



Aapo Tapaninen

Sähkömuunnosajoneuvon akkupaketin sijoittaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

12.5.2021

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ajoneuvon muutoslaki	2
2.1	Traficom	2
2.2	Henkilöauton rakenteen muuttaminen	2
2.3	Itsekantava kori	3
2.4	Ajoneuvon muuttaminen sähkökäyttöiseksi	3
3	Akkupaketti	5
3.1	Akkupaketin sisältö	5
3.2	Akkupakettimallit	7
4	Ajoneuvon rungon mallinnus	8
4.1	Kantava runkorakenne	8
4.2	Runkorakenteen malli	10
4.3	Tilamalli	11
4.4	Vakiomalli	12
4.5	Rungon skannaus	13
5	Akkupaketin eri mallit	14
5.1	Akkupaketin mallinnus	14
5.2	Tilaaajan ehdottama akuston sijoitusvaihtoehto (Vaihtoehto I)	14
5.3	Insinööriyössä kehitetty sijoitus (Vaihtoehto II)	16
5.4	Akuston sijoitusvaihtoehto III	18
6	Akkupakettimallin valinta	20
7	Rungon analyysi	22
8	Yhteenveto	24
	Lähteet	26

Tiivistelmä

Tekijä: Aapo Tapaninen
Otsikko: Sähkömuunnosajoneuvon akkupaketin sijoittaminen
Sivumäärä: 26 sivua
Aika: 12.5.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine: Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaaja: Pekka Hautala

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella, kuinka Rolls-Royce Corniche - sähkömuunnosajoneuvoon sijoitetaan taka-akkupaketti siten, että ajoneuvo on muutoskatsastettavissa Suomen tieliikenteeseen käytettäväksi.

Työn tilaajana toimi Retro-EV yritys, ja työ suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun ajoneuvotekniikan tuotekehitystiloiissa.

Työssä käytettiin Liikenne- ja viestintäviraston antamia määräyksiä ohjeina akkujen sijoittamisesta sähkömuunnosajoneuvoon sekä luotiin simulaatio Catia V5 -ohjelmalla ajoneuvon runkorakenteen kestävydestä.

Lopputuloksena saatiin suunnitelma, kuinka akkupaketit voidaan sijoittaa ajoneuvoon säännösten mukaisesti ja siten, että ajoneuvon takarunko kestää akkujen tuoman painon. Suunnitelmaa voitiin hyödyntää akkupaketin suunnittelussa ja valmistuksessa.

Avainsanat: Ajoneuvomuutos, sähköauto, suunnittelu

Abstract

Author: Aapo Tapaninen
Title: Placing Battery Pack in an Electric Conversion Vehicle
Number of Pages: 26 pages
Date: 12 May 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Design Engineering
Supervisor: Pekka Hautala, Area Manager

The aim of this thesis was to design how a rear battery pack can be placed in a Rolls-Royce Corniche electric conversion vehicle so that the vehicle can be inspected for road traffic use in Finland.

The thesis was commissioned by the Retro-EV company and the work was carried out in the vehicle product development facilities of Metropolia University of Applied Sciences.

The regulations issued by the Finnish Transport and Communications Agency were used as guidelines for placing batteries in an electric conversion vehicle, and a simulation was created with the Catia.v5 program to test the durability of the vehicle's frame structure.

The result was a plan for how the battery packs can be placed in the vehicle in accordance with the regulations and so that the rear frame of the vehicle can withstand the weight of the batteries. The plan could be utilized in the design and manufacture of the battery pack.

Keywords: Vehicle conversion, Electric Vehicle, Design

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena oli löytää paras tapa sijoittaa taka-akkupaketti sähkömuunnosajoneuvoon siten, että ajoneuvo olisi muutoskatsastettavissa Suomen tieliikenteessä käytettäväksi ja että ajoneuvon runko kestäisi akkupaketin suuren lisäpainon. Lisäksi tehtävänä oli suunnitella tarvittavat muutokset.

Työn tilaajana oli Retro-EV yritys, joka muuttaa polttomoottoriajoneuvoja sähköisiksi ajoneuvoiksi. Projektiajoneuvo oli yrityksen ensimmäinen Rolls-Royce Corniche -ajoneuvo, ja tämän ajoneuvoprojektin pohjalta on tarkoitus tulevaisuudessa valmistaa lisää sähköisiä Rolls-Royce Corniche -ajoneuvoja. Työ suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun ajoneuvotekniikan tuotekehitystiloiissa.

Työn lähtökohtana oli tieto, että akkupaketin tuli sisältää 6 kappaletta akkuja, jäähdytyslevyt sekä huoltoliittimet. Sähkömuunnosajoneuvokohteena toimi Rolls-Royce Corniche avokattoinen henkilöauto, ns. projektiauto.

Rajoittavia tekijöitä akkupaketin sijoittamiselle oli ajoneuvon takaosan tilavuus ja kestävyys, Traficomien määräykset akkujen sijoittamiselle sähköajoneuvoon ja projektin tilaajan toiveet takakontin tilan käytettävyydestä.

Työssä ei huomioida akselimassojen muutosta, ajoneuvon jousituksen kestävyyttä eikä ajoneuvon painosuhteen muutosta.

2 Ajoneuvon muutoslaki

2.1 Traficom

Traficom eli Liikenne- ja viestintävirasto on liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalalla toimiva keskushallinnon virasto, joka hoitaa liikenteen ja sähköisen viestinnän viranomaistehtäviä. Tämän insinööriyön kannalta Traficom on tärkeässä roolissa, sillä se antaa ajoneuvojen muutoksia koskevia määräyksiä ajoneuvolain pohjalta. Lainsäädäntöä ja määräyksiä tulee noudattaa, jotta sähkömuutosajoneuvo saadaan muutoskatsastettua Suomen tieliikenteeseen käytettäväksi. Ajoneuvoa muutoskatsastaessa katsastushenkilö tarkistaa, että ajoneuvo on liikennekelpoinen Traficomien määräyksien pohjalta. Tässä insinööriyössä käytetään siis Traficomien antamia määräyksiä suunnittelun ohjenuorina.

2.2 Henkilöauton rakenteen muuttaminen

Ennen määräyksien tarkastelua on erittäin tärkeää huomioida, että tarkastellaan määräystä, joka on voimassa, koska määräykset muuttuvat tai niitä tarkennetaan ajoneuvotekniikan kehityksen myötä. Tässä insinööriyössä tarkastellaan Traficomien antamaa määräystä (kuva 1) auton ja sen perävaunun rakenteen muuttamisesta [1]. Määräys pohjautuu Ajoneuvolakiin (82/2021) [2] ja koskee henkilöautojen rakenteen muuttamista ja tästä määräyksestä löytyy useampi kohta, jotka tulee huomioida suunnitellessa akkupakettien sijoittamista ja asennusta sähkömuutosajoneuvoon.

Antopäivä: 19.2.2021	Voimaantulopäivä: 1.3.2021	Voimassa: Toistaiseksi
Säädösperusta: Ajoneuvolaki (82/2021) 7 § 2 mom., 16 § 5 ja 6 mom., 143 § sekä 144 § 2 mom., Laki liikenteen palveluista (320/2017) 221 §		
Täytäntöönpantava EU-lainsäädäntö:		
Muutostiedot: Kumoo Liikenteen turvallisuusviraston määräykset: Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen (TRAFI/66404/03.04.03.00/2015) Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttamisesta annetun määräyksen 2 kohdan muuttaminen (TRAFI/162823/03.04.03.00/2018)		

Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen

Kuva 1. Traficomien määräys TRAFICOM/194449503.04.00/2019 [1].

2.3 Itsekantava kori

Ensimmäinen kohta käsittelee itsekantavaan koriin tehtäviä muutoksia. Tämä kohta on tärkeä suunnitellessa akkupaketin kiinnikkeitä ajoneuvoon.

Määräyksessä sanotaan kohdassa 3.1 Runko, 3.1.1 Itsekantavakori:

”Itsekantavaan korikehikkoon saa tehdä lujuutta vahvistavia muutoksia hitsaamalla tai ruuviliitoksilla.” Määräys voidaan tulkita niin, että akkupaketitkin voidaan asentaa autoon käyttäen ajoneuvonrunkoon hitsattuja tai pulttiliitteisiä kiinnikkeitä, mutta näiden ei tulisi heikentää korin rakennetta.

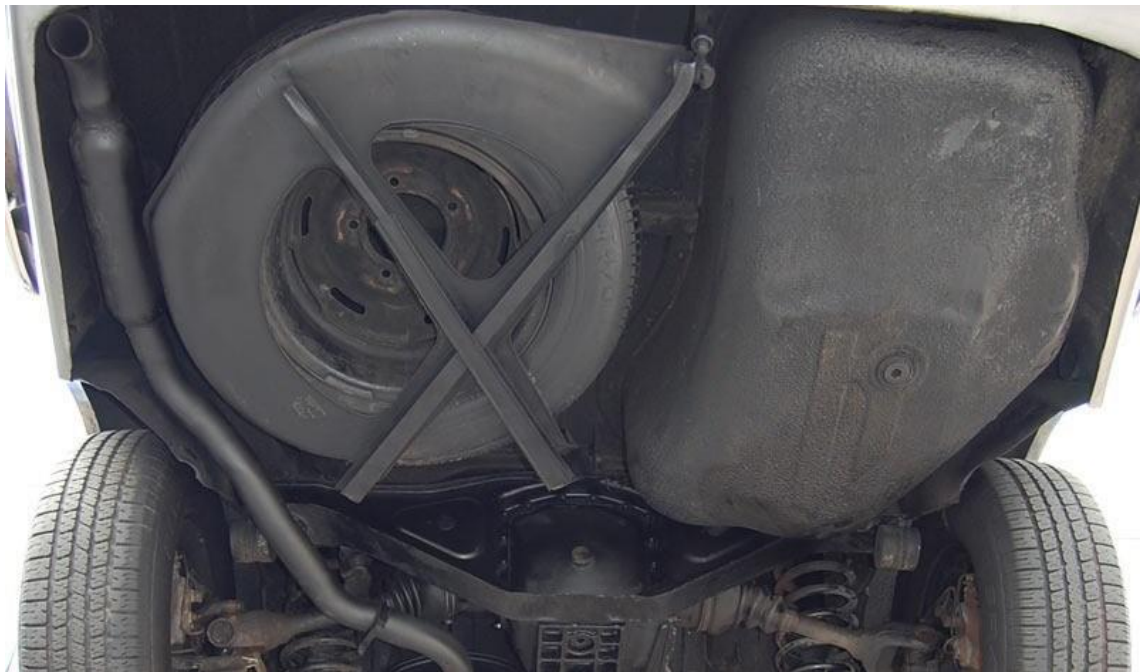
2.4 Ajoneuvon muuttaminen sähkökäyttöiseksi

Toinen tärkeä kohta käsittelee akkupaketin sijoittamista ja kiinnitystä ajoneuvoon, joka muutetaan sähkökäyttöiseksi ja joka on käyttöön otettu ennen 21.08.2002. Määräyksen kohdassa 6.1 Käyttövoimaksi sähkö, sanotaan, että ”akut tulee sijoittaa ja kiinnittää niin, etteivät ne ole alttiita vaurioille tai

irtoamiselle törmäystilanteessa”. Tämä määräys on erittäin tulkinnanvarainen, eikä siihen löydy Traficomilta tarkentavaa materiaalia.

Akkupaketin kiinnityksen suunnitteluvaiheessa tulee tehdä tarpeelliset lujuuslaskelmat kiinnikkeiden kestävydestä kuvitellussa törmäystilanteessa. Tässä insinööriyössä ei kuitenkaan suunnitella kuin kiinnikkeiden aluslevyt, joita käytetään myöhemmin insinööriyössä tehtävissä analyyseissa akkupaketin painosta syntyvän voiman sijoituspisteinä.

Tärkeämpänä työlle on akkupaketin sijoittamista koskeva määräys. Tätä määräystä tulkittaessa voidaan käyttää hyväksi Rolls-Royce Corniche -ajoneuvon alkuperäisen polttoainetankin sijaintia (kuva 2), sillä polttoainetankit on yleisesti sijoitettu ajoneuvoihin siten, että se ne eivät ole alttiita hajoamiselle törmäystilanteissa.



Kuva 2. Rolls-Royce Cornichen vararengas ja polttoainetankki takakontin pohjan alapuolella alkuperäisillä paikoillaan.

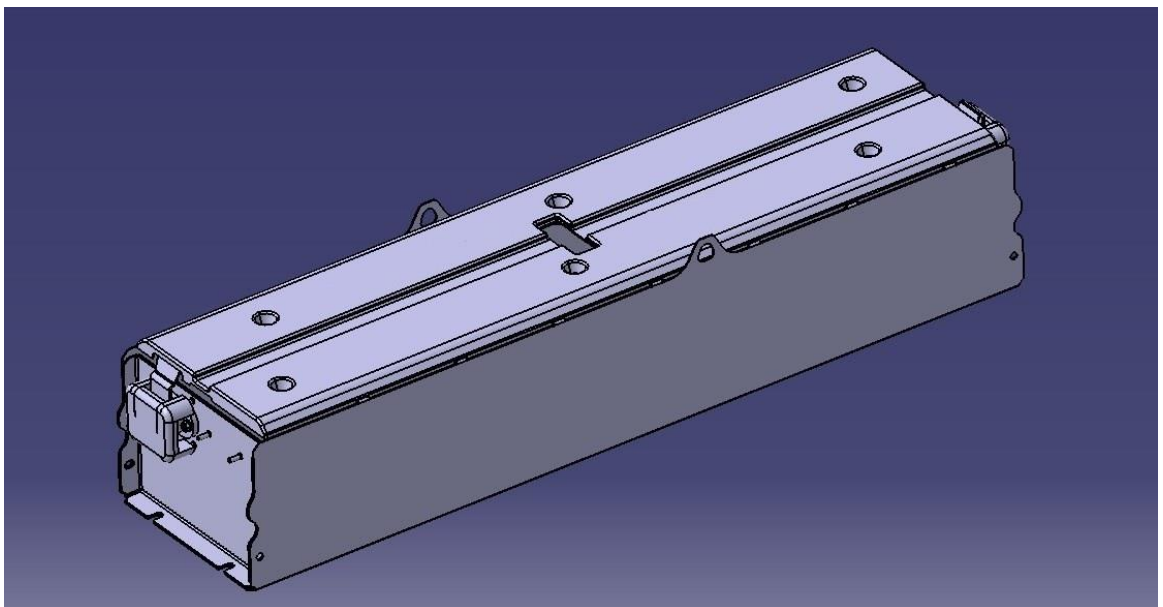
Akkupaketin tulisi pysyä siis reilusti lähempänä ajoneuvon keskiosaa kuin alkuperäinen polttoainetankki, jolloin voidaan ajatella, että törmäystilanteessakin akkupaketti on turvassa.

Akkupaketin ideaali sijoittamispaikka olisi mahdollisimman keskellä ja alhaalla ajoneuvoa, jotta akut olisivat mahdollisimman turvassa törmäystilanteessa ja tällöin ajoneuvon massakeskipiste olisi paras ajettavuuden kannalta. Koska kyseisessä projektiajoneuvossa ei ole tilaa akkupaketille ajoneuvon keskiosassa eikä ajoneuvon korirakenteisiin haluta tehdä suuria muutoksia, tullaan taka-akkupaketti sijoittamaan ajoneuvon takaosaan, takakontin alueelle, lähemmäs ajoneuvon keskipistettä kuin alkuperäinen polttoainetankki.

3 Akkupaketti

3.1 Akkupaketin sisältö

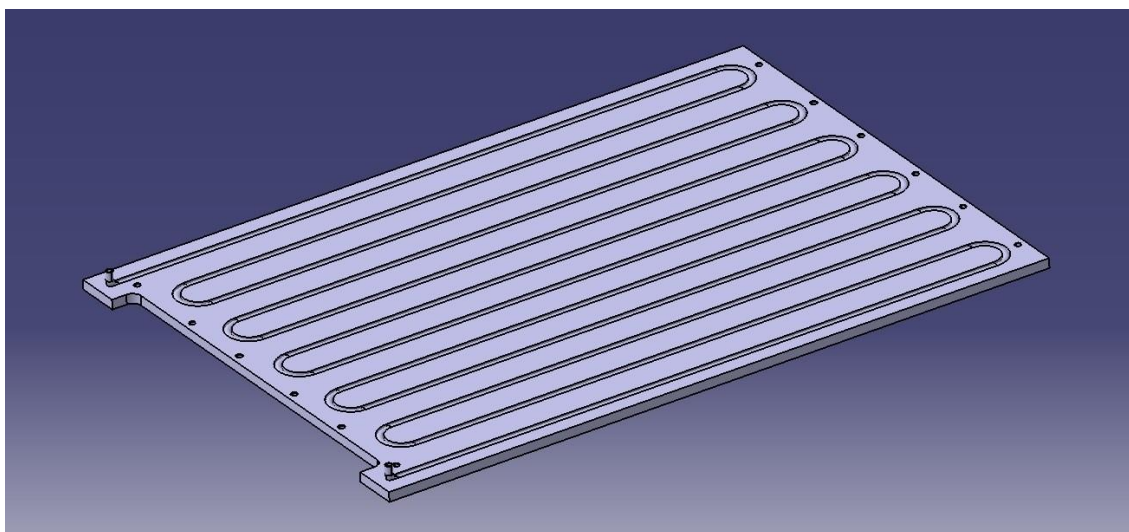
Akkupakettien mallien valmistus aloitettiin tutkimalla akkuja, joita tultiin käyttämään projektiajoneuvossa. Suunnittelutyön alussa tilaaja oli jo hankkinut akut, jotka tuli sijoittaa ajoneuvoon. Akkuja (kuva 3) oli kuusi kappaletta, ja yksittäisen akun mitat olivat valmistajan mukaan 766 mm x 177 mm x 162 mm ja paino 38,8 kg.



Kuva 3. Akun CAD-malli (Retro-EV Oy).

Akkujen annetuissa mitoissa ei kuitenkaan ollut huomioitu akkuun tulevien johtojen ja liittimien tarvitsemaa tilaa. Akkujen päälle tulevat liittimet huomioituna akun korkeus kasvoi 10 mm:n verran.

Akkupaketin sijoittamisen suunnittelun alkuvaiheessa oli myös tieto, että akkujen alle asennettaisiin nestejäähdytyslevyt. Levyjä ei ollut vielä suunnittelun alussa hankittu. Ei ollut tiedossa, kuinka akut sijoittuisivat ajoneuvoon, mutta käytettävissä oli CAD-malli levyistä (kuva 4). Levyjen pituus oli 772 mm ja paksuus 11 mm.



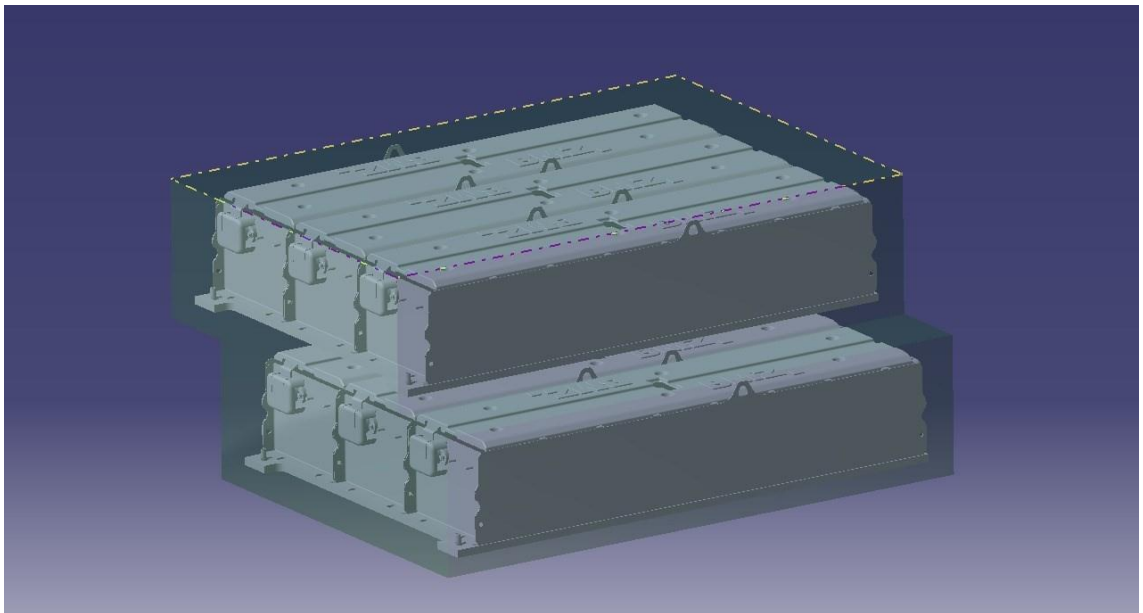
Kuva 4. Kolmen akun levyisen nestejäähdytyslevyn CAD-malli (Retro-EV Oy).

Nestejäähdytyslevyjen leveys tuli määräytymään akkujen leveyden mukaan ja sen perusteella, kuinka akut sijoitettaisiin ajoneuvoon. Jäähdytyslevyjen keskellä kulkee jäähdytysnestelinja, joka tulee liittää projektiajoneuvoon asennettaviin jäähdytysnestelinjoihin. Ajoneuvoon asennettavassa

etuakkupaketissa käytettiin kolmen akun levyisiä jäähdytyslevyjä, joten paras ratkaisu taka-akkupakettiinkin olisi kolme akun levyiset jäähdytyslevyt, jolloin jäähdytys olisi mahdollisimman tasainen ja levyjen valmistaminen olisi halvempaa.

3.2 Akkupakettimallit

Akkupaketteja mallintaessa huomioitiin akkujen ja jäähdytyslevyjen lisäksi akkupaketin rungon ja kuoren tarvitsema tila (kuva 5). Akkupaketin sisään tulevat osat kuten jäähdytyslinjat, virtakaapelit ja huoltoliittimet jätettiin pois malleista, sillä niiden sijoitus tultiin tekemään vasta kun oli päätetty, kuinka akkupaketit tultaisiin sijoittamaan.



Kuva 5. Akkupakettimalli 3 x 3.

Akkupakettimallissa vihreä laatikko kuvaa akkujen ympärille tulevan kuvitellun rungon ja kuoren viemää tilaa.

Akkupakettimalliin oli hyvä jättää riittävästi tilaa myöhemmin mallinnettavalle rungolle ja kuorelle, joka akkujen ja jäähdytyslevyjen ympärille tulisi. Jo tässä vaiheessa suunnittelua oli kuitenkin selvää, että huoltokytkimet tulisi sijoittaa akkujen pätyihin, joissa myös akkujen virtakaapelit sijaitsevat, joten akkujen pätyihin lisättiin enemmän tilaa kuin akkujen sivuille.

4 Ajoneuvon rungon mallinnus

4.1 Kantava runkorakenne

Projektiajoneuvon rungon mallinnustyö aloitettiin tutkimalla ajoneuvon runkorakennetta, kun ajoneuvosta oli irrotettu bensiinitankki ja vararengas (kuva 6). Ajoneuvon takaosasta pyrittiin selvittämään kantava runkorakenne, jonka pohjalta tulevat lujuusmittaukset tulitisiin tekemään. Lujuusanalysoitavasta runkomallista haluttiin tehdä mahdollisimman yksinkertainen. Niinpä antavan runkorakenteen mallista jätettiin pois mahdollisimman paljon materiaalia, jotta tuloksiin saataisiin enemmän varmuuskerrointa ja rungon analyysi olisi helpompi suorittaa.



Kuva 6. Projekti ajoneuvon takakontin alapuoli ilman vararengasta ja polttoainetankkia.

Ajoneuvon takaosan kantava runkorakenne koostuu runkopalkista, joka kiertää takakontin reunoilla sekä kaarevasta palkista, joka on kiinni runkopalkin takapäädystä (kuva 7). Runkopalkin päädystä sijaitsi myös takapuskurin iskunvaimennin, minkä takia akkupaketin kiinnityspistettä ei voida sijoittaa runkopalkin päädystään vaan se tulee sijoittaa iskunvaimentimen ja sen kiinnityksen viereen.



Kuva 7. Takarunkorakenteen kaareva palkki sekä takapuskurin iskunvaimentimen edessä oleva tila akkupaketin kiinnitykselle.

Runkorakennetta tutkiessa huomattiin, että projekti ajoneuvon vasemmassa runkopalkissa oli huomattavia ruostevaurioita sekä lokasuoja oli repeytynyt irti runkopalkista, johon se oli liitetty (kuva 8).

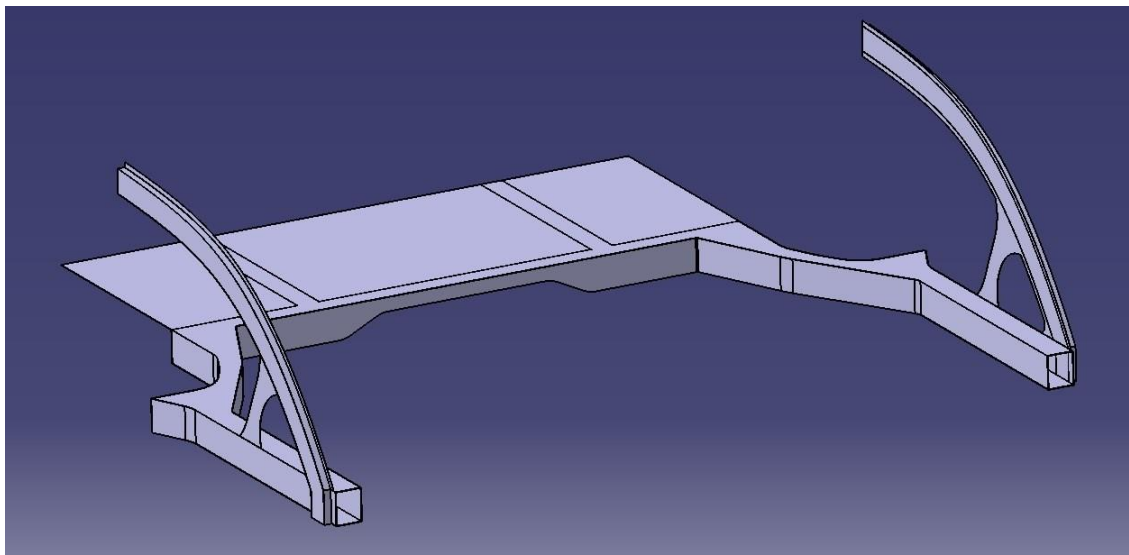


Kuva 8. Ajoneuvon ruostevaurioitunut runko ja repeytynyt runkopalkki.

Lokasuoja oli osa runkopalkin rakennetta, joten sen repeämästä sekä ruostevauriosta ilmoitettiin tilaajalle, sillä ne tuli korjata ennen akkupaketin asentamista.

4.2 Runkorakenteen malli

Runkorakenteen tutkimisen jälkeen alettiin mallintaa osaa rungosta, jota käytettiin myös lujuusanalyseissä. Rungon malliin sisältyi ainoastaan runkopalkki, joka kiertää takakontin reunoilla sekä kaarevan runkopalkit (kuva 9), jotka tukevat runkopalkkien päätyjä. Kaarevat runkopalkit kiinnittyivät ajoneuvon hattuhyllyn sivuille, jotka olivat erittäin tukevia rakenteensa puolesta, joten kaarevien runkopalkkien päitä käytettiin myöhemmin tehtävissä analyyseissä yhtenä kiinnityspisteenä rungolle.



Kuva 9. Runkorakenteen malli.

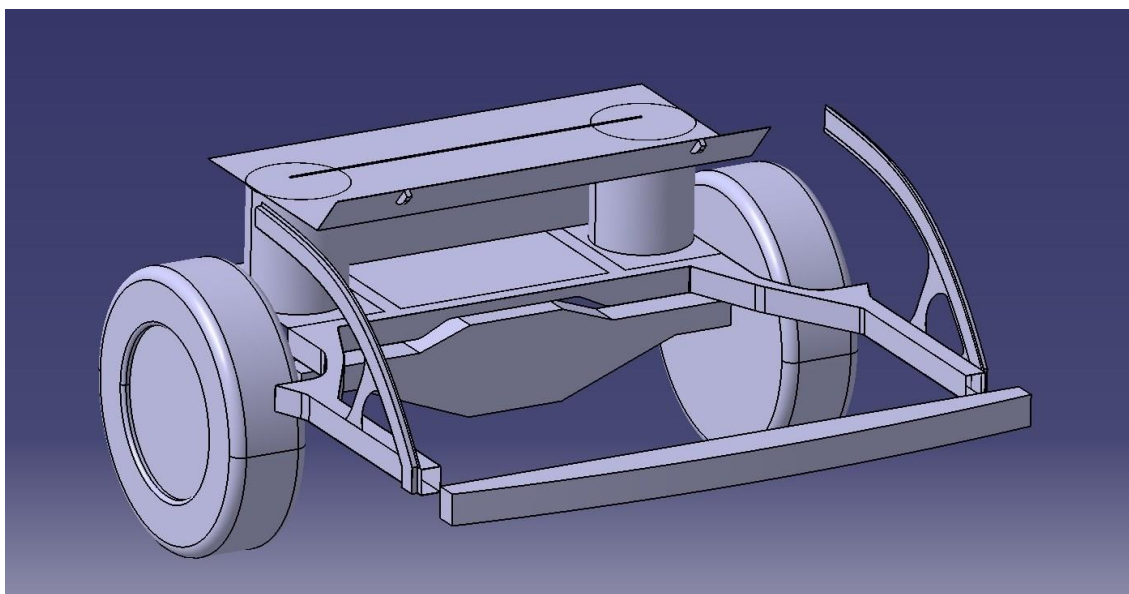
Runkorakenteen mallintamisen pohjana olisi ollut paras luoda CAD-malli ajoneuvosta skannaamalla ajoneuvo. Runkorakenteen mallintamisen alkuvaiheessa ei ollut mahdollista skannata ajoneuvoa asiakkaan puolesta, joten rungon mallinnus aloitettiin mittaamalla rungon muotoja ja mittoja mittanauhalla sekä kulmamitalla. Käsimitoilla mallia luotaessa oli ongelmana epätarkat mittaukset sekä pyöreiden muotojen mallintaminen.

4.3 Tilamalli

Eri akkupakettien sijoittamista varten tuli valmistaa tilamalli, joka sisältäisi kaikki projektiajoneuvon korirakenteen osat, jotka voisivat olla akkupakettien tiellä, ajoneuvon sisällä ja ulkona. Tilamalli tarvittiin myös, jotta akkupaketti ja muut ajoneuvon takaosaan asennettavien komponenttien paikat pystyttiin suunnittelemaan.

Tilamallin pohjana käytettiin aiemmin mallinnettua runkorakennetta ja runkorakennemallin ympärille alettiin mallintaa ajoneuvon muuta korirakennetta. Ajoneuvon takakontin sisällöstä kriittisimmät mallinnettavat korirakenteet olivat hattuhylly, iskunvaimentimien tornit sekä pyöränkaaret, sillä ne olivat korirakennetta, jota ei projektiajoneuvossa haluttu muokata (kuva 10).

Pyöränkaaria ei malliin lisätty, koska niiden raja kulkee selkeästi runkorakenteen reunaa pitkin.

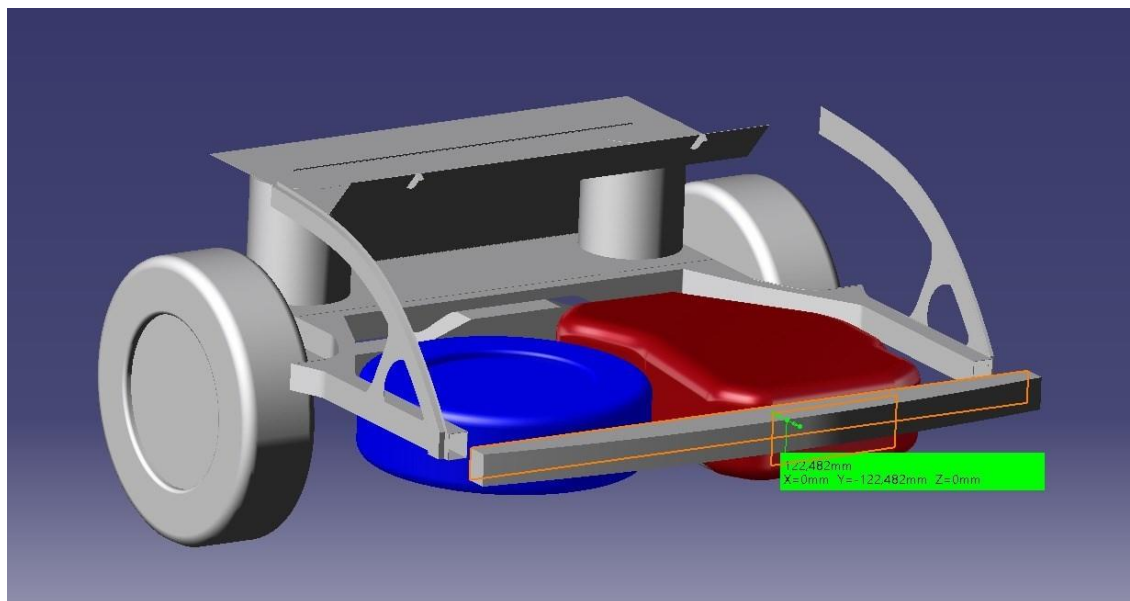


Kuva 10. Tilamalli, joka sisältää takapuskurin rungon.

Tilamalliin lisättiin takapuskurin runko, jota käytetään myöhemmin mittauspisteenä akkujen sijoituksen kannalta.

4.4 Vakiomalli

Ajoneuvon takaosasta luotiin malli, jossa oli sijoitettuna alkuperäinen bensiinitankki ja vararengas (kuva 11), jotta saatiin vertailukohde akkupakettien sijoittumisesta ajoneuvon lähtötilanteen kanssa. Tätä vakiomallia käytettiin myös myöhemmin työssä haettaessa ennakkohyväksyntää Traficomilta ajoneuvon sähkömuutokselle.



Kuva 11. Vakiomalli. Sininen kuvaa vararengasta ja punainen bensatankkia.

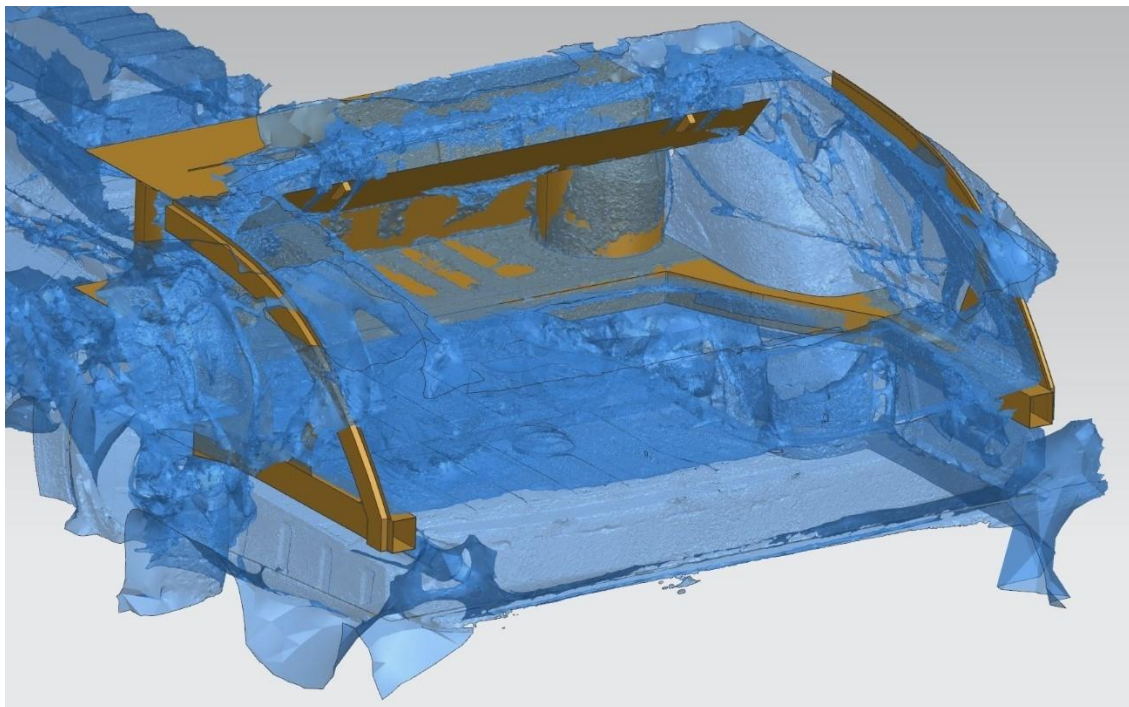
Polttoainetankin malli luotiin reiän pohjalta, johon polttoainetankki oli asennettuna. Vararenkaan malli luotiin ajoneuvossa olevien renkaiden mittojen perusteella.

Polttoainetankki ja vararengas sijoitettiin malliin mittaamalla polttoainetankin asennusreiän etäisyys ajoneuvon ja takapuskurin runkoon nähden.

4.5 Rungon skannaus

Kun ajoneuvonrunko ja tilamalli olivat valmiit, varmistettiin CAD-mallien tarkkuus skannaamalla mitat ja luomalla malli ajoneuvon takaosasta. Skannaus tehtiin yhteistyössä Metropolia Ammattikorkeakoulun kanssa, jonka tiloissa tilaajan projektiajoneuvoa myös valmistettiin.

Skannausmenetelmä perustuu valokuviiin, joissa sama kohde näkyy monessa kuvassa eri puolilta kuvattuna. Ajoneuvon takakontin sisältä sekä alta otettujen valokuvien pohjalta Capturing Realityn [3] tarjoama ohjelma loi mallin ajoneuvon takaosasta, johon sijoitettiin insinööriyöntekijän käsimittojen perusteella luotu tilamalli (kuva 12).



Kuva 12. Käsimitoin luotu tilamalli ja Capturing Realitylla luotus skannaus päällekkäin.

Käsimitoin luodun tilamallin tarkkuuden verrattuna skannattuun malliin arvioitiin olevan riittävä, joten tilamallin käyttöä jatkettiin akkupaketin sijoittamisen suunnittelussa.

5 Akkupaketin eri mallit

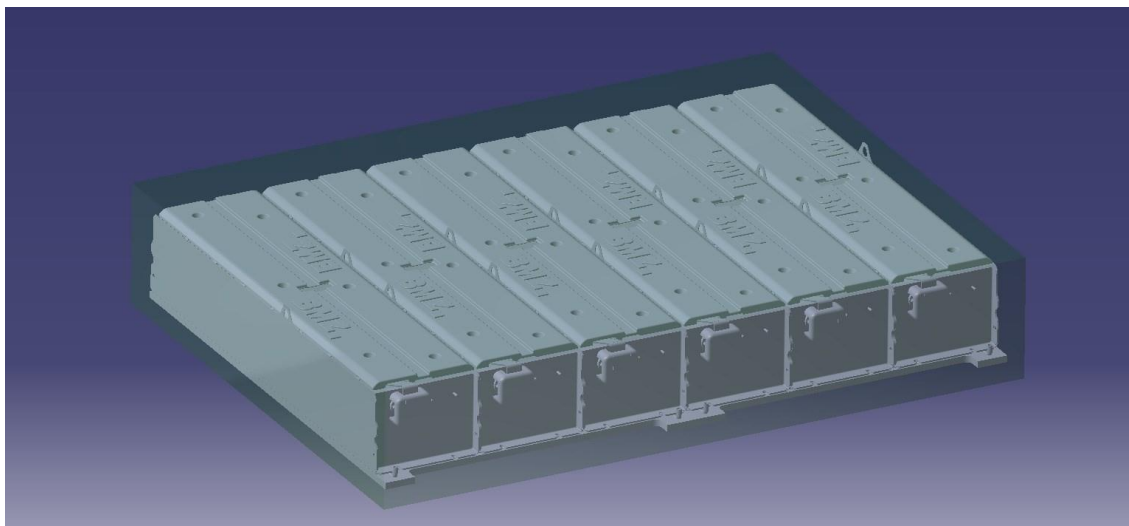
5.1 Akkupaketin mallinnus

Projektin aikana mallinnettiin kolme erilaista akkupakettimallia. Jokaisen mallin pohjana käytettiin tietoa akkujen ja jäähdytyslevyjen tarvitsemasta tilasta. Akun ja jäähdytyslevyn viemään tilaan lisättiin tilavuuselementti, jonka kuviteltu akkupaketin runko ja kuori tulisi viemään.

5.2 Tilaajan ehdottama akuston sijoitusvaihtoehto (Vaihtoehto I)

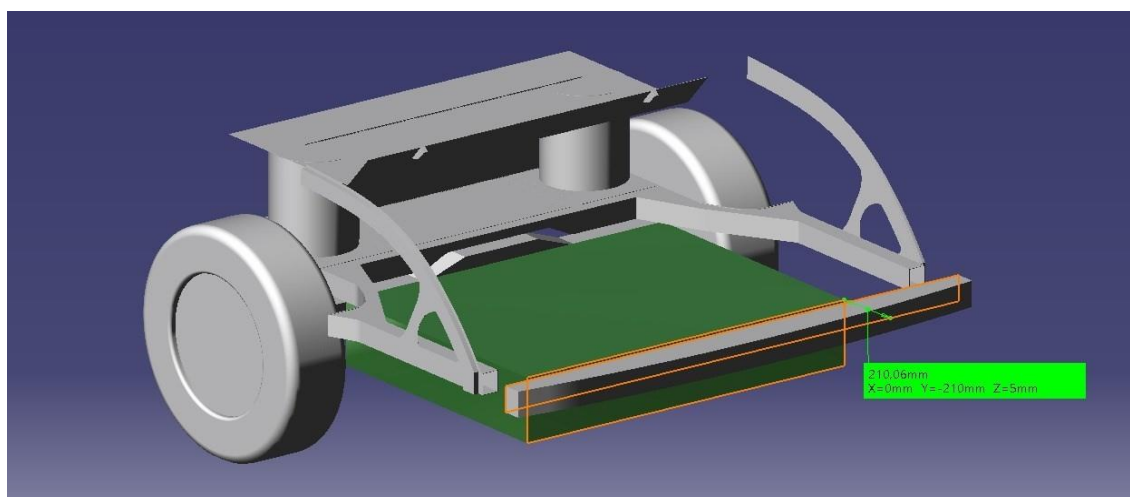
Tätä insinööriyötä aloittaessa tilaajalla oli ehdotus, jossa akkupaketti sijoittuisi takakontin pohjan alle, jolloin takakontti voitaisiin hyödyntää lähes kokonaan

tavaratilana. Akkupaketin sijoittaminen aloitettiin asiakkaan ehdottamasta tavasta, joten akkupaketista luotiin malli, jossa kuusi akkua on tiiviissä rivissä ja jäähdytyslevyt akkujen alla (kuva 13).



Kuva 13. Tilaajan ehdotus taka-akkujen sijoittamistavasta.

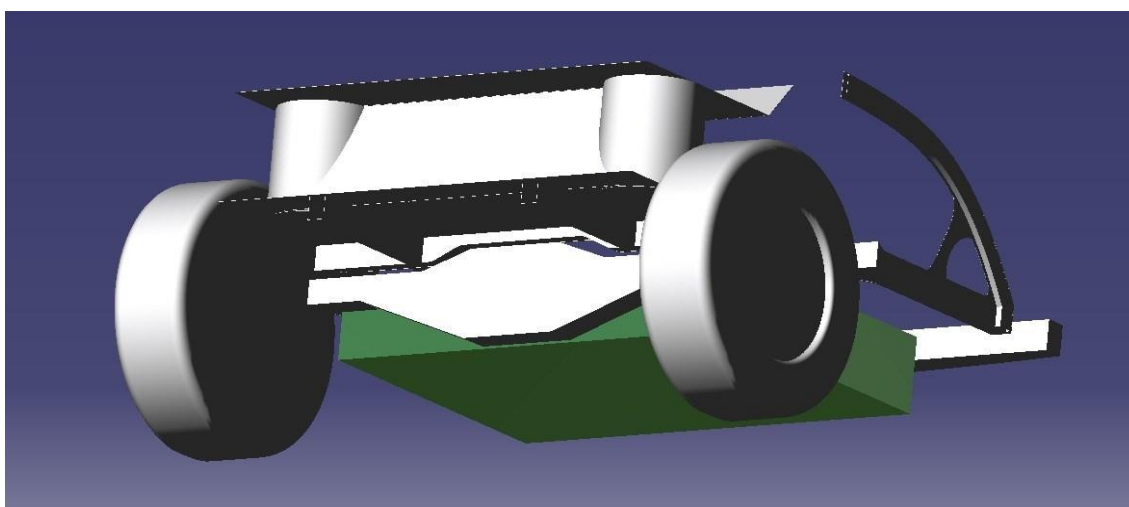
Akkupakettimalli sijoitettiin tilamalliin siten, että se oli 15 mm:n päässä projektiajoneuvon tasauspyörästönkannakeraudasta.



Kuva 14. Akkupakettimalli sijoitettuna tilamalliin.

Akkupaketti sijoittui 90 mm lähemmäs ajoneuvon keskiosaa kuin alkuperäinen polttoainesäiliö.

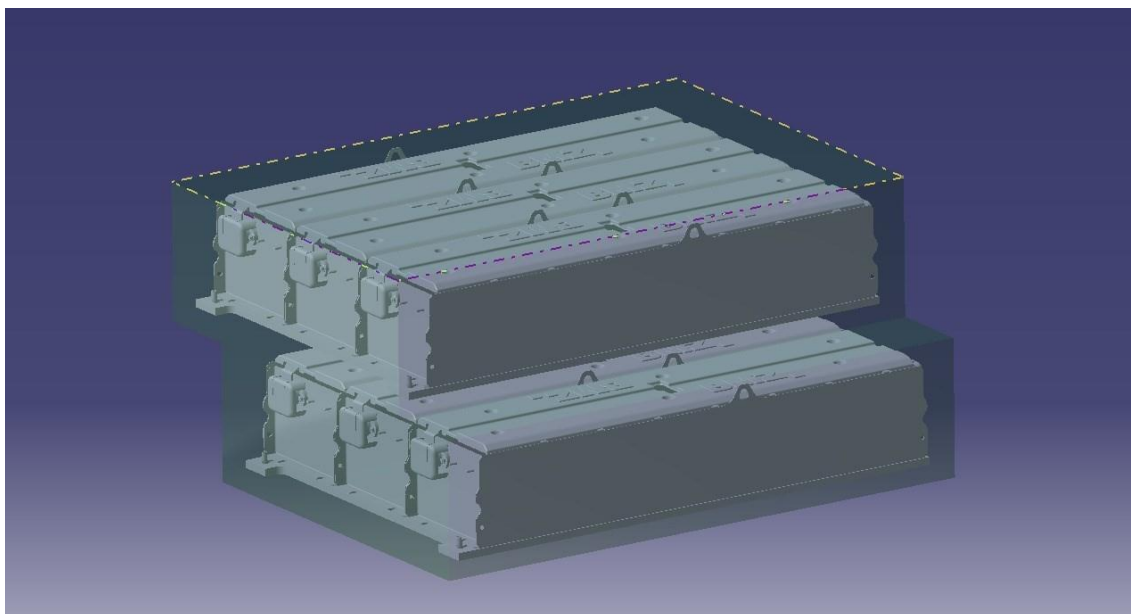
Ensimmäisessä akkupaketin sijoitus tavassa huomattiin, että akkupaketti ei mahdu runkopalkkien väliin, joten se jouduttiin sijoittamaan runkopalkkien alapuolelle. Akkupaketti tuli tästä syystä enemmän alttiiksi vaurioille, sillä se paljastui huomattavan paljon tasauspyörästönkannakeraudan takaa (kuva 14) Akkupaketti sijoittui myös alemmas kuin alkuperäinen polttoainesäiliö, mitä ei haluttu.



Kuva 15. Akkupaketin reunat näkyvissä tasauspyörästönkannakkeen takaa.

5.3 Insinööriyössä kehitetty sijoitus (Vaihtoehto II)

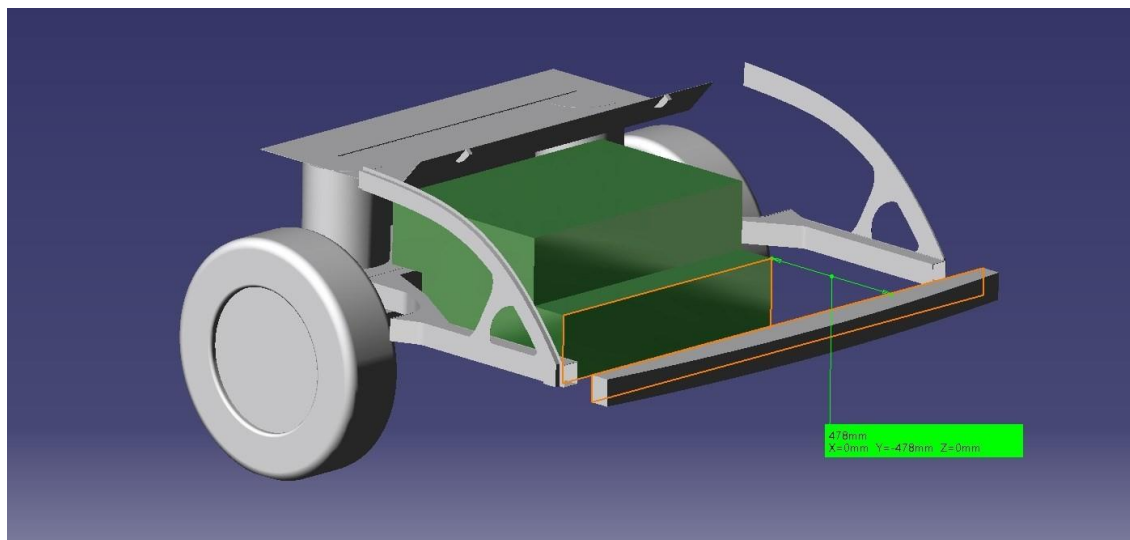
Toisena sijoitustapana akkupaketille oli sijoittaa kolme akkua takakontin sisään ja kolme takakontin pohjan alapuolelle, mahdollisimman lähelle ajoneuvon keskiosaa (Kuva 15). Tässä sijoitustavassa hyötyinä olisi mahdollisuus käyttää samanlaisia jäähdytyslevyjä akkujen alla, sekä akut olisivat lähempänä ajoneuvon keskiosaa kuin muissa akkujen sijoitus tyyleissä.



Kuva 16. Vaihtoehto II

Vaihtoehto II sijoitustavassa akuilla olisi pienin riski vaurioitua kolaritilanteessa.

Tämä sijoitustapa mahdollisti akkujen asentamisen ajoneuvon poikittaisen runkopalkin päälle, joka olisi paras kohde rungossa sijoittaa akkupakettien painosta syntyvä rasitus, koska tämä runkopalkki oli selvästi ajoneuvon takaosan kestävin rakenne. Akkupaketin etäisyys takapuskurin rungosta oli 360 mm enemmän, kuin alkuperäisellä polttoainetankilla (kuva 16), joten akkupaketti todettiin olevan turvassa. Akkupaketti sijoittui samalle tasolle alkuperäisen polttoainetankin kanssa korkeussuunnassa.



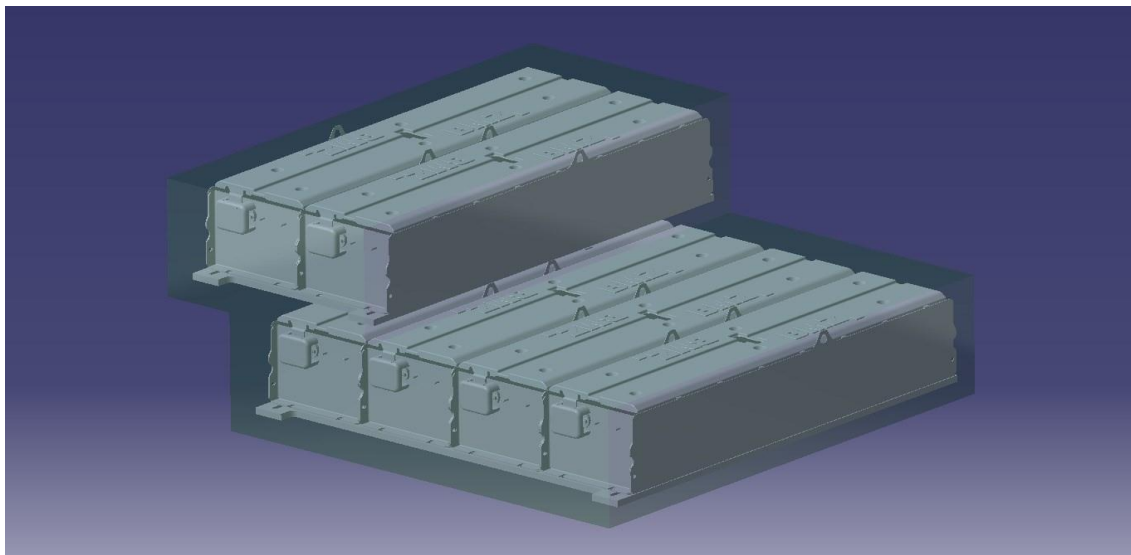
Kuva 17. Akkupaketti on kaukana takapuskurin rungosta.

Tämän version huonona puolena on menetetty tavaratila, joka oli tärkeä asia työn tilaajalle.

Akkupaketin muodon takia sen ympärille myöhemmin mallinnettava runko tulisi olemaan yksinkertainen valmistaa. Myös akkupaketin asennus ja purku ajoneuvoon olisi helppoa. Akkupaketin muodon takia olisi painon jakautuminen akkupaketin kiinnityspisteiden välillä myös tasaisin.

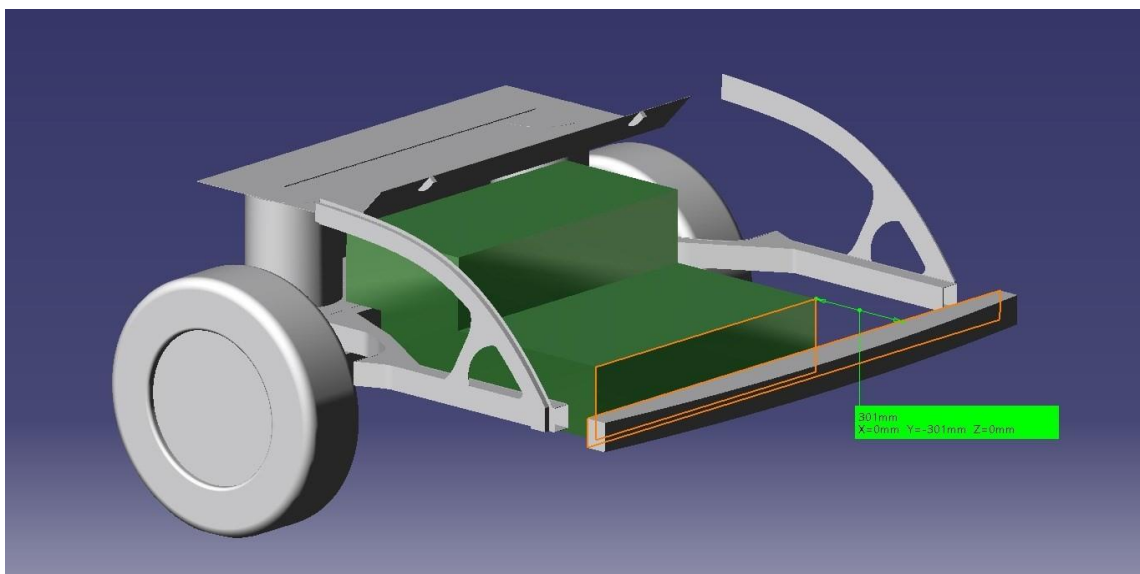
5.4 Akuston sijoitusvaihtoehto III

Akkupaketin sijoittamisesta projektiajoneuvoon mallinnettiin kolmas vaihtoehto (kuva 18), jolla saataisiin hyödynnettyä enemmän takakontin tavaratilasta. Kolmannessa sijoitusratkaisussa pyrittiin yhdistämään aiempien sijoitusvaihtoehtojen hyvät puolet eli akkujen turvallinen sijoittaminen, sekä haluttu tavaratilan tilavuuden maksimointi. Tavaratilan koko suureni yhden akun koon verran, sijoitusvaihtoehtoon II verrattuna.



Kuva 18. Vaihtoehto III.

Kolmannessa vaihtoehdossa jäähdytyslevyt tulisivat olemaan erilaiset, joten jäähdytysnesteenkierto ei ole tasainen.



Kuva 19. Vaihtoehto III sijoitettuna tilamalliin.

Akkupaketin etäisyys takapuskurinrunkoon on suurempi kuin ensimmäisen vaihtoehdon.

6 Akkupaketin mallin valinta

Jokaisessa akkupaketin sijoitustavassa oli hyviä ja huonoja puolia. Jotta akkupaketin valinta helpottuisi, pisteytettiin akkupaketit ja pisteytyksestä luotiin taulukko (taulukko 1). Suurimman pistemäärän sisältävä kohta oli Traficomien säädökset.

Taulukko 1. Akkupakettien pisteytyksessä Vaihtoehto II osoittautui parhaaksi.

Akkupakettien pisteytys (pistemäärä)	Vaihtoehdot		
	1	2	3
1. Traficom määräyksiä mukaisuus (0-5)	1	4	3
2. Akkupaketin painojakauma kiinnityspisteiden suhteen (0-3)	1	3	2
3. Jäähdytyskierron optimaalisuus (0-3)	3	3	2
4. Tavaratilan suuruus (0-3)	3	1	2
5. Akkupaketin asennettavuus / purettavuus (0-2)	2	1	1
6. Akkupaketin valmistettavuus (0-2)	2	1	1
Pisteet yhteensä	12	13	11

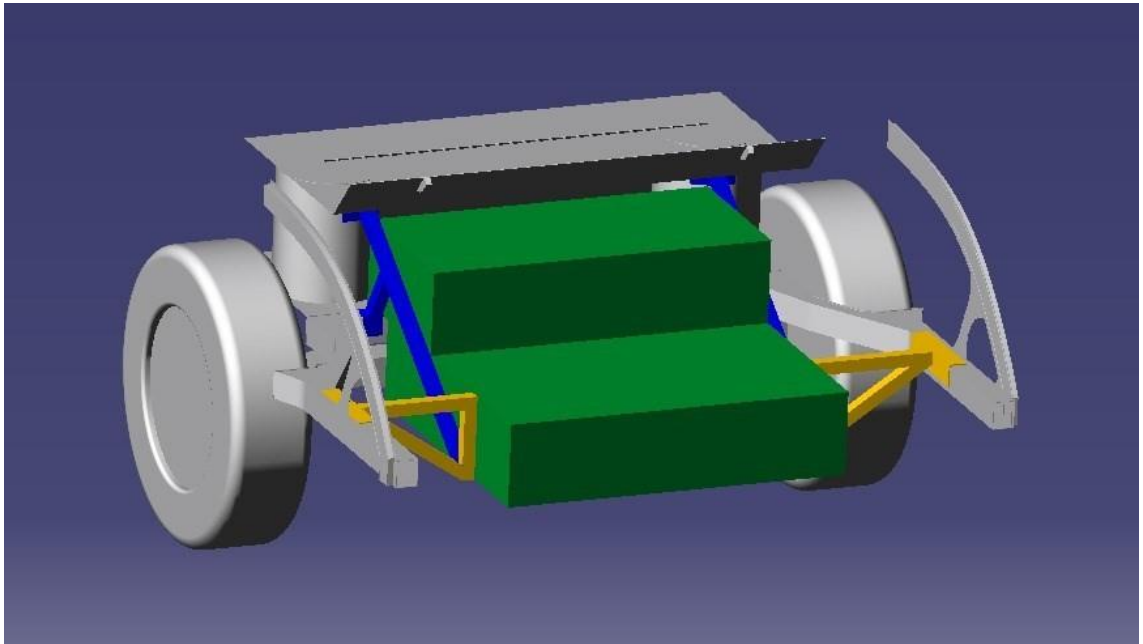
Pisteet pyrittiin antamaan insinööriyötä ohjaavista näkökulmista.

Vaihtoehto II osoittautui parhaaksi vaihtoehdoksi, sillä siinä akkupaketit sijoittuivat turvallisimmin, lähelle ajoneuvon keskiosaa sekä akkupaketin painopiste sijoittui keskelle kuviteltuja kiinnityspisteitä eli akkupaketin luoma rasitus runkoon jakautui kaikista tasaisimmin. Vaihtoehdossa I ja II olisi myös ollut mahdollista käyttää samanlaisia jäähdytyslevyjä, kuin ajoneuvon etuosaan oli suunniteltu käytettäväksi.

Lopullisessa valinnassa päädyttiin kuitenkin akkupakettien sijoitus tapaan kolme, jossa neljä akkua tulisi takakontin pohjan alle ja kaksi takakontin sisään. Ratkaisuun päädyttiin pääasiassa tavaratilan tilavuuden maksimoitavuuden kannalta, joka saattaisi olla ajoneuvon tulevalle käyttäjälle merkityksellinen asia.

Ennen akkupaketin tarkemman mallintamisen aloittamista haluttiin varmistua tulkintojen oikeellisuudesta, jotka oli tehty Traficomien antamien määräyksiä

pohjalta, joten Traficomille lähetettiin esihyväksyntäpyyntö muutuskatsatusta varten akkupaketin sijoittamisesta ja kiinnittämisestä ajoneuvoon. Esihyväksyntäpyyntöön lisättiin kuvia ajoneuvon taka-akkupaketin suunnitellusta sijoittumisesta ajoneuvoon, sekä kuvia alkuperäisestä ajoneuvon takaosan kokoonpanosta. Kuvissa näkyi kuvitteelliset akkupaketinkiinnityspisteet ja -kiinnikeraudat (kuva 20) sekä tukirauta, jolla pyrittiin kompensoimaan projektiajoneuvon takarungon heikentymää, joka johtui ruosteisuudesta ja metallin väsymisestä.

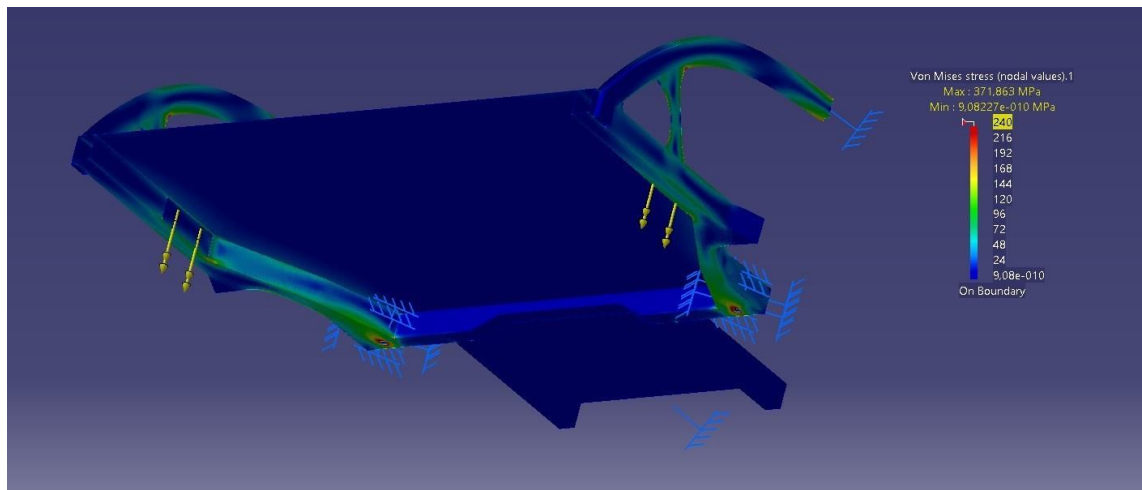


Kuva 20. Traficomille luotu malli. Sininen kuvaa tukirautaa ja keltainen akkupaketin kiinnikkeitä.

Tukirauta auttaa myös pitämään akkupakettia paikoillaan kolaritilanteessa, sillä se tukee akkupakettia myös ajoneuvon kulkusuunnan myötäisesti.

7 Rungon analyysi

Projektiajoneuvon takarungon kestävyys haluttiin varmistaa simulaatiolla. Simulaation avulla voitiin havaita rungon heikoimmat kohdat sekä arvioida, kuinka suuret akkupaketin kiinnityspisteistä tulisi valmistaa. Voimien varmuuskertoimen tuli olla suuri, sillä ajoneuvon korirakenteet saattoivat olla ruostumisen takia arvioitua paksuutta ohuemmat ja heikommät. Simulaatiossa voima, 6000 N, sijoitettiin akkupaketin suunnitelluille kiinnityspisteille (kuva 21), takakontin pohjaa kiertävään runkoon. Yhdelle kiinnityspisteelle kohdistui siis 3000 N:n voima, joka oli myös arvioilta valmiin akkupaketin paino.

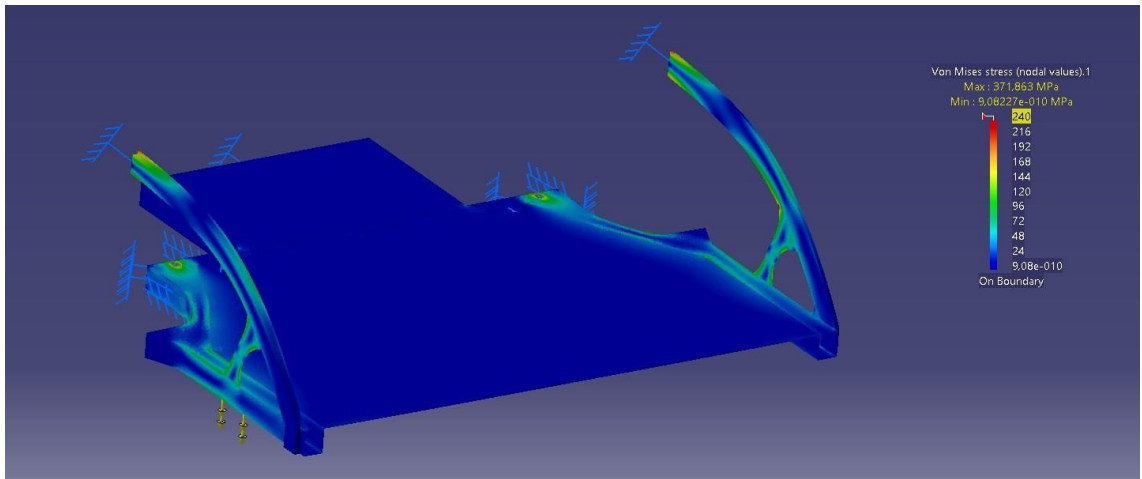


Kuva 21. Simulaatio, jossa nuolet kuvaavat voimia ja voimien suuntaa. Värit kuvaavat jännityksen suuruutta.

Simulaatio laskettiin vain takimmaisista akkupaketin kiinnikkeistä käyttäen.

Ajoneuvon rungon materiaalin arvioitiin olevan alkuperäiseltä murtolujuudeltaan noin 500 MPa, joka on keskiarvo ajoneuvojen pohjarakenteissa käytettävän seostamattoman teräksen murtolujuudelle (taulukko 2). Seostamaton teräs (Mild Steel) oli myös yleinen teräslaatu 1960-luvun ajoneuvoissa. [4] Metallin väsymisen takia voidaan laskea rungon materiaalin murtolujuudeksi noin 250 MPa, joka on alkuperäinen murtolujuus jaettuna kahdella.

Analyysia tulkitessa ei huomioitu jännityksiä, jotka olivat runkomallin kaarevien runkopalkkien päissä, eikä myöskään poikittaisen runkopalkin päädyissä olevia jännityksiä, sillä näitä pisteitä käytettiin runkomallin tukipisteinä analyysissa (kuva 22).



Kuva 22. Siniset viivat kuvaavat runkomallin tukipisteitä analyysissa.

Analyysissa huomattiin, että yksinkertaistettuun runkomalliin ei syntynyt vaarallisen suuria jännityksiä, vaikka akkupaketin painosta syntyvää voimaa käytettiin yli kaksin kertaisena. Analyysin perusteella oli turvallista sijoittaa painava akkupaketti projekti ajoneuvon takarungon varaan.

Taulukko 2. Seostamattoman teräksen myötö- ja murtolujuuksia.

standardi	myötölujuus N/mm ²	murtolujuus N/mm ²
S235JRH	235	360...510
S275J2H	275	430...580
S355J2H	355	510...680

8 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella, kuinka akkupaketti sijoitetaan sähkömuutosajoneuvoon. Sijoittamista rajoittavat tekijät kartoitettiin ja suunnittelutyö tehtiin niiden pohjalta. Työn aikana suunniteltiin kolme erilaista tapaa sijoittaa akkupaketti ajoneuvoon, joista valittiin yksi työn tilaajan kanssa. Valittu sijoitus tapa esihyväksyttiin Traficomilla, jotta varmistuttiin sen olevan Traficomien määräyksien mukainen. Suunnittelutyökaluina akkupaketin ja ajoneuvon takarungon mallintamiseen sekä rungon vahvuuden analysointiin käytettiin Catia V5 -CADohjelmaa.

Ajoneuvojen rakennetta tai käyttövoimaa muuttaessa tulee ajoneuvot muutoskatsastaa, jotta niillä saa ajaa Suomen tieliikenteessä. Ennen rakenteen tai käyttövoiman muuttamista on tärkeää selvittää, kuinka muutokset saa tehdä, jotta kohde ajoneuvo säilyy tieliikennelain mukaisena. Suomen tieliikennelain pohjalta luodut määräykset ajoneuvojen muutoksista ovat Traficomien antamia.

Sähkömuunnosajoneuvojen akut tulee Traficomien mukaan asentaa siten, että ne eivät ole vaarassa vaurioitua tai pudota ajoneuvosta kolaritilanteessa. Sähkömuunnosajoneuvoon asennettavien akkupakettien sijoittamista suunnitellessa tulee määräystä ensin tulkita, koska se ei anna yksiselitteistä sijaintia ajoneuvossa akkupaketeille. Akkupakettien kiinnityksen suunnittelussa tulee huomioida määräyksiä, jotka koskevat ajoneuvon runkoon tehtäviä muutoksia, koska akkupaketit kiinnitetään ajoneuvon runkoon.

Suurien akkupakettien jälkiasennuksessa on usein ongelmia, koska ajoneuvot suunnitellaan tehtailla siten, että niiden rakenteisiin ei jää ylimääräistä tilaa. Yleisimmät suuret vapaat tilat ajoneuvoissa ovat moottoritila sekä takakontti, joten jälkiasennettavat akkupaketit joudutaan sijoittamaan usein niihin, etenkin itsekantavissa korirakenteissa. Akkupakettien sijoittaminen ajoneuvon päätyihin altistaa akkupaketit suurempaan riskiin vaurioitua kolaritilanteessa. Painavat akkupaketit myös luovat ajoneuvojen runkoihin suuria jännityksiä, joten

akkupaketteja sijoittaessa on tärkeää varmistaa, että runkorakenteet kestävät lisätyn painon.

Insinööriyön tuloksena saatiin suunnitelma, kuinka akkupaketti sijoitetaan projektiajoneuvoon, sijoitusta rajoittavat tekijät huomioiden. Suunnitelmaa voitiin hyödyntää ajoneuvoprojektin akkupaketin suunnittelussa ja valmistuksessa.

Lähteet

1. Liikenne- ja viestintäministeriön määräys auton ja sen perävaunun rakenteen muuttamisesta. 194495/25.1.2021.
2. Ajoneuvolaki. 2021. 82/15.1.2021.
3. 3D Scan With Your Smartphone and RealityCapture. Verkkoaineisto. CapturingRealitySupport.
<<https://support.capturingreality.com/hc/enus/articles/360014116399-3D-Scan-With-Your-Smartphone-and-RealityCapture/>>. Luettu 9.5.2021.
4. Make New Steels, but Keep the Old – The Story of Steel’s Evolution. Verkkoaineisto. Drive using steel. <<https://driveusing-steel.com/2016/03/04/make-new-steels-but-keep-the-old-the-story-ofsteels-evolution/>>. Luettu 11.5.2021.