvakaaren mallinnuksen jälkeen runkoon mallinnettiin sivuturvakaaret. Sivuturvakaarien alkua ja loppupisteet sekä etuosan pystysuoruus olivat määriteltynä FIA:n vaatimuksissa (20, s. 14, 17), joten näiden kolmen määrittelyn avulla pystyi määrittämään referenssitason. Tälle sivuturvakaarelle määrittelylle referenssitasolle sitten voitiin piirtää helposti halutun kaaren muoto ja muuttaa sen mittoja tai muotoa tarvittaessa jälkikäteen. Toisen puolen sivuturvakaari mallinnettiin peilamalla piirretty kaari ZY-tason suhteen. Kuvassa 7 näkyvillä alustava sivuturvakaaren malli.



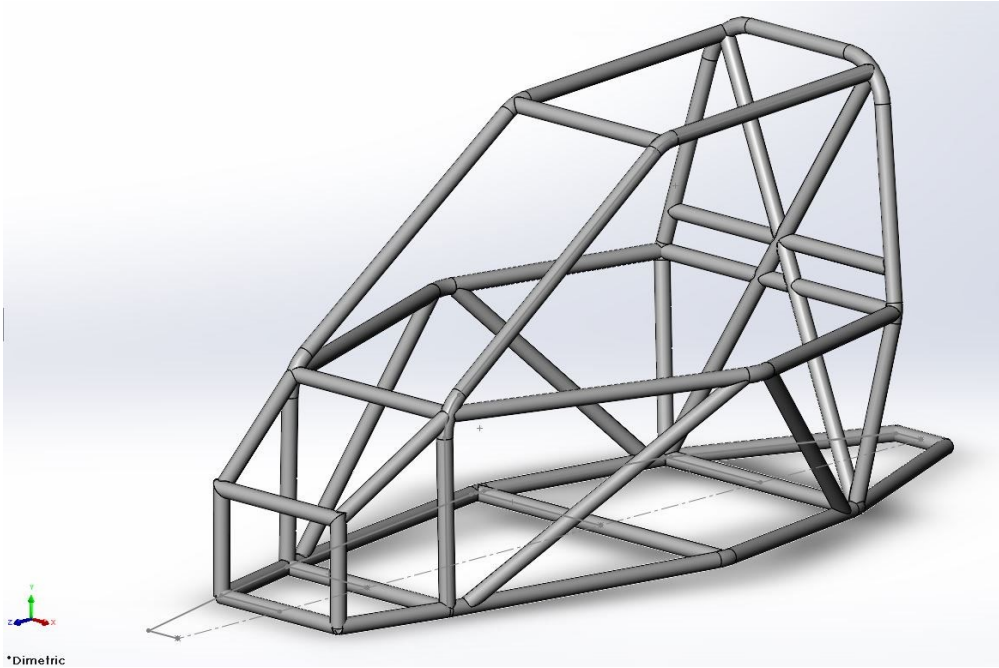
KUVA 7. Sivuturvakaarien alustava muoto

Seuraavaksi pakollisista putkista mallinnettiin ovipalkit sekä sivuturvakaaret. Sivuturvakaarien mitat ja paikat on tarkasti määritelty FIA:n vaatimuksissa (20, s. 18–19). Ovipalkkien muodot ja mitat vaihtuivat vielä moneen otteeseen suunnittelujen aikana, mutta alustavasti ne mallinnettiin kuvan 8 mukaisesti. Kuvassa 8 on 3D-malli näiden putkien kanssa.



KUVA 8. Ovipalkkien ja sivuturvakaarien poikkipalkkien alustavat muodot

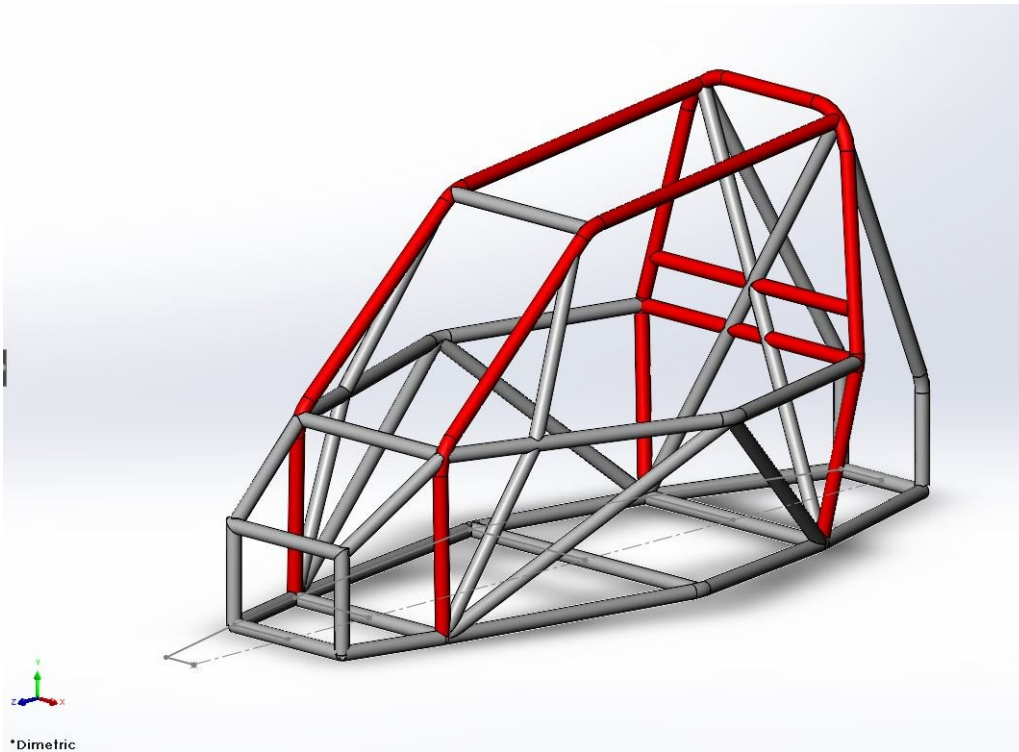
Seuraavaksi 3D-malliin suunniteltiin ja mallinnettiin poljinkotelon paikka ja ovipalkkien alatuot runkoon FIA:n vaatimusten mukaisesti (20, s. 18). Poljinkotelon mitat vaihtuivat jalkatilan tarpeiden ja rungon kokonaispituusvaatimusten takia muutamaan kertaan. 3D-malli poljinkotelolla ja ovipalkkien alatuilla on kuvassa 9.



KUVA 9. Poljinkotelon ja ovipalkkien alatukien alustavat muodot

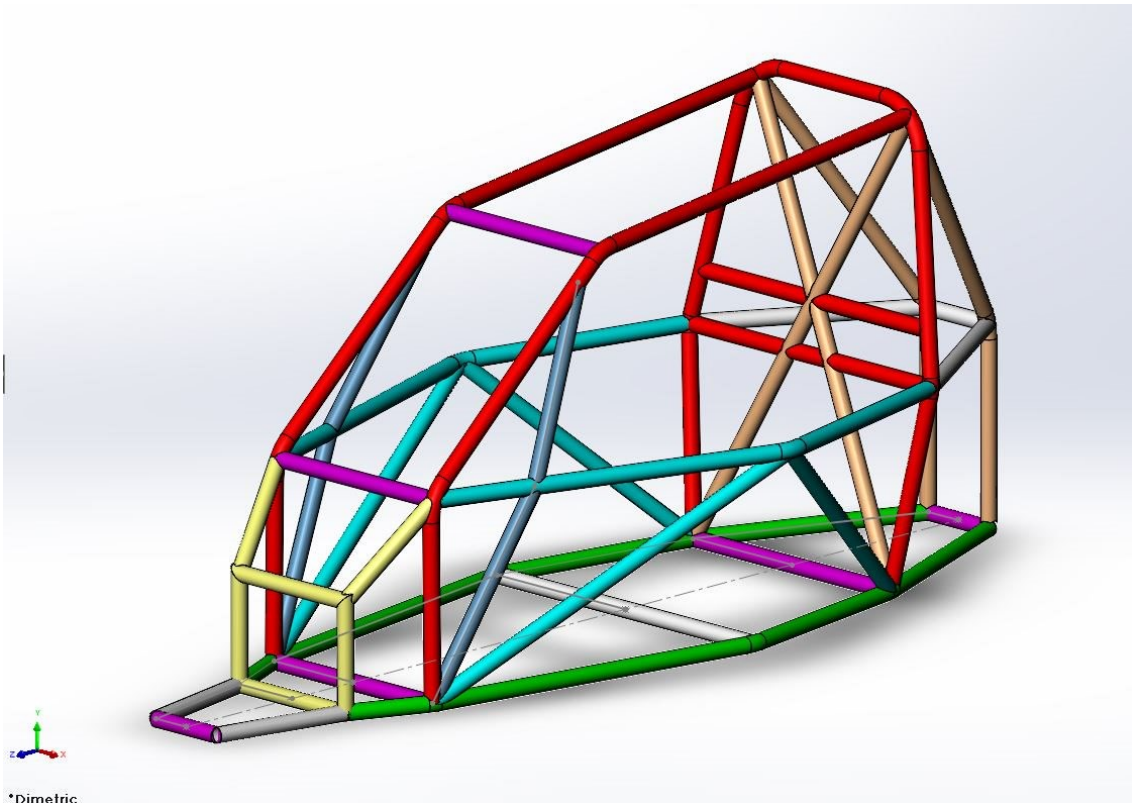
Viimeisinä sääntöjen vaatimina elementteinä runkoon mallinnettiin tuulilasinpilarivahvike ja pääturvakaaren takatuet. FIA on määritellyt takatukien alaosan olemaan pystysuorassa ja yläosan olemaan kiinnitettynä pääturvakaaren ylänurkkiin, joten ainoa päätettävä mitta oli pystyosien pituus (20, s. 16 – 17). Tätä korkeusmittaa muutettiin opinnäytetyötä tehdessä muutamaan kertaan, mutta lopullinen muoto tulee vasta pyörien tuennan suunnittelun myötä, mikä ei sisälly tähän opinnäytetyöhön.

FIA on tarkasti määritellyt tuulilasinpilarivahvikkeiden muodon, eikä niiden muotoihin pystytty vaikuttamaan valmistettavuuden parantamiseksi tässä vaiheessa (20, s. 18). Kaikki sääntömääräiset putket ja niiden alustavat muodot ovat näkyvillä kuvassa 10. Kuvasta 10 on nähtävillä FIA:n sääntöjen vaatimat paksummat $\text{Ø } 40 \times 2 \text{ mm}$ putket punaisella.



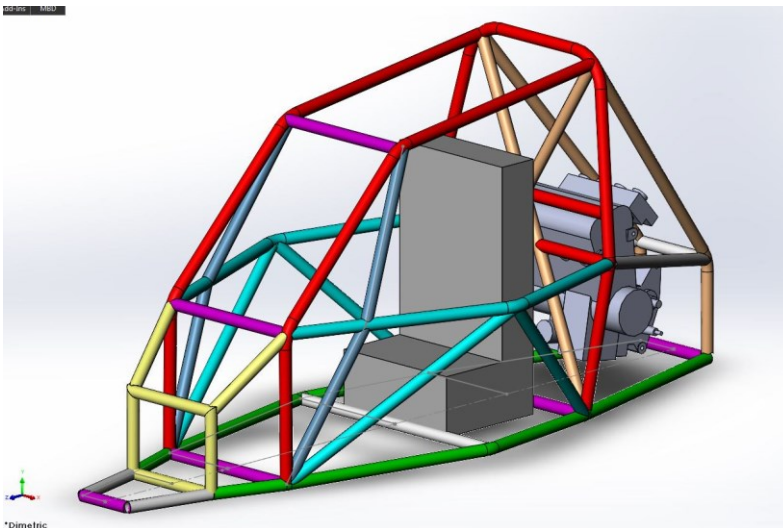
KUVA 10. FIA:n vähimmäisvaatimusten mukaiset putket alustavasti sekä punaisella väritettynä vaaditut paksummat putket

FIA vaatimuksissaan käyttää kaikille vaadituille ja tarkasti määritellyille putkille tiettyjä värejä, jotka näkyvät kuvassa 3 luvussa 5.1. Selvyyden vuoksi mallinnetussa rungossa käytettiin samoja värejä kuin FIA (kuva 11). Kaikkien vaadittujen putkien mallintamisen jälkeen oli pääasiassa enää mittojen miettimistä ja muuntelua. Tässä vaiheessa lisättiin työn tilaajan pyynnöstä malliin takapyöräntuenta varten alustavia lisätukia. Pyöräntuennat ja niiden tarkka suunnittelu eivät kuulu tähän opinäytetyöhön ja tulevat ajankohtaisiksi vasta myöhemmin Crosskartin suunnittelussa. Ilman FIA:n vaatimuksia olevat putket jätettiin mallinnettuun runkoon valkoisiksi.



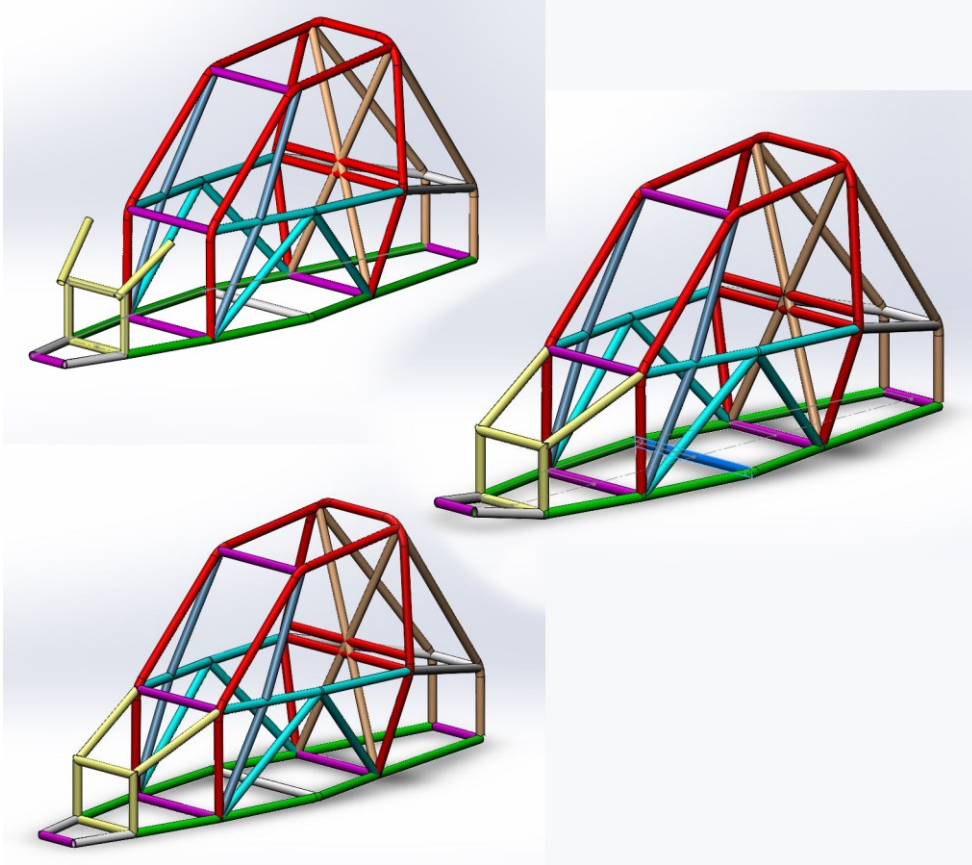
KUVA 11. FIA:n vaatimuksen mukaiset putket mallinnettu ja värjätty FIA:n vaatimuksia vastaaviksi

Rungon putkien mittojen suunnitteluapuna käytettiin esimerkkipenkin valmistajan ilmoittamia maksimimittoja sekä Crosskartissa tulevaisuudessa pääasiassa käytettävän moottorin 3D-mallia (21; 22). Kuvassa 12 on runko nämä mallit kytydissä sekä muutamien mittojen muutosten jälkeen.



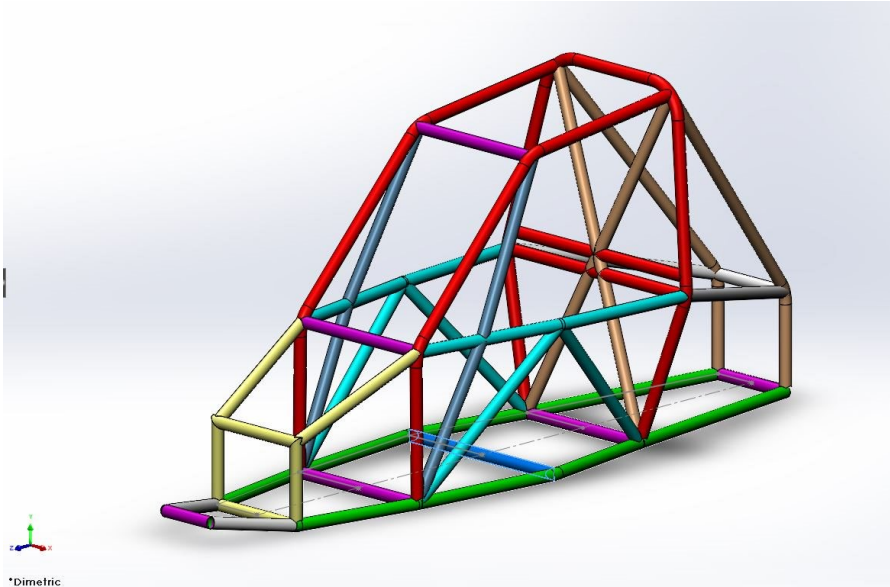
KUVA 12. Suuntaa antavat istuimen ja moottorin mallit Crosskartin kytydissä

Niin sanotusti lopulliset mitat olivat vielä tässä vaiheessa pitkän matkan päässä. Moneen otteeseen yksittäisistä mitoista ja osakokonaisuuksista keskusteltiin Mäkelän kanssa. Mtec Tiger -rungon sekä muiden vastaavien Crosskarttien mittoja otettiin huomioon suunnitteluvaiheessa. Kuvassa 13 on esitetty muutama mittojen muutoskierrös.



KUVA 13. Kuvankaappauksia mallista erilaisten mittojen muutosten jälkeen

Kun Laapotin sekä työn tilaajan, eli Mäkelän, kanssa päästiin yhteisymmärrykseen rungon mitoista, alettiin valmistamaan prototyypirunkoa. Runkoa alettiin valmistamaan kuvan 14 3D-mallin mukaisesti.



KUVA 14. Prototyypirungon alustava 3D-malli

5.4 Prototyyppi

Nopea ja halpa prototyyppi alustavasta rungon mallista nähtiin tarpeellisena jo aikaisessa vaiheessa, koska mittojen sovittaminen oikeiksi ja hyväiksi tietokoneen näytöltä ilman oikean elämän vertailukohtia osoittautui lähes mahdottomaksi. Prototyypirunko lähdettiin aluksi valmistamaan kuvan 14 3D-mallin mukaisesti.

Valmistettavasta prototyypistä pääisiksi kokeilemaan, kuinka hyvin ajoneuvoon kyytiin mahtuu ja kuinka nopeasti sieltä pääsee pois. FIA vaatii, että kuljettaja voi poistua ajoneuvosta vähintään seitsemässä sekunnissa (20, s. 21 – 22).

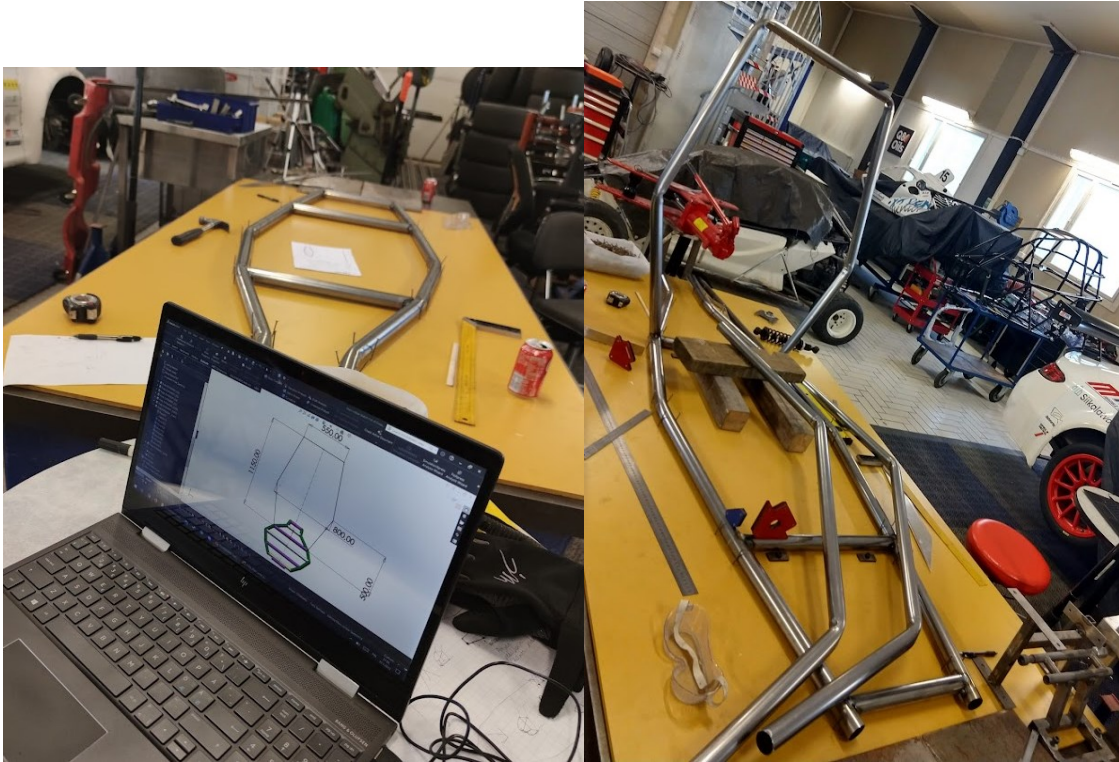
Prototyypirunko päätettiin tehdä 0,5 x 40 mm huonekaluputkesta erittäin halvan hinnan takia. Halvan hinnan lisäksi huonekaluputken materiaali on pehmeää ja siten helposti muokattavissa, taivutettavissa ja leikattavissa käsityökaluilla. Rungon putkien ei ollut tarkoitus olla myöskään oikeaan käyttöön kestäviä, joten materiaalin kestävyyttä ei tarvinnut ottaa huomioon valinnassa.

Rungon ja sen putkien valmistus aloitettiin pohjan putkista. Käsien valmistuksen apuna käytettiin rungon alla pohjana vesivanerilevyä, johon pystyi 3D-mallista siirtämään kriittisten mittapisteiden sijainteja sekä mittoja. Näin käsin taivutettuihin putkiin saatiin prototyyppiä varten tarpeeksi tarkat taivutuskulmat ja mitat. Prototyypirungon pohjaputkien valmistuksen aloittelua sekä sommittelua kuvassa 15.



KUVA 15. Huonekaluputkista tehdyn prototyypin alkuvaiheet

Kuten 3D-mallin piirtämisessä, prototyypin seuraavana vaiheena pohjan jälkeen oli pääturvakaaren sekä sivuturvakaarien valmistaminen. Kuvassa 16 pääturvakaari on saatu pohjaan kiinni, ja taustalla oikealla näkyy suunnitteluapuna käytetty Mtec Tiger Crosskart -runko.



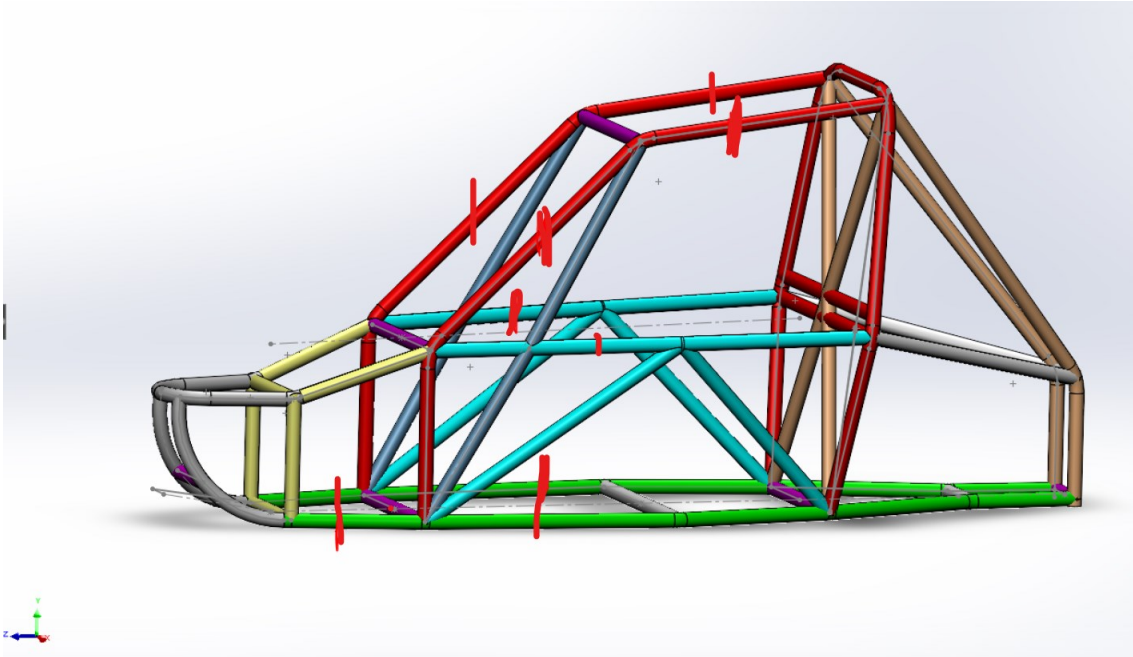
KUVA 16. Prototyypirungon pääkaaren valmistusvaiheet

Sivuturvakaarien sekä ovipalkin sommittelun jälkeen päästiin prototyypin rakentamisessa siihen vaiheeseen, että rungon sisälle kyytiin voitiin asentaa oikealle paikalle autossa käytettävä istuin (kuva 17). Tässä vaiheessa alustava rungon prototyyppi alkoi jo etäisesti näyttämään Crosskartilta.



KUVA 17. Ensimmäisessä prototyypirungossa istuin kyydissä

Penkin lisäämisen jälkeen nähtiin välittömästi tarve pidemmälle ohjaamolle. Rungon sen hetkisillä mitoilla oli jo normaalimittaisella ihmisellä erittäin hankalaa ja aikaa vievää kiivetä ajoneuvon kyytiin; hieman pidemmällä täysin mahdotonta. Näillä mitoilla vaadittu seitsemän sekunnin poistumisaika oli täysi mahdottomuus. Rungosta ja sitä kautta Crosskart-autosta haluttiin tehdä mahdollisimman monelle erikokoiselle ihmiselle sopiva (18). Tässä kohtaa palattiin siis 3D-malliin ja kuvaan 18 merkittyjen kohtien mukaisesti lisättiin pituutta putkille.



KUVA 18. Rungon putket ja kohdat, joihin lisättiin pituutta

Ohjaamon pituuden lisäämisen jälkeen rungon mitat alkoivat olla jo käytettävyydeltään hyvät. Kyytiin pääsi sekä sieltä pääsi pois erittäin helposti. Kuvassa 19 näkyvillä on nyt pidennetty ohjaamo.



KUVA 19. Porotyypirunko ohjaamon pidennyksen jälkeen

Rungon ohjaamon oikean pituuden saamisen jälkeen prototyypin valmistus jatkui ovipalkkien osalta. Näidenkin putkien mitoissa huomasi oikeassa elämässä prototyypin avulla heti käytettävyyden kannalta ongelman sekä kuinka ajoneuvon käytettävyyttä pystyy parantamaan. Ovipalkkien keskikohtaa päädyttiin laskemaan alaspäin, jotta oviaukosta saataisiin mahdollisimman iso. Tätä haastetta ovipalkkien muotoilussa ei tietokoneen näytöllä huomattu ollenkaan.

Ovipalkkien kanssa tuulilasinpilarivahvike koki saman kohtalon eli muutoksen, jotta oviaukosta saataisiin sääntöjen puitteissa mahdollisimman suuri. Tuulilasinpilarivahvikkeet paikalleen saatua huomattiin, että niitä tulisi siirtää eteenpäin niin paljon, kuin FIA:n vaatimukset sallivat.

Kaikkien tehtyjen muutosten jälkeen kuvassa 20 on lopullinen prototyyppi. Runkoon saatiin prototyypin avulla sellaiset mitat ja mittasuhteet, että siihen oltiin erittäin tyytyväisiä.



KUVA 20. Lopullinen prototyypirunko

6 RUNGON VALMISTUS JA KUSTANNUSVERTAILU

Koska rungon tarkat mitat ja muodot tulevat vielä useaan otteeseen muuttumaan tämän opinnäytetyön jälkeenkin, tarkkaa kustannusvertailua on mahdotonta tehdä rungolle tässä vaiheessa. Suuntaa antavia kustannusvertailuja päädyttiin tekemään vain kahden eri valmistustavan välillä. Valmistustapoina vertailuun otettiin kaksi tapaa, ensimmäisenä tapana täysin käsityönä valmistettu. Toisena vaihtoehtona vertailuun otettiin valmiiksi muualla koneellisesti muotoon ja mittaan taivutetut sekä valmiiksi leikatut putket. Kustannusvertailuun ei huomioida materiaalikustannuksia, sillä molemmilla työmenetelmillä kuluu valmiiseen runkoon yhtä paljon materiaalia.

6.1 Rungon kustannukset käsin tehtynä

Mäkelän antama tuntikustannusarvio 23,40 € on suoraan heidän kokemuksestaan työvoiman palkkaamisen keskiarvo tunnilta kaikkine oheiskustannuksineen (18). Rungon valmistuksen kustannuksiksi saataisiin käsin tehtynä työn osuudeltaan noin 2810 €, kun tuntikustannusarvio kerrotaan rungon valmistuksen tuntiarviolla: $23,40 \text{ €} * 120 = 2808 \text{ €}$. Ensimmäisten runkojen kanssa käsin tehdessä varmasti menee kuitenkin pidempään, varsinkin, jos työhön joutuu erikseen palkkaamaan ja opastamaan uuden työntekijän.

Pelkästään työtuntien kustannusten lisäksi Mtec Formula Technologyn tulisi ottaa huomioon omien tilojen ja työkalujen riittävyys sekä millaisia kustannuksia niiden laajentaminen, päivittäminen ja ylläpito aiheuttaa. Yrityksellä on kuitenkin tuloja tuottavana pääliiketoimena korjaamotoiminta, joten jos runkojen valmistus haittaa sen toimintaa, voi runkojen todelliset kustannukset nousta nopeasti pelkkää arvioitua tuntikustannusta suuremmaksi, jopa yllättävän korkeiksi.

Mtec Formula Technologyn tulisi myös harkita mahdollisten lyhytaikaisten lisätyöntekijöiden palkkaamiseen liittyviä haasteita. Esimerkiksi, kuinka helposti he saavat työntekijän palkattua Rantsilaan valmistamaan vain muutaman rungon ja onko vain hetkeksi palkattu työntekijä yhtä nopea ja tehokas, kuin Mäkelän arvio omasta työtahdistista.

6.2 Rungon kustannukset putket valmiiksi taivutettuna ja leikattuina

Alustavia kustannuksia rungon valmistamiselle kysyttiin viidestä eri yrityksestä. Ainoastaan yksi yrityksistä vastasi pystyvänsä hoitamaan rungon valmistuksen kokonaan tai vain putkien taivutukset ja päiden muotoilut.

Heillä on käytössä ja apuna suunnittelun ja valmistuksen yhteydessä SolidWorks, joten he saavat suoraan tehdystä 3D-mallista rungolle ja putkille tarvittavat mitat ja muodot. Taivutussäteenä ja työkaluna 40 mm halkaisijaltaan olevaan putkeen heillä runkoon sopivana on ainoastaan R167 taivutussäde. Tämä jopa ylittää taivutussäteelle FIA:n asettaman R120 minimivaatimuksen. Koska 3D-malli on tehty parametrien avulla, voidaan suunnitellun rungon putkien taivutussädettä muuttaa hetkessä valmistustapaan ja valmistajan työkaluihin sopivaksi.

Saatu kustannusarvio sisälsi paloittain arviot työlle: 300 € asetusajat, työkalunvaihdot, nimikeluonnit, 700 € leikkaus- ja taivutustyö, 200 € rahtikustannukset, 25 % sopimusvalmistajan katetavoite. Yhteenlaskettuna putkien taivutuksille ja päiden leikkauksien työlle voi laskea noin 1500 €.

Valmiiden putkien kasaamiseen menisi Mäkelän mukaan heiltä vielä noin 60 tuntia, joten näin rungon työ kustannuksiksi tulisi noin $60 * 23,40 \text{ €} + 1500 \text{ €} = 2900 \text{ €}$. Loppusummaksi tulisi siis hieman suurempi, kuin kokonaan käsin tehtynä.

Putkien valmistuksen ulkoistamisessa tulisi myös ottaa huomioon se, että valmistuskustannukset eivät lineaarisesti kasvaisi uusien runkojen myötä. Kun tavoitteena ja haaveena onkin valmistaa useampi runko, säästöä tulisi huomattavasti käsityöhön verrattuna, koska rahti- ja aloituskustannukset eivät nouse samaa tahtia.

7 YHTEENVETO

Työn päätarkoituksena oli tarjota Mtec Formula Technologylle Crosskart-auton rungon osalta 3D-mallinnus- ja suunnitteluapua sekä tarkastella rungon suunnittelua ja valmistusta valmistettävyyden kannalta.

Mtec Formula Technologylle saatiin suunniteltua Crosskart-autolle rungon perusta, jota he pääsevät jatkamaan pyöräntuennan suunnittelun yhteydessä. Tilaaja on ollut tyytyväinen ja kiitollinen Laapotin ja minun lähtemisestä tähän projektiin mukaan. Rungon ja 3D-mallien tämänhetkisestä tilasta tilaaja on tyytyväinen.

Rungon suunnittelu sekä ensimmäisen prototyypin aloitus ja valmistus tehtiin nopeasti. Prototyypin valmistaminen oli erittäin opettavaista, ja sen valmistamisen avulla nopeasti nähtiin ja korjattiin suunnitelmissa olevia ongelmia.

Rungosta saatiin myös alustavat 3D-mallit, joiden avulla mahdollistetaan sopimusvalmistajien hyödyntäminen rungon valmistusvaiheessa. Rungon valmistuksen osalta saatiin myös avattua keskustelua sopimusvalmistajien hyödyntämisen suhteen. Lopputuloksena jatkossa Mtech Formula Technology varmasti harkitsee vaihtoehtoja täydelle käsityölle.

Vaikka runko on pääpiirteittäin saanut muotonsa, on Crosskartissa vielä paljon tehtävää. Opinnäytetyön aiheitakin olisi kyseiseen Crosskarttiin liittyen monia, esimerkiksi pyöräntuennan suunnittelu ja kaikkien sarjassa hyväksytyjen moottoreiden kiinnitysten suunnittelu runkoon.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen sekä opettavainen. Opinnäytetyötä tehdessä pääsi osallistumaan tuotekehityksen moniin vaiheisiin sekä tutustumaan itselle uuteen moottoriurheilun lajiin. Rungon suunnittelu ja prototyypin valmistus saatiin hoidettua pääasiassa nopeasti ja ilman ongelmia. 3D-mallinnuksista varsinkin suoriuduin mielestäni kiitettävästi. 3D-mallinnus onkin ennestään tuttua itselle, alkujaan aikaisempien vuosien kursseilta ja myöhemmin 3D-tulostusharrastusten myötä.

Tuloksina työlle saatiin suunniteltu 3D-malli sekä vertailua ja pohdintaa paremmista valmistustavoista. Eli voisin sanoa, että tuloksina työlle saatiin juuri sitä, mitä työn tilaaja tarvitsi ja pyysi.

LÄHTEET

1. Laapotti, Tatu 2023. Crosskart-auton rungon FIA-sertifionti. Oulun ammattikorkeakoulu. Kone-tekniikan tutkinto-ohjelma. Valmisteilla oleva opinnäytetyö.
2. Mtec Formula Technology. Mtec. Saatavissa: <http://www.makelaracing.fi/mtec/fi/mtec-2/>. Hakupäivä 12.5.2022
3. Mtec Formula Technology 2021. Mtec Tigerille Suomenmestaruus Crosskart 85cc -luokassa! Saatavissa: <http://www.makelaracing.fi/mtec/fi/mtec-tigerille-suomenmestaruus-crosskart-85cc-luokassa/>. Hakupäivä 12.5.2022
4. Mtec Formula Technology. Crosskart. Saatavissa: <http://www.makelaracing.fi/mtec/fi/crosskart/>. Hakupäivä 20. 5. 2022
5. AKK Motorsport. Lajit – Crosskart. Saatavissa: <https://www.autourheilu.fi/lajit/crosskart/>. Hakupäivä 2.6.2022
6. AKK Motorsport, AKK. Saatavissa: <https://www.autourheilu.fi/akk/>. Hakupäivä 2.6.2022
7. AKK Motorsport. AKK-Motorsport ry. Saatavissa: <https://www.autourheilu.fi/akk/akk-motorsport-ry/>. Hakupäivä 2.6.2022
8. FIA-NEZ. FIA North European Zone. Saatavissa: <https://fia-nez.eu/>. Hakupäivä 10.6.2022
9. NEZ Crosscart Championship 2022. Saatavissa: <https://www.nez-crosskart.eu/>. Hakupäivä 1.9.2022
10. Milton, Alex & Rodgers, Paul 2011. Product Design. Lontoo: Laurence King Publishing Ltd.
11. East West Manufacturing 2020. What is Design for Manufacturing or DFM? Saatavissa: <https://news.ewmfg.com/blog/manufacturing/dfm-design-for-manufacturing>. Hakupäivä 20.5.2022
12. Swift, Ken, & Booker, Julian. 2013. Manufacturing process selection handbook (1st edition.). Elsevier Ltd.

13. Listertube 2022. Tube Bending Design Guide. Saatavissa: <https://www.lister-tube.com/links/tube-bending-design-guide/>. Hakupäivä 10.9.2022
14. Hippobender 2021. The Most Comprehensive Guide About Pipe Bending Machine. Hakupäivä 9.10.2022 Saatavissa: <https://www.hippobender.com/the-most-comprehensive-guide-about-pipe-bending-machine/>
15. Krickeberg, Paul 2020. 4 essential modes of tube bending. Saatavissa: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/tubepipefabrication/4-essential-modes-of-tube-bending>. Hakupäivä 9.10.2022
16. Canfield, Jon 2016. Tips on designing tubular parts for bending. Saatavissa: <https://www.thefabricator.com/tubepipejournal/article/tubepipefabrication/tips-on-designing-tubular-parts-for-bending>. Hakupäivä 9.10.2022
17. McHone Industries 2017. Comprehensive Tube Bending Design Guide: Everything You Need to Engineer a Perfect Bent Tubular Component. Saatavissa: <https://www.mchoneind.com/free-manufacturing-resources/>. Hakupäivä 10.10.2022
18. Mäkelä, Miikka 2022. Insinööri. Mtec Formula Technology. Keskustelut 1.1.2022 – 14.4.2023
19. Editors of Salem Press 2017. The Strategies of Manufacturing. Vol. Second edition. Business Reference Guide. Ipswich, Massachusetts: Salem Press.
20. FIA. APPENDIX J – ARTICLE 279B Technical Regulations for Cross Cars 2022. Saatavissa: https://www.fia.com/sites/default/files/279b_2022_wmsc_2022.03.19_it_modif.13.07.2022.pdf. Hakupäivä 10.8.2022.
21. Sparco 2019. 2019 Seat Dimension Guide. Saatavissa: <https://www.sparcousa.com/Content/Images/uploaded/Seat%20Measurements%202019.pdf>. Hakupäivä 20.4.2022
22. Teja, Ravi 2019. GrabCAD. GSXR600. Saatavissa: <https://grabcad.com/library/gsxr600-1>. Hakupäivä 20.4.2022