



Hyötyajoneuvon sähkökeskuk- sen konseptisuunnitelma

Ville Pääkkönen

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2025

Autotekniikka
Älykkäät koneet

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Autotekniikka
Älykkäät koneet

PÄÄKKÖNEN, VILLE:
Hyötyajoneuvon sähkökeskuksen konseptisuunnitelma

Opinnäytetyö 35 sivua
Kesäkuu 2025

Tässä opinnäytetyössä on käsitelty hyötyajoneuvon sähkökeskuksen konseptisuunnittelua. Työn tavoitteena oli, että toimeksiantaja voi käyttää suunnitelmaa pohjana myöhemmälle sähkökeskuksen tuotekehitykselle.

Työssä on esitetty useita kehitysmahdollisuuksia sähkökeskukselle ja näistä on esitetty hyviä ja huonoja puolia sekä pohdittu kuinka konseptit ovat toteutettavissa. Suunnittelutyössä pyrittiin huomioimaan muun muassa tilankäyttö, huollettavuus, säännösten noudattaminen ja kokoonpanoprosessin sujuvuus.

Konseptisuunnitelma sähkökeskuksesta tehtiin linja-autojen korivalmistaja Carrus Delta Oy:lle hyötyajoneuvoon, johon toistaiseksi asennetaan sähkökeskus kokoonpanolinjalla ajoneuvon sisällä. Tilanpuute tekee asennustyöstä hankalan, mutta työssä esitetyillä konsepteilla on saatu ongelmiin useita vaihtoehtoisia ratkaisuita, joita toimeksiantaja voi hyödyntää myöhemmässä kehitystyössä.

Asiasanat: hyötyajoneuvo, sähkökeskus, kehitystyö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Vehicle Engineering
Intelligent Machines

PÄÄKKÖNEN, VILLE:
Concept Design of an Electrical Center for a Commercial Vehicle

Bachelor's thesis 35 pages
June 2025

This thesis covers the concept designing of an electrical center of a commercial vehicle. The aim of this job was to develop the electrical center so that this report can be used by the client to help with deciding how to progress with their electrical center development in the future.

This thesis includes multiple development possibilities and each possibility has been presented with its pros and cons and evaluations of how they could be accomplished. The design work took into account factors such as space efficiency, maintainability, compliance with regulations and the fluency of the assembly process.

Concept design was done to a Carrus Delta Oy manufactured commercial vehicle, in which the electrical center is currently installed inside the vehicle on the assembly line. Limited space makes the installation challenging but the concepts presented in this thesis offer several alternative solutions to these issues and the client can utilize these solutions in future development.

Key words: commercial vehicle, electrical center, development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	SUUNNITTELUTYÖN TAUSTA.....	6
	2.1 Tietoa yrityksestä	6
	2.2 Tuotekehitys.....	6
	2.2.1 Käynnistäminen	8
	2.2.2 Luonnostelu	8
	2.2.3 Kehittely.....	9
	2.2.4 Viimeistely	9
	2.3 3D-mallintaminen	9
	2.4 Sähkökeskus.....	10
	2.5 Piirikaavio.....	10
	2.6 Johtosarjakaavio	11
3	SUUNNITTELIJAN TYÖKALUT.....	13
	3.1 Vertex ED.....	13
	3.2 SolidWorks 3D CAD.....	13
4	SÄHKÖKESKUKSEN SUUNNITTELU	14
	4.1 Nykyinen sähkökeskus.....	14
	4.1.1 Sähkökeskuksen vaatimuksia ja rajoitteita	16
	4.1.2 Asennustyö.....	17
	4.2 Kehitysideat	20
	4.2.1 Asentajien ehdotuksia	20
	4.2.2 Omat kehitysideat.....	22
	4.2.3 Kehitysideoiden yhteenveto.....	30
5	POHDINTA	33
	LÄHTEET.....	35

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään hyötyajoneuvon sähkökeskuksen konseptisuunnittelua. Sähkökeskus on sähköjärjestelmän jakelu- ja ohjauspisteenä toimiva kokonaisuus, johon on koottu useita sähköisten toimintojen ohjaukseen liittyviä komponentteja, kuten releitä, sulakkeita ja ohjausmoduuleita. Konseptisuunnitelman tarkoituksena on kehittää nykyistä sähkökeskusta siten, että sen asennus kävisi jatkossa nopeammin ja kevyemmin. Toimeksiantajana toimii Carrus Delta Oy, joka kehittää ja valmistaa linja-autojen koreja. Kehitystyö tehdään erääseen yhtiön valmistamaan hyötyajoneuvon korimalliin, jonka takasähkökeskus kaipaa uudistamista.

Suunnittelussa keskitytään sähkökeskukseen, joka sijaitsee ajoneuvon takaosassa matkatavaratilassa. Moottoritila sijaitsee myös ajoneuvon takaosassa, mikä tekee sähkökeskuksen sijainnista ahtaan ja täten asentajalle haastavan.

2 SUUNNITTELUTYÖN TAUSTA

2.1 Tietoa yrityksestä

Carrus Delta Oy on linja-autojen koreja rakentava ja kehittävä yritys, jonka koritehdas sijaitsee Liedossa. Carrus toimii yhteistyössä Volvo Bussar Ab:n kanssa, joka on Volvon linja-autovalmistaja. (Carrus Delta n.d.b.)

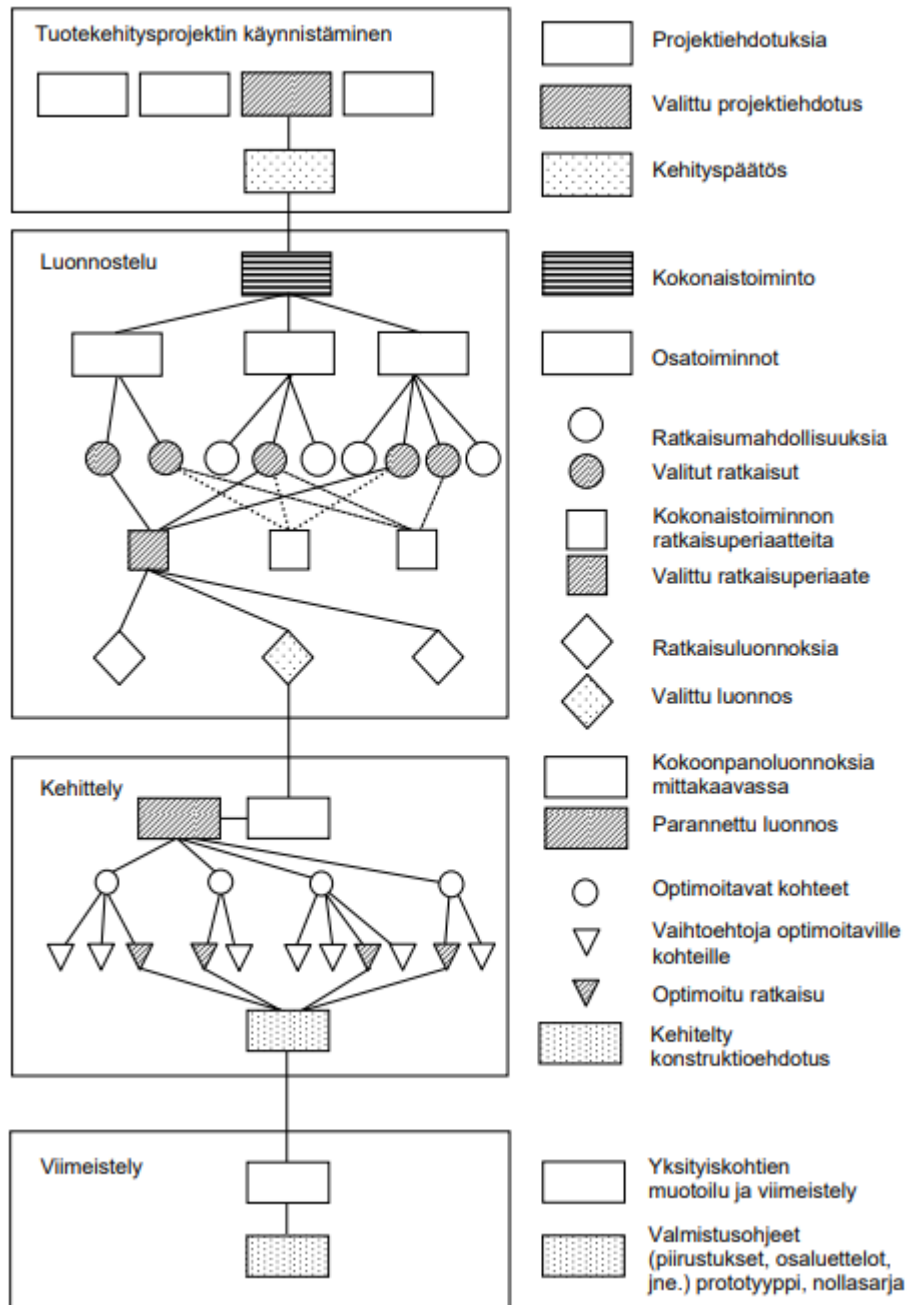
Carrus Delta Oy on alun perin perustettu Turussa vuonna 1935 nimellä Autokori Oy. Yritys perustettiin, kun kolme liikennöitsijää päätti korirakennuksen osaajan kanssa aloittaa oman linja-autokorituotannon. Autokori Oy rekisteröitiin virallisesti 1.2.1936 ja koritehdas perustettiin Turun Pispalaan. (Carrus Delta n.d.b.)

Yhtiö muutti nykyiselle sijainnille Lietoon vuonna 1973 ja samalla yhtiön nimi vaihtui Oy Delta Plan Ab:ksi. Uuden koritehtaan myötä tuotantomäärä kasvoi ja vuonna 1976 vuosituotanto oli ennätyselliset 246 linja-autoa. Vuosien varrella yhtiö on kokenut useita omistajan- sekä nimenvaihdoksia ja yritys on ollut muun muassa Volvon omistuksessa 1998–2008. Vuonna 2008 Liedon tehtaan liiketoiminta palasi takaisin suomalaisomistukseen ja sai nykyisen nimensä Carrus Delta Oy. Vuonna 2022 omistajuus siirtyi yhtiön sisällä, kun johtohenkilöt päättivät ostaa yhtiön koko osakekannan. (Carrus Delta n.d.a)

2.2 Tuotekehitys

Tuotekehityksellä tarkoitetaan jonkin uuden tuotteen kehittämistä tai jo aiemmin kehitetyn tuotteen parantamista. Tuotekehitys on keskeinen osa tuotteita valmistavan ja kehittävän yrityksen toimintaa, koska kuluttajien mielikuva yrityksestä rakentuu sen tuotteiden pohjalta. Jokisen (2010, 9) mukaan ilman tuotekehitystä tulee ennen pitkää aika, jolloin tuotteet ovat vanhentuneita, myynti vähenee ja viimein loppuu kokonaan.

Tuotekehitysprosessi koostuu kuvion 1 mukaisesti neljästä toisiaan seuraavasta vaiheesta: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Jokaisella vaiheella on merkittävä rooli onnistuneen lopputuloksen saavuttamisessa ja näiden vaiheiden avulla ideasta kehittyä valmis tuote. (Jokinen 2010, 14.)



KUVIO 1. Tuotekehitysprosessin vaiheet (Jokinen 2010, 16).

2.2.1 Käynnistäminen

Tuotekehitys käynnistyy useimmiten jonkinlaisesta tarpeesta sekä toteuttamismahdollisuudesta. Kuitenkaan pelkkä tarve tai toteutusmahdollisuus ei ole kannattava syy käynnistää tuotekehitystä. Esimerkiksi ikiliikkujalle olisi tarvetta energian tuotannon kannalta, mutta sen toteutusmahdollisuutta ei ole. (Jokinen 2010, 17.)

Ennen lopullista tuotekehityksen toteuttamispäätöstä on katselmoitava muun muassa uuden tuotteen kehittämiskustannukset, markkinointinäkymät, saatavat tuotot sekä työterveydelliset ja ympäristönsuojelulliset kysymykset. Käynnistämisen vaihe päättyy myönteisessä tapauksessa kehityspäätökseen. (Jokinen 2010, 14.)

Takasähkökeskuksen konseptisuunnitelman käynnistyminen perustuu yrityksen tarpeeseen parantaa aiemmin kehitettyä tuotetta. Tarpeena on tehdä sähkökeskuksesta helpommin ja nopeammin asennettava, mikä johtaa jatkossa siihen, että aiemmin takasähkökeskuksen asennukseen käytetty aika voidaan käyttää johonkin muuhun työhön. Asennustyötä helpottamalla saadaan myös vähennettyä asentajan fyysistä kuormitusta mikä on terveyden kannalta positiivinen asia.

2.2.2 Luonnostelu

Luonnosteluvaiheessa keskitytään etsimään ratkaisuja, joilla kehitettävän tuotteen ongelmat voidaan ratkaista. Ratkaisuja ja päätöksiä tehdessä toimitaan yleisesti seuraavien vaiheiden mukaan: havaitaan ongelma, hankitaan tietoja ja analysoidaan ongelmaa, laaditaan vaatimuksia ja tavoitteita, ideoidaan ratkaisuita, arvostellaan ja karsitaan ideoita sekä testataan ratkaisuita ja tehdään lopullinen päätös ratkaisusta, jota lähdetään kehittämään. (Jokinen 2010, 21.)

Työn konseptisuunnittelussa keskitytään tuotekehityksen vaiheista hyvin pitkälti pelkästään luonnosteluun, kun tuodaan esille ratkaisuita sekä esitetään ratkaisuiden hyviä ja huonoja puolia, jotta toimeksiantajalle käy ilmi mitä ratkaisua heidän olisi kannattavaa lähteä toteuttamaan.

2.2.3 Kehittely

Kehittelyvaiheeseen päästään, kun luonnosteluvaiheessa saadaan tulokseksi ratkaisu, jota kannattaa lähteä toteuttamaan. Kehittelyvaiheessa suunnitellaan tuotteen yksityiskohdat niin, että viimeistelyvaiheessa työpiirustukset ja osaluettelot ovat yksiselitteisesti tehtävissä. (Jokinen 2010, 89.)

Kehittely alkaa mittakaavaan laadittavan konstruktion tekemisellä. Tässä vaiheessa tuodaan mahdolliset tekniset ja taloudelliset heikot kohdat esille ja ne pyritään poistamaan. Heikkojen kohtien poistaminen voi vaatia lisätiedon hakemista, syvällisempää perehtymistä teoriaan ja ongelman lähestymistä eri näkökulmasta, jolloin päädytään parannettuun suunnitelmaan. Kun heikkojen kohtien poistamiseen ollaan tyytyväisiä, niin voidaan jatkaa yksityiskohtien suunnitteluun. Tässä vaiheessa optimoidaan muun muassa valmistuskustannuksia, massaa, tilavuutta ja häviöitä. Kehitysvaihe päättyy, kun saadaan tulokseksi konstruktioehdotus, joka täyttää kaikki vaatimukset. (Jokinen 2010, 89–91.)

2.2.4 Viimeistely

Viimeisenä suoritetaan konstruktion viimeistely, jolloin tehdään työpiirustukset, osaluettelot sekä käyttö- ja huolto-ohjeet ja tässä vaiheessa yksityiskohdat saavat lopullisen muotonsa. Sarjavalmistustuotteesta tehdään usein prototyyppi eli koekappale, jonka ominaisuuksia tutkitaan ja tarkistetaan niiden vastaavan asettuja tavoitteita. Tämän jälkeen voidaan vielä valmistaa nollasarja, jonka avulla keskitytään optimoimaan valmistusmenetelmiä ja -kustannuksia. Viimeistelyvaiheen loputtua tehdään lopullinen päätös tuotannon aloittamisesta. (Jokinen 2010, 17.)

2.3 3D-mallintaminen

3D-mallintaminen eli kolmiulotteinen suunnittelu on tietokoneella tehtävä graafinen prosessi, jossa luodaan matemaattinen kuvaus esineestä tai pinnasta. (Autodesk n.d.b.) 3D-mallinnus on osa laajempaa kokonaisuutta, jota kutsutaan CAD-suunnitteluksi. CAD eli tietokoneavusteinen suunnittelu on teknologia, joka

on tarkoitettu teknisen dokumentaation suunnitteluun, luonnosteluun ja tuottamiseen. Digitaalisen prosessin avulla CAD-suunnittelu korvaa käsinpiirtämisen sekä muut manuaaliset piirrostekniikat 2D- ja 3D-suunnittelussa. (Autodesk n.d.a.)

3D-mallinnuksen avulla voidaan siis visualisoida malleja suunnittelun tukena niin, että suunniteltavia osia ei tarvitse oikeasti rakentaa. 3D-mallinnusta käytetään tässä työssä hyödyksi visualisoimaan sähkökeskukseen tehtäviä muutoksia sekä visualisoimaan sähkökeskuksen sijaintia ajoneuvossa.

2.4 Sähkökeskus

Sähkökeskuksen päätarkoitus on jakaa sähkö useaan eri paikkaan ajoneuvossa. Komponenttien keskittäminen koteloituun keskukseen helpottaa myös huoltoa ja vianetsintää, sekä parantaa niiden suojausta muun muassa liialta, kosteudelta ja sähköhäiriöiltä. Ajoneuvoissa on vaihteleva määrä sähkökeskuksia ajoneuvon koon mukaan ja ne on sijoitettu usein ohjattavien laitteiden lähelle, jotta johtojen määrä voidaan pitää mahdollisimman vähäisenä. Esimerkiksi moottoritulassa on usein keskus, johon on sijoitettu muun muassa moottoria sekä ajovaloja ohjaavia komponentteja. Hyötyajoneuvot ovat usein suurempia ajoneuvoja, joten niissä on tyypillisesti useampia sähkökeskuksia sijoiteltuina ohjattavien komponenttien lähetyville, jotta johtojen reititys pysyy yksinkertaisena ja tehokkaana.

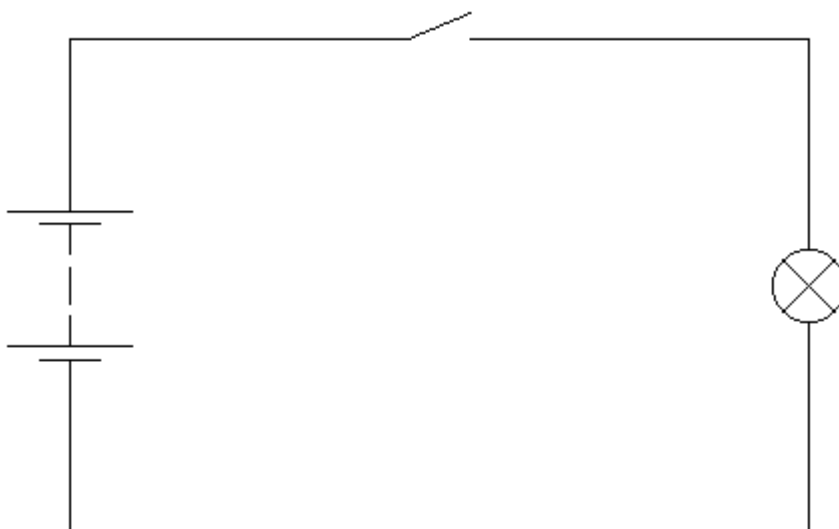
2.5 Piirikaavio

Piirikaavio on sähkökaavio, josta ilmenee virran kulkureitti, mutta siitä ei käy ilmi komponenttien fyysiset sijainnit tai johtojen reitit. Piirikaaviosta käy ilmi kaikki komponentit, kytkennät ja toiminnot yksityiskohtaisesti. (Zuken n.d.) Standardeja sähkökaavioiden esitystapoihin on useita ja eri valmistajilla on myös omaan tuotantoon sopiviksi sovellettuja tapoja, joten eri valmistajien piirikaaviot voivat näyttää hieman erilaisilta esimerkiksi symboleiden osalta. Piirikaavioiden periaatteet ovat kuitenkin samat:

- Piirikaavioita luetaan vasemmalta oikealle ja ylhäältä alaspäin.
- Kaavio alkaa syötöstä ja päättyy lähtöön ja tällä tavalla virrankulun ymmärtämisestä tehdään helppoa.

- Johtoja kuvataan viivoilla.
- Komponenttien symbolit esitetään neutraaleina eli esimerkiksi kytkimet esitetään niiden normaalissa tai virrattomassa tilassa, jolloin erotetaan, onko kytkin normaalisti kiinni vai auki. (Upmation n.d.)

Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen piirikaavio, jossa on vasemmalla akku eli virransyöttö, josta menee johto kytkimelle, joka ohjaa valoa ja piiri maadoittuu akulla.



KUVA 1. Yksinkertainen piirikaavio.

2.6 Johtosarjakaavio

Johtosarjakaavio on sähkökaavio, josta käy ilmi komponenttien fyysiset sijainnit ja johtojen reitit. Johtosarjakaavioiden avulla virtapiirin asentamisesta, vianetsinnästä ja huoltamisesta tehdään helppoa. Johtosarjat jaotellaan usein niiden käyttötarkoituksien mukaan kuten esimerkiksi infotainment-, katto- ja sähkökeskusjohtosarja. Jaottelun avulla johtosarjojen erittely käy helpommin ja tämä helpottaa asentamista, vianetsintää ja huoltamista. Johdotussarjakaavioiden esittämistapoja on useita erilaisia, mutta muutamia yleisesti käytettyjä tapoja ovat

- yksiviivakaaviot
- moniviivakaaviot
- lohkokaaaviot.

Yksiviivakaavio on yksinkertainen kaavio, jossa käytetään yhtä viivaa ja standardeitua symboleita. Yksiviivakaaviossa kuvataan pääliitännät ja virtapiirin reitit yksinkertaisesti ilman, että esitetään jokainen johto erikseen. Moniviivakaaviossa esitetään jokainen johto erikseen ja niistä kerrotaan yksityiskohtaiset tiedot kuten johdinkoko, -väri ja -tyyppi. Lohkokaavioissa esitetään virtapiirin toiminnot yksinkertaisesti niin, että johdot menevät lohkoilla esitettyihin komponentteihin ilman, että kytkentöjä esitetään yksityiskohtaisesti. (Zuken n.d.)

3 SUUNNITTELIJAN TYÖKALUT

3.1 Vertex ED

Opinnäytetyön sähkökaavioihin tutustutaan toimeksiantajan käyttämällä Vertex ED sähkösuunnitteluohjelmalla, joka on kotimaisen Vertex Systems:n tarjoama ohjelma. 47 vuoden kokemuksen omaava Vertex Systems on maailmanlaajuisesti tunnettu ja arvostettu suunnittelun ja tiedonhallinnan ohjelmistoratkaisujen toimittaja teollisuudelle. (Vertex Systems n.d.a.)

Vertex ED on automaatio- ja sähkösuunnitteluohjelma, jonka älykäs tiedonhallinta mahdollistaa automaattisten toimintojen hyödyntämisen, joiden avulla voi tuottaa kaavioihin perustuvia dokumentteja, kuten layoutteja, ristiviittauksia ja luetteloita, nopeasti ja tarkasti. Älykäs tiedonhallinta vähentää manuaalisen työn määrää ja minimoi virheriskit. (Vertex Systems n.d.b.)

Toimeksiantajalla on räätälöityjen toimintojen takia käytössään Vertex ED:n vuoden 2022 versio 28.0.13, joten opinnäytetyössä on käytetty kyseistä versiota. Vertex ED:ssä pääsee tutkimaan takasähkökeskuksen piirikaavioita sekä johtosarjaa.

3.2 SolidWorks 3D CAD

SolidWorks 3D CAD on 3D-mallintamista varten tehty tietokoneohjelma, jonka omistaa ohjelmistoyritys Dassault Systèmes. 30 vuotta sitten julkaistu SolidWorks 3D CAD on yksi suosituimmista 3D-mallinnusohjelmista ja ohjelmaa kehitetään vuosittain sadoilla parannelluilla ja täysin uusilla ominaisuuksilla ja toimintoilla keskittyen erityisesti käyttäjien parannusehdotuksiin. (Oanes 2024.)

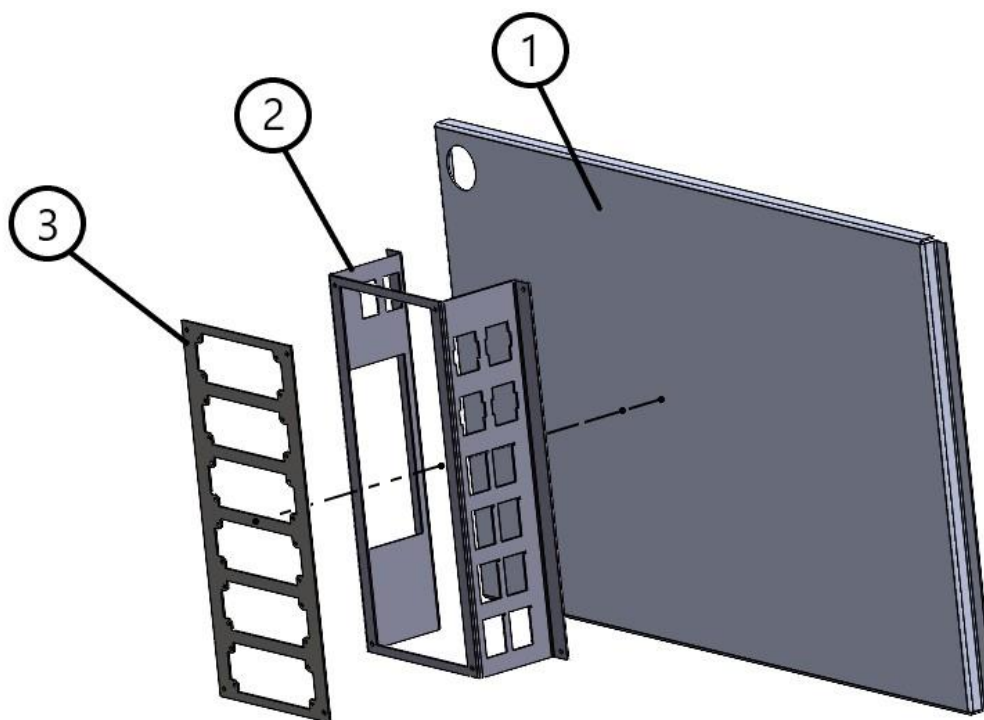
Ohjelmalla onnistuu vaivattomasti osien, kokoonpanojen sekä osapiirustusten luominen, muokkaus ja katselmointi. SolidWorksia käytetään tässä työssä tutkimaan ja muokkaamaan toimeksiantajalta saatuja takasähkökeskukseen liittyviä 3D-malleja, jotta saadaan havainnollistettua sähkökeskuksen komponenttien sijainnit.

4 SÄHKÖKESKUKSEN SUUNNITTELU

4.1 Nykyinen sähkökeskus

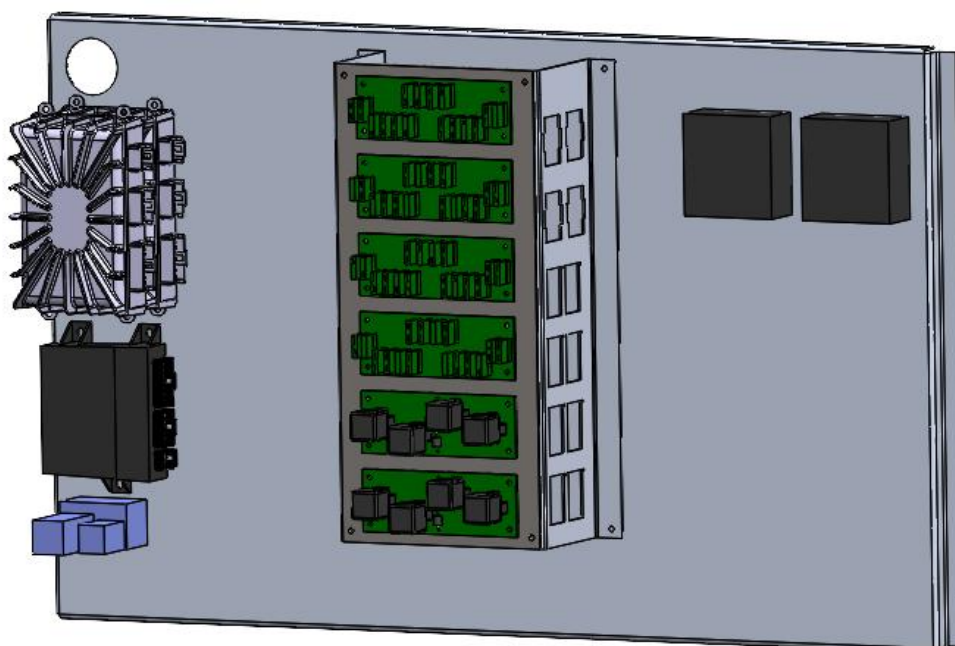
Tässä työssä käsiteltävä sähkökeskus sijaitsee ajoneuvon takaosassa matkataratilassa. Takana sijaitsee myös moottoritila ja sähkökeskus on käytännössä sen yläpuolella, joten takasähkökeskuksen tilassa on korkeutta vain 580 millimetriä, eli sähkökeskuksen asennus tapahtuu melko ahtaassa tilassa.

Sähkökeskus koostuu kolmesta alumiinilevystä, joihin kiinnitetään takasähkökeskuksen komponentit. Sähkökeskus kasataan kokoonpanolinjan ulkopuolella erikseen niin, että sähkönohjauksen komponentit sekä keskuksen johtosarja ovat keskuksessa, kun se tulee kokoonpanolinjalle. Kuvassa 2 on esitetty sähkökeskuksen alumiinilevyt numeroituina 1–3. Levy 1 eli pohjalevy kiinnittyy ajoneuvon ruuviliitoksiin. Levy 2 eli kehikko kiinnitetään pohjalevyyn ruuviliitoksiin ja levy 3 eli kansi tulee kehikkoon. Kehikossa on valmiina pultit ja kansi kiinnitetään siihen muttereilla.

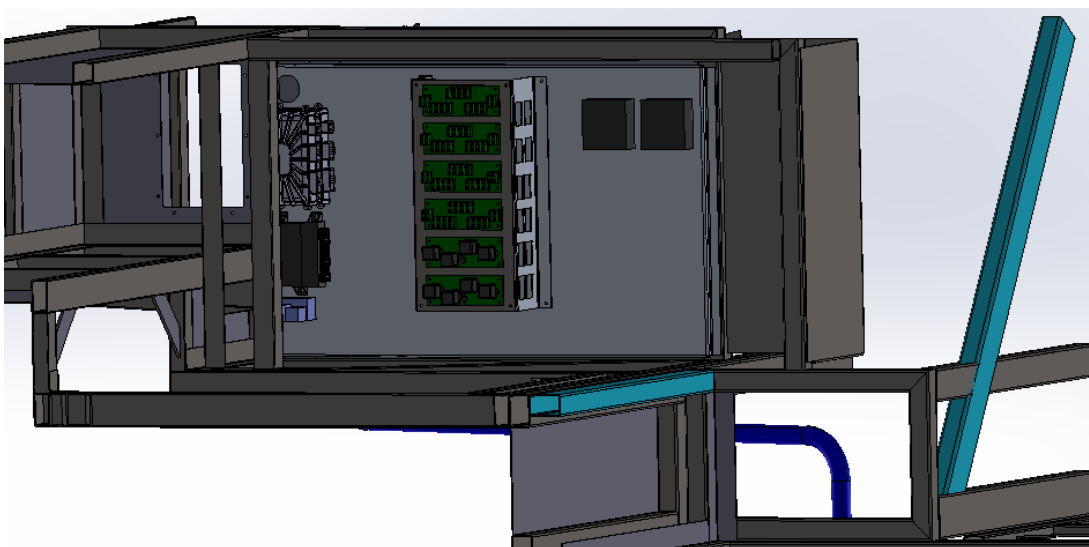


KUVA 2. Sähkökeskuksen alumiinilevyt numeroituina.

Pohjalevyyn kiinnitettäviä komponentteja ovat kolme ohjausmoduulia, kaksi maadoitusrasiaa sekä yksi rele ja PWM/analogia-signaalimuunnin, joiden sijainnit keskuksessa on esitetty kuvassa 3 niin, että kaksi ohjausmoduulia on päällekkäin vasemmassa yläkulmassa ja niiden alapuolella on yksi erilainen ohjausmoduuli ja sen alapuolella on rele ja PWM/analogia-signaalimuunnin. Kanteen tulee kiinni neljä sulakekorttia ylhäälle ja kaksi relekorttia niiden alapuolelle. Pohjalevyn oikealla puolella on kaksi maadoitusrasiaa. Sähkökeskus sijaitsee ajoneuvossa kuvan 4 mukaisesti.



KUVA 3. Nykyisen sähkökeskuksen komponenttien sijainnit.



KUVA 4. Nykyinen sähkökeskus ajoneuvossa.

4.1.1 Sähkökeskuksen vaatimuksia ja rajoitteita

Työssä on pyrittävä siihen, että johtosarjoja ei tulisi muokata. Tällöin säästytään suuremmalta vaivalta, kun johtosarjoja ei tarvitse lähteä muokkaamaan vaan voidaan käyttää samoja toimiviksi todettuja johtosarjoja, joita on käytetty jo vuosia. Tämä myös tarkoittaa sitä, että sähkökeskuksen tulee olla takana, koska sinne tulee muista johtosarjoista liittimet sähkökeskukselle. Eli vaikka jossain muualla sattuisikin olemaan enemmän tilaa sähkökeskukselle, niin tätä vaihtoehtoa ei pohdita.

EMC eli sähkömagneettinen yhteensopivuus tarkoittaa sitä, että sähkölaitteet eivät häiriinny sähköisistä, magneettisista tai sähkömagneettisista vaikutuksista (Dietsche & Konrad 2022, 1524). Sähkömagneettisten yhteensopivuusongelmien välttämiseksi on suositeltavaa reitittää herkät sähkölinjat erillään jyrkkien virtapiikkien sähkölinjoista (Dietsche & Konrad 2022, 1520). Eli esimerkiksi johdot, joissa kulkee tietoa kuten ohjainmoduulien johdot on pidettävä erillään invertterin virtajohdoista. Tätä periaatetta noudatetaan myös Carruksella, joten suunnittelussa on otettava huomioon sähkömagneettisen yhteensopivuuden toteuttaminen.

Ajoneuvoon voi tulla lisälaitteena myös invertteri eli vaihtosuuntaaja, joka muuttaa 24 voltin tasavirtaa 230 voltin vaihtovirraksi. Invertteri kytketään takasähkökeskukseen ja sijoitetaan sen lähetyville, mutta ei kuitenkaan samaan tilaan. Invertteri siis tuottaa lisätyötä sähkökeskuksen asennukseen, joten tässä työssä tutkitaan myös voisiko invertterille mahdollisesti tehdä keskukseen tilaa, jotta sille olisi valmis paikka ja sen voisi kiinnittää keskukseen kokoonpanolinjan ulkopuolella.

Tehoelektronikan komponentit (esimerkiksi invertteri ja jännitteenmuuntaja) voivat aiheuttaa suuria häiriösignaaleja ja ohjausmoduulit ovat herkkiä häiriösignaaleille (Dietsche & Konrad 2022, 1526). Invertteriä ei voi siis keskuksessa sijoittaa ainakaan ohjausmoduulien lähelle.

4.1.2 Asennustyö

Sähkökeskuksen levyt sekä johtosarja tulevat alihankkijalta ja levyihin tulee kiinni Carrukselta löytyvät komponentit. Carrukselle keskus tulee täysin osissa eli edes levyjä ei ole kiinnitetty toisiinsa.

Carruksen sähköpajalla keskus kasataan niin, että ensin kansi kiinnitetään kehikkoon, jonka jälkeen pohjalevyyn kiinnitetään sulake- ja relekortit. Relekkortteihin kiinnitetään releet ja sulakekkortteihin täytyy kiinnittää oikean kokoiset sulakkeet oikeisiin kohtiin. Tämän jälkeen kyseinen kokoonpano kiinnitetään pohjalevyyn. Sitten pohjalevyyn kiinnitetään ohjausmoduulit, releen ja PWM/analogia-signaalimuuntimen pidike, maadoitusrasiat sekä nippusidekiinnikkeitä johtojen reititystä varten. Pohjalevyssä ei ole valmiita reikiä, joten Carruksella komponentit kiinnitetään levyyn ruuviliitoksien kutakuinkin oikeille paikoilleen. Keskuksen kasaukseen menee noin 1,5 tuntia.

Carruksen sähköpajalla johtosarja asennetaan sähkökeskukseen, jossa on komponentit asennettuina ja näihin vain kytketään johtosarjan liittimet. Liittimiä ei tietysti voi kytkeä miten vain, vaan johtosarjan täytyy olla siististi tietyllä tavalla asennettu, jotta johtojen pituus riittää komponenteille. Johdotuksen tekemiseen kuluu noin tunti. Sähkökeskuksen johdotus tehdään siis kokoonpanolinjan ulkopuolella ja kun keskus asennetaan ajoneuvoon niin siihen vain liitetään muiden johtosarjojen liittimet.

Kokoonpanolinjalla sähkökeskuksen asentamiseen kuuluu myös monenlaista pientä tekemistä ja asentajien mukaan pelkän takasähkökeskuksen asennukseen menee noin 4–6 tuntia ja invertterin asennustyö voi teettää 1–2 tuntia lisätyötä. Kokoonpanolinjalla asennustyössä ensimmäisenä kiinnitetään sähkökeskus ajoneuvoon viidellä ruuvilla. Seuraavaksi liitetään muiden johtosarjojen johdot takasähkökeskukseen, mutta ihan kaikki ei kuitenkaan yhdisty valmiilla liittimillä. Sulakekkortteille tuodaan korkeavirtakaapelit, joissa ei ole liittimiä valmiina, koska niiden pituus hieman vaihtelee ja asentaja itse leikkaa ne sopivan pituisiksi. Kuvassa 5 kansi on irti ja nähdään sulake- ja relekkorttien liitännät. Sulakekkortteille menevät korkean virran takia muita johtoja paksummat punaiset johdot, jotka

ovat kooltaan 16 mm². Nämä viedään keskuksen alaosaan mahdollisimman piilossa ja erillään matalavirtajohtimista.



KUVA 5. Sulakekorttien virtajohtot (Kuva: Ville Pääkkönen).

Lähes kaikissa johdoissa on valmiit liittimet, joten ne vain kytketään oikeisiin paikkoihin. Joidenkin lisälaitteiden johdot voivat olla ilman liittimiä ja niiden päihin asentaja tekee itse liitännät, mutta usein tarvitsee vain lisätä liitinpinni ja se pistetään oikeaan liitinrunkoon, joka löytyy jo keskukselta. Eniten aikaa asennustyössä menee johtojen asetteluun siististi, koska johtojen siisti ja selkeä asettelu helpottaa tulevaisuudessa mahdollista vianetsintää. Johtoja asetellessa täytyy myös pitää herkäät signaalijohtot erillään korkeiden virtojen johdoista, joten tämäkin vie aikaa.

Sähkökeskuksesta lähtee johdot lämmitystilan magneettiventtiileille ja ne sijaitsevat sähkökeskuksen seinän takana, mutta seinässä ei ole valmista reikää, joten sekin täytyy tehdä itse, jotta johdot pystytään viemään oikeisiin paikkoihin. Johdot menevät pohjalevyn vasemmassa yläkulmassa olevasta reiästä, joka nähdään kuvassa 3. Kuva 6 on otettu lämmitystilan puolelta ja siitä nähdään, että seinässä ei ole valmiiksi reikää ja kuvasta 7 nähdään kuinka johdot tulevat sähkökeskuksesta reiän kautta lämmitystilaan.



KUVA 6. Lämmitystilan seinä ilman johtojen läpivientä (Kuva: Ville Pääkkönen).



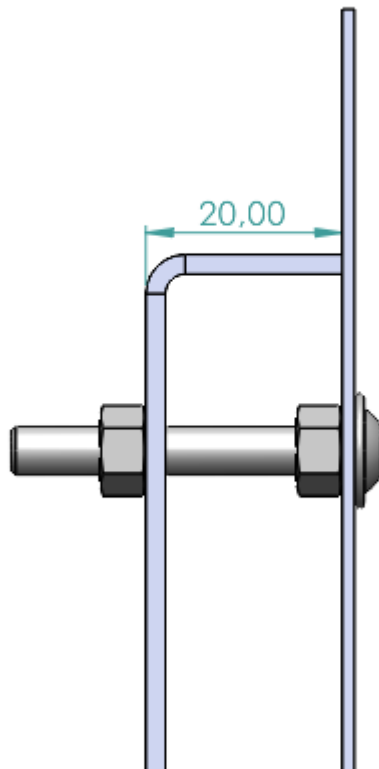
KUVA 7. Lämmitystilan seinä johtojen läpiviennin kanssa (Kuva: Ville Pääkkönen).

4.2 Kehitysideat

4.2.1 Asentajien ehdotuksia

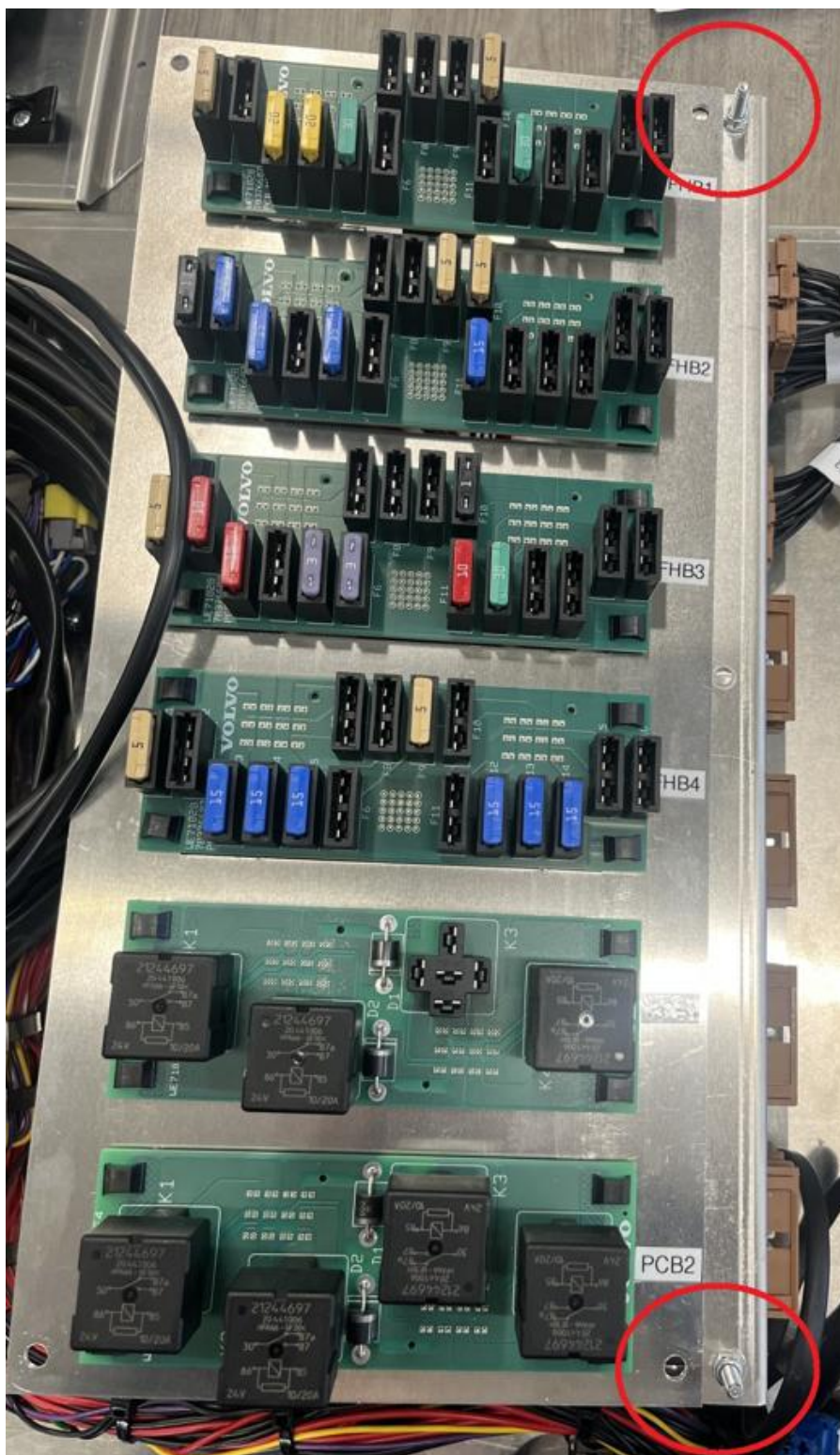
Suunnittelijan voi olla hankala ottaa kaikki asiat huomioon tuotetta suunnitellessa pelkästään koneen äärellä. Tämän vuoksi olen keskustellut keskuksen asentajien kanssa, ja heiltä on ilmennyt keskuksesta hyviä käytännön havaintoja ja huomioita. Asentajilta on tullut pieniä kehitysehdotuksia kuten keskuksen kiinnityksen muuttaminen, kun tällä hetkellä se kiinnitetään vain ruuviliitoksiin. Ajoneuvossa voisi olla valmiiksi pultit, johon keskuksen saa kiinni muttereilla ja tällä tavoin asentajan ei tarvitsisi itse määritellä keskuksen paikkaa ja ruuvata keskusta paikalleen samalla kun pitelee keskusta oikeassa asennossa. Pohjalevyn jokaista reunaa on taitettu 90 astetta ja laippaa on tuotu taivutuksen jälkeen 20 millimetriä ulospäin. Pohjalevyä pitelevä pultti tulisi kiinnittää mutterilla seinään ja mutteri

sopisi kuvan 8 mukaisesti hyvin pohjalevyn alle. Kuvassa 8 on käytetty M5 mutteria ja M5x35 pulttia eli sen nimellishalkaisija on 5 millimetriä ja pituus 35 millimetriä. Suuremman nimellishalkaisijan pulttia kuten M6 tai M7 voi myös käyttää, jos on tarve vielä kestävämmälle tuelle. Pitää myös huomioida, että pohjalevyn kiinnitysreikien tulee olla hieman väljät, jotta levyn saa pultteihin kiinni pienistä sijaintipoikkeavuuksista huolimatta. Liian tarkasti mitoitettut reiät voivat estää levyn kiinnittämisen, jos pultit eivät osu täsmälleen oikeisiin kohtiin.



KUVA 8. Pohjalevyn kiinnityspultti.

Lisäksi hyvänä ideana eräältä asentajalta tuli, että kannen kiinnitys kehikkoon voisi olla myös erilainen. Kuvassa 9 on ympyröity punaisella kehikon valmiit pultit, joihin kansi tulee kiinni muttereilla. Pultteja on yhteensä neljä niin, että jokaisessa kulmassa on yksi, mutta kuvassa 9 näkyy vain kaksi oikean puolen pulttia, koska kansi on irti kehosta. Kannen kiinnityksen voisi toteuttaa pulttiliitoksen sijaan saranalla niin kuin on käytetty eräässä toisessa sähkökeskuksessa. Tällöin kun kansi täytyy irrottaa keskuksen ollessa ajoneuvossa niin sitä ei tarvitse pidellä tai jättää roikkumaan johtojen varaan. Myös sähköpajalla johtosarjan asennus helppottuu, kun kantta ei tarvitse itse pidellä.



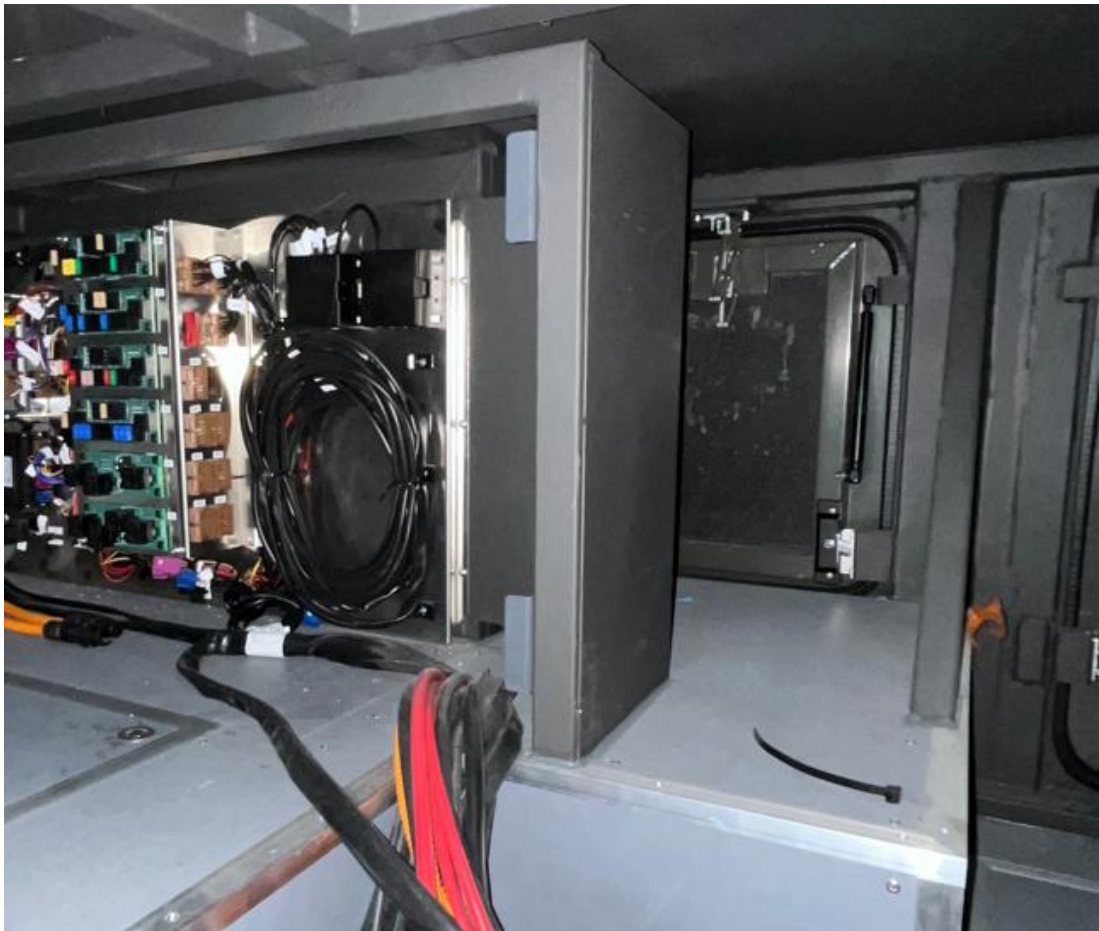
KUVA 9. Levyjen 2 ja 3 pulttikiinnitys (Kuva: Ville Pääkkönen).

4.2.2 Omat kehitysideat

Asentajilta on saanut hyviä pieniä kehitysehdotuksia yksittäisiin vaiheisiin ja nämä olisivat varmasti hyvin toteutettavissa. Itse haluan lähestyä kehittämistä

kokonaisvaltaisemmin ja pohtia ratkaisua, joka helpottaisi työtä vielä laajemmin. Lähdetään pohtimaan siis yhtä isoa ratkaisua, jolla voitaisiin vähentää useita erilisiä pienempiä ongelmakohtia. Toki yhtä isoa ratkaisua ei välttämättä pysty toteuttamaan, joten useammalla pienellä ratkaisulla voidaan myös saada huomattava helpotus asennustyöhön.

Kuvasta 10 nähdään, että keskuksen pohjalevyä pystyisi pidentämään niin, että levy tulisi oikealla olevaan seinään asti, koska tilaa ei käytetä mihinkään. Tätä samaa seinää voisi myös siirtää vielä lisää oikealle vinopalkkiin asti, koska sitäkin tilaa ei käytetä mihinkään. Tällöin levyyn mahtuisi vielä invertteri eli sen voisi asentaa myös kokoonpanolinjan ulkopuolella, kun tällä hetkellä se asennetaan linjalla. Näin saataisiin helpotettua asentajan työtä vielä hieman lisää, kun invertteriäkään ei tarvitsisi asentaa ahtaassa tilassa. Toisaalta taas asennus ei välttämättä helpotukaan, jos samalla levyllä on paljon komponentteja, koska suuri paino voi vaikeuttaa keskuksen asennusta ajoneuvoon ja invertteri tuo lisäpainoa noin 7 kilogrammaa.

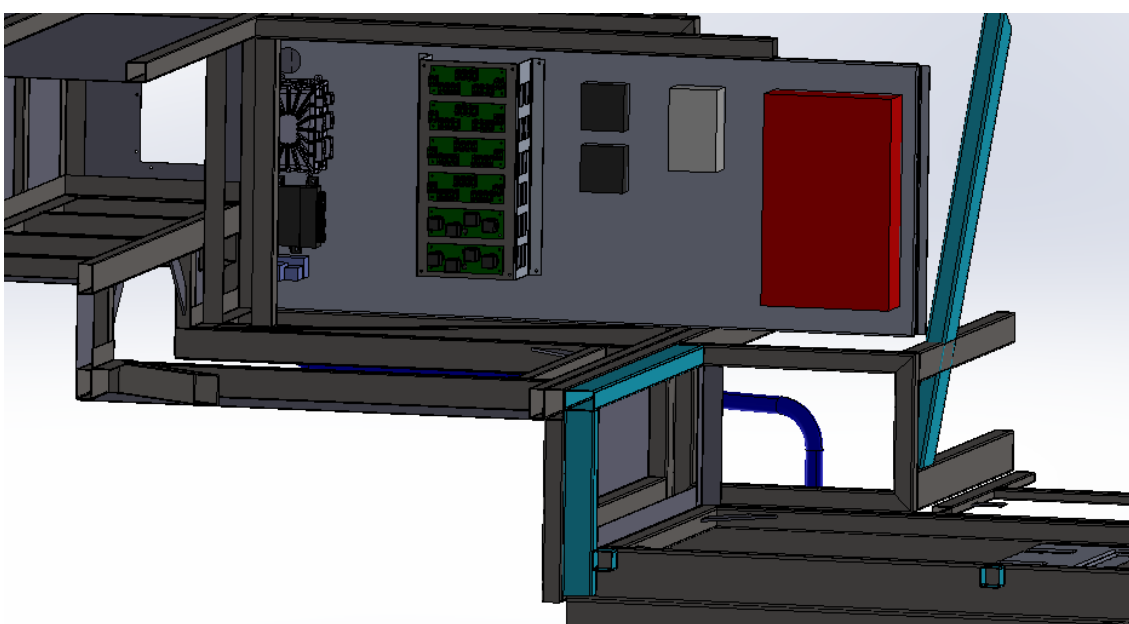


KUVA 10. Keskuksen oikealla puolella oleva käyttämätön tila (Kuva: Ville Pääkönen).

Normaalisti pohjalevyssä on tyhjää tilaa oikealla puolella maadoitusrasioiden alapuolella, kun kaikissa ajoneuvoissa ei ole invertteriä. Tarvittaessa tyhjiin tilaan saa invertterin sulake- ja vikavirtasuojarasian (valkoinen rasia) kuvan 11 mukaisesti. Maadoituksen jakorasiat on sijoitettu nykyään vierekkäin, mutta ne voisi laittaa toinen toisen yläpuolelle, jotta oikealle puolelle saataisiin lisää tilaa. Eli jos kuvan 12 mukaisesti levyä pidentäisi oikealle ja maadoituksen jakorasiat laitettaisiin toinen toisen yläpuolelle niin maadoitusrasian ja seinän välille jäisi noin 600 millimetriä tilaa, joka riittää invertterin sulakerasialle ja invertterille. Kuvassa 12 invertteriä on kuvattu punaisella laatikolla sekä sulake- ja vikavirtasuojarasiaa harmaalla laatikolla.

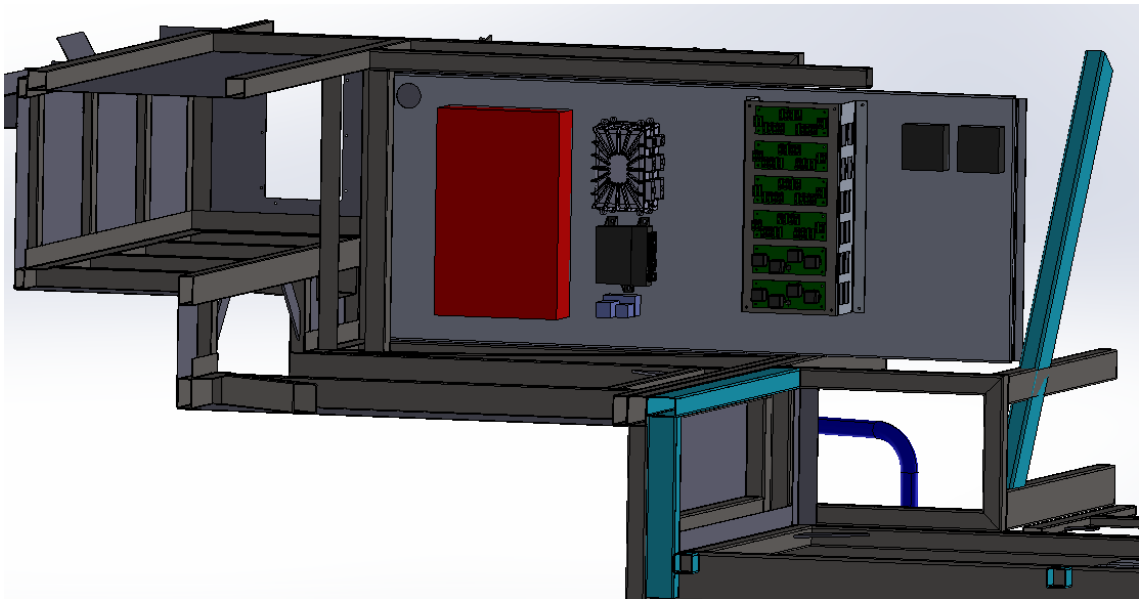


KUVA 11. Sähkökeskus invertterin sulakerasian kanssa (Kuva: Ville Pääkkönen).



KUVA 12. Oikealle puolelle pidennetty keskus.

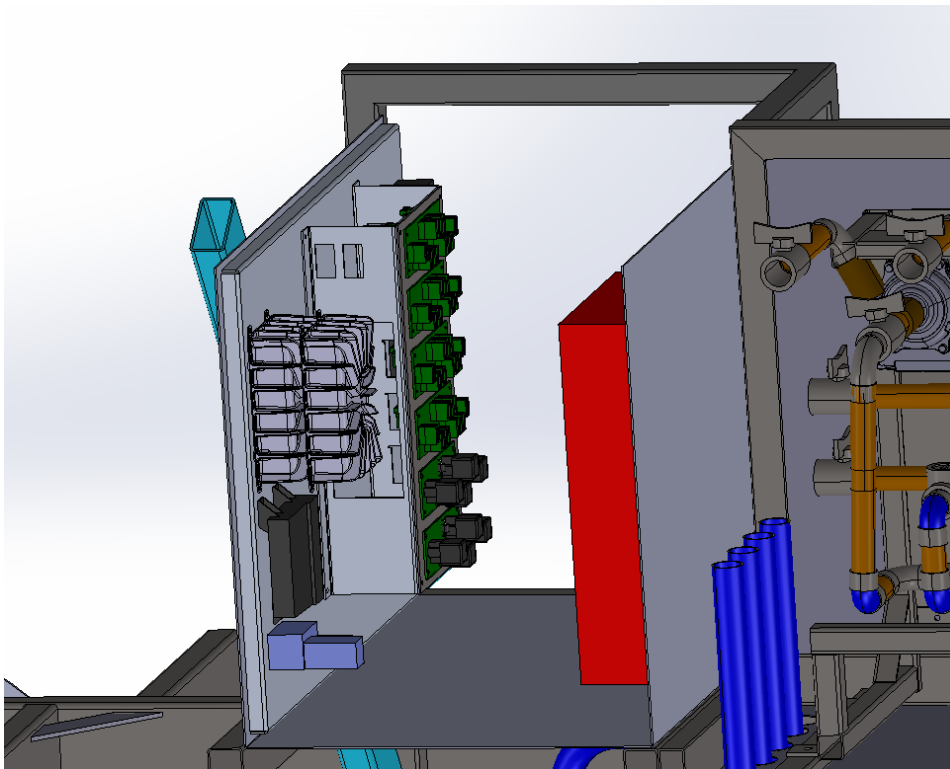
Eniten keskuksen asennustyössä tulisi helpotusta, jos keskus sijoitettaisiin ikin oikealle puolelle, koska eniten liitäntöjä tulee kehikon liittimiin, joten niihin on eniten tarvetta päästä käsiksi. Kun keskuksen saisi siirrettyä keulaa päin kuvan 13 mukaisesti niin nähdään, että asentamiseen tulisi jo huomattavasti enemmän tilaa, kun keskus ei olisi enää niin paljoa moottoritilan päällä vaan oltaisiin varsinaisen matkatavaratilan korkeudella. Varsinaisessa matkatavaratilassa on korkeutta noin 890 millimetriä eli korkeutta asennustilaan tulisi lisää 310 millimetriä. Tilassa voisi työskennellä polvillaan sekä istua askelmalla. Tässä tilanteessa invertteriä ei kuitenkaan pystyisi sijoittamaan vasemmalle puolelle, koska ohjausmoduulit sijaitsisivat invertterin vieressä ja tällöin ne ovat alttiina häiriösignaaleille. Tämä vaatisi komponenttien sijaintien muuttamista niin, että ohjausmoduulit siirtyisivät oikealle puolelle ja maadoitusrasiat vasemmalle puolelle ja tämän takia tulisi paljon muutoksia sähkökeskuksen johtosarjaan.



KUVA 13. Alkuperäisen keskuksen komponentit oikealla puolella.

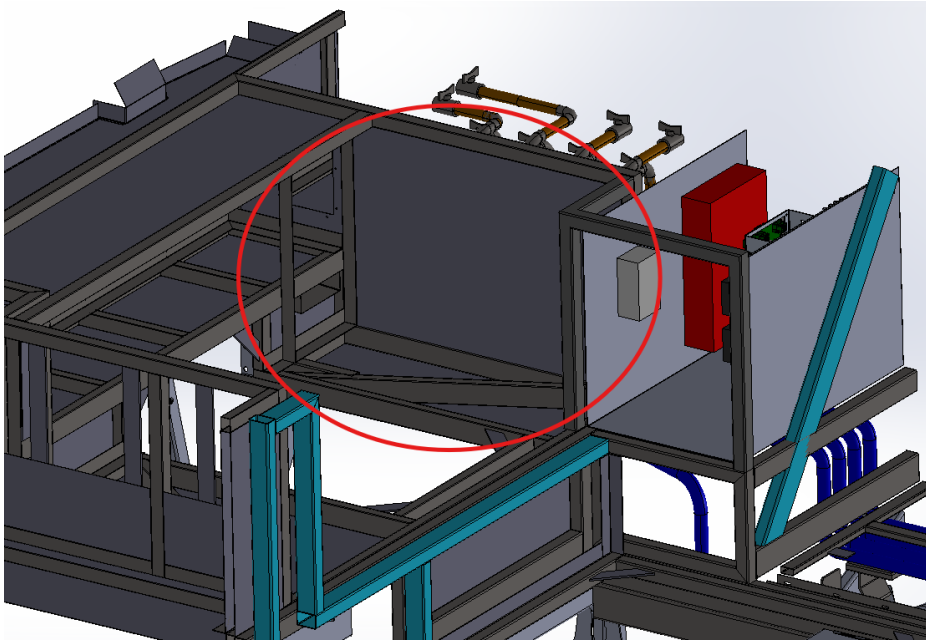
Keskus voisi mahdollisesti olla myös nykyisen invertterin tilassa (KUVA 14). Tällöin keskukseen pääsisi käsiksi ajoneuvon sisältä askeleen kohdalta sekä ulkopuolelta huoltoluukusta. Tässä toteutustavassa voi joutua pidentämään lämmitystilaan meneviä johtoja, koska keskus on hieman kauempana lämmitystilasta. Keskus voisi olla laatikossa, niin samaan laatikkoon saisi invertterin ja sulakerasian ja laatikon voisi vain nostaa paikalleen asentaessa. Tässä voi kuitenkin olla ongelmana, että invertteri on liian lähellä muita komponentteja, mutta ei oikein löydy tietoa, että kuinka lähellä invertteri saa olla. Tässä konseptissa invertterin

ja muiden komponenttien välillä on tilaa 200 millimetriä. Invertteri tuottaa lämpöä, joten laatikossa on toteutettava ilmanvaihto rei'illä, jotta invertterin lämpö ei aiheuta vahinkoja invertterille tai muille komponenteille. Lisäksi keskuksen kanssa joutuisi työskentelemään ikään kuin sivusta, kun nykyään pystyy työskentelemään kohtisuoraan edestä päin, jolloin on parempi näkyvyys komponentteihin sekä parempi käsien ulottuvuus eri paikkoihin. Keskus ei ole täysin sama kuin alkuperäinen, vaan sitä on lyhennetty niin, että maadoitusrasiat ovat toinen toisen yläpuolella kuten kuvassa 12.

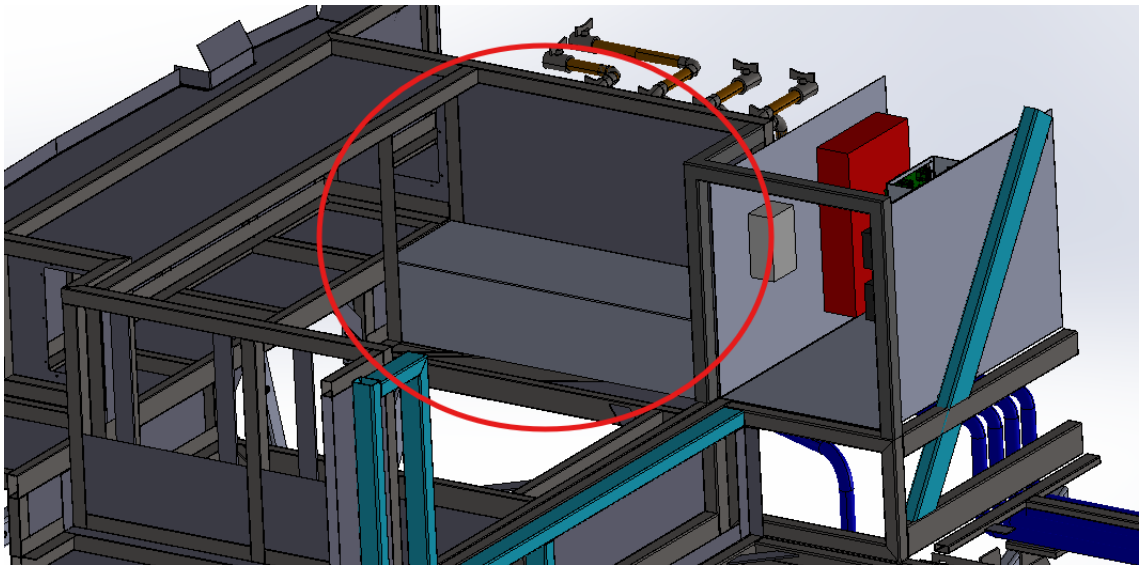


KUVA 14. Keskus nykyisen invertterin tilassa.

Hyvänä puolena tässä on kuitenkin, että matkatavaratilaan saadaan lisää tilaa muulle tavaralle, kun aiempi sähkökeskuksen tila vapautuu kuvan 15 mukaisesti. Kyseisen tilan alaosassa kulkee kuitenkin nykyään alustasarjasta johtoja ajoneuvon taakse, joten johdot pitäisi suojata kuvan 16 mukaisesti etteivät esimerkiksi matkatavarat ole kontaktissa niihin.

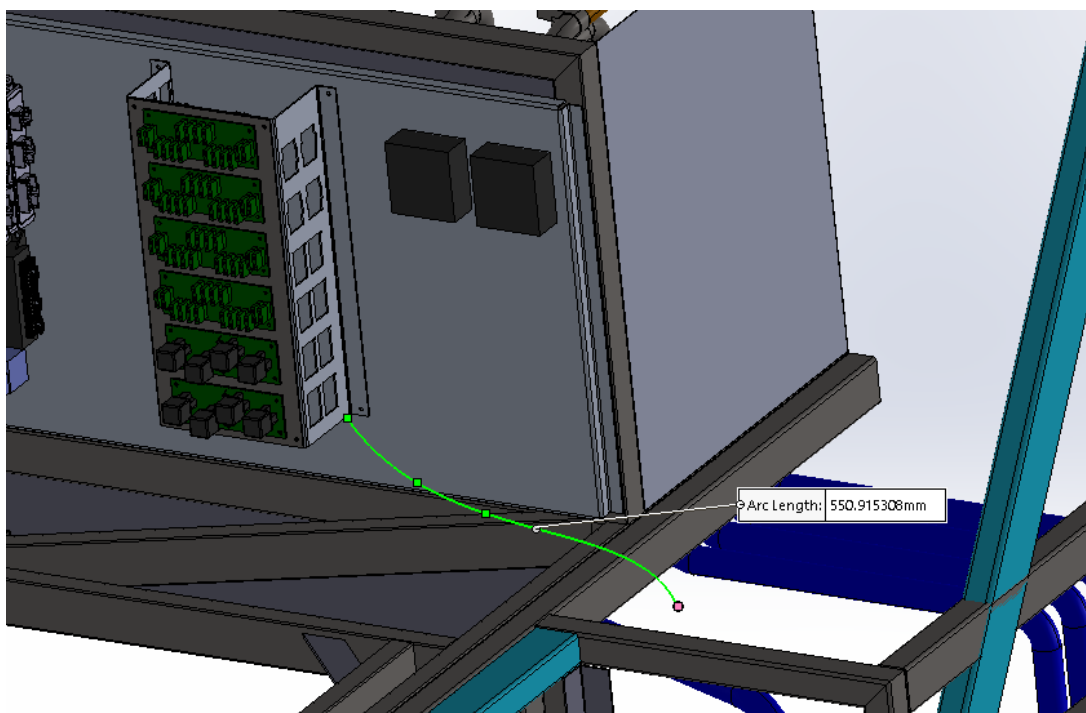


KUVA 15. Vapautunut tila matkatavaroille.

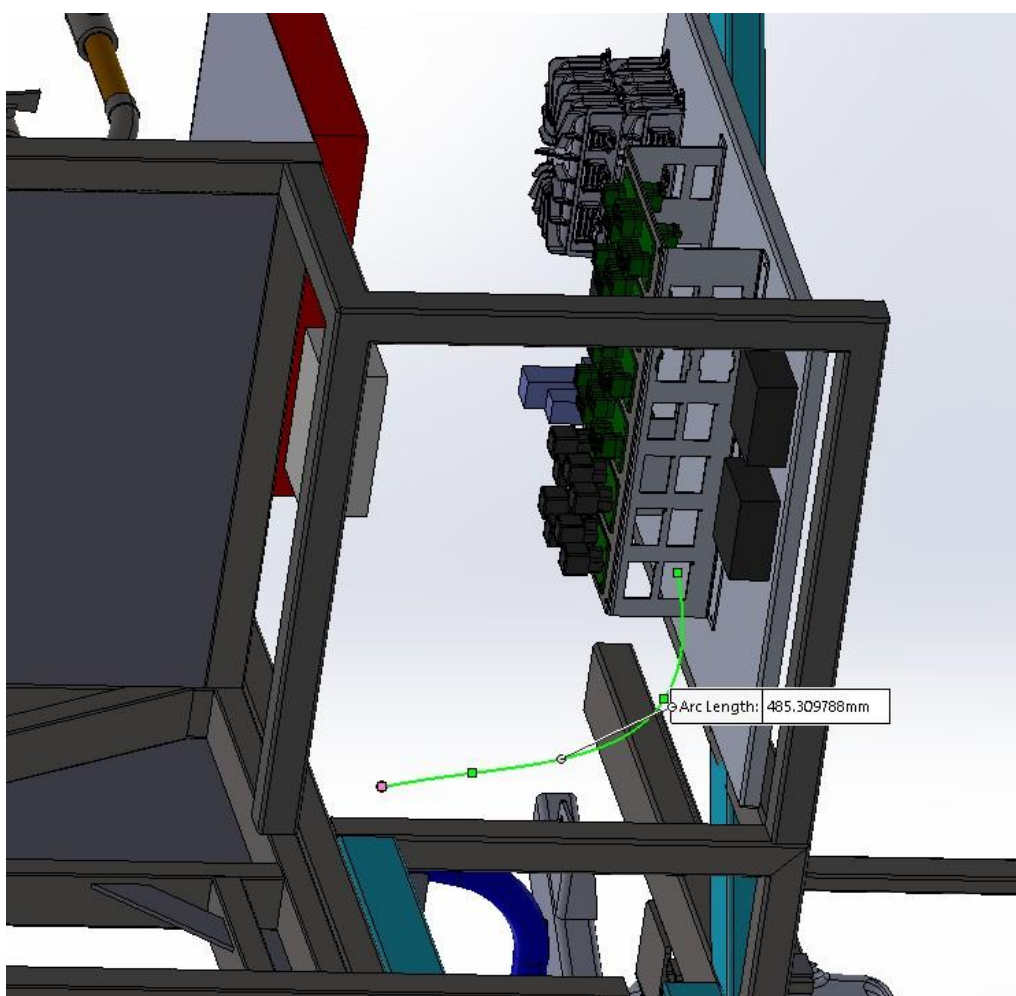


KUVA 16. Todellinen vapautunut tila matkatavaroille.

Johdot muista johtosarjoista keskukseen tulevat kuvan 17 mukaisesti lattiasta ja johtojen pituus keskukseen pysyy hyvin lähellä samaa, kuten nähdään vertaamalla kuvia 17 ja 18. Keskuksen johtosarjaan ei tarvitsisi muuta muutoksia kuin mahdollisesti pidentää lämmitystilaan menevien johtojen pituuksia, jos nykyiset johdot on mitoitettu tarkalleen niin, että niiden pituus riittää vain, jos ne kulkevat nykyistä reittiä. Yleensä kuitenkin johdoille on mitoitettu hieman ylimääräistä, jotta on hieman pelivaraa johdotuksessa.



KUVA 17. Johtojen arvioitu pituus nykyiseen sähkökeskukseen.



KUVA 18. Johtojen arvioitu pituus eri sijainnin sähkökeskukseen.

Vielä yksi ratkaisu keskukselle voisi olla, että se olisikin yksi iso sähkökaappi samassa sijainnissa kuin nykyinen sähkökeskus. Sähkökaappiin saisi kaikki komponentit sisälle samalla komponenttien sijoittelulla kuin kuvassa 11. Suurta kaappia ei voisi kuitenkaan nostaa ajoneuvon samassa valmistusvaiheessa kuin nykyisen sähkökeskuksen asennus tapahtuu. Suuren laatikon nostaminen ajoneuvon ovesta tai matkatavaraluukusta on lähes mahdotonta, joten kaappi tulisi nostaa ajoneuvon jo metallipuolella eli melko alussa ajoneuvon valmistusta, kun tehdään vasta korin metallirakenteita. Kaapin asennustyö olisi huomattavasti helpompaa, kun sen ympärillä ei ole vielä asennettuja rakenteita vaan sen saisi vain nostettua paikalleen.

Tämä kuitenkin tarkoittaa sitä, että kaapin tulee kestää ajoneuvon valmistuksen myöhemmät vaiheet, jossa se altistuu pölylle, lämmölle ja mekaaniselle rasitukselle, kun sen ympärillä rakennetaan, hitsataan ja maalataan. On myös hankala löytää valmista oikeankokoista sähkökaappia/-koteloa, joka olisi korkeudeltaan 560 millimetriä, leveydeltään 1200 millimetriä ja syvyydeltään 285 millimetriä, joten se täytyisi teettää mittatilaustyönä tai valmistaa itse, mikä sitten vie ylimääräistä aikaa ja rahaa. Leveytenä riittää myös 750 millimetriä, jos samaan kaappiin ei tule invertteriä, mutta tämän kokoista kaappia ei myöskään löydy. Laatikkoon täytyisi tehdä reiät, jotta muut johtosarjat saadaan yhdistettyä keskukseseen, mutta tämän voi tehdä siinä vaiheessa, kun muita johtosarjoja aletaan asentamaan ajoneuvon, niin vältetään keskuksen komponenttien altistumista pölylle aikaisemmissa valmistusvaiheissa.

4.2.3 Kehitysideoiden yhteenveto

Kehitysmahdollisuuksia on siis monia ja jokaisella mahdollisuudella on omat heikkoutensa ja vahvuutensa. Asentajien ehdotuksia ovat saranakiinnitys kannen ja kehikon välillä sekä pohjalevyn kiinnitys ajoneuvon niin, että ajoneuvossa olisi valmiit pultit joihin levyn saa kiinni muttereilla. Levyn kiinnityksessä on vain muistettava, että reiät on tehtävä tarpeeksi väljiksi, jotta valmiit pultit osuvat levyn reikiin pienistä sijaintipikkeavuuksista huolimatta. Näissä vaihtoehdoissa ei ole oikeastaan huonoja puolia ja nämä ovat hyvin toteutettavissa.

Omia kehitysehdotuksia oli käytännössä neljä, joista ensimmäiset kaksi olivat, että nykyisen keskuksen tilaa sekä pohjalevyä levennettäisiin, jotta invertteri mahtuisi samalle levyllä. Ensimmäisessä vaihtoehdossa alkuperäisen sähkökeskuksen komponenttien sijoittelu on muuten sama, mutta maadoitusasiat ovat toisen toisen yläpuolella. Tässä tilanteessa ei siis tulisi muutoksia johtosarjoihin, mutta asennus ei helpotu kovin paljoa, koska keskus on edelleen ahtaassa tilassa. Ainoa helpotus olisi, että invertteri olisi nyt vakiona samassa tilassa, jolloin se hieman nopeuttaa asennusta, jos ajoneuvoon tulee invertteri.

Toisessa vaihtoehdossa alkuperäisen keskuksen komponentteja siirrettiin oikealle, jolloin asentaja pääsisi työskentelemään askeleen kohdalla, jossa on enemmän korkeutta. Tässä vaihtoehdossa kuitenkin invertteri siirtyy keskuksen vasemmalle puolelle, jossa on myös ohjausmoduulit, mutta invertteri ei saa olla niiden vieressä mahdollisten häiriösignaalien takia. Tässä vaihtoehdossa tulisi siis enemmän hyötyä sähkökeskuksen asentamiseen, mutta invertteri täytyy asentaa eri tilaan samalla tavalla kuin nykyäänkin. Johtosarjoja ei tarvitsi myöskään muokata, koska keskus itseasiassa siirtyy lähemmäksi muiden johtosarjojen johtoja ja keskukselta lämmitystilaan menevien johtojen pituus pitäisi riittää, kun vain tehdään uusi johtojen läpivienti eri kohtaan.

Kolmannessa vaihtoehdossa keskus on nykyisen invertterin tilassa eli siihen pääsisi käsiksi matkatavaratilasta tai ulkoa huoltoluukusta. Nykyisen sähkökeskuksen tila vapautuisi matkatavaroille. Keskus voisi olla laatikossa, jolloin siihen samaan laatikkoon saa invertterin ja sen sulakerasian ja laatikon saisi vain nostettua paikalleen komponenttien ollessa jo paikoillaan. Tässä toteutuksessa asentaja pääsisi työskentelemään ajoneuvon ulkopuolella tai matkatavaratilassa askeleen kohdalla, jossa on enemmän tilaa kuin nykyisen keskuksen tilassa. Kuitenkaan asentajalla ei ole välttämättä yhtä hyvä käsien ergonomia, kun täytyisi tehdä keskukseseen liittyvät asennukset ikään kuin sivusta ja mahdollisesti invertterin etäisyys keskuksen komponentteihin ei ole tarpeeksi suuri. On myös huomioitava, että laatikossa on toteutettava ilmanvaihto rei'illä sekä keskukselta lämmitystilaan meneviä johtoja voi mahdollisesti joutua pidentämään tässä konseptissa.

Neljäs vaihtoehto on, että komponentit olisivatkin yhdessä isossa laatikossa/kaapissa ja sijoittelu olisi samanlainen kuin ensimmäisessä kehitysehdoituksessa. Keskuksen asennus olisi tällöin mahdollisesti nopein tai ainakin yhtä nopea kuin kolmannessa konseptissa. Tässä vaihtoehdossa kuitenkin iso kokonaisuus vaatii sen asentamisen melko aikaisessa vaiheessa, kun ajoneuvon metallirakenteita tehdään. Tämä tarkoittaisi, että kaapin tulisi kestää myöhemmät vaiheet, joista aiheutuu pölyä, lämpöä ja mekaanista rasitusta. Lisäksi kaappi tulisi tehdä itse tai teettää toisella yrityksellä ja tämä vaatii lisää resursseja.

Jokaisessa vaihtoehdossa pystyy hyödyntämään saranakiinnitystä ja ainakin kahdessa ensimmäisessä vaihtoehdossa pystyy hyödyntämään valmiilla pulteilla toteutettua pohjalevyn kiinnitystä.

5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli kehittää konseptitasolla hyötyajoneuvon sähkökeskus helpommin ja nopeammin asennettavaksi. Työhön on koottu useita mahdollisia kehitysvaihtoehtoja tuomalla esiin niiden hyviä ja huonoja puolia, jotta toimeksiantajan on helppo työn avulla valita heidän mielestään paras ratkaisu sähkökeskukseen kehitykseen. Toimeksiantajan mielestä ensimmäinen ja kolmas vaihtoehto vaikuttivat mielenkiintoisimmilta ja jatkossa olisi mahdollista näistä kehittää toista vaihtoehtoa eteenpäin. Näissä voisi myös hyödyntää kehikon ja kannen sarakkiinnitystä sekä pohjalevyn kiinnitystä pulteilla.

Työssä on saavutettu haluttuna lopputuloksena monenlaisia konsepteja, vaikka työ onkin tehty tiukalla kahden kuukauden aikataululla. Työn alku oli melko hidas, kun täytyi tutustua ajoneuvoon niinkin syvällisesti, että tietää mitä kaikkea tapahtuu eri kokoonpanolinjan vaiheissa. Tämä auttoi ymmärtämään miksi sähkökeskus asennetaan nykyisessä vaiheessaan ja tämän avulla pystyi myös pohtimaan voisiko sen asentaa jossakin eri vaiheessa kuten metallirakenteita tehdessä. Täytyi myös syvällisemmin tutustua tietysti sähkökeskukseen ja kuinka se kasataan. Kävin läpi sähkökeskuksen johtosarjan ja tämän avulla selvitin piirikaavioista mihin kaikkialle sähkökeskuksesta menee johtoja, jotta ymmärtäisin kokonaisuuden paremmin. Tässä työssä ei kuitenkaan esitetty sähkökeskuksen piirikaavioita tai johtosarjaa, koska toimeksiantaja haluaa pitää nämä tiedot salassa. Salassapidon takia työssä on kerrottu monista asioista yleistämällä kuten puhumalla pelkästään ajoneuvosta tarkan ajoneuvotyypin sijaan ja tämän takia tekstissä ei joissain tilanteissa mennä juurikaan yksityiskohtiin.

Pitkän välimatkan takia en päässyt paikan päälle vierailemaan säännöllisesti, mikä rajoitti hieman tiedonhankintaa. Kävi myös ilmi, että sähkökeskukseen liit-tyen toimeksiantaja tekee paljon asioita itse kuten koko sähkökeskuksen kasauksen ja siihen komponenttien sijoittelun. Tämän lisäksi keskuksesta ei ollut valmista 3D-mallia vaan joitain yksittäisiä osia, joten välillä oli välttämätöntä päästä käymään tehtaalla mitailemassa ja kuvaamassa tietoja.

Annettuun aikaan ja resursseihin nähden sain kuitenkin mielestäni konseptoitua hyviä kehitysvaihtoehtoja, joissa on otettu huomioon useita tekijöitä kuten työn nopeutta, työergonomiaa, kustannuksia ja säädöksiä noudattamista sähköisten komponenttien asennuksessa. Toimeksiantaja on myös tyytyväinen työn tuloksiin, joten työ voidaan katsoa onnistuneeksi.

LÄHTEET

Autodesk. n.d.a. CAD software for designers, drafters, and creators. Verkkosivu. Viitattu 18.5.2025.

<https://www.autodesk.com/solutions/cad-software>

Autodesk. n.d.b. 3D modeling software. Verkkosivu. Viitattu 18.5.2025.

<https://www.autodesk.com/solutions/3d-modeling-software>

Carrus Delta. n.d.a. Historiikki. Verkkosivu. Viitattu 8.4.2025.

<https://www.carrusdelta.fi/fi/yritys/historia/historiikki/>

Carrus Delta. n.d.b. Yritys. Verkkosivu. Viitattu 8.4.2025.

<https://www.carrusdelta.fi/fi/yritys/yritys-sivu/>

Dietsche, K-H. & Konrad, R. 2022. Automotive Handbook. 11. Painos. Saksa; Robert Bosch GmbH.

Jokinen, T. 2010. Tuotekehitys. 6. korjattu painos. E-kirja. Helsinki: Aalto Yliopisto. Viitattu 25.4.2025.

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-3320-4>

Oanes, S. 2024. The history of SOLIDWORKS. Viitattu 28.4.2025.

<https://www.goengineer.com/blog/history-of-solidworks>

Tiigimägi, S. n.d. Mikä on 3D-mallinnus: 3D-mallinnus: Kaikki mitä sinun tarvitsee tietää. Verkkosivu. Viitattu 18.5.2025.

<https://3dstudio.co/fi/what-is-3d-modeling/>

Upmation. n.d. How to Read Electrical Diagrams? Verkkosivu. Viitattu 30.4.2025.

<https://upmation.com/wiring-diagrams/>

Vertex Systems. n.d.a. Yritys. Verkkosivu. Viitattu 28.4.2025.

<https://vertex.fi/yritys/>

Vertex Systems. n.d.b. Vertex ED – Sähkö- ja automaatio suunnittelu. Verkkosivu. Viitattu 28.4.2025.

<https://vertex.fi/ed/>

Zuken. n.d. Understanding Electrical Wiring Diagrams: Four Primary Types You Should Know. Verkkosivu. Viitattu 30.4.2025.

<https://www.zuken.com/en/blog/understanding-electrical-diagrams/>