

Niko Tähkä

MG MGA -sähköautokonversion akkupaketointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

10.3.2017

Tekijä(t) Otsikko	Niko Tähkä MG MGA -sähköautokonversion akkupaketointi
Sivumäärä Aika	35 sivua + 2 liitettä 10.3.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Projektipäällikkö Harri Santamala
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella sekä valmistaa akkupaketti MG MGA -avoautoon. Työssä kuvataan työvaiheita suunnittelusta lähtien aina valmistukseen saakka. Suunnitteluvaiheessa käytettiin 3D-skannausta sekä 3D-mallinnusta, joiden avulla saatiin luotua valmiin akkupaketin 3D-mallin. Työn tilaajana toimi e-Drive Retro OÜ, joka on vuoden 2015 alussa perustettu startup-yritys.</p> <p>Työn osalta akkupaketin suunnitteluun varattiin eniten aikaa, koska siinä oli huomioitava monta eri asiaa. Tärkeimpinä asioina pidettiin akkupaketin rakenteellisia ominaisuuksia, jäähdytystä sekä kokoonpanon helppoutta ja siihen liittyen myös akkupaketin huollettavuutta. Valmistusvaiheessa akkupaketista pyrittiin saamaan mahdollisimman valmis kokonaisuus, mikä riippui täysin komponenttien toimitusajoista.</p> <p>Lopputuloksena saatiin valmis 3D-malli MG MGA:n akkupaketeista sekä valmiit akkupaketin rungot kiinnitettyinä auton runkoon. Akkumoduulien toimitusajasta johtuen akkupaketteja ei saatu täysin valmiiksi, mutta valmiin 3D-mallin sekä dokumentoinnin ansiosta akkupaketit voidaan valmistaa tulevaisuudessa vaivatta loppuun asti.</p>	
Avainsanat	akkupaketti, sähköauto, sähköautokonversio

Author(s) Title	Niko Tähkä Battery Pack for MG MGA EV Conversion
Number of Pages Date	35 pages + 2 appendices 10 March 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Harri Santamala, Project Manager
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to design and fabricate a battery pack for MG MGA electric conversion vehicle. The thesis describes the designing phases from the start up to the fabrication stage. The designing phase contains 3D-scanning and 3D-modeling, which were used to create a 3D-model of the battery pack. The thesis was assigned by e-Drive Retro OÜ, which is a startup company founded in 2015.</p> <p>There were many different issues to be considered, such as the structural features of the battery pack, cooling, the ease of fabrication and service. Therefore, the major time of the thesis work was reserved for the designing phase. The delivery time of the required components plays a major role in the fabrication phase. Therefore, the objective was to fabricate the battery pack to be as complete as possible.</p> <p>The finished product was a complete 3D-model of the battery pack and a real battery pack frame attached to the frame of the car. Due to the delivery times of the battery modules, battery packs could not be finished completely. However, it is possible to finish the battery packs with all the documentation and the 3D-model that have been made during this thesis.</p>	
Keywords	battery pack, EV, electric vehicle, electric vehicle conversion

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Taustaa	1
2.1	E-Drive Retro OÜ	1
2.2	Lähtökohdat	2
2.2.1	Triumph GT6	2
2.2.2	Invenox-akkumoduulit	4
3	Suunnittelu	5
3.1	Mittaukset ja 3D-skannaus	5
3.1.1	Mittaukset	5
3.1.2	3D-skannaus	6
3.1.3	Rungon mallinnus	10
3.2	Akkumoduulit	14
3.3	Akkupaketin rakenne	15
3.3.1	Runko	15
3.3.2	Akkupaketin kiinnitys	16
3.4	Johdot ja liittimet	18
3.5	Jäähdytys	20
3.5.1	Yleistä	20
3.5.2	Jäähdytysreitit	21
3.5.3	Virtaushäviöiden minimointi	21
3.5.4	Jäähdytysputket	22
3.5.5	Jäähdytin	24
3.5.6	Paisuntasäiliö	24
3.5.7	Jäähdytysletkut ja liittimet	24
3.6	Auton rungon muutokset	25
4	Valmistus	27
4.1	Akkupaketin runko ja alumiinilevyt	28
4.2	Akkumoduulit sekä liittimet	29
4.3	Jäähdytys	29
4.4	Auton rungon muutokset	30
5	Lopullinen tuote ja johtopäätökset	31

5.1	Ongelmakohdat	32
5.2	Jatkotoimenpiteet	33
	Lähteet	34
Liitteet		
	Liite 1. Keskitunnelin tekniset piirustukset	
	Liite 2. Lattiapaneelien tekniset piirustukset	

Lyhenteet

MGA	Urheiluautomalli, jota MG valmisti vuosina 1955–1962.
GT6	Coupé-mallinen urheiluauto valmistajalta Triumph. Autoa valmistettiin vuosina 1966–1973.
UNECE	The United Nations Economic Commission for Europe. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio, joka säätelee muun muassa ajoneuvojen turvallisuusvaatimuksia.

1 Johdanto

Insinööriyössä suunniteltiin akkupaketti vuoden 1958 MG MGA - sähköautokonversioon. Suunnittelutyön lisäksi akkupaketti valmistettiin siihen pisteeseen mitä komponenttien toimitusajat mahdollistivat. Työ suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun tutkimustyönä e-Drive Retro OÜ -yritykselle.

Vanhojen autojen muuttaminen sähköiseksi on vasta yleistymässä, joten taustatietoa on vielä hyvin vähän saatavilla kirjallisuudesta sekä muista tietolähteistä. Tiedonkeruuta auttoi kuitenkin vuonna 2015 Metropolia Ammattikorkeakoulun tekemä Triumph GT6 -sähköautokonversio, jonka lopputulosta tutkimalla saatiin hyvät lähtökohdat suunnittelulle. Taustatutkimuksessa hyödynnettiin myös paljon Metropolia Ammattikorkeakoulun henkilökunnan pitkää kokemusta ja tietotaitoa sähköautojen suunnittelusta.

Suunnitteluvaiheeseen varattiin riittävästi aikaa, koska siinä jouduttiin ottamaan huomioon akkupaketin rakenteelliset ominaisuudet, jäähdytys sekä kokoonpanon helppous ja siihen liittyen myös akkupaketin huollettavuus. Akkupaketista luotiin valmis 3D-malli 3D-skannausta sekä 3D-mallinnusta apuna käyttäen. Akkupaketit pyrittiin valmistamaan elokuuhun mennessä yrityksen MG MGA:n esittelytilaisuuteen.

2 Taustaa

2.1 E-Drive Retro OÜ

E-Drive Retro OÜ on vuoden 2015 alussa Viroon perustettu start-up yritys. Se tarjoaa sähköautokonversioita 50–70-luvun autoihin. Sähköautokonversiot tehdään kunnioittaen klassikkoautojen retrohenkisyttä sekä ulkonäköä. Tarkoituksena onkin, että autosta ei huomaisi sen olevan sähköauto, ennen kuin istuu kuljettajan paikalle ja käynnistää auton. E-Drive Retro pyrkii saamaan aikaan asiakkaan mieltymyksen mukaisen auton niin tekniikaltaan kuin sisustukseltaan. Asiakas saa valita käyttötarkoitukseen sopivat sähkökomponentit, akkukapasiteetin sekä sisustan. Tästä syystä jokainen auto on hieman erilainen. [1]

E-Drive Retro aloitti yhteistyön Metropolia Ammattikoulun kanssa vuoden 2015 keväällä. Yrityksen ensimmäinen sähköautokonversio julkistettiin saman vuoden syyskuussa. Sähköautokonversio oli tehty vuoden 1972 Triumph GT6 -autolle Metropolia Ammattikorkeakoulun alihankintana (kuva 1).



Kuva 1. Triumph GT6 -sähköautokonversio

Yrityksen lähitulevaisuuden suunnitelmiin kuuluu valmistaa viiden MG MGA -auton rajoitettu erä. Ensimmäisen auton suunnittelu alkoi 2016 keväällä. Sen olisi tarkoitus valmistua esittelytilaisuuteen syksyllä 2016. Esittelytilaisuudessa auton muutokset esitellään rungon sekä korin ollessa erillään.

2.2 Lähtökohdat

2.2.1 Triumph GT6

E-Drive Retron ensimmäisen sähköauto vuoden 1972 Triumph GT6:sta on hyvä lähtökohhta opinnäytetyötä ajatellen, koska kyseisessä autossa on paljon kehitettävää. Akkupaketit on sijoitettu auton keulaan sekä takaosan tavaratilaan. Taka-akselilinjan

taakse sijoitettu akkupaketti vie takaosan tavaratilasta lähes kaiken tilan, mikä jo entistään vähensi pienen auton käytännöllisyyttä. Painopiste muuttui polttomoottoriverstaasta hieman takapainoisemmaksi, mikä tasapainotti ennestään hyvinkin etupainoista autoa. Akkupaketit ovat kuitenkin kaukana auton massakeskipisteestä, mikä lisää sen kiertohitausmomenttia. Tämän takia auton reagointi muuttuvassa ajotilanteessa ei ole parhaimmillaan. MGA:n akkupaketit olisi siis hyvä sijoittaa autoon siten, että ne eivät veisi tilaa auton tavara- tai sisätilasta eivätkä sen ajo-ominaisuudet kärsisi.

Akkupaketit on hitsattu 2 mm:n paksuisesta alumiinilevystä. Alumiini on todella herkkä muodonmuutoksille, etenkin jos hitsataan suurista alumiinilevyistä laatikkoa, jolloin lämmönhallinta on vielä hankalampaa. Akkupaketista ei tullut tämän takia täysin suora. Kyseinen valmistustekniikka ei ole paras, jos tulevaisuudessa aiotaan valmistaa enemmän täysin samanlaisia akkupaketteja Triumph GT6:een. Opinnäytetyön asiakkaan toiveena oli, että MGA:n akkupaketti olisi modulaarinen, jotta sitä pystyttäisiin helposti muokkaamaan muihin samankaltaisiin autoihin. Myös akkukapasiteetin määrää olisi hyvä saada helposti muutettua, joten hitsaamalla valmistettava akkupaketti täytyi jättää suunnittelun ulkopuolelle heti alkuun.

Triumph GT6:n akkupaketit ovat täysin tiiviitä, eikä niissä ole jäähdytystä akkumoduuleille. Kyseisessä autossa käytettiin Kokam-merkkisiä akkumoduuleita, jotka ovat ilmajäähdytteisiä. Tiiviissä akkupaketissa akut lämpenevät helposti, jolloin lämpötilaerot kennojen välillä kasvavat. Akkujärjestelmästä tulee hyvin epävakaa ja akkujen ohjausyksikkö estää tässä tilanteesta akkujen lataamisen, eikä autolla ole myöskään mahdollista ajaa. Ongelma ilmenee pidemmällä ajomatkoilla maantienopeuksissa. Asiaa ei saa nopeasti korjattua, koska akuilla on niin paljon massaa, että ne sitovat paljon lämpöenergiaa itseensä. Tämä tarkoittaa sitä, että ne jäähtyvät suljetussa laatikossa todella hitaasti. MGA:n akkupaketin suunnittelussa on otettava huomioon tarvittava jäähdytys. Invenoxin akkumoduuleissa on vesijäähdytys, mikä on nykyisten sähköautojen tekniikassa jo yleistä.

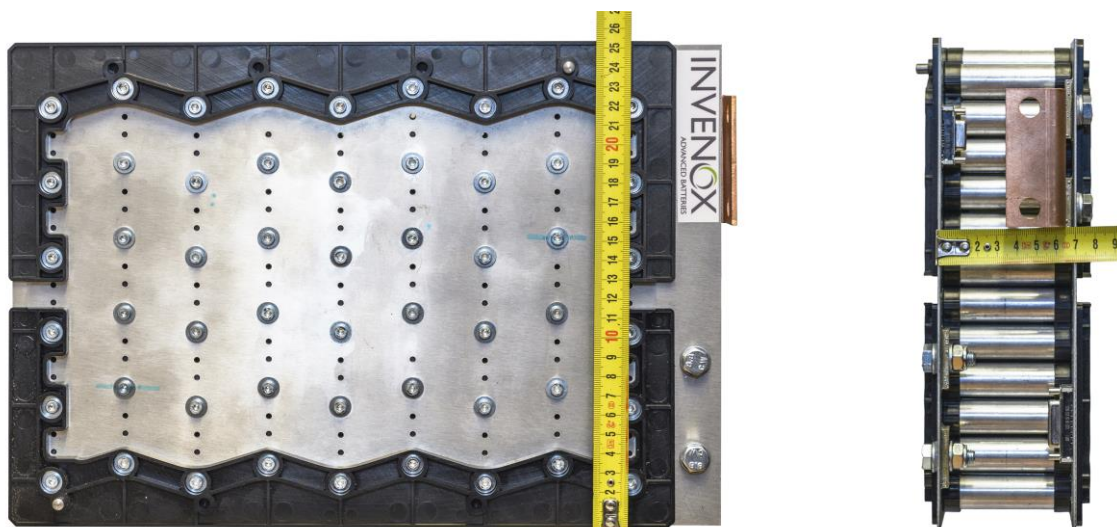
Myös akkupakettien huollettavuus vian sattuessa ei ole Triumphissa paras mahdollinen. Akkupaketit on sijoitettu siten, että niihin on todella hankalaa päästä käsiksi edessä olevien sähkökomponenttien sekä paneelien takia. Niiden irrottaminen autosta on siis hankalaa. Myös johtojen liittimet on vaikea irrottaa akkupaketin ollessa kiinni autos-

sa. MGA:han täytyy keksiä ratkaisu, jotta akkupaketit olisi sekä helppo asentaa autoon että helppo purkaa autosta omina kokonaisuuksinaan.

2.2.2 Invenox-akkumoduulit

Akkupaketteja lähdettiin suunnittelemaan Invenox-merkkisten akkumoduulien pohjalta. Invenox on saksalainen akkumoduulivalmistaja, joka käyttää moduuleissaan paristokennotekniikkaa. Paristokennot mahdollistavat hyvin matalan akkumoduulin valmistuksen. Yritys käyttää Samsungin valmistamia 18650-tyypin paristokennoja, joiden koko ei ole paljon AA-paristoja suurempi [2]. Akkumoduulit on mahdollista tilata asiakkaan haluamien mittojen mukaan, jolloin hukkatila akkupaketissa on mahdollista minimoida. [3]

Invenox suostui lähettämään mitattavaksi yhden akkumoduulin, josta saatiin tärkeimmät mitat suunnittelua varten (kuva 2). Kyseisessä akkumoduulissa oli käytetty paristokennojen sijasta onttoja alumiiniputkia, eikä siinä ollut jäähdytysmoduuleita.



Kuva 2. Invenox-akkumoduulin mitat

Invenoxilta saatu akkumoduuli oli yrityksen tarjoama yleismalli, jota oli mahdollisuus saada nopeammalla toimitusajalla. Tämä malli oli jo valmiiksi hyvä vaihtoehto kyseiselle sähköautokonversiolle, mutta aluksi olisi tiedettävä mahtuvatko tämänkokoiset mo-

duulit järkevästi autoon. Akkumoduulin mitat ovat 370 x 254 x 88,6 mm ja sen kapasiteetti on yli 2,2 kWh kyseisellä konfiguraatiolla. Paristokennojen määrä kyseisessä mallissa on 216 kappaletta. Jos akkumoduulin kokoa joudutaan muokkaamaan toisenlaiseksi, olisi myös otettava huomioon kennojen järjestely akkumoduuleissa. Kennot on järjestelty siten, että neljä kennoa on yhdistetty yhteen pakettiin, joka pultataan akkumoduuliin kiinni. Neljän kennon paketit ovat lomittain moduulissa, jotta tilaa saataisiin käytettyä mahdollisimman hyvin hyödyksi. Akkumoduulit ovat vesijäähdytteisiä, mikä on otettava suunnittelussa huomioon. Moduuleissa on vesiletkujen sisään- ja ulostulo-liittimet toisessa päässä. Akkumoduulien jäähdytys toimii siten, että sen molemmin puolin on jäähdytyskanavat. Moduuliin syötetään sisään jäähdytysnestettä, joka kiertää yläpuolen jäähdytyskanavat, ja sen jälkeen alapuolen jäähdytyskanavat, josta se palaa takaisin jäähdyttimelle.

3 Suunnittelu

Suunnitteluprosessiin oli varattava riittävästi aikaa, koska siinä on otettava huomioon monta asiaa. Suunnittelu aloitettiin taustatutkimuksella sekä MG MGA -ajoneuvon rungon mittauksilla. Tietojen avulla lähdettiin suunnittelemaan akkupakettien sijaintia sekä muotoa ottaen huomioon sen vaatimukset. Esimerkiksi akkumoduulien määrä vaikutti hyvin paljon siihen, moneenko osaan akkupaketti jouduttiin jakamaan, koska kaikkia ei saatu auton rungon koon ja muodon vuoksi saman paketin sisälle. Myös akkupakettien kiinnitys oli toteutettava siten, että ne olisi helppo asentaa autoon. Tämän jälkeen suunniteltiin jäähdytysjärjestelmä sekä tarvittavat sähköliittimet ja johdotukset.

3.1 Mittaukset ja 3D-skannaus

3.1.1 Mittaukset

Aluksi mittaukset tehtiin rulla- ja työntömittaa apuna käyttäen. Mittojen avulla saatiin kuva auton koosta sekä tilasta, johon olisi mahdollista suunnitella akkupaketit. Mittauksissa huomattiin, että auton lattia on melko alhaalla pitkittäisiin runkopalkkeihin verrattuna. MGA:n polkimet olivat puolestaan niin korkealla lattiasta, että niiden käyttämiseen täytyi pitää jalkoja ilmassa. Tämä olisi pidemmällä ajomatkalla fyysisesti raskasta ja epämukavaa.

Akkupaketit päätettiin tämän takia sijoittaa auton rungon tasolle, jolloin lattian taso nousisi noin 70 mm. Tämä tarkoittaisi myös sitä, että polkimet olisivat lähempänä lattian tasoa, jolloin niiden käyttö olisi vaivattomampaa. Lattian korottamisen vaikutus testattiin niin, että koehenkilö meni istumaan autoon, jonka lattia oli korotettu vanerilevyillä jalatilasta noin 7 cm. Ajoasento parantui huomattavasti niin polkimien kuin istumaseennonkin osalta.

Akkupakettien sijoittaminen lattian alle laskisi painopistettä sekä toisi akkujen painon lähelle auton massakeskipistettä, jolloin sen ajo-ominaisuudet parantuisivat huomattavasti. Akut eivät veisi myöskään tilaa takatavaratilasta eikä moottoritulasta, johon muut sähkökomponentit tulisivat. Myös huollettavuuden sekä asentamisen kannalta auton akkupakettien sijoittaminen auton pohjaan olisi hyvä asia, koska akkupaketit voitaisiin kiinnittää alhaaltapäin auton runkoon kiinni. Haittapuolena akkupaketti olisi jaettava kahteen osaan, koska kardaanelle on jätettävä tarpeeksi tilaa pyöriä. Akkupaketit olisi tällöin sijoitettava kardaanitunnelin oikealle sekä vasemmalle puolelle.

Kyseisestä autosta ei löytynyt tarkkoja teknisiä piirustuksia, joten pelkät rulla- ja työntömitalla tehdyt mittaukset eivät riittäisi suunnitteluun. Akkupaketin suunnittelun aloittaminen vaatisi tarkemman 3D-mallin auton rungosta. Tämän takia oli käytettävä 3D-skanneria.

3.1.2 3D-skannaus

3D-skannaus on yleistynyt hurjalla vauhdilla viimeisen vuosikymmenen aikana. Se on yksi parhaita tapoja tuottaa 3D-malli fyysisestä kappaleesta, jos teknisiä piirustuksia tai valmiita 3D-malleja ei ole saatavilla. Nykyään on mahdollista skannata kaikenkokoisia ja -muotoisia kappaleita monella eri tapaa. Autoteollisuudessa 3D-skannausta käytetään paljon laadunvalvonnassa, robottien ohjauksessa sekä takaisinmallinnuksessa (*reverse engineering*). 3D-skannerit perustuvat joko mekaaniseen tai optiseen mittaukseen. [4, s. 19.]

Mekaaniset skannerit ottavat koordinaatin koskettamalla skannattavan kappaleen pintaa. Yleisin mekaaniseen mittaamiseen perustuva 3D-skanneri on eräänlainen mittakäsi, jonka toinen pää on kiinteästi paikallaan. Kun mittauspää koskettaa skannattavan kappaleen pintaa, saadaan kyseisen pisteen koordinaatit vertaamalla pään sijaintia

referenssipisteeseen, joka on mittakäden kiinteässä päässä. Mekaaniset skannerit ovat todella mittatarkkoja, mutta niiden avulla on melko hidasta saada suurempaa mallia, koska jokainen koordinaatti joudutaan mittaamaan erikseen. Mittatarkkuuden ansiosta kyseisiä skannereita käytetään hyvin paljon laaduntarkkailussa. [4, s. 11–13.]

Tässä projektissa käytettiin optiseen mittaamiseen perustuvaa käsikäyttöistä laserskanneria, koska se oli käyttötarkoitukseen sopivampi. Kyseiset skannerit perustuvat valon heijastumiseen kappaleesta. Skannerit eivät siis kosketa kappaletta fyysisesti. Useimmat skannerit käyttävät lähettävät laservaloa kappaleeseen, jonka heijastumasta se laskee yhden koordinaatin sijainnin käyttäen apunaan valon kulkunopeutta, vaiheeroa sekä kolmiomittaustekniikkaa. Kolmiomittaus tarkoittaa sitä, että skanneri lähettää tietynmuotoisen lasersäteen kappaleen pintaan, jota skannerin toisella puolella oleva kamera tarkkailee. Lähetin, kohde ja kamera muodostavat siis kolmion. Heijastuneet säteet heijastuvat kameran eri kohtiin, minkä avulla se pystyy muodostamaan tarkemman mallin kappaleen pinnanmuodoista. Kameraa voidaan myös käyttää luomaan skannatun kappaleen pinnasta tekstuurit, jotka se yhdistää koodrinaattitietoihin. Tällöin saadaan tarkka 3D-malli, jossa on niin geometriaa kuin tekstuuriakin. Optiset skannerit ovat siitä hyviä, että ne pystyvät luomaan jopa miljoonia koordinaattipisteitä sekunnissa. Tämä nopeuttaa skannaamista mekaanisiin skannereihin verrattuna. Mittatarkkuuden lisäämiseksi jotkin optiset skannerit hyödyntävät kappaleeseen liimattavia kohdepisteitä (*target point*). Skannerin kamera havaitsee kohdepisteet, joista se pystyy laskemaan oman sijaintinsa paremmin. Tämä mahdollistaa yhä suurempien kappaleiden skannauksen yhdellä skannauksella nopeasti ja tarkasti. [4; 5]

MGA:n runko päätettiin 3D-skannata, koska valmiita 3D-malleja tai tarkkoja teknisiä piirustuksia ei siitä löytynyt. Metropolia Ammattikorkeakoululla oli kaksi erilaista kannettavaa skanneria, joita oli mahdollisuus käyttää. Ensimmäinen vaihtoehto oli Artec Eva -skanneri ja toinen hieman uudempi ja monipuolisempi Creaform Handyscan 3D. Artec Eva on Artec 3D:n kevyin versio käsikäyttöisistä skannereista. Kyseinen skanneri on suunniteltu hieman pienempien kappaleiden nopeaan skannaukseen, eikä se välttämättä ole paras vaihtoehto suurempien kappaleiden skannaukseen, koska se ei tue kohdepisteiden käyttöä toisin kuin Creaform. Artec ei myöskään käytä laservaloa valonlähteenä. Creaformin skannerissa laserlähteitä on jopa kolme kappaletta, mikä parantaa tarkkuutta huomattavasti sekä nopeuttaa prosessia. 3D-skannaus oli kuitenkin saatava aloitettua nopeasti eikä Creaformin skanneri ollut sillä hetkellä saatavilla. [6; 7]

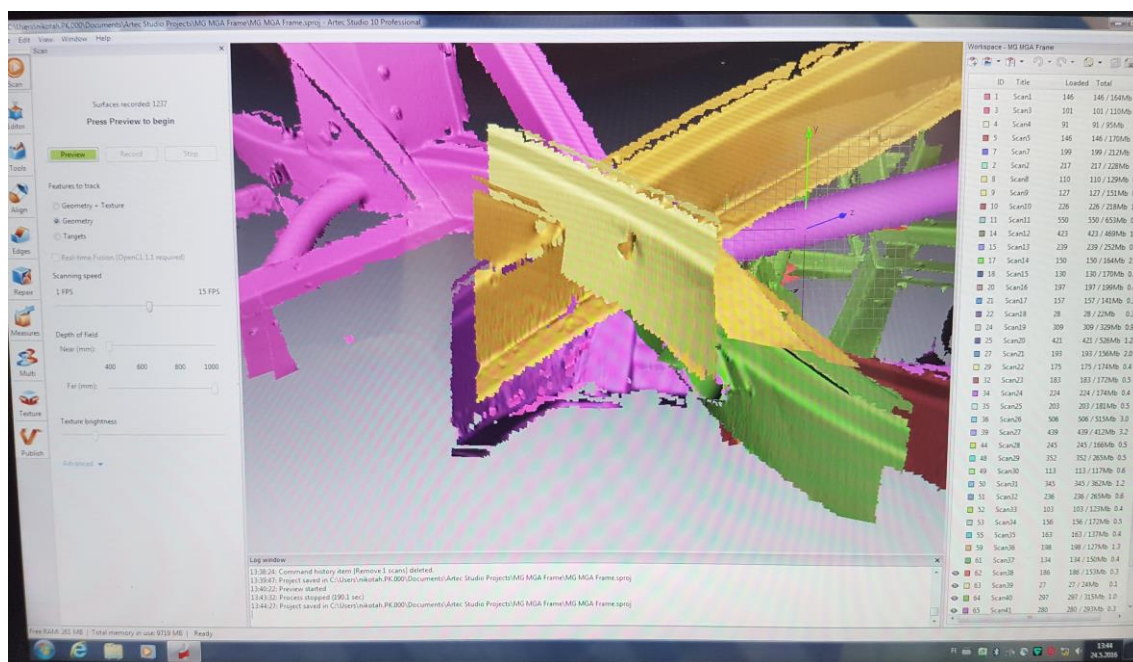
3D-skannaus aloitettiin asettelemalla auton runko tukien päälle irti lattiasta (kuva 3). Tällä tavoin pystyttiin skannaamaan myös rungon alaosa ilman rungon liikuttamista. Skannaus vaatii siihen tarvittavan ohjelmiston, joten käyttöön pyydettiin Artec Eva -skannerin lisäksi myös kannettava pöytäkone Artec Studio 10 -ohjelmistolla. Ohjelmiston avulla pystytään yhdistämään yksittäiset skannaukset yhdeksi kokonaisuudeksi sekä tallettamaan tiedosto oikeassa muodossa 3D-mallinnusohjelmalle.



Kuva 3. MGA:n rungon skannaus

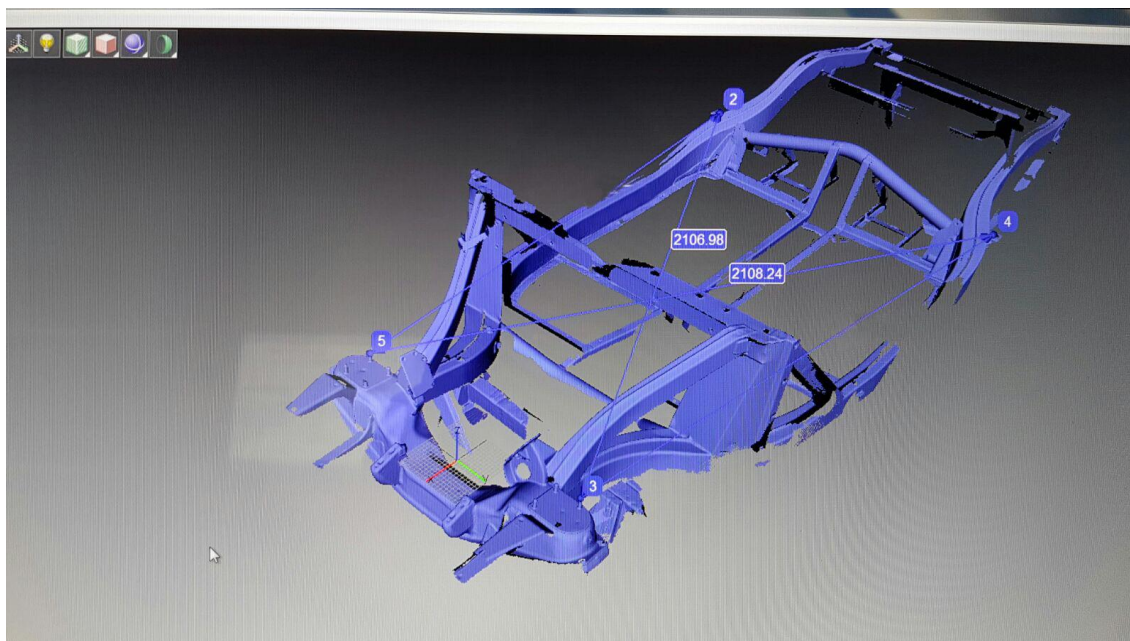
Runko skannattiin pienemmissä osissa, koska skanneri ei kyennyt tarkasti luomaan mallia suuremmalta alueelta kerralla. Tämä johtui siitä, että skanneri ei tunnistanut sijaintiaan rungon tasaisen pinnan takia. Asiaa yritettiin korjata sijoittamalla rungon läheisyyteen muovisia muuttolaatikoita, joiden pohjassa oli sopivan muotoinen kuviot. Skanneri ei kuitenkaan tunnistanut kuviota rungon takaa, joten oli tyydyttävä yhdistelemään 3D-malli pienemmistä skannauksista. Yksittäisiä skannauksia kertyi yli 70. Kuvasta 4 nähdään skannatut tiedostot eri väreillä päällekkäin. Skannaukset yhdisteltiin yhdeksi tiedostoksi Artec Studion Align-toiminnolla. Skannausten yhdistämisen jälkeen

3D-malli täytyi yksinkertaistaa, koska ohjelma ei poistanut eri 3D-skannausten päällekkäisiä koordinaattipisteitä. Pienellä alueella saattaa olla satoja koordinaattipisteitä eri skannauksista, mistä johtuen tiedoston koko kasvoi turhan suureksi. Yksinkertaistamisen jälkeen koordinaattipisteiden määrä pieneni neljäsosaan eikä 3D-mallin tarkkuus kärsinyt ollenkaan.



Kuva 4. Artec Studio 10 -ohjelmisto

3D-mallin suoruus tarkistettiin Measures-toiminnolla verraten MG MGA korjaamoppaasta saatua rungon suoruuden tarkistukseen saatuja mittoja [8, Section R.5]. Kuvassa 5 tarkistettiin rungon etummaisesta ja keskiosan tarkistuspisteiden välinen heitto. Ero näiden kahden viivan saisi olla maksimissaan $3/8''$, mikä tarkoittaisi noin 9,5 mm:n eroa. Heitto näiden mittauspisteiden välillä oli 2,74 mm, ja tulokset vastasivat myös rullamittalla mitattua tulosta, joten skannaus todettiin onnistuneeksi.



Kuva 5. 3D-skannauksen tarkistus Artec Studio -ohjelmistolla

3.1.3 Rungon mallinnus

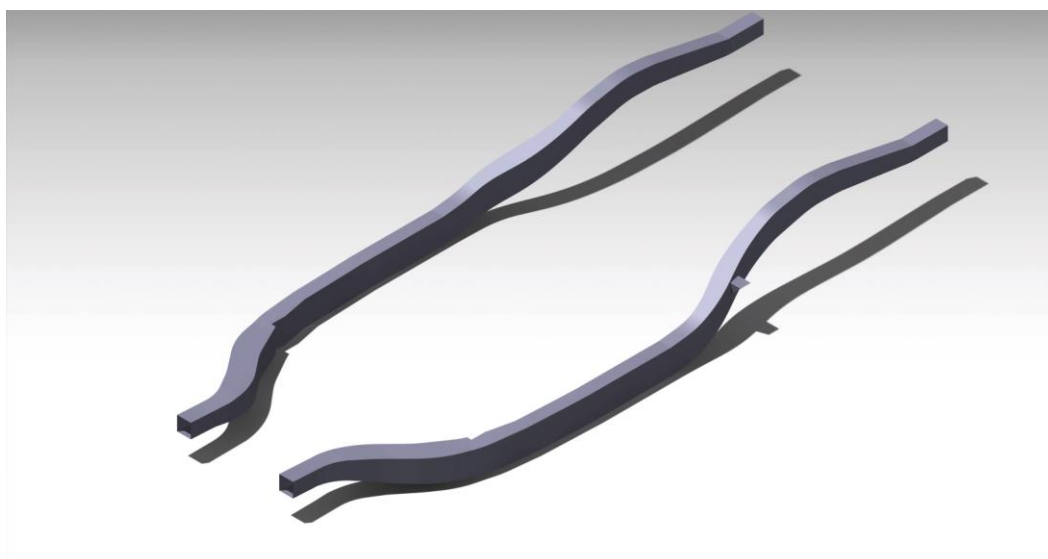
3D-skannausta ei voida käyttää täysin hyödyksi suunnitteluvaiheessa, koska sitä on vaikea muokata jälkeenpäin. Tämän takia skannauksesta tehtiin 3D-malli mallinnusohjelmalla. Valmis 3D-skannaus tallennettiin Artec Studiossa stl-formaatissa, jota useimmat mallinnusohjelmat tukevat. 3D-mallin pohjalta suunnitellaan kaikki akkupakettiin liittyvä, joten sen olisi oltava todella tarkka etenkin sieltä, mihin akkupaketit on suunniteltu sijoittaa. Tämän takia 3D-mallinnukseen varattiin tarpeeksi aikaa.

MG MGA:n runko koostuu yhdestä suuresta päärungosta, jonka ympärille muut osat pultataan kiinni. Mallinnus aloitettiin luomalla rungon pääkokoontalo, jonka alle rungon eri osat yhdistetään. Kokoontalon pääkoordinaatisto päätettiin sijoittaa auton rungon etuakselin keskikohtaan, jonka pohjalta rungon muut komponentit sijoitetaan kokoonpanoon. Päärunko on monesta palkista yhteen hitsattu kappale, jonka ympärille rungon muut komponentit pultataan. Kyseinen runko esiteltiin luvussa 3.1.2.

Päärunko päätettiin tehdä yhteen Main frame -nimiseen tiedostoon. Runko mallinnettiin aluksi pintatyökaluilla. Sen eri alueet jaettiin erillisiin kokoelmiin, jotta alueet eivät tällöin olisi yhteydessä toisiinsa. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden alueen muutos ei vaikuttaisi muihin alueisiin luoden virheitä koko tiedostoon.

Mallinnus aloitettiin monimutkaisimmista palkeista, jotka olivat rungon pitkittäispalkit (kuva 6). 3D-skannauksesta valittiin pisteitä vasemman puoleisen pitkittäisrungon ulkoreunasta tietyn välimatkan välein X-suunnassa (pituussuunnassa), jolloin ulkoreunan muodot saatiin 3D-skannauksen mukaiseksi. Pisteiden koordinaatteja verrattiin rungon pääkoordinaattiin, joka oli valittu etuakselin kohdalle rungon keskelle niin 3D-skannauksessa kuin 3D-mallissakin. Pisteiden kautta muodostettiin viiva, joka pursotettiin ylöspäin Z-suunnassa (korkeussuunnassa) molempiin suuntiin. Sama tehtiin palkin muillekin pinnoille. Jokaisen reunan pinnat yhdistettiin ja leikattiin siten, että palkin lopulliset muodot saatiin esille. Oikeanpuoleisen pitkittäispalkin aikaansaamiseksi vasemmanpuoleisen palkki peilattiin ZX-tason kautta. Peilaaminen voidaan suorittaa vain niille osille, jotka ovat symmetriset auton keskilinjan kanssa.

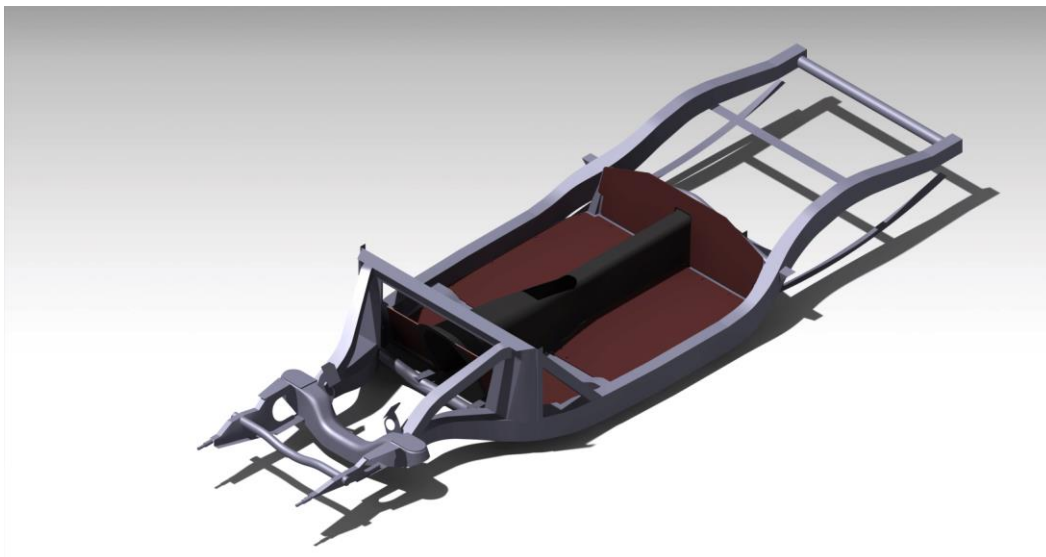
Pitkittäispalkkeihin ei haluta sähkökonversiomuutoksessa tehdä muutoksia, koska ne toimivat rakenteellisina osina autossa. Palkkien etäisyys toisistaan sekä niiden korkeus ovat tarkkoja suunnittelun kannalta, koska akkupaketit aiotaan sijoittaa niiden väliin. Tämän takia palkkien sijaintia verrattiin monesta kohdasta mittauksista saatuihin tuloksiin ja mallia korjattiin sen mukaan.



Kuva 6. Rungon pitkittäispalkit 3D-mallissa

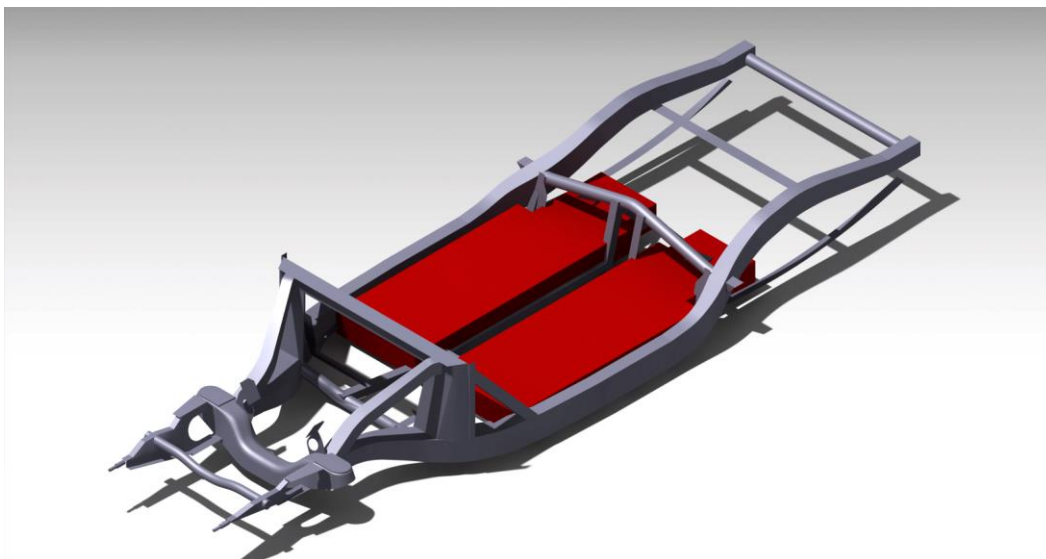
Toinen tärkeä alue auton rungosta on lattian sijainti. On tiedettävä miten lattia sekä keskitunneli tulevat kiinni rungossa oleviin tukipalkkeihin. Kyseistä aluetta joudutaan tulevaisuudessa muuttamaan akkupaketin takia, joten lattia-alueesta tehtiin oma geometrinen kokoelmansa. Lattian taso saatiin selville 3D-skannauksen sekä mittausten avulla. Kiinnityspalkkien profiilit saatiin tarkasti mittauksista ja niiden sijainnit 3D-skannauksesta. Vertailupisteinä käytettiin korjausoppaan antamia rungon suoruden mittaamiseen käytettäviä lähimpänä olevia referenssipisteitä [6, Section R.5]. Lähimpien pisteiden käyttö tarkoittaa kiinnityspalkkien sijaintia 3D-mallissa. 3D-skannauksen runkomalli saattaa heittää joltain osin, koska se on yhdistetty monesta eri skannauksesta. Tämän takia toisistaan kauempana olevien pisteiden vertailu ei ole välttämättä niin tarkkaa. Pisteiden kautta tehtiin viivat, jotka esittävät kiinnityspalkkien muotoja. Viivojen avulla tehtiin pintamallit. Kiinnityspalkkien sijainnin ja muodon tarkistukseen käytettiin MGA Guru -verkkosivustolta [9] saatuja lattian sekä keskitunnelin teknisiä piirustuksia (Liite 1; Liite 2). Piirustusten avulla myös lattiapaneeleista sekä keskitunnelista tehtiin 3D-mallit, jonka jälkeen ne liitettiin Frame-kokoonpanoon.

Rungon etu- ja takaosa mallinnettiin aiemmin mainittuja tekniikoita käyttäen. Lopuksi kaikki pintamallit, jotka autossa kuuluu olla symmetriset, peilattiin XY-tasosta, jolloin saatiin täydellinen 3D-pintamalli. Kyseiset pintamallit muunnettiin lopuksi tilavuusmalliksi. Pintamallin ja tilavuusmallin ero on se, että pintamallissa on vain pisteitä, viivoja ja pintoja. Tilavuusmallissa on myös ainevahvuus, joka kuvaa valmista tuotetta. Kuvassa 7 on valmis 3D-malli MGA:n rungosta alkuperäisen lattian sekä keskitunnelin kanssa.



Kuva 7. MG MGA:n rungon 3D-malli

3D-mallin valmistuttua pystyttiin luomaan akkupaketin vaatimasta tilasta tilamalli (kuva 8), jonka avulla pystytään tarkastelemaan, mahtuvatko kaikki komponentit halutuille paikoille. Tilamallin pohjalta alettiin suunnittelemaan akkumoduuleita sekä akkupaketin muotoa.



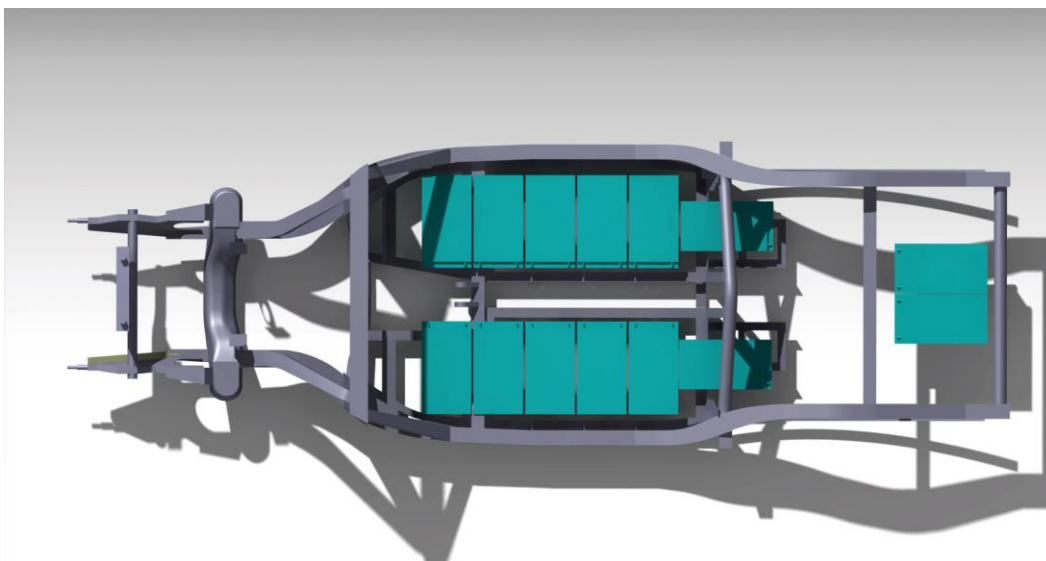
Kuva 8. Akkupakettien tilamalli (punaisella) soviteltuna runkoon

3.2 Akkumoduulit

Akkumoduuleita lähdettiin suunnittelemaan tilamallin sekä laskelmien pohjalta. Aluksi olisi tiedettävä tarvittava akkukapasiteetti, jonka avulla päästäisiin vähintään 150 km:n toimintasäteeseen. Triumph GT6:ssa laskennallinen toimintasäde oli 19 kWh:n akkukapasiteetilla noin 150 km, mutta käytännön testit osoittivat sen olevan noin 30 km arvioita lyhyempi. Tämä voi johtua akkujen jäähtysongelmista tai voimansiirrossa olevista häviöistä. GT6:ssa on myös alennusvaihte, joka suurentaa koko voimansiirron alennussuhdetta, kun taas MGA:n voimansiirto on ilman alennusvaihdetta. Arvioiden perusteella MGA:n akkukapasiteetin olisi oltava noin 22 kWh, jotta todellinen toimintasäde saataisiin haluttuun 150 kilometriin.

Mittaukseen saatuja akkumoduuleita täytyisi saada 12 kappaletta auton lattian alle. Mittausten perusteella tehtyä moduulin 3D-mallia soviteltiin kokoonpanossa auton rungon väliin. Sovittelun kautta selvisi, että MGA:n runko on liian pieni kyseisille moduuleille.

Tilamallin ja kennojen määrän avulla lähdettiin suunnittelemaan uusia akkumoduuleita, jotka sopisivat autoon paremmin jättäen hukkatilan mahdollisimman pieneksi. Uudet moduulit suunniteltiin laskemalla tarvittava akkukapasiteetti sekä kokeilemalla eri variaatioita kennojen järjestykselle. Parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui 200 x 362 mm:n kokoiset akkumoduulit, joiden avulla hukkatila saataisiin minimoitua lattian alla. Tässä otettiin myös huomioon akkupaketin rungon viemä tila. Kyseisten akkumoduulien korkeus on sama kuin mitatussa akkumoduulissakin, joka oli 88 mm korkea. Kennoja yhteen akkumoduuliin tulisi tällöin 168 kappaletta. Akkumoduulien määrä olisi 14 kappaletta, joista kaksi moduulia sijoitettaisiin alkuperäisen polttoainetankin tilalle auton takaosaan. Lattian alla olevat akkumoduulit sijoitettaisiin rungon molemmin puolin siten, että viisi ensimmäistä moduulia olisivat poikittain ja viimeinen moduuli tulisi pitkittäin myötäillen rungon kaarevuutta (kuva 9). Tällä kokoonpanolla akun kapasiteetti saataisiin 21,5 kWh:n suuruiseksi, joka on kiitettävä vapaana olevaan tilavuuteen nähden.



Kuva 9. Akkumoduulien sijainti autossa

Yksi akkumoduuli tulisi painamaan 12,5 kg, jolloin 14 akkumoduulia toisivat lisää painoa yhteensä noin 175 kg. Auton kokonaismassa kasvaisi hieman alle 100 kg, koska MGA:n alkuperäinen polttomoottoritekniikka painoi vain 200 kg. Painolaskelmissa otettiin myös huomioon auton keulalle tuleva sähköpaketti, joka sisältää laturin, DC/DC-muuntimen, vaihtosuuntaajan sekä korkeajännitejärjestelmään kuuluvat pienemmät ohjainyksiköt.

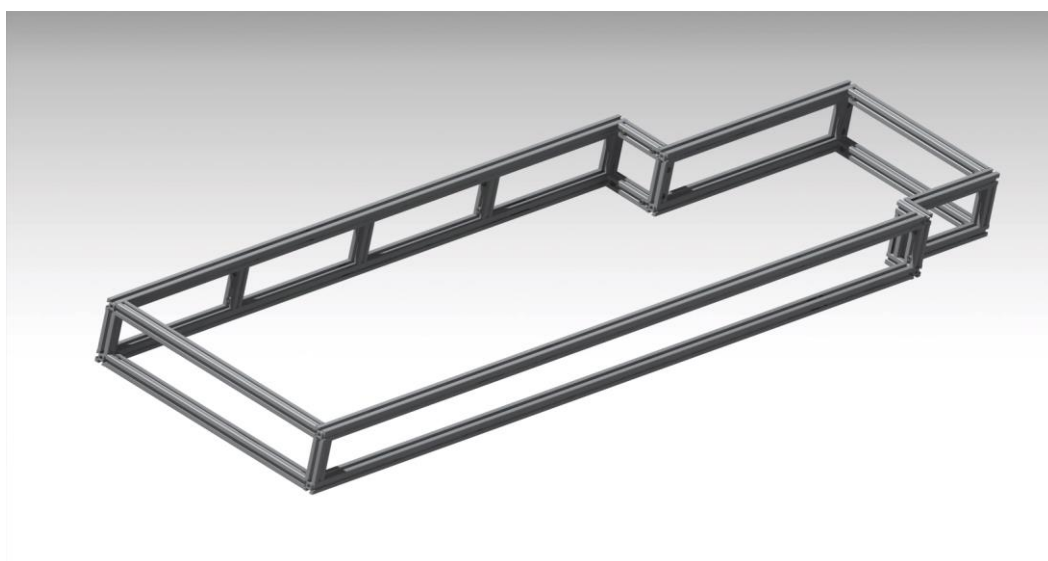
3.3 Akkupaketin rakenne

3.3.1 Runko

Akkupaketin täytyisi kantatella painavia akkumoduuleita suojaten niitä myös ulkoisilta tekijöiltä, kuten lialta ja kosteudelta. Se ei myöskään saisi muuttua muotoaan kovemmissakaan ajotilanteissa. Kuten aiemmin mainittiin, akkupakettia ei voida valmistaa alumiinilevyistä hitsaamalla huonon mittatarkkuuden vuoksi. Materiaalivaihtoehtoja tutkailtiin monelta eri kannalta. Tärkeinä valintakriteereinä olivat akkupaketin kestävyys, modulaarisuus ja valmistettavuus. Parhaaksi materiaaliksi osoittautui alumiiniprofiili sen modulaarisuuden, keveyden sekä rakenteellisten ominaisuuksien takia. Akkupaketin rungon suunnittelussa päätettiin käyttää Maytecin valmistamaa alumiiniprofiilijärjestelmää, josta 20 x 20 mm:n profiili olisi sopiva tähän käyttöön. Profiili veisi akkupaketista hieman enemmän tilaa, mutta sen tuomat kiinnitysmahdollisuudet sekä kestävyys

kompensoivat menetettyä tilaa. Alumiiniprofiilin kiinnitysuriin voidaan kiinnittää kaikki tarvittavat sähkökomponentit helposti ja tukevasti. [8]

Akkupaketin rungon suunnitteluun käytettiin ilmaista MAY-CAD-ohjelmistoa, joka on Maytecin oma mallinnusohjelma. Se sisältää kaikki Maytecin alumiiniprofiilijärjestelmän komponentit, joista on mahdollista mallintaa haluttu kokoonpano. Valmis 3D-malli liitettiin MGA-kokoonpanoon (kuva 10). Myös taimmainen akkupaketti mallinnettiin samalla tavalla. Kaksi akkumoduulia sisältävä paketti sijoitetaan alkuperäisen polttoainetankin tilalle.



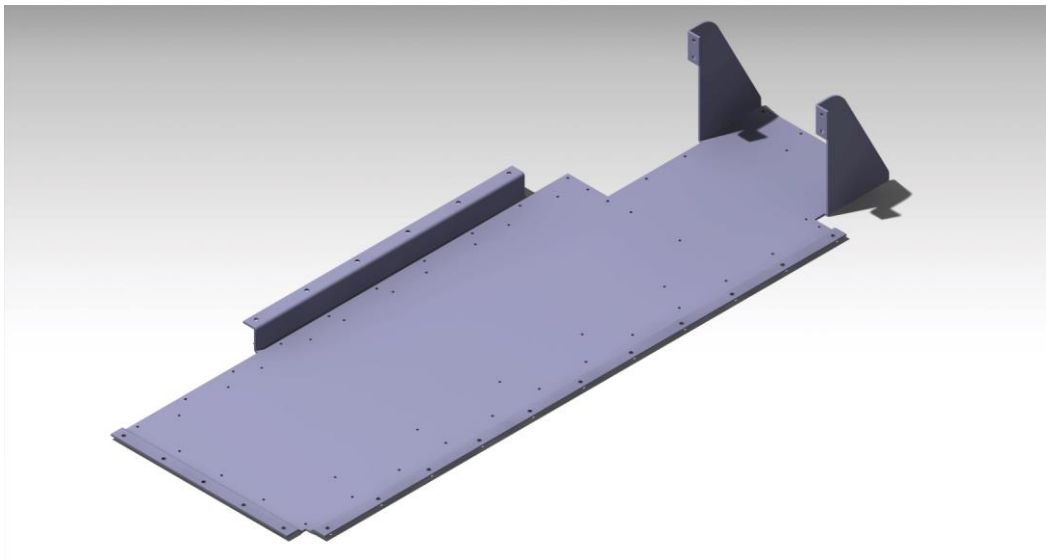
Kuva 10. Maytecin alumiiniprofiilirunko

Runko päätettiin suojata 2 mm:n paksuisilla alumiinilevyillä sen ominaisuuksien takia. Alumiinilevyistä tehtiin 3D-mallin, joista on helppo tehdä piirustukset valmistusta ajatellen. Levyt tullaan kiinnittämään profiilien kiinnitysuriin pulteilla, mikä vahvistaisi rakennetta entisestään.

3.3.2 Akkupaketin kiinnitys

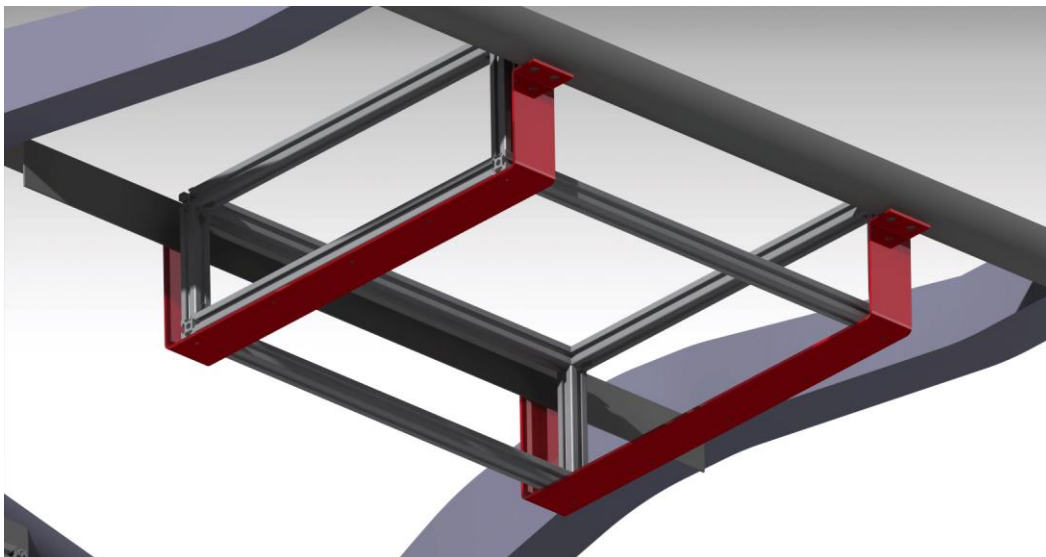
Rungon pohja suunniteltiin 4 mm:n paksuisista alumiinilevyistä. Alumiinilevyihin tulee särmätyt laipat, joista akkupaketit voidaan pultata auton runkoon kiinni. Nämä toimivat siis myös akkupaketin kiinnityslevynä (kuva 11). Akkumoduulit kiinnitetään kiinnityslevyn pulteilla sijoittamalla kumista vaimennusmateriaalia akkumoduulin sekä levyn vä-

liin. Tämä vaimentaa suurimmat värinät pidentäen akkumoduulien elinikää ja parantaen niiden toimintaa. Akkupakettien kiinnityksessä auton runkoon käytetään myös kumimattoa, joka vaimentaa suurimmat värähtelyt niiden välillä.



Kuva 11. Etummaisena akkupaketin kiinnityslevy

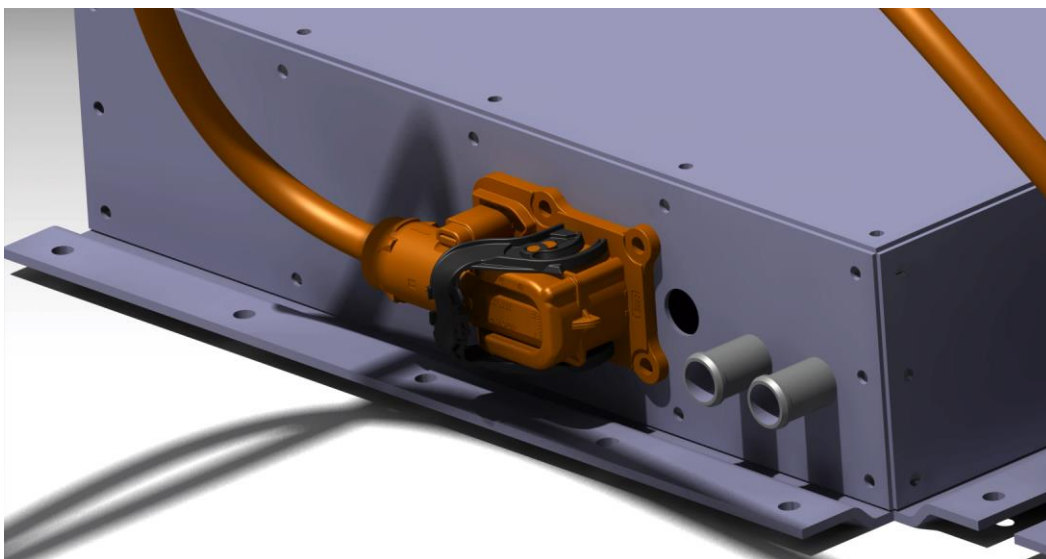
Taka-akkupaketin kiinnitys tulisi hieman alkuperäisen polttoainetankin tapaan runkoon kiinni. Akkupaketti siis roikkuu kahden taivutetun levyn varassa, jolloin sekin voidaan kiinnittää alapuolelta auton runkoon (kuva 12). Tarvittaessa kiinnityslevyihin voidaan hitsata vahvikkeita, jolloin ne kestäisivät paremmin pitkittäisvoimia.



Kuva 12. Taka-akkupaketin kiinnityslevyt

3.4 Johdot ja liittimet

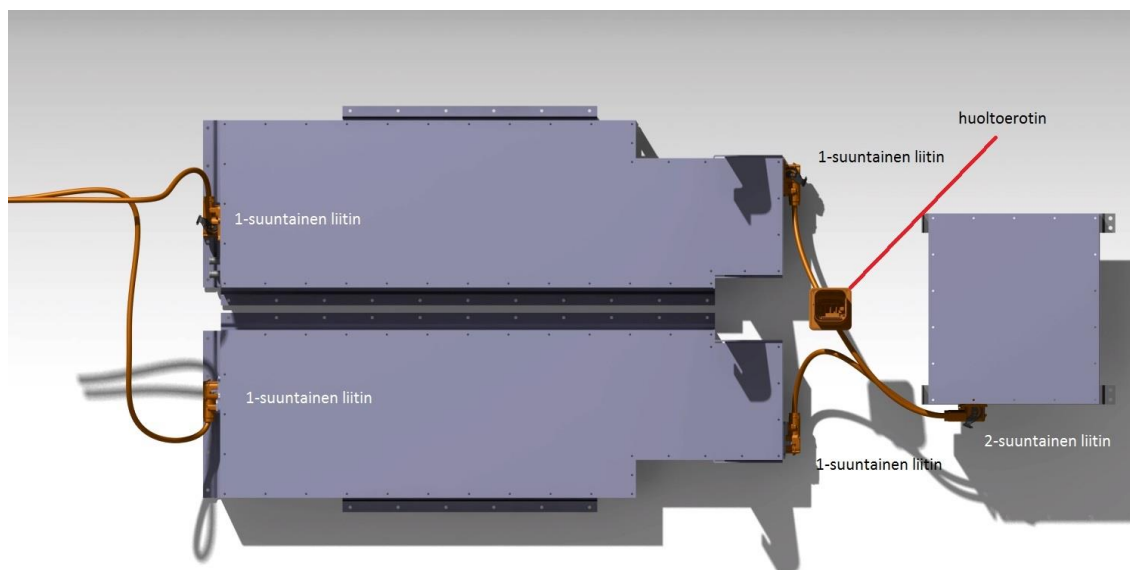
Johdotukset haluttiin toteuttaa siten, että akkupaketin ulkopuolelle jäisi mahdollisimman vähän liittimiä sekä johtoja, jotka jouduttaisiin suojaamaan ulkoisilta tekijöiltä, kuten kosteudelta, kolhuilta tai lialta. Akkupaketit pitäisi myös saada helposti irrotettua autosta, joten pikaliittimien käyttö on välttämätöntä. Akkupaketit liitetään sarjaan, jolloin virta kulkee kaikkien kolmen akkupaketin läpi palaten takaisin auton keulalle. Etummaisiiin akkupaketteihin tarvitaan siis yksisuuntaiset liittimet molempiin päihin. Taka-akkupakettiin puolestaan voidaan käyttää kaksisuuntaista liitintä, jolloin liitinten määrä saatiin pienennettyä. Pikaliittimiä etsittiin HVP-800- ja KHV-600-sarjoista, jotka ovat sähköautokäytössä yleisimmin käytettyjä pikaliittimiä. Akkupaketin korkeus rajoitti suurempien HVP-800-liittimien käyttöä, joten KHV-600-sarjan liittimistä valittiin yksi- ja kaksisuuntaiset liittimet (kuva 13). Kyseisen sarjan liittimiä valmistaa KOSTAL Kontakt Systeme GmbH.



Kuva 13. Kostal KHV-600 -sarjan liitin etummaisessa akkupaketissa

Sähköjärjestelmään tarvitaan myös huoltoerotin, joka on tänä päivänä oltava jokaisessa sähköautossa turvallisuussyistä. UNECE:n määräämä säädös numero 100 määrittää turvallisuusvaatimuksia M- tai N-luokan sähköajoneuvoille, jotka kulkevat yli 25 km/h [10, s. 5.]. Säädöksen mukaan kyseisissä ajoneuvoissa on oltava huoltoerotin, jonka avulla virransyöttö saadaan katkaistua korkeajänniteakun sekä muiden komponenttien väliltä [10, § 5.1.1.4].

Sopiva huoltoerotin löytyi myös edellä mainitulta valmistajalta. Se päätettiin liittää takakupaketin sekä oikeanpuoleisen akkupaketin väliin. Katkaisija tulisi tällöin takatavaratilaan, jolloin se olisi hyvin suojattuna. Akkupaketin liittimet ja huoltoerotin ovat esitelly kuvassa 14.



Kuva 14. Akkupaketin liittimet

3.5 Jäähdytys

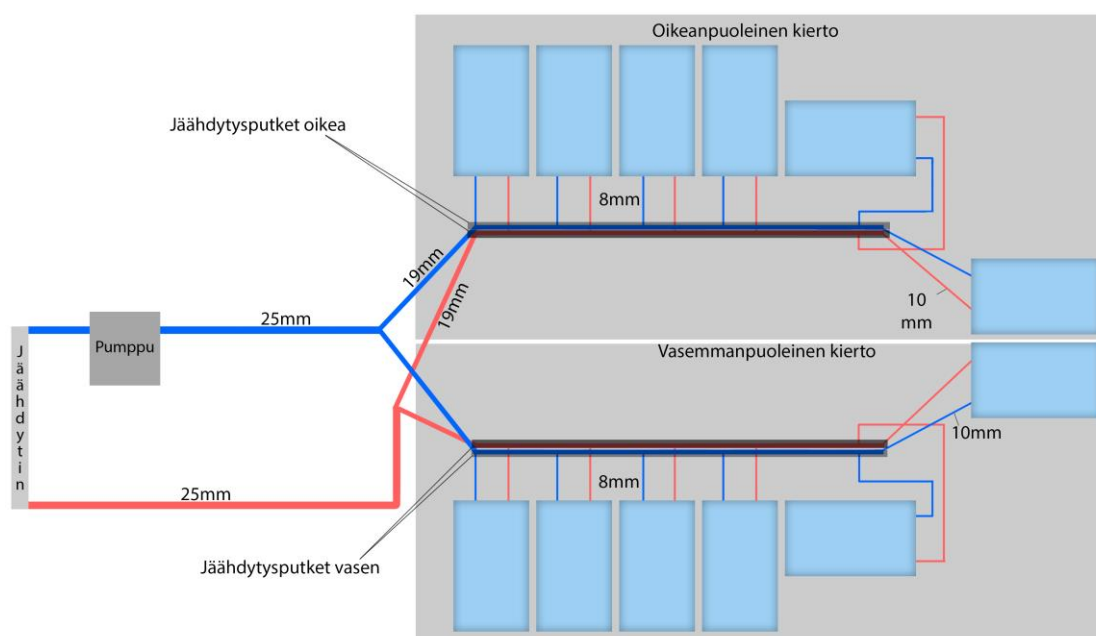
3.5.1 Yleistä

Jäähdytyksessä tulisi ottaa huomioon riittävä jäähdytysteho sekä painehäviöiden minimointi. Invenox-akkumoduulit ovat vesijäähdytteisiä. Moduulien toisessa päässä on 8mm sisään- ja ulostulot letkuille. Vesipumppuna käytetään EWP-29-mallista vesipumppua, jonka maksimituotto on jopa 80 litraa minuutissa. Pumpun tehoa on mahdollista ohjata sähköisesti, joten jäähdytysnesteen tuotto saadaan sovitettua testeillä sopivaksi. Pumpussa on 25,4 mm:n halkaisijan sisään- ja ulostulot jäähdytysletkuille. Akkumoduulit tulisi jäähdyttää Invenoxin mukaan vesi-glykoliseoksella.

Akkumoduulit liitetään jäähdytysjärjestelmään siten, että ne on kytketty rinnan. Sarjaan kytkettyinä lämpötilat jokaisessa moduulissa olisi erilainen, koska edellinen moduuli lämmittäisi jäähdytysnestettä seuraavaan moduuliin. Tämä loisi samanlaisen ongelman lämpötilojen kanssa kuin Triumph GT6:n kanssa oli todettu.

3.5.2 Jäähdytysreitit

Vesipumpulta lähtevä jäähdytyskanava jakautuu kahteen osaan jakaen vedenkierron oikeanpuoleiseen sekä vasemmanpuoleiseen kiertoon (kuva 15). Tämä tarkoittaa siis sitä, että oikeanpuoleisessa kierrossa jäähdytysneste menee oikean akkupaketin moduulien läpi ja taka-akkupaketin oikeanpuoleisen moduulin läpi. Vasemmanpuoleinen kierto kulkee yhtä monen akkumoduulin kautta käyden läpi vasemmanpuoleisen akkupaketin sekä taka-akkupaketin vasemman puoleisen akkumoduulin. Tämä ratkaisu auttaa pienentämään kennojen lämpötilaeroja, koska tällöin jäähdytysneste ei kierrä kaikkien moduulien läpi, jolloin viimeisimmät akkumoduulit saisivat jo valmiiksi lämpimämpää jäähdytysnestettä.



Kuva 15. Jäähdytysletkujen reitit ja koot

3.5.3 Virtaushäviöiden minimointi

Virtaushäviölaskut ovat todella monimutkaisia, kun lähdetään tarkastelemaan teoreettisesti jokaista kohtaa jäähdytysjärjestelmässä. Invenoxilta ei saatu tietoa akkumoduulien virtaushäviöistä, joten niiden laskeminen tulisi olemaan hankalaa. Korkeat virtaushäviöt jäähdytysjärjestelmässä johtavat suurempaan paineeseen letkuissa ja tätä kautta liitoskohtien sekä pumpun rasitukseen, eli mahdollisiin vuotoihin sekä jäähdytysnesteen lämpenemiseen. Suunnittelussa keskitytään minimoimaan kertahäviöt ja letkujen

mutkittelusta johtuvat virtaushäviöt. Kertahäviöt tarkoittavat erilaisten kuristusten vaikutusta tilavuusvirtaan ja paineeseen.

Liitoskohtien poikkileikkausten pinta-alojen eroista johtuvat virtaushäviöt vaikuttavat huomattavasti jäähdytysjärjestelmän toimintaan. Aluksi tarkasteltiin, voiko mahdollisesti vesipumpun ja akkumoduulien välille syntyä painehäviöitä tästä johtuen. Vesipumpun ulostulo on halkaisijaltaan 25,4 mm. Ympyrän pinta-alan kaavan avulla saadaan selville, että ulostulon poikkileikkauksen pinta-ala on $506,7 \text{ mm}^2$ [11, s. 18.].

Jokaiseen moduuliin tulevien letkujen poikkileikkausten pinta-alojen summa olisi oltava vähintään sama, kuin vesipumpulta lähtevän ulostulon halkaisijan pinta-ala. Moduuleita on 14 kappaletta, ja niissä on 8 mm halkaisijaltaan olevat sisääntulot. Näiden pinta-alat ovat yhteensä $703,7 \text{ mm}^2$.

Tästä voidaankin päätellä, että akkumoduulien liitosten ei pitäisi kuristaa ollenkaan veden virtausta. Niiden välille tulee kuitenkin muita liitoksia, jotka saattavat lisätä painetta jäähdytysjärjestelmään. Kuitenkin taka-akkupaketissa olevat akkumoduulit ovat kauempana muista moduuleista. Tämä saattaa haitata jäähdytysnesteen kulkua heikentäen akkumoduulien jäähdytystä. Tarvittavan jäähdytysnesteen tuotto varmistettiin käyttämällä 10 mm halkaisijaltaan olevia jäähdytysletkuja taka-akkupakettiin.

Vesipumpulta tuleva 25 mm sisähalkaisijaltaan oleva letku jakautuu kahdeksi pienemmäksi letkuksi y-haaralla ennen etummaisista akkupaketteja. Tälle välille sopiva letkun halkaisija olisi 19 mm, jolloin haara vastustaisi virtausta mahdollisimman vähän.

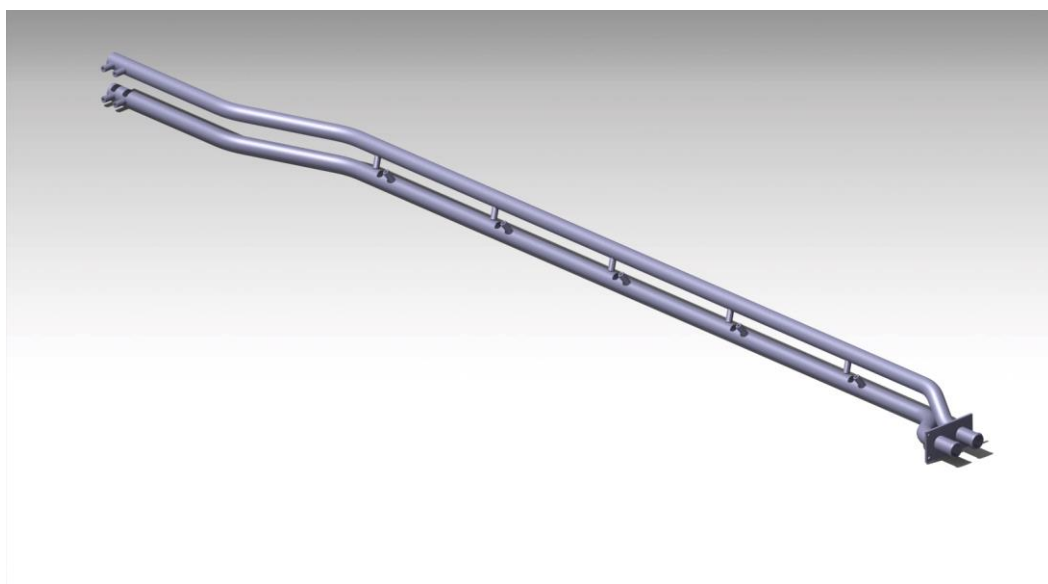
3.5.4 Jäähdytysputket

Akkupaketit tarvitsevat putket, jotka jakaisivat pumpulta tulevan jäähdytysnesteen tasaisesti jokaiseen moduuliin. Tässä tapauksessa putkia tulisi oikeaan sekä vasempaan vesikiertoon meno- ja paluukiertoon. Jäähdytysputket tulevat etummaisten akkupakettien sisälle, jolloin ulkopuoliset liitokset saataisiin minimoitua helpottaen akkupakettien asennusta autoon. Niiden materiaaliksi valittiin alumiini korroosionkestävyyden, hitsattavuuden sekä keveyden takia. Alumiinin johtaa myös hyvin lämpöä. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää hyödyksi siirtämällä paluuputkeen siirtynyt lämpöenergia akkupakettien seiniin ja sitä kautta ulkoilmaan.

Putken seinämävahvuuden pitäisi olla 1,5 mm, koska ohuempi putki olisi liian herkkä muodonmuutoksille sitä hitsattaessa. Akkupakettiin jäävästä rajallisesta tilasta johtuen jakoputkien halkaisija voi olla maksimissaan 19 mm. Kyseisellä halkaisijalla poikkileikkausten pinta-ala olisi 402 mm², mikä kuristaa hieman virtausta. Tämä ei kuitenkaan pitäisi olla suuri ongelma, koska vesi-glykoliseoksella viskositeetti on hyvin alhainen.

Jäähdytysputki joutuu tekemään mutkia akkupaketin sisällä tilanpuutteen vuoksi. 19 mm:n alumiiniprofiilia on mahdollista taivuttaa 40 mm keskilinjan taivutussäteellä. Tätä jouduttiin käyttämään akkupaketin keulalla akkumoduulien ja alumiiniprofiilien jättämän tilan takia (kuva 16).

Ainoaksi ongelmaksi koitui sopivien letkuliittimien löytäminen. Liittimien pitäisi olla alumiinisia, jotta ne voitaisiin hitsata putkeen kiinni. Tämän takia 8 mm:n, 10 mm:n ja 19 mm:n letkuliittimet päätettiin koneistaa. Letkuliittimien tekeminen ei tulisi olemaan ongelma, koska yksinkertaisen rakenteen takia ne voidaan sorvata nopeasti.



Kuva 16. Oikeanpuoleisen kierron jäähdytysputket

3.5.5 Jäähdytin

Jäähdytin

Akkupaketit eivät vaadi kovinkaan suurta jäähdytystehoa, joten jäähdyttimeksi kelpaa pienikokoinen yleismallinen öljynjäähdytin. Jäähdytykseen päätettiin käyttää Ebaystä saatavaa öljynjäähdytintä, joka on kooltaan 329 x 125 x 50 mm. Jäähdytystehoon vaikuttaa jäähdyttimen läpi virtaava ilmamäärä. Tämän takia jäähdytin sijoitetaan auton keulan etusäleikön taakse poikittain.

3.5.6 Paisuntasäiliö

Jäähdytysjärjestelmä on suljettu järjestelmä, jossa paine nousee jäähdytysnesteen lämpötilan kasvaessa. Paisuntasäiliö toimii jäähdytysjärjestelmän huohottimena, joka antaa jäähdytysnesteen laajentua. Säiliö on tämän takia sijoitettava jäähdytysjärjestelmän korkeimpaan kohtaan. Sopiva alumiininen paisuntasäiliö löytyi Ebaystä kautta. Kyseisessä säiliössä on myös korkki, jota voidaan käyttää jäähdytysjärjestelmän täyttöön. Tämän takia paisuntasäiliö sijoitetaan auton moottoritilassa korkealle ja helposti käytettävään paikkaan auton sähköpaketin kylkeen.

3.5.7 Jäähdytysletkut ja liittimet

Jäähdytysletkut mallinnettiin englantilaisen autotarvikeliikkeen APMotorstoren valikoimasta löytyvillä värillisillä silikonisilla jäähdytysletkuilla, jotka kestävät lämpötilanvaihteluita -60 celsiusasteesta +180 celsiusasteeseen. Kyseiset letkut on tarkoitettu moniin tarkoituksiin kuten esimerkiksi moottorin läheisyydessä oleviin paineistettuihin järjestelmiin ja vesijäähdytysletkuiksi. Letkujen pituudet sekä niiden tekemät mutkat pyrittiin minimoimaan. Autossa on kaksi vesikiertoa; toinen akkupaketille ja toinen muille sähkökomponenteille. Akkupaketille valittiin väriksi sininen.

Vesipumpun jälkeen joudutaan käyttämään y-haaraa, joka jakaa jäähdytysnesteen tasaisesti molempiin akkupaketteihin. Y-haara suunniteltiin siten, että siihen voidaan kiinnittää myös jäähdytysnesteen lämpötila-anturi. Tämän takia nämä osat joudutaan valmistamaan itse. Myös läpiviennit etu- ja taka-akkupakettien välille päätettiin valmistaa itse, koska sopivia läpivientejä ei mikään valmistaja tarjonnut.

3.6 Auton rungon muutokset

MGA:n runkoa joudutaan muokkaamaan niin lattian kuin poikittaispalkkienkin osalta, koska muuten akkupaketeista ei olisi saatu tarpeeksi suuria tarvittavalle akkukapasiteetille. Myös akkupaketit pitäisi saada pultattua runkoon kiinni. Kiinnityspalkit suunniteltiin siten, että ne kannattelevat akkupaketteja sekä tukevat auton runkoa. Suuriin pitkittäispalkkeihin ei haluttu koskea, koska ne ovat rakenteellisesti tärkeimpiä palkkeja koko autossa. Poistettavat palkit näkyvät kuvassa 17.

Auton rungosta poistettiin keskimäinen poikittaispalkki, jotta akkupaketti mahtuisi olemaan lattian alla. Poikittaispalkki sijaitsee jalkatilan ja penkin välissä (kuva 17). Tämä tarkoittaa sitä, että se pitäisi korvata toisella palkilla, koska rungon jäykkyys ei saisi kärsiä ollenkaan. Palkkia on siirrettävä eteenpäin, jotta akkupaketti mahtuisi takaiskuvaimentimien sekä perän etupuolelle. Palkin profiiliksi valittiin u-profiili, koska akkupakettien etuosaan tulevat sähkö- ja vesiliittimet joudutaan tuomaan palkin läpi. Siihen arvioidaan kohdistuvan maksimissaan 300 kg:n voima, joka koostuu siihen pultattavista akkupaketeista sekä kuljettajasta ja matkustajasta. Sen ei haluta taipuvan ääritilanteessa keskeltä 2 mm:ä enempää. Palkin taipuman laskennassa oletetaan, että paino jakautuu tasaisesti koko palkin matkalle.

Laskennassa käytettiin kaavaa kaksitukisen palkin taipumasta tasaisella kuormalla [11, s. 148]. Sopivimmaksi u-palkiksi todettiin paksuudeltaan 3 mm oleva 100 x 50 mm:n kokoinen profiili. Palkin jäyhyysmomentti laskettiin sen poikkileikkauksesta soveltamalla suorakulmion jäyhyysmomentin kaavaa [11, s. 144]. Taipuma keskellä kyseisellä palkilla on tällöin 1,62 mm.

$$f_m = \frac{5}{384} \frac{Fl^4}{EI}$$

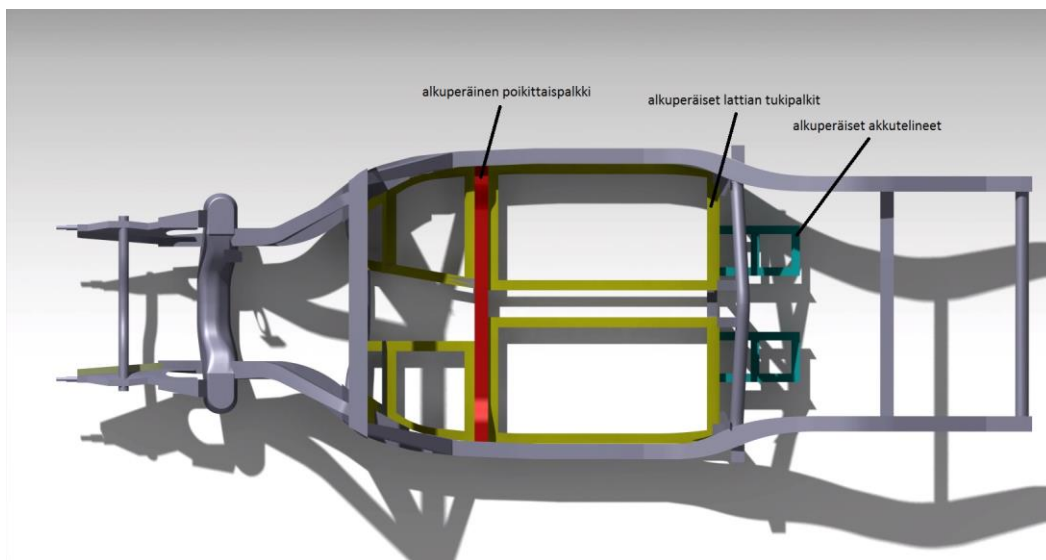
F on palkkiin kohdistuva voima (N/mm²)

l on palkin pituus (mm)

E on teräksen kimmomoduuli (N/mm²)

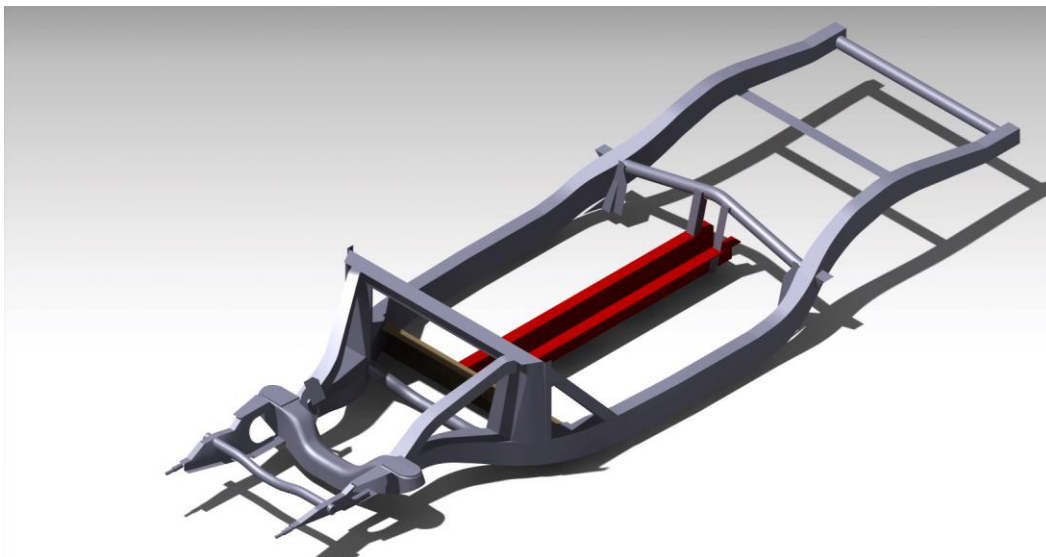
I on Palkin jäyhyysmomentti (mm⁴)

Poikittaispalkkiin suunniteltiin myös aukot jäähdytykselle sekä sähköliittimille. Aukkojen pitäisi olla tarpeeksi pienet, jotta palkin jäykkyys ei heikkenisi. Aukot suunniteltiin sen kokoiseksi, että akkupaketit saataisiin asennettua auton runkoon liittimien ollessa jo kiinni akkupaketissa.



Kuva 17. Rungosta poistettavat palkit

Pitkittäispalkit (kuva 18) rungon keskikohdassa valittiin z-profiileiksi, jotka yhdistetään hitsaamalla toisiinsa. Tällöin saadaan lisää jäykkyyttä sekä tunneli, joka erottaa kardaniakselin ja akkupaketit toisistaan. Pitkittäispalkille laskettiin maksimitaipuma samalla tavalla kuin poikittaispalkillekin. Suurin mahdollinen taipuma tulisi olemaan 2 mm:n seinämävahvuiselle profiilille 1,89 mm keskeltä, mikä pysyy toivottujen rajoitusten sisällä.



Kuva 18. Pitkittäispalkit merkitty punaisella

Akkupaketin kiinnitys suunniteltiin siten, että se pultataan auton alapuolelta runkoon kiinni. Kiinnitykseen päätettiin käyttää niittimuttereita. Niittimuttereita on hyödyllistä käyttää tilanteissa, joissa pultin ja mutterin käyttö on mahdotonta esimerkiksi suljetun profiilin takia. Niittimutteri takaa kiinnityksen kestävyuden ja se on myös nopea asentaa. Akkupaketin kiinnitykseen niittimutterit ovat tässä tapauksessa välttämättömiä. Asennus tapahtuu siten, että mutterille porataan reikä haluamaan kohtaan. Mutteri työnnetään reikään, minkä jälkeen se puristetaan asennustyökalun avulla kasaan, jolloin se kiinnittyy levyyn. Tämän jälkeen niittimutteri on käyttövalmis. [12, s. 18.]

4 Valmistus

Valmistukseen oli varattava riittävästi aikaa, koska mahdolliset 3D-skannauksesta johtuvat mittaepätarkkuudet saattavat aiheuttaa ongelmia. Myös akkumoduulien toimitusaika pidentyi niihin tulevien muutosten myötä, minkä takia akkupakettia ei ehditty valmistaa kokonaan.

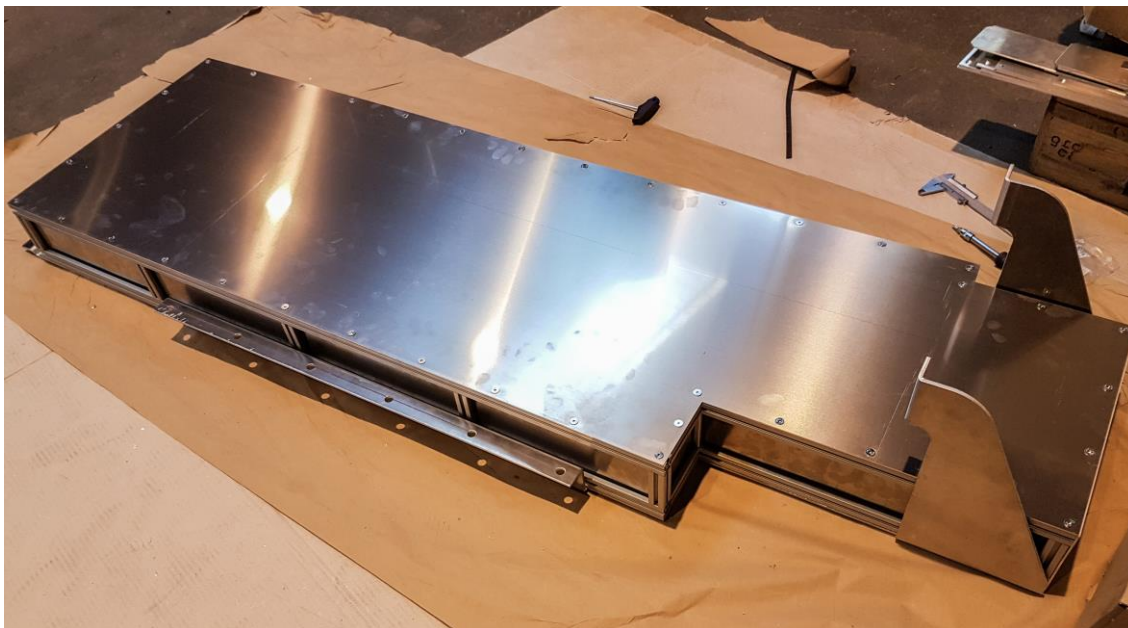
4.1 Akkupaketin runko ja alumiinilevyt

Akkupaketin runko päätettiin tilata SKS Mekaniikka Oy:stä, joka toimittaa Maytecin alumiiniprofiilit määrämittaan leikattuina [13]. Toimitusaikojen kanssa tuli kuitenkin ongelmia, joten profiilit tilattiin Item Profiili Oy:stä [14]. Kyseinen yritys on Item-merkkisen alumiiniprofiilijärjestelmän maahantuojana. Item alumiiniprofiilit eivät juuri eroa Maytec-profiileista muuten kuin kiinnitystapansa takia. Tämä ei siis vaikuta akkupakettien rakenteeseen eikä muotoon.

Akkupaketin suojalevyt ja kiinnityslevyt päätettiin laserleikkauttaa niissä olevien kiinnitysreikien takia. Laserleikkaus vähentää työtä reikien poraamisen suhteen ja sen avulla saadaan mittatarkempi lopputulos. Alumiinilevyt tilattiin Keravan Teräsmiehet Oy:stä, joka on Suomen suurimpia laserleikkausta tarjoavia yrityksiä. Kiinnityslevyn särmäys tilattiin samalta yritykseltä, koska särmätyjen reunojen on oltava mahdollisimman tarkat kiinnitysreikien sijainnin ja akkupaketin korkeuden takia. Kaikki akkupaketin suojalevyt sekä pohjan kiinnityslevy tallennettiin dfx-muodossa laserleikkausta varten. Myös kiinnityslevyn tarvittavat särmien mitat merkittiin piirustuksiin.

Kun kaikki tarvittavat osat olivat saapuneet, akkupaketin rungon kokoonpano alkoi alumiiniprofiileista. Profiilien kiinnitysratkaisun ansiosta rungon kokoonpanossa ei mennyt kauaa. Myös mittatarkkuus säilyi olemattomana tarkasti leikattujen profiilien ansiosta.

Runkoon pultattaviin alumiinilevyihin jouduttiin tekemään senkkaukset uppokoloruuveille, koska laserleikkauksessa sitä ei ollut mahdollista tehdä. Levyt pultattiin alumiiniprofiilien mukana tulleilla uramuttereilla, jotka asetetaan profiilin kiinnitysuriin. Mutterien asettelu oikealle kohdalle vei aikaa, mutta lopputulos oli suunnitelmien mukainen (kuva 19).



Kuva 19. Etummainen akkupaketin runko suojalevyineen

4.2 Akkumoduulit sekä liittimet

Akkumoduulien tilaus viivästyivät todella paljon, koska Invenoxiin ei saanut yhteyttä yli kuukauteen lomakaudesta johtuen. Lopulliset muutokset akkumoduuleille tehtiin tämän takia juuri ennen valmistuksen alkamista. Tilaus saatiin kuitenkin tehtyä, mutta toimitusajasta johtuen niitä ei saatu tarpeeksi ajoissa, jotta moduulit olisivat ehtineet esittelytilaisuuteen. Kaikki tarvittavat sähköliittimet tilattiin Englantilaisesta Frost EV Parts -yrityksestä, mikä tarjoaa sähkö- ja hybridautoihin korkeajännitekomponentteja [15].

4.3 Jäähdytys

Akkupaketin tilanpuutteesta johtuen jäähdytykselle oli keksittävä toisenlainen ratkaisu. Suunnitellulla järjestelmällä akkumoduulien sekä jäähdytysputkien letkuliittimet tulisivat aivan liian lähelle toisiaan, jolloin 8 mm:n paksuisia letkuja olisi mahdoton saada liitettyä niiden väliin. Myös letkuliittimien hitsaus alumiinista tuotti ongelmia. Uudet jäähdytysputket päätettiin valmistaa kuparista, jota on helppo juottaa yhteen. Kupariputket sijaitsevat täysin samalla kohdalla, kuin alumiiniputket 3D-mallissa. Liittimet tulisivat

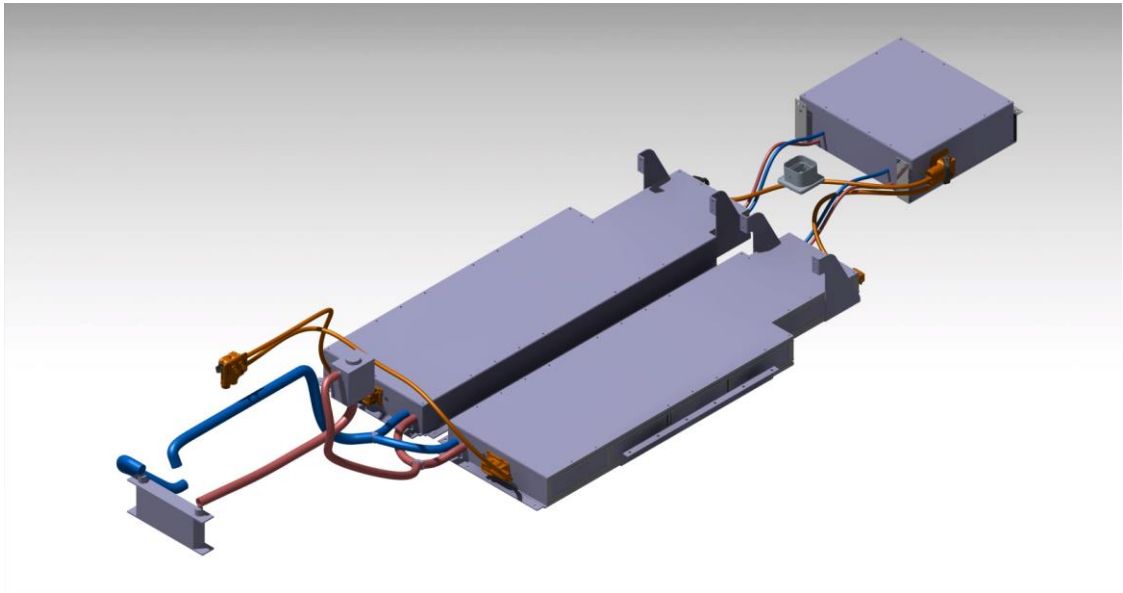
kuitenkin enemmän sivuun akkumoduulien liittimistä, jolloin letkut saavat enemmän tilaa taipua sekä niiden asentaminen helpottuisi.

4.4 Auton rungon muutokset

Auton rungosta ei tullut samanlaista kuin 3D-mallissa, koska autoon päätettiin asentaa täysin erilainen alustasarja opinnäytetyön tilaajan toimesta. Tästä johtuen akkupakettia ei saatu sijoitettua niin taakse kuin oli suunniteltu. Auton runkoa jouduttiin muokkaamaan siten, että etummaisena poikkipalkin sijainti muuttui noin 50 mm eteenpäin. Auton rungon alkuperäisiin pitkittäispalkkeihin jouduttiin tekemään muutoksia, jotka saattavat vaikuttaa sen rakenteeseen heikentävästi. Kyseisiä muutoksia haluttiin välttää koko suunnitteluprosessin ajan, mutta vaihtoehtona ei ollut enää muuttaa akkupakettien muotoa. Muutoksen vuoksi myös akkupaketin takakiinnitykselle täytyi tehdä pieniä muutoksia, jotta se saataisiin kiinnitettyä auton runkoon. Akkupaketit saatiin kuitenkin autoon kiinni heikentämättä rungon rakennetta merkittävästi eikä akkupaketteihin tarvinnut tehdä muutoksia.

5 Lopullinen tuote ja johtopäätökset

Suunnitteluvaiheen tuloksena saatiin täydellinen 3D-malli MG MGA:n akkupaketista (kuva 20). Suunnittelun kannalta päästiin kaikkiin tavoitteisiin, mutta todelliset akkupaketin vaatimukset huollettavuuden, jäähdytyksen ja rakenteellisten ominaisuuksien kannalta voidaan testata vasta akkupaketin valmistuttua.



Kuva 20. Lopullinen 3D-malli akkupaketista

Akkumoduulien toimitusajasta johtuen valmistuksen osalta saatiin valmiiksi vain akkupakettien rungot. MG MGA:n rullaava runko esiteltiin Vantaalla auton esittelytilaisuudessa. Auton runkoon oli asennettu keulan sähköpaketti, sähkömoottori sekä voimansiirto ja akkupaketit (kuva 21).



Kuva 21. MG MGA:n rullaava runko

5.1 Ongelmakohdat

Sähköauton akkupaketoinnin suunnittelu on pitkä ja monipuolinen prosessi. Erittäin hyvistä lähtökohdista huolimatta suunnitteluprosessi vei huomattavasti enemmän aikaa kuin sille oli varattu. Suurin haaste oli saada mahdutettua tarvittava kennomäärä pieniin akkupaketteihin, joiden sisälle pitäisi vielä mahtua jäähdytysjärjestelmä sekä tarvittavat akkujen ohjausjärjestelmän komponentit.

Ilman ongelmia suunnitteluvaiheessa ei selvitty. 3D-mallin luonnissa ei otettu täysin huomioon rungon suoruutta. Rungon suoruus tarkastettiin 3D-skannauksesta, mutta mallinnuksen aikana pitkittäispalkkien peilaaminen loi 3D-mallista täysin symmetrisen ZX-tasoon (auton keskilinja pitkittäissuunnassa) nähden. Tästä johtuen pitkittäispalkkien etäisyys toisistaan ei ollut täysin sama kuin oikeassa rungossa. Onneksi auton runko oli todellisuudessa leveämpi kuin 3D-mallissa, joten tilaa oli enemmän akkupaketeille. 3D-skannaukseen olisi myös pitänyt käyttää tarkoitukseen suunniteltua Creafom Handyscan 3D-skanneria paremman mittatarkkuuden aikaansaamiseksi.

5.2 Jatkotoimenpiteet

Akkumoduulien saavuttua on aika valmistaa akkupaketit siihen pisteeseen, että jäähdytysjärjestelmää voidaan testata. Testauksen jälkeen on hyvä tarkistaa vuotokohdat, mitkä yleensä sijaitsevat liitoskohdissa. Jäähdytysjärjestelmän optimointia ajatellen olisi mitattava akkumoduulin jäähdytyskanavien tuottamat painehäviöt, jotta jäähdytysjärjestelmän kokonaispainehäviöt olisi mahdollista laskea tarkasti. Tämä helpottaisi oikeiden jäähdytyskomponenttien, kuten vesipumpun, valintaa tulevaisuudessa.

Jos akkumoduulit eivät jäähdy tasaisesti, vika saattaa johtua pitkästä jäähdytysputkesta. Jokaisen aineen kuten alumiiniputken seinien ja vesi-glykoliseoksen välillä on kitkaa. Kitkan aiheuttama virtausnopeuden aleneminen saattaa aiheuttaa sen, että viimeisiin akkumoduuleihin ei pääse yhtä paljon jäähdytysnestettä. Myös erilaisista haaroista johtuvat kertavastukset vaikuttavat putken loppuosan virtausnopeuteen. Tällöin akkumoduulit eivät jäähdy tasaisesti. Jos kyseinen ongelma syntyy, olisi hyvä miettiä akkumoduuleihin menevien haarojen kuristusta. Kuristus voidaan hoitaa joko säädettävillä venttiileillä tai haarojen putken halkaisijan muutoksilla. [16]

Valmiiden akkupakettien asentaminen autoon saattaa tuottaa vaikeuksia niiden suuren massan takia. Akkupaketit täytyisi saada nostettua auton alapuolelta, jonka jälkeen se pultataan runkoon kiinni. Nostamiseen joutuu todennäköisesti käyttämään tarkoitukseen valmistettuja nostokannakkeita, jolloin sen nostamiseen voidaan käyttää hallinstoreita tai muita vastaavia apuvälineitä.

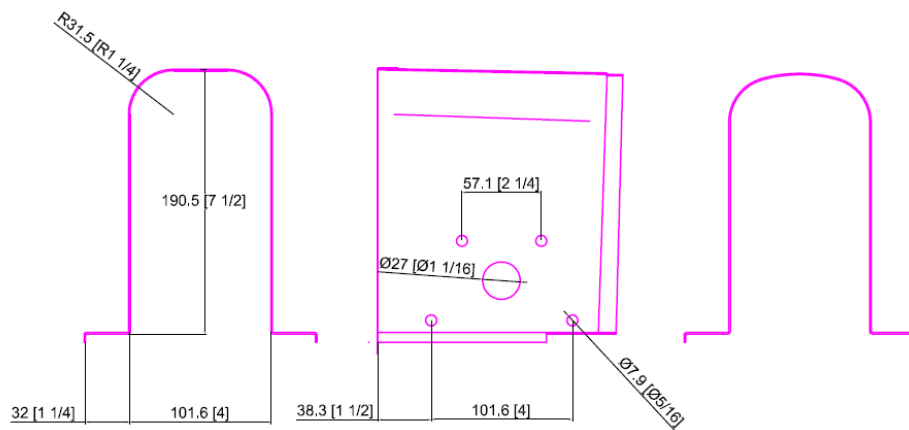
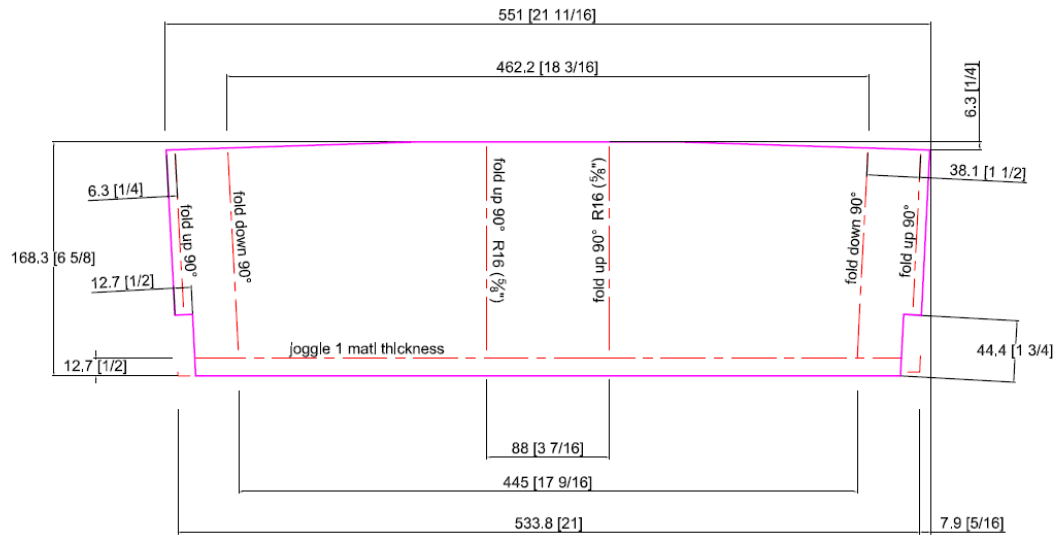
Auton ollessa ajokunnossa, voidaan akkupakettien toimintaa testata käytännön testeillä normaaleissa ajotilanteissa. Käyttötestien perusteella voidaan löytää uusia kehityskohteita, sillä suunnitteluprosessin aikana ei aina ole mahdollista paikantaa tuotteen kaikkia heikkouksia.

Lähteet

- 1 E-Drive Retro. 2016. Verkkodokumentti. E-Drive Retro. <<http://e-driveretro.com>>. Luettu 20.9.2016.
- 2 Types of Battery Cells. 2017. Verkkodokumentti. Battery University. <http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells>. Luettu 07.02.2017.
- 3 Invenox. 2014. Verkkodokumentti. Invenox. <<https://www.invenox.de/?lang=en>>. Luettu 19.11.2016.
- 4 Santaluoto, Olli. 2012. Opinnäytetyö: 3D-skannaukseen perehtyminen. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/45691/3D-skannaukseen+perehtyminen.pdf?sequence=1>>.
- 5 Abdil, Kus. 2009. Implementation of 3D Optical Scanning Technology for Automotive Applications. Verkkootikkeli. MPDI. <<http://www.mdpi.com/1424-8220/9/3/1967/htm>>. Luettu 25.9.2016.
- 6 Creafom Handyscan 3D. 2016. Verkkodokumentti. Creafom. <<http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/portable-3d-scanner-handyscan-3d>>. Luettu 20.9.2016.
- 7 3D scanners: Specifications. 2016. Verkkodokumentti. Artec. <<https://www.artec3d.com/3d-scanner/artec-eva#specifications>>. Luettu 20.9.2016
- 8 The MG Series MGA Workshop Manual Mk II. 1958. Cobham: Brooklands Books Ltd.
- 9 MGA Guru. 2015. Verkkodokumentti. MGA Guru. <<http://mgaguru.com/>>. Luettu 07.02.2017.
- 10 UNECE UN Vehicle Regulation No. 100. Verkkodokumentti. UNECE. <<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R100r2e.pdf>>. Luettu 20.01.2017.
- 11 Mäkelä, Mikko. Soininen, Lauri. Tuomola, Seppo & Öistämö, Juhani. 2013. Tekniikan kaavasto. Tampere: Amk-Kustannus Oy.
- 12 Würth tuotekuvasto: Vetoniitit ja Niittimutterit. Verkkodokumentti. Würth Oy. <http://www.wurth.fi/wurth_tuotekuvasto/2_Vetoniitit/files/assets/common/downloads/publication.pdf> . Luettu 10.11.2016.

- 13 Maytec-alumiiniprofiilit. 2016. Verkkodokumentti. SKS-Mekaniikka Oy.
<http://www.sks.fi/www/_alumiiniprofiilijarjestelmat&id=Maytec_alumiiniprofiilit> .
Luettu 20.7.2016.
- 14 Item Alumiiniprofiilit. Verkkodokumentti. Item Profiili Oy.
<http://www.itemprofiili.fi/sida5_fi.html> . Luettu 17.8.2016.
- 15 Connectors. Verkkodokumentti. Frost EV Parts.
<<http://www.frostevparts.co.uk/connectors>>. Luettu 20.9.2016.
- 16 Putkivirtaus. 2009. Verkkodokumentti. Metropolia Wiki.
<<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus>>. Luettu
08.02.2017.

Keskitunnelin tekniset piirustukset



Lattiapaneelien tekniset piirustukset

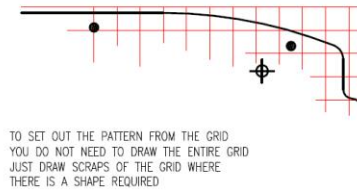
GRID - 1" SQUARES

- HOLE FOR FIXING SCREW
THE LOCATION OF THESE ARE NOT DIMENSIONED AS THEY SEEM TO VARY ON INDIVIDUAL CARS. TRANSFER EXISTING HOLES IN SUPPORT RAILS TO NEW FLOORBOARDS WITH A DRILL OR TRANSFER PUNCH FROM UNDERSIDE. LOCATE NEW HOLES VISUALLY FROM THE PLANS

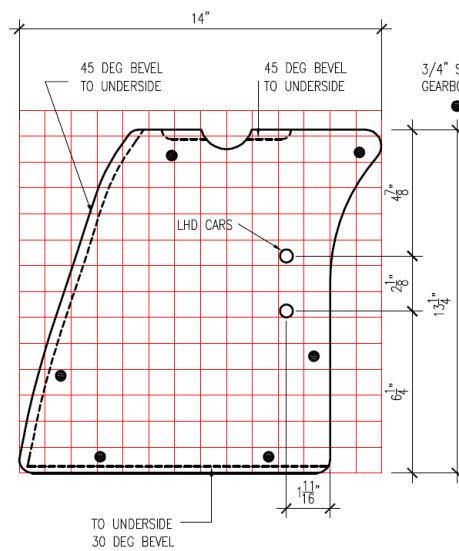
- ⊕ HOLE FOR SEAT SLIDE BOLT

- ⊙ CARPET STUDS

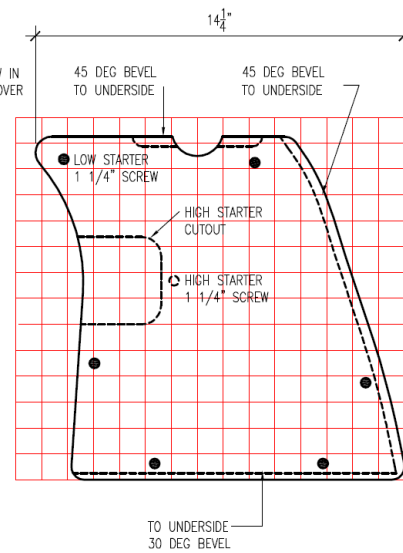
PRINT THESE AT 1:1 ON LETTERSIZE PAPER FOR 1/4" SIZE PRINTS AND TRANSFER THE INFORMATION BY HAND OR HAVE A PRINTSHOP PRINT PAGES 2 TO 6 AT 400% FOR FULLSIZE PATTERNS. FULLSIZE PRINTS WILL BE 34"x44"



P.1

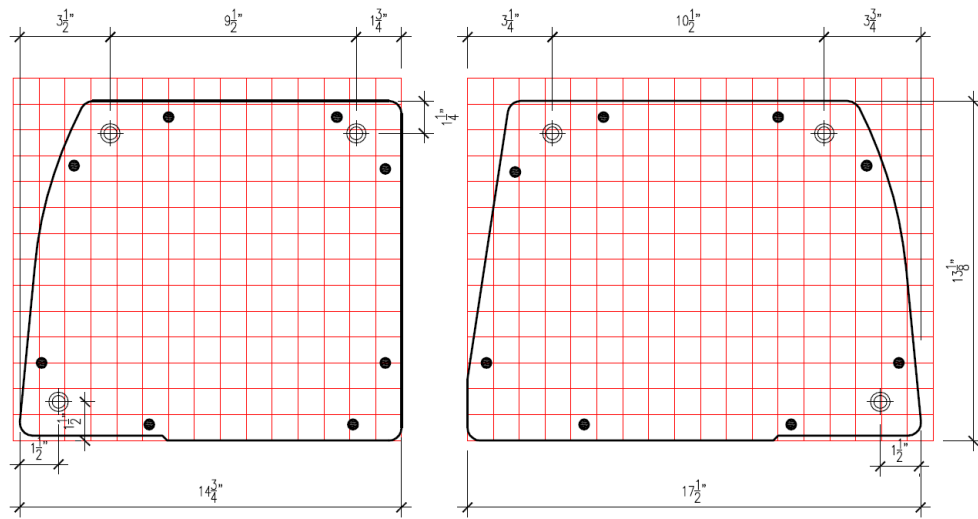


TOEBOARD-FRONT-L.H.



TOEBOARD-FRONT-R.H.

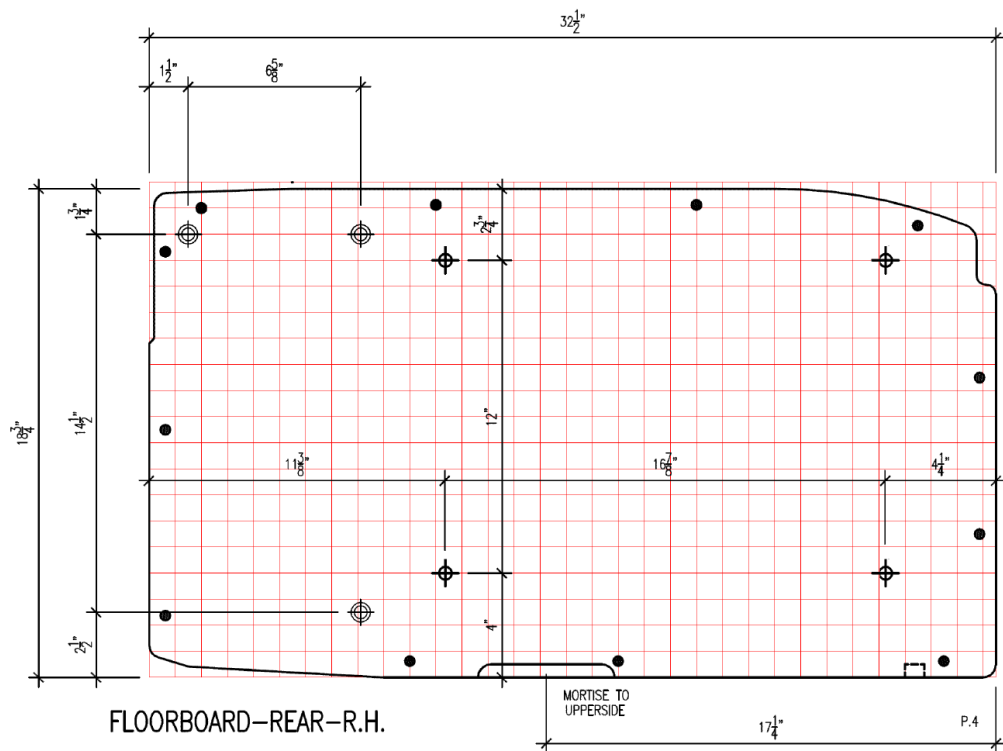
P.2



FLOORBOARD-FRONT-L.H.

FLOORBOARD-FRONT-R.H.

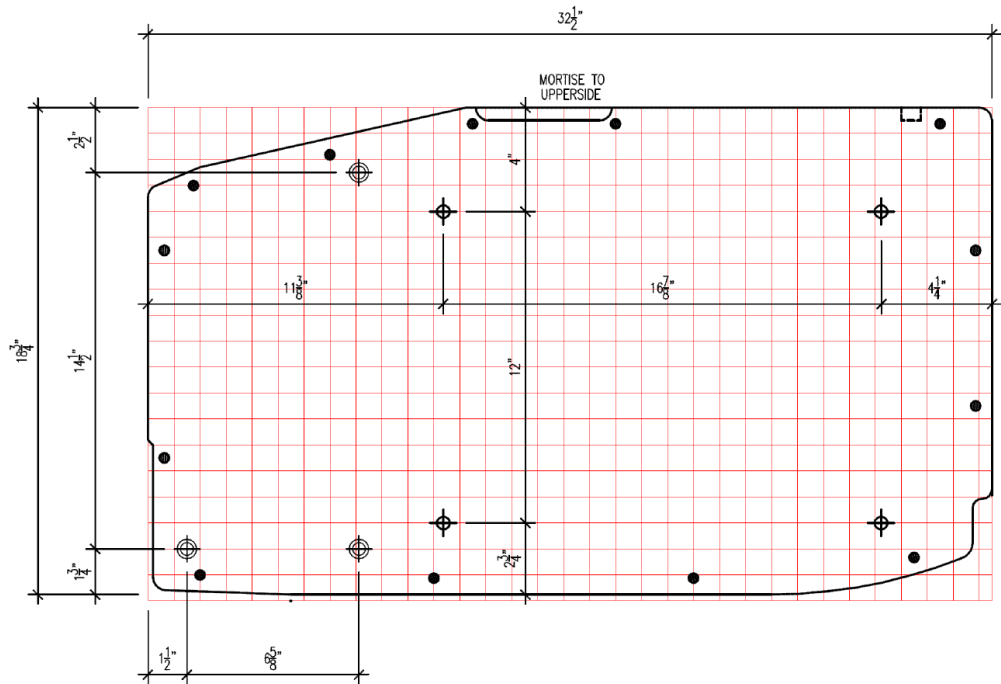
P.3



FLOORBOARD-REAR-R.H.

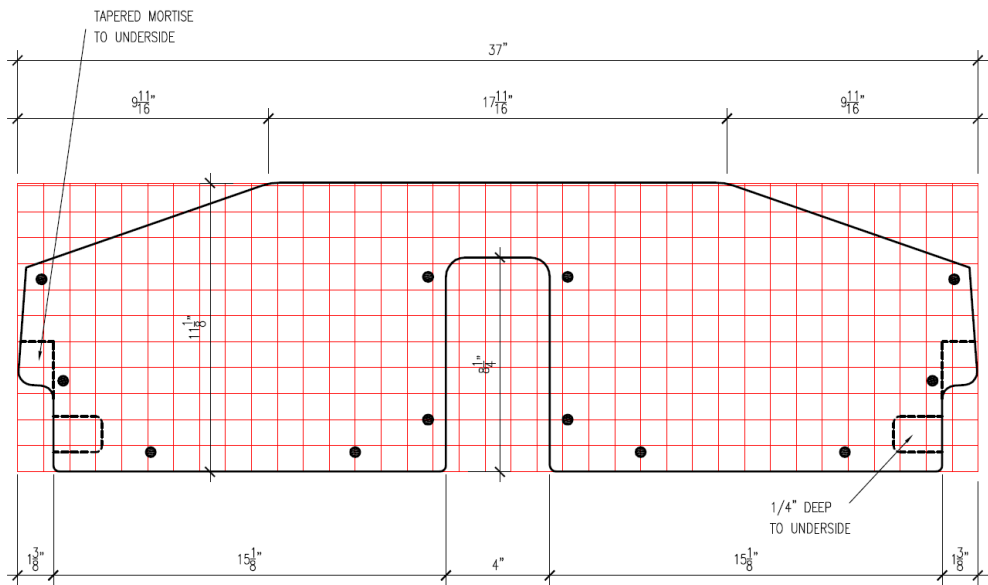
MORTISE TO
UPSERSIDE

P.4



FLOORBOARD-REAR-L.H.

P.5



REAR RAMP BOARD

P.6