

# Sähköauton akunhallintajärjestelmän toteutus ja lisälaitteiden suunnittelu

Markus Viitanen

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2023

Autotekniikka  
Auto- ja työkonetekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Autotekniikka  
Auto- ja työkonetekniikka

VIITANEN, MARKUS:

Sähköauton akunhallintajärjestelmän toteutus ja lisälaitteiden suunnittelu

Opinnäytetyö 51 sivua  
Huhtikuu 2023

---

Tässä työssä suunniteltiin ja asennettiin muunnossähköauton akuston hallintajärjestelmä sekä lisälaittejärjestelmä. Työn tilaajana oli Tampereen ammattikorkeakoulun autolaboratorio, jonne muunnossähköauto tulee valmistuttuaan opetuskäyttöön. Työssä saatettiin ajoneuvo lopulliseen toimintakuntoon ennen sen opetuskäyttöön ottamista. Projekti toteutettiin opiskelijatyönä siten, että ajoneuvon rakentamiseen liittyi kolme opinnäytetyötä ja yksi koulun projektikurssi.

Akustonhallinnan asentaminen ajoneuvoon sisälsi valmiiseen 48 voltin akkupakettiin erilaisten anturien ja laitteiden lisäämisen, jotta akkukennojen tilaa voidaan valvoa ajoneuvon käytön aikana. Käytännössä tämä tarkoitti akunhallintalaitteen, sen anturoinnin ja johdotuksen asentamista sekä asetuksien ja ohjelman testaamista. Asennuksesta laadittiin myös dokumentteja, kuten kytkentäkaavioita, jotta järjestelmän vianetsintä ja muuttaminen on tulevaisuudessa helppoa.

Lisälaitteiston suunnittelu ja asentaminen tarkoitti muunnossähköauton alipaine- ja lämmitysjärjestelmän toteuttamista. Alipainejärjestelmän tehtävänä on tehostaa ajoneuvon jarrutusta. Lämmitysjärjestelmässä päädyttiin hyödyntämään ajoneuvossa olevia lämmityslaitteen osia ja lisäämään niihin sähkölämmitteinen jäähdytysnestekierto.

Työn lopputulos oli tilaajan mielestä onnistunut, sillä lopputuloksena oli toimintakuntoinen ja turvallinen muunnossähköauto. Ajoneuvon osalta projekti ei tule päättymään tähän, sillä ajoneuvosta on tulevaisuudessa tulossa iso osa autolaboratorion koulutustoimintaa. Ajoneuvoon on suunnitteilla myös parannuksia, kuten korkeampi akkujännite sekä suurempi akusto.

---

Asiasanat: sähköauto, akunhallinta

## **ABSTRACT**

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

VIITANEN, MARKUS:

Designing of Battery Management System and Other Accessories for Electric Vehicle

Bachelor's thesis, 51 pages  
April 2023

---

In this project the battery management system and minor accessory system was designed and installed to the conversion electric vehicle. Customer for the project was Tampere University of Applied Sciences. Vehicle would become teaching device for degree programme in vehicle engineering. Project was completed as a student project. Three bachelor thesis and one project course were involved in converting vehicle drivetrain to electric.

Installing battery management system involves adding sensors and devices to the 48-volt battery pack. That way state of each individual cells can be monitored while vehicle is in use. In practise this means installing management device, sensors, and wiring. Also testing system and adjusting management device settings were part of the project. During project documents such as wiring diagrams were made to make future troubleshooting and upgrades easy.

Designing of accessories meant designing system where vacuum pump and heating elements would be installed. Vacuum system is in vehicle for making braking more powerful. Heating system was implemented by using parts from the original climate control system. This way only additional system would consist of devices to make coolant circulate and heat with electricity.

The result of the project was successful because vehicle was at safe working state at the end. Battery management system and accessories system completed vehicle to an electric conversion vehicle. As for the vehicle project does not end because it will become a large part of teaching working principles of electric vehicle. Improvements are also being planned such as higher battery voltage and larger battery capacity.

---

Key words: electric vehicle, battery management

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	SÄHKÖAUTON LAITTEISTO .....	7
2.1	Korkeajännitekomponentit.....	7
2.1.1	Sähkömoottorit .....	8
2.1.2	Akku .....	10
2.1.3	Ohjainlaitteet .....	13
2.1.4	Lämmitys ja viilennys.....	15
2.2	Matalajännite.....	17
3	AKUNHALLINAN TOTEUTUS .....	19
3.1	Käytetyt akunhallintakomponentit.....	20
3.1.1	Akunhallintalaite .....	20
3.1.2	On-board latauslaite .....	25
3.1.3	DC/DC muuntaja .....	27
3.2	Kytkenä .....	28
3.3	Akunhallinnan ohjelmointi .....	33
3.4	Komponenttien sijoittelu ja johtojen veto .....	36
4	LISÄLAITTEISTON SUUNNITTELU .....	39
4.1	Komponentit.....	39
4.2	Sähkösuunnittelu.....	42
4.3	Mekaaninen suunnittelu .....	44
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	47
	LÄHTEET.....	50

**LYHENTEET JA TERMIT**

ABS	lukkiutumaton jarrujärjestelmä
AC	vaihtovirta
Ah	ampeeeritunti
Busbar	akkukennot yhdistävä kuparilatta
BMS	akunhallintajärjestelmä
CAN	2-johtoinen tiedonsiirtoväylä
DC	tasavirta
G-kierre	ISO 228/1 standardin mukainen lieriökierre
HVAC	korkeajänniteilmastointi
I/O	sisääntulo / ulostulo
kW	kilowatti
LIN	1-johtoinen tiedonsiirtoväylä
R-kierre	ISO 7/1 standardin mukainen kartiokierre
RS232	kahden tietokoneen välinen tiedonsiirtoväylä
SCM	virransyöttöjärjestelmän hallintalaite
V	voltti
Wh	wattitunti

## 1 JOHDANTO

Sähkökäyttöiset ratkaisut ajoneuvojen voimansiirrossa ovat yhä lisääntyvä ilmiö. Syynä tähän ovat kiristyneet päästörajoitukset Euroopan unionin alueella. Sähköisten voimansiirtoratkaisujen hinta on toistaiseksi myös korkeampi kuin perinteisten polttomoottoriratkaisujen. Tästä johtuen erilaiset sähköautokonversiot ovat lisänneet suosiotaan.

Tässä työssä tutkittiin onko muunnossähköautoon mahdollista valmistaa turvallinen ja toimiva akunhallinta- sekä lisälaittejärjestelmä. Työn tilaajana toimi Tampereen ammattikorkeakoulu jolle ajoneuvon on määrä tulla opetuskäyttöön valmistuttuaan. Muunnossähköautona toimi vuoden 2007 Renault Twingo, josta oli poistettu polttomoottori. Muunnossähköauto projekti toteutettiin täysin opiskelijatyönä. Projektiin osallistui kolme eri opiskelijaa opinnäytetyön ja projektikurssin kautta.

Tämän opinnäytetyön rajaus kohdistuu akunhallinta- ja lisälaittejärjestelmään. Voimansiirto ja lakisääteiset kohdat rajattiin muille opiskelijoille. Mahdolliset opetuskäyttöön liittyvät harjoitukset ja tehtävät suunnitellaan tulevaisuudessa koulun henkilökunnan ja opiskelijoiden yhteistyönä

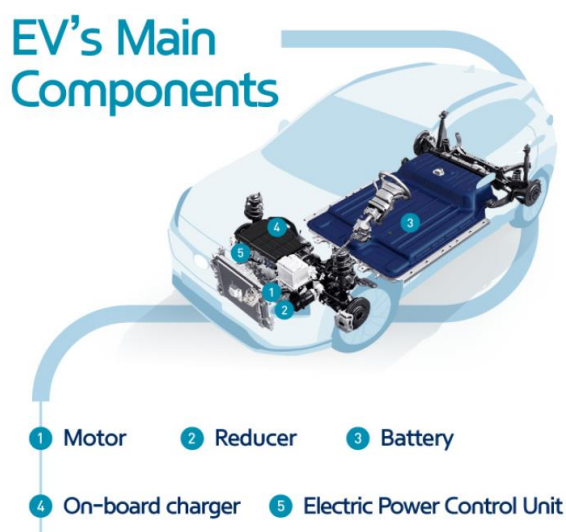
Työn tavoitteena oli saada toimiva opetuskäyttöön sopiva muunnossähköauto. Työ toimii myös ohjeena tulevaisuudessa sähköautokonversiota suunnitteleville tahoille. Työssä keskityttiin paljon turvallisuusseikkoihin ja yksinkertaisiin rakenteisiin, jotta lopputuloksesta tulisi mahdollisimman selkeä ja helppokäyttöinen.

## 2 SÄHKÖAUTON LAITTEISTO

Sähköauton toimintaan liittyvä laitteisto eroaa perinteisistä polttomoottorikäyttöisten autojen lisälaitteista siten, että kaikkien laitteiden on oltava sähkötoimisia. Tämä tarkoittaa, että hinnasta tai rattaista voiman saavia lisälaitteita ei voida hyödyntää. Tämän lisäksi laitteiden suunnittelussa on huomioitava niiden sähkön kulutus, sillä pienempi sähkönkulutus lisää ajoneuvon käyttömatkaa. Sähköauton toimintaan vaadittavat komponentit voidaan jakaa matala- ja korkeajännitekomponentteihin.

### 2.1 Korkeajännitekomponentit

Yleisesti korkeajännitekomponenteilla tarkoitetaan sähkömoottoria, akustoa, akuston latauslaitetta ja korkeajännitteen ohjainlaitetta. Näiden lisäksi sähkömoottorikäyttöön suunniteltu vaihteisto luetaan myös korkeajännitekomponentiksi. Sähkömoottorivaihteiston ero perinteiseen vaihteistoon on, että sähkömoottorikäytössä pyörimisnopeutta on aina vähennettävä moottorilta pyörille, kun taas perinteisessä vaihteistossa käytetään myös ylivaihteita. (EV A to Z Encyclopedia... 2020.) Kuvassa 1 on esitetty korkeajännitekomponentit ajoneuvoon sijoitettuna.



KUVA 1. Korkeajännitekomponentit ajoneuvossa (EV A to Z Encyclopedia... 2020).

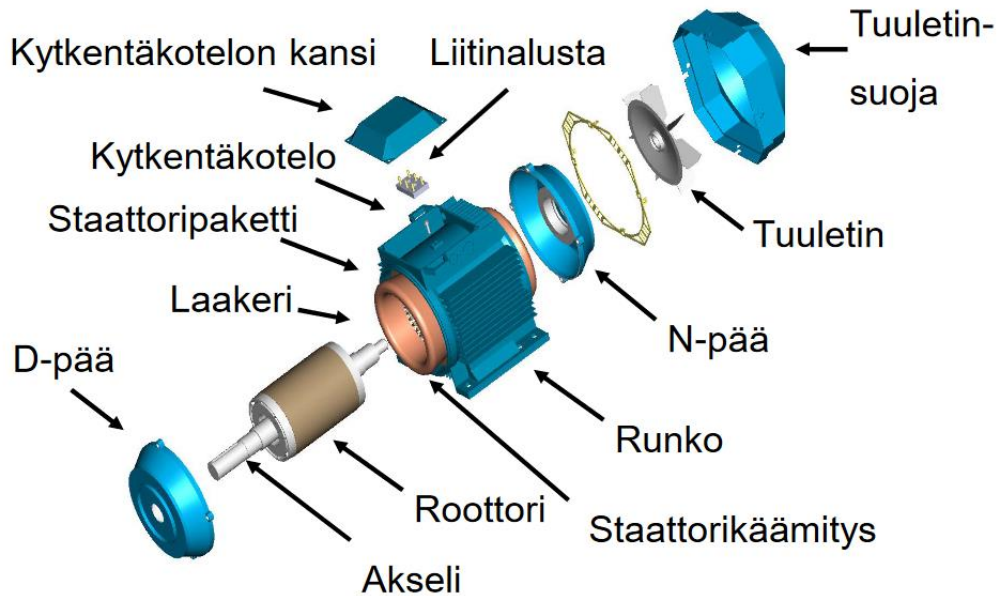
Kuten aikaisemmin mainittu korkeajännitekomponentteihin kuuluvat ajoneuvon liikuttamiseen vaadittavat komponentit eli toisin sanoen ajoakustosta käyttövoimansa saavat laitteet. Autoalan sähköturvallisuuskoulutus määrittelee korkeajännitteeksi 60 Volttia tasavirtaa (Karhulahti 2019, 47). Tämä tarkoittaa, että osiossa käsiteltävien komponenttien toimintajännite ajoneuvokäytössä on lähes aina vähintään 60 voltia. Poikkeuksena tästä ovat erilaiset konversiosarjat, jossa jännite on 48V.

### **2.1.1 Sähkömoottorit**

Sähköauton yksi keskeisimmistä komponenteista on sen moottori. Ajoneuvoissa käytettävistä sähkömoottoreista on olemassa useita eri versioita. Sähköautoissa toistaiseksi yleisimmäksi moottorityypiksi ovat valikoituneet vaihtosähkömoottorit niiden pienen huollontarpeen ja hyvien ominaisuuksien takia. Joissakin edullisemmissä sähköautoversioissa ja -konversioissa käytetään DC-moottoreita niiden yksinkertaisen ohjausjärjestelmän vuoksi. Sarjavalmistetuissa sähköajoneuvoissa yleisemmiksi moottoreiksi ovat valikoituneet kestmagnetoitu tahtikone sekä epätahtikone, koska niiden ominaisuuksiin kuuluvat pieni huollontarve, edullinen rakenne ja luotettavuus erilaisissa sääolosuhteissa. Näitä perinteisiä moottoreita on alettu korvaamaan reluktanssikoneella. Reluktanssikoneen etuina ovat parempi hyötysuhde ja tiivis rakenne. (Osmanbasic 2020.) Esimerkiksi Tesla on siirtymässä epätahtikoneen käyttämisestä reluktanssikoneeseen. Teslan pääsyy tähän siirtymään on harvinaisten maamineraalien käytön vähentäminen. (Tesla 2023.) Harvinaisia maamineraaleja saadaan louhittua pääosin Kiinasta, jonka takia autovalmistajat pyrkivät pääsemään niistä eroon (Rare Earth Magnets and Motors... 2021).

Ajoneuvokäytössä olevien sähkömoottorien rakenne on yleensä hyvin samanlainen. Ne koostuvat kolmesta suuresta komponentista, jotka ovat roottori, staattori ja käämi. Roottori on moottorin pyörivä osa, johon voidaan kiinnittää esimerkiksi laakeroitu akseli. Staattori on roottorin ympärillä oleva komponentti, joka koostuu

yleensä kiedotusta kuparilangasta. Kolmas pääkomponentti on runko, johon roottori on akseloitu ja staattori kiinnitetty. (Suolahti 2014, 12–13.) Kuvassa 2 on havainnollistettu sähkömoottorin rakennetta.



© ABB Oy Kotimaan myynti

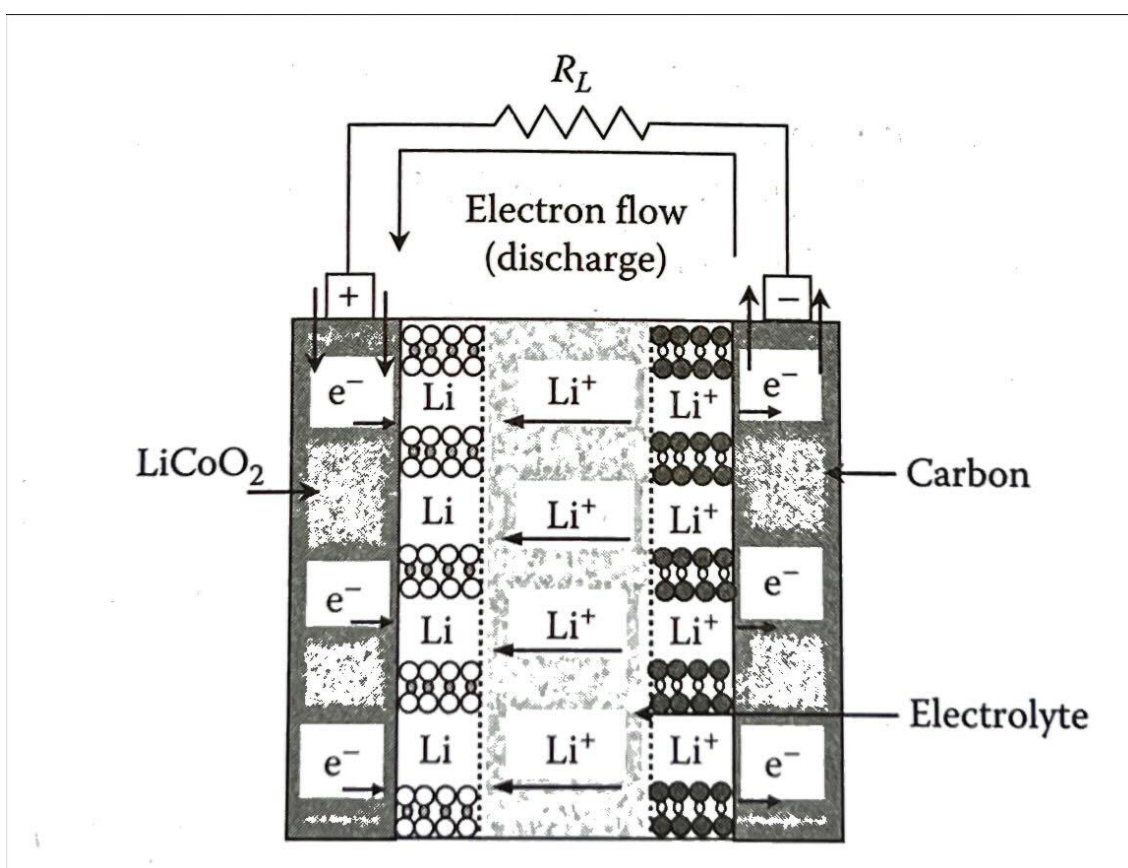
**ABB**

KUVA 2. Sähkömoottorin rakenne (Kinnunen 2014, 5)

Kuvassa 2 on näkyvissä oikosulku sähkömoottorin eli epätahtikoneen perusrakenne ja osien sijoittelu. Ajoneuvokäytössä olevien sähkömoottorien rakenne on pääosin samanlainen. Suurimmat erot mobiilikäytössä olevien sähkömoottorien rakenteessa ovat nestejäähdytetty runko sekä erilaiset roottorirakenteet. (Husain 2011, 433–437.) Kestomagneetikone ja reluktanssimoottori eroavat epätahtikoneesta roottorirakenteeltaan. Kestomagneetikoneessa roottoriin on sijoitettu magneetteja, jotta roottoriin syntyvät tehohäviöt olisivat pienemmät. Ongelma kestomagneettirakenteessa on, että suurilla pyörimisnopeuksilla magneetit alkavat vastustaa pyörimisliikettä. Reluktanssikoneessa sen sijaan käytetään hyödyksi fysiikan ilmiötä, jossa magneettikenttä liikkuu paremmin metallissa kuin ilmassa. Reluktanssikoneen roottoriin on tehty aukkoja, joiden kulma aiheuttaa roottorin pyörimisen magneettikentässä. (Osmanbasic 2020; Yogeshwari 2021.)

## 2.1.2 Akku

Ajoneuvojen akustot koostuvat kennoista, jotka sisältävät kemiallista energiaa. Tekniikka on sama lähes kaikissa akuissa, joten mobiilikäytössä olevat akut eroavat vain energiatihedeltään ja tärinänkestoltaan muista akuista. Akku muodostuu yhdestä tai useammasta kemiallisesta kennoista. Akkukennosto eli akusto muodostuu siten monesta kokonaisesta akusta. Itse akun toiminta perustuu kemiallisen energian muuttamiseksi sähköenergiaksi. Energiaa muutetaan kahden elektrodin, elektrolyytin ja erotuslevyn avulla. Näistä komponenteista muodostuu yksi akkukenno. (Husain 2011, 104–105.) Kuviossa 1 on havainnollistettu akun rakennetta ja toimintaa.



KUVIO 1. Litiumakun rakenne ja toiminta purkautuessa (Husain 2011, 107)

Kuviossa 1 on esitetty litiumakun komponentit ja toiminta. Kuvassa näkyvä plus-näppä ja siinä kiinni oleva sauva on nimeltään positiivinen elektrodi eli katodi ja miinuspuolella vastaava on negatiivinen elektrodi eli anodi. Akun toiminta perustuu ilmiöön, jossa akkua purkaessa kuormalla  $R_L$  negatiivinen elektrodi luovuttaa

elektroneja elektrolyyttiin. Positiivinen elektrodi sen sijaan vastaanottaa elektroneja elektrolyytistä samassa tilanteessa. Näin sauvojen välille muodostuu potentiaaliero. Vastaavia kennoja yhdistelemällä saadaan haluttu jännite. Tässä esimerkissä positiivinen elektrodi on litiumin ja koboltin oksidien seosta sekä negatiivinen hiiltä. (Husain 2011, 152–153.)

Elektrolyyttinä akussa toimii orgaaninen liuotin, johon on lisätty litiumsuolaa. Tärkeintä akun toiminnan kannalta on, että negatiivinen elektrodi on metalli, joka pystyy luovuttamaan elektroneja ja positiivinen elektrodi on jokin oksidi tai sulfidi, joka voi vastaanottaa elektroneja. Elektrolyytin tulisi olla aine, joka johtaa elektroneja purku- ja lataustapahtumassa, mutta silti estää akun itsepurkautumista. Elektrolyytti voi olla neste, geeli tai kiinteä materiaali. Kuviossa keskellä näkyvän tumman eristelevyn on oltava materiaalia, joka päästää elektronit läpi, mutta eristää negatiivisen ja positiivisen elektrodin toisistaan. Ajoneuvoissa käytettävät litiumakut toimivat samalla tavalla, mutta komponenttien materiaalit vaihtelevat akkutyypin mukaan. (Husain 2011, 152–153.)

Eri akkuja vertaillessa on hyvä tietää akun muutamia peruskäsitteitä. Nimellisjännite on arvio akun napojen välisestä jännitteestä, jolle ei ole standardoitua mittaustapaa. Todellisuudessa mittaustulos riippuu akun varaustilasta ja kuormituksesta. Nimellisjännitettä käytetään usein suunnittelussa mitoituslaskentaan. Akun kapasiteettia eli energiamäärää mitataan ampeerituntina (Ah) tai wattituntina (Wh). Esimerkiksi 200 Ah akku kestää 200 ampeerin purkua yhden tunnin. Sähköautojen akkujen kapasiteetti ilmoitetaan yleensä wattitunneissa, koska niiden jännitetasot eroavat toisistaan jopa satoja ampeereita. (Linja-Aho 2022, 8–14.)

Usein akkujen tietolehdissä ilmoitetaan purkuvirran C-arvo. Tämä arvo tarkoittaa kuinka suurta virtaa akku kestää purkaessa. Esimerkiksi 1C akkukenno tarkoittaa, että akku on tarkoitettu purkaa hitaasti, esimerkiksi tunnin aikana tasaisesti. Tämä tarkoittaa, että sähköautojen akkujen on oltava esimerkiksi 10C akkuja, jotta niistä voidaan ottaa hetkellisesti suuria purkuvirtoja. Akun varaustasosta käytetään termiä SoC, joka kertoo, kuinka monta prosenttia akun maksimivarauksesta on jäljellä. Akun terveydentilasta käytetään termiä SoH, joka kertoo prosentteina käytettävissä olevan maksimivarauksen verrattuna akun ilmoitettuun

maksimikapasiteettiin. Sähköautoissa ajoakun elinkaaren loppuun saakka usein 70–80 % (Linja-Aho 2022, 8–14, 51.)

Sähköautoissa käytettävät akkutekniikat ovat kaikki lähes poikkeuksetta rakenteeltaan litiumioniakkukemian erilaisia sovelluksia. Suurimmat käytössä olevat akkukemiat ovat NMC eli litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi, NCA eli nikkeli-koboltti-alumiinioksidi sekä LFP eli litium-rautafosfaatti. Näistä NMC ja NCA akkuja käytetään paljon kevyenkaluston ajoneuvoissa. LFP akkuja sen sijaan käytetään enemmän työkonetekniikassa ja raskaassa kalustossa. LFP kemian käyttäminen on yleistynyt työkoneteissa, sillä sen kemia on turvallisempaa kuin NMC ja NCA akkujen. Lisäksi LFP-akuissa energiatiheys on huonompi, joka johtaa yleensä suurempaan akkupaketin kokoon. Tämän takia LFP akkuja ei juurikaan näe henkilöautoissa. (Rautiainen 2021, 13–20.) Taulukossa 1 on esitetty eri akkukemioiden ominaisuuksia.

TAULUKKO 1. Akkukemioiden ominaisuuksia (Linja-Aho 2022, 22)

Ominaisuus	Litiumioniakut						
	Lyijy	NiCd	NiMH	LCO	LMO	LFP	LTO
Ominaisenergia (Wh/kg)	30–50	45–80	60–120	150–250	100–150	90–120	50–100
Sisäinen resistanssi	erittäin pieni	erittäin pieni	pieni	keskisuuri	pieni	erittäin pieni	
Syklikesto	200–300	1000	300–500	500–1000	500–1000	1000–2000	> 10000
Latausaika (h)	8–16	1–2	2–4	2–4	1–2	1–2	<< 1
Yhlatuksen sieto	hyvä	keskisuuri	huonohko	huono			
Itsepurkautuminen (kuukaudessa)	5 %	20 %	30 %	< 5 %			
Nimellisjännite (V)	2	1,2	1,2	3,6	3,7	3,3	1,9–2,5
Latauksen katkaisujännite (V)	2,4	$\frac{dU}{dI} 6$		4,2	3,6	2,8	
Purkamisen katkaisujännite (V)	1,75	1,0		2,5–3,0	2,5		
Suurin purkuvirta	5C	20C	5C	2C	>30C	>30C	>>30C
Latauslämpötila (°C)	–20 ... 50	0 ... 45				–30 ... 60	
Purkulämpötila (°C)	–20 ... 50	–20 ... 65		–20 ... 60		–40 ... 60	
Huollon tarve	Nesteytys osassa malleja	Purettava tyhjäksi muuttaman kuukauden välein			Täysin huoltovapaa		
Turvallisuus	Termisesti vakaa	Termisesti vakaa, sulakesuojauksia riittää		Voi lämpöynnätä, vaatii suojaajärjestelmän			
Käytössä kaupallisesti	1800-luvun loppupuoli	1950	1990	1991	1996	1999	2008
Coulombinen hyötysuhde	90 %	70–90%			99 %		
Hinta	matala	keskisuuri			keskisuuri...korkea		

Taulukossa 1 on esitelty yleisimpien akkukemioiden ominaisuuksia. Taulukosta huomataan, että litiumioniakut ovat valikoituneet ajoneuvokäyttöön hyvän ominaisenergiakapasiteetin ja pienen huoltotarpeen takia. Myös syklikesto ja itse-

purkautumisaika on hyvä litiumakuissa. Taulukko myös paljastaa ajoneuvokäytössä litiumakkujen ongelmat, sillä niiden turvallisuus on suuri ongelma, jonka parantamiseksi vaaditaan tarkkoja akunhallintajärjestelmiä. Myös litiumin kallis hinta tekee niiden käytön ongelmalliseksi.

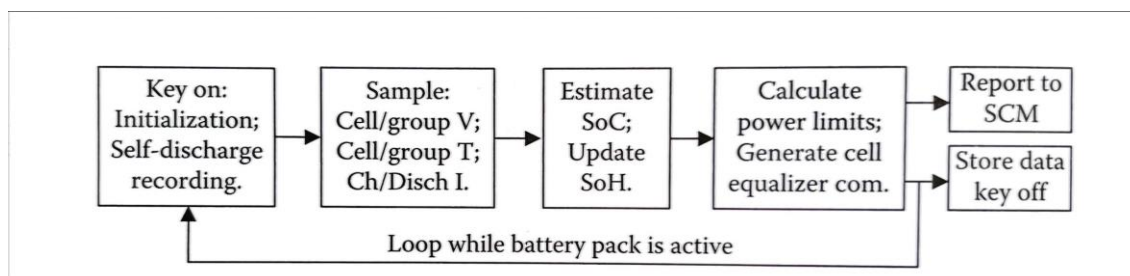
### 2.1.3 Ohjainlaitteet

Sähköauton korkeajännitekomponenttien turvallisuuden ja toiminnan takaamiseksi ajoneuvoihin on sijoitettu useampi ohjainlaite, jotka valvovat ja ohjaavat komponenttien toimintaa. Näitä ohjainlaitteita ovat esimerkiksi invertteri, akunhallintajärjestelmä, akun latauslaite sekä DC/DC muuntaja. Näistä invertterin tehtävä on muuttaa akustosta saatava tasajännite moottorille sopivaksi vaihtojännitteeksi. Invertteri myös säätelee moottorin käyttövirtaa sekä jarrutustilanteissa saatavaa latausvirtaa. Akunhallintajärjestelmä eli BMS valvoo ajoakuston tilaa ja estää akun pääsemisen turvattomaan tilaan. Akun latauslaite eli on-board laturi on yksinkertainen AC/DC muuntaja, joka muuntaa sähköverkosta saatavan vaihtojännitteen akustolle sopivaksi tasajännitteeksi. Latauslaitteen toimintaa ohjaa BMS. DC/DC muuntaja syöttää ajoakustosta virtaa auton matalajänniteakulle. Muuntaja siis laskee ajoakuston jännitteen esimerkiksi 12 volttiin. DC/DC muuntajan toimintaa ohjaa myös BMS. (EV A to Z Encyclopedia... 2020.)

Akuston tasajännitteen moottorille muuttava vaihtosuuntaaja on toteutettu tehoelektronikalla. Suuntaajan sisällä on transistoreja ja diodeja, joiden avulla saadaan kolmivaiheista vaihtosähköä. Vaihtosähkön taajuutta muutetaan moottorin pyörimisnopeuden mukaan, joten useimmiten suuntaajalle on kytketty moottorin pyörimisnopeustieto. Suuntaaja keskustelee muiden ohjainlaitteiden kanssa, jotta se tietää asettaa moottorille virrankulutusrajan sekä oikean pyörimisnopeuden. (Hietalahti 2011, 63.)

Sähköajoneuvon ehkä tärkein komponentti on akunhallinta, koska se käskee kaikkia muita korkeajännitekomponentteja. Tämä tarkoittaa, että mikään auton korkeajännitekomponentti ei toimi, jos akunhallintajärjestelmä havaitsee akussa vian tai epänormaalin tilanteen, kuten vaikka korkean lämpötilan. BMS hallinta

koostuu algoritmeista, jotka päättelevät yksittäisten akkukennojen tilan mittaamalla jännitettä, virtaa sekä lämpötilaa. BMS laskee näiden mittausten avulla akustolle purku- ja latausjänniterajoitukset. Oikean algoritmin löytämiseksi on tärkeää, että akunhallintajärjestelmään on syötetty oikean akkutyypin tiedot. (Husain 2011, 159–160.) Kuviossa 2 on esitetty algoritmin toiminta.



KUVIO 2. BMS algoritmin toiminta (Husain 2011, 160).

Kuviossa 2 on esitetty akunhallinnan algoritmin toiminta. Kuvioista nähdään, että kun virta käännetään päälle, BMS ensin tarkistaa paljonko akusto on purkautunut ajoneuvon ollessa pois päältä. Tämän jälkeen BMS määrittää virran, jännitteen ja lämpötilan perusteella akun varaustason sekä terveydentilan. Lisäksi BMS päättelee tietojen perusteella akuston purku- ja latausvirran rajat mittauksien perusteella. Viimeisenä BMS lähettää laskemansa tiedot muille auton ohjainlaitteille. Tämä sama ohjelmallinen kierto toistuu jatkuvasti ajoneuvon virtojen ollessa päällä. (Husain 2011, 160.)

Yksi olennaisimmista akunhallinnan tehtävistä on tasapainottaa akuston kennot latausvaiheessa. Tasapainottaminen on tärkeää, koska akuston kennoissa olevat pienet erot aiheuttavat niihin jännite-eroja. Tämä johtaa pitkällä aikavälillä tilanteeseen, jossa tietyt akuston kennot latautuvat aina ylitäyteen ja jotkut kennot eivät lataudu täysin koskaan. Tällainen tilanne voi johtaa akkukennon täydelliseen rikkoutumiseen. Ajoneuvoissa käytetty tasapainotustapa on yksinkertainen, sillä se toimii lisäämällä yksittäisiin kennoihin vastuksen, joka estää kennoa yllilatautumasta. Akunhallinnan huomatessa yhden kennon saavuttaneen täyden jännitteen se alkaa purkaa kennoa pienen vastuksen läpi. Tämä toistuu niin kauan, että jokainen kenno on täydessä jännitteessä. (Husain 2011, 162–164.)

Akunhallinta myös ohjaa akunlatausta siten, että latausvirta muuttuu latauksen vaiheen mukaan. Yksinkertaistettuna tämä tarkoittaa, että akkua ladataan täydellä virralla noin 95 % varaustasoon, jonka jälkeen latausvirtaa rajoitetaan. Latausvirta laskee aluksi noin puoleen ja tasapainotusvaiheen alkaessa noin neljäsosaan. Kaikkien akkukennojen ollessa täysiä akunlataus siirtyy ylläpitolataukseen, joka korvaa akun itsepurkautumisvirran. (Husain 2011, 165.)

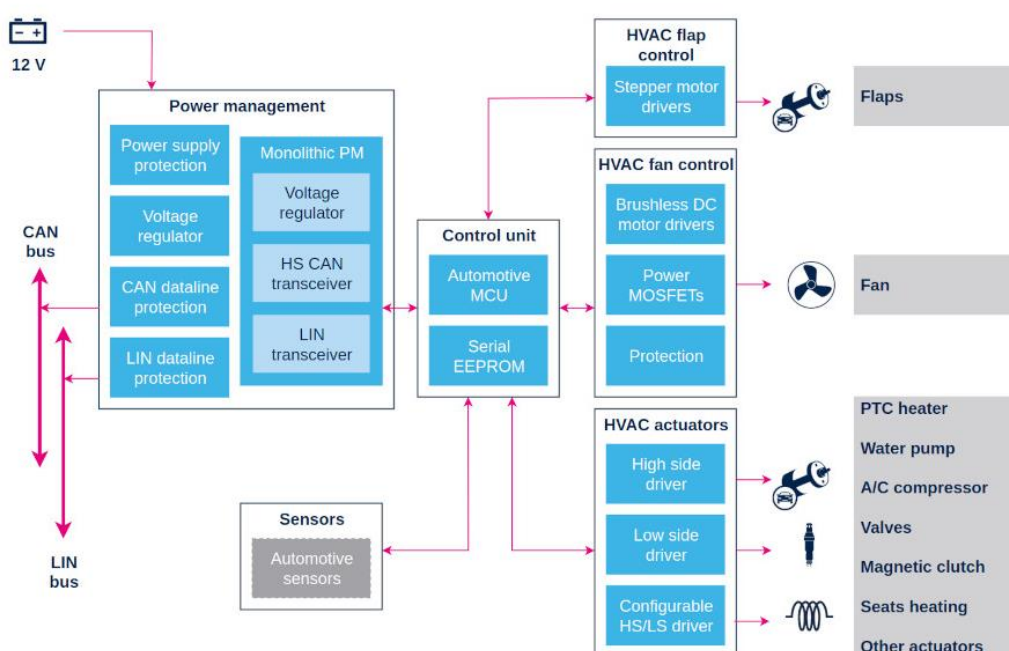
#### **2.1.4 Lämmitys ja viilennys**

Sähköauton yksi suurimmista virrankuluttajista Suomen olosuhteissa on lämmitys- ja viilennysjärjestelmä. Tällaisen järjestelmän keskimääräinen virrankulutus on noin 2kW, mutta hetkittäiset kuluspiikit voivat olla, jopa 10 kW (Husain 2011, 427). Tällaisen tehon ottaminen matalajännitejärjestelmästä on ongelma, koska 12 voltin järjestelmässä tehon ottaminen tarkoittaisi satoja ampeereita. Polttomoottoriautossa ongelma on ratkaistu hyödyntämällä hihnavetoista kompressoria, mutta tämä vaihtoehto ei ole sähköautossa käytettävissä. Edellä mainitusta syystä sähköautoissa on päädytty käyttämään korkeajännitejärjestelmästä käyttövoima lämmitykseen ja viilennykseen.

Toistaiseksi yleisin tapa hallita sisäilman lämpötilaa on käyttää PTC vastusta puhallettavan ilman lämmittämiseen ja pyörittää erillisellä sähkömoottorilla ilmastoinnin kompressoria. On myös olemassa lämmitysjärjestelmiä, jossa jäähdytysnestettä lämmitetään sähkövastuksella ja kierrätetään lämmityslaitteen sisäkenossa. Ongelmana näissä lämmitys ratkaisuissa on järjestelmän tehokkuus sekä laajennuksien mahdollisuus. Tällaisissa järjestelmissä tehohäviöitä esiintyy putkien ja kennojen metallien lämpenemisessä. Lisäksi mahdollinen akkujen ja sähkömoottorin viilennys tai lämmitys on hankala toteuttaa, sillä se tarkoittaa pitkien putkien vetämistä ja järjestelmän häviöiden kasvua. (E-Mobility Engineering 2021.)

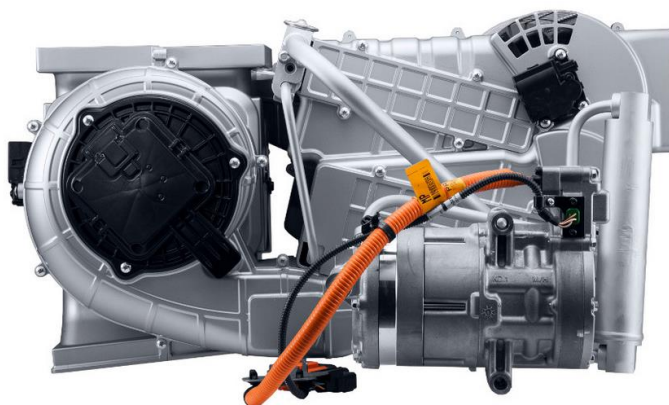
Enenemissä määrin lisääntyvä tekniikka sisäilman lämpötilan hallintaan on käyttää ilmalämpöpumppujärjestelmää, joka saa käyttösähkönsä ajoakustosta. Tällöin sisäilmaa pystytään viilentämään ja lämmittämään samalla laitteistolla. Laitteisto saisi ohjainlaitteisiin tarvittavan virran matalasähköpuolelta, mutta käyttäisi

sähkömoottoreita kompressorin ja mahdollisen vesipumpun käyttöön. Tällöin myös akustolle tai sähkömoottorille tehtävä lämmitys tai viilennys on helppo toteuttaa, sillä laitteistoon lisätään vain yksi lämmönvaihdin, jolloin lisälämmitys-kohteet pysyvät omalla piirillä eivätkä häiritse sisäilman hallintaa. Ilmalämpöpumppu toimii ajoneuvossa täysin samalla tavalla kuin kotitalossa eli se talteen ottaa ilmasta, akustosta ja esimerkiksi sähkömoottorista saatavan lämmön ja puhaltaa sen matkustamoon. Järjestelmän etuja on kompaktirakenne ja tehokas toiminta. (E-Mobility Engineering 2021.) Kuvassa 3 on havainnollistettu sähköauton ilmalämpöpumppu järjestelmän toimintaa.



KUVIO 3. HVAC järjestelmän rakennekaavio (E-Mobility Engineering 2021)

Kuviossa 3 on nähtävissä HVAC järjestelmän rakenne kaavio. Kuvioista nähdään, että järjestelmän ideana on käyttää 12 voltin sähköä toiminnan ohjaamisen samalla kun suuria virtoja omaavat toimilaitteet toimivat korkeajännitteellä. Kuvioista voidaan todeta, että toiminta eroaa polttomoottoriauton rakenteesta vain siten, että kuormia ajetaan korkeammalla jännitteellä. (E-Mobility Engineering 2021.) Kuvassa 3 on esitetty HVAC järjestelmän kompakti rakenne.



KUVA 3. Hanon systemsin HVAC järjestelmä (E-Mobility Engineering 2021)

Sähköauton lämmitykseen ja viilennykseen liittyvät ongelma liittyvät pääasiallisesti ajoneuvon ilmoittaman toimintasäteen yllättävään vähenemiseen sekä turvallisuusseikkoihin. Koska ajoneuvon lämmitys- tai viilennystarve voi muuttua hetkellisesti todella paljon, on ajotietokoneen vaikea ennustaa järjestelmän virrankulutusta. Tästä johtuen autoilija saattaa harmistua talvisäällä, kun ilmoitettu toimintasäde tippuu nopeammin kuin arveltu. Turvallisuushuolta järjestelmä aiheuttaa komponenttiensa puolesta, sillä matala- ja korkeajännitteen yhdistyessä on seurattava tarkasti mahdollisen läpilyönnin mahdollisuutta. Esimerkiksi korkeajännitteisessä ilmastointilaitteessa on käytettävä erikoisöljyä, joka estää läpilyöntejä öljyn kautta. (E-Mobility Engineering 2021.)

## 2.2 Matalajännite

Korkeajännitekomponenttien ollessa ajoneuvon liikkumiselle ja toiminnalle elintärkeitä komponentteja, ovat matalajännitekomponentit pääosin mukavuutta ja turvallisuutta lisääviä osia. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi ajovalot sekä mahdolliset ajamista avustavat laitteistot kuten ohjaustehostin. Matalajännitejärjestelmä toimii myös turvallisuuskomponenttina, sillä ajoakuston pettäessä matalajännite takaa ajoneuvon tärkeiden toimintojen ylläpidon. Sähköauton matalajännitekomponentit ovat useimmiten hyvin samanlaisia kuin polttomoottoriautossa, sillä mukavuus- ja turvallisuusvarusteet kuten turvatyyny, radio, valot sekä kamerat ja näytöt käyttävät täysin samaa tekniikkaa molemmissa ajoneuvoissa. (The role of 12 Volt batteries... 2021.)

Sähköauton matalajännitepuolen virtalähde on ajoneuvon DC/DC muuntaja, joka muuntaa ajoakuston jännitteen matalajännitteeksi. Yleensä henkilöautoissa tämä jännite on 12 voltia. Tyypillisen sähköauton muuntaja on eristetty muuntaja, jonka teho on noin 2kW (Husain 2011, 278). Muuntajan on oltava eristetty eli myös akun negatiivinen puoli on oltava kaapeloituna. Tällöin korkeajännite- ja matalajänniteakusto ovat toisistaan erillään, jolloin ajoneuvon rakenne on turvallisempi ja korkeajänniteakustoa helpompi ladata. (Hietalahti 2011, 31–33.) Taulukossa 2 on esitetty tavallisen ajoneuvon sähköisten laitteiden tehoja.

TAULUKKO 2. Auton apulaitteiden sähkötehoja (Hietalahti 2011, 33)

Kuorma	Asennettu teho (W)	Kulutus keskiteho (W)
Sähköiset pumput	250	250
Radio	20	20
Ajovalo, vikut yms	350	180
Lasinlämmitys	200	60
Sisäilman puhallin	120	50
Jäähdytyspuhallin	120	50
Tuulilasin pyyhkimet	50	10
Sumuvalot	110	20
<b>Yhteensä</b>	<b>1220</b>	<b>640</b>

Taulukossa 2 on auton apulaitteiden sähkötehoja. Taulukosta nähdään, että pelkästään näiden lisälaitteiden käyttämiseen on varattava 1.2 kW tehoa. Todellisuudessa mahdollinen piikkiteho on vielä korkeampi, sillä taulukosta puuttuu nykyautojen lukuisten ohjainlaitteiden ja mukavuuskomponenttien virrankulutusta. Taulukon perusteella voidaan kuitenkin todeta, että yleinen 2kW DC/DC muuntaja on riittävä, sillä keskiteho jää huomattavasti piikkitehon alapuolelle.

### 3 AKUNHALLINAN TOTEUTUS

Opinnäytetyön todellinen tehtävä oli valmistaa muunnossähköautoon toimiva akunhallintajärjestelmä, joka sisältäisi akunhallintalaitteen, latauslaitteen sekä DC/DC muuntajan matalajännitejärjestelmille. Ajoneuvona toimi Tampereen ammattikorkeakoulun Renault Twingo, jota oltiin muuntamassa sähköajoneuvoksi. Ajoneuvo on nähtävissä kuvassa 4.



KUVA 4. Auto, johon akunhallintajärjestelmä asennettiin

Akusto johon akunhallintajärjestelmä asennettiin, koostui viidestätoista LiFePO<sub>4</sub> kennosta, jotka oli asennettu koulun toimesta eräällä projektikurssilla. Akut on sijoitettu konepellin alle sähkömoottorin päälle alumiinilaatikkoon. Alumiinilaatikossa oli läpiviennit, joista akunhallinnan, invertterin ja muuntajien johdot vietiin laatikkoon.

### 3.1 Käytetyt akunhallintakomponentit

Komponenttien valinnassa jouduttiin tekemään muutamia kompromisseja, jotka johtuvat käytettävissä olevasta tilasta ajoneuvossa sekä komponenttien huonosta saatavuudesta. Lisäksi komponenttien piti olla yhteensopivia toistensa kanssa, jotta CAN-väylä kytkennät onnistuisivat. Tämän projektin akunhallintajärjestelmä koostui kolmesta eri päälaitteesta ja niiden johdotuksista. Päälaitteet ovat akunhallintalaite, akuston on-board laturi sekä DC/DC muuntaja, joka syöttää virtaa matalajännitejärjestelmille. Nämä laitteet yhdistettiin toisiinsa CAN-väylää hyödyntäen. Näin vältettiin analogisten relekytkentöjen tekeminen ja säästettiin aikaa kytkennöissä. Päälaitteiden lisäksi järjestelmään liitettiin antureita, joiden avulla akustoa tarkkaillaan. Tällaisia antureita ovat esimerkiksi virta-anturi, joka mittaa akuista purettavaa- ja ladattavaa virtaa, sekä lämpötila-anturit, jotka tarkkailevat järjestelmän eri kohteiden lämpötilaa.

#### 3.1.1 Akunhallintalaite

Akunhallintajärjestelmäksi valikoitui Orion Jr. 2 BMS, joka on tarkoitettu erityisesti kevyeen mobiilikäyttöön kuten skoottereihin ja golf-autoihin sekä erilaisiin kiinteisiin akkupaketteihin. Sen toimintoihin kuuluu suojaus ali- ja ylijännitettä, lämpötilaa sekä virtapiikkejä vastaan. Lisäksi BMS osaa laskea älykkäästi akun varaus-tason ja terveydentilan. BMS myös hoitaa akkujen tasapainotuksen latauksen loppuvaiheessa. Orionin BMS kommunikoi ajoneuvon muiden laitteiden kanssa CAN-väylää pitkin. Näitä muita laitteita ovat esimerkiksi sähkömoottorin invertteri sekä akkujen AC/DC latauslaite. (Orion BMS 2019.) Kyseinen laite valikoitui käytettäväksi sen edullisen hinnan ja pienen koon perusteella. Kuvassa 5 on esitetty Orion Jr 2 BMS laite.



KUVA 5. Orion Jr 2 BMS laite (Orion BMS 2019)

Kuvassa 5 on näkyvissä Orion Jr 2 BMS laite. Laite kiinnitetään kohteeseen kahdella pultilla tai ruuvilla. Laitteessa on neljä liitäntää, jotka ovat I/O liitäntä, RS232 dataliitäntä, akun kennojänniteliitännät sekä virta-anturin liitäntä. Näistä kaikkia paitsi RS232 liitäntää käytettiin työn aikana. RS232 liitännän kautta laite voidaan ohjelmoida, mutta koululta ei tähän liitäntään sopivaa adapteria löytynyt. (Orion BMS 2019.) Kuvioissa 4, 5 ja 6 on esitelty käytetyt liitännät.



KUVIO 4. Akunhallinnan I/O liitännät (Orion BMS 2019)

Kuviossa 4 on akunhallintalaitteen I/O liitännät. Näiden liitännöjen kautta BMS keskustelee muiden ohjainlaitteiden kanssa, saa käyttösähkönsä sekä lukee lämpöanturien tietoja. Tästä liitännästä tarvitaan CAN-väyläkytkennässä johdot 2,3,6,8,10,12,16,19 ja 20. Muita johtoja tarvitaan analogisessa kytkennässä

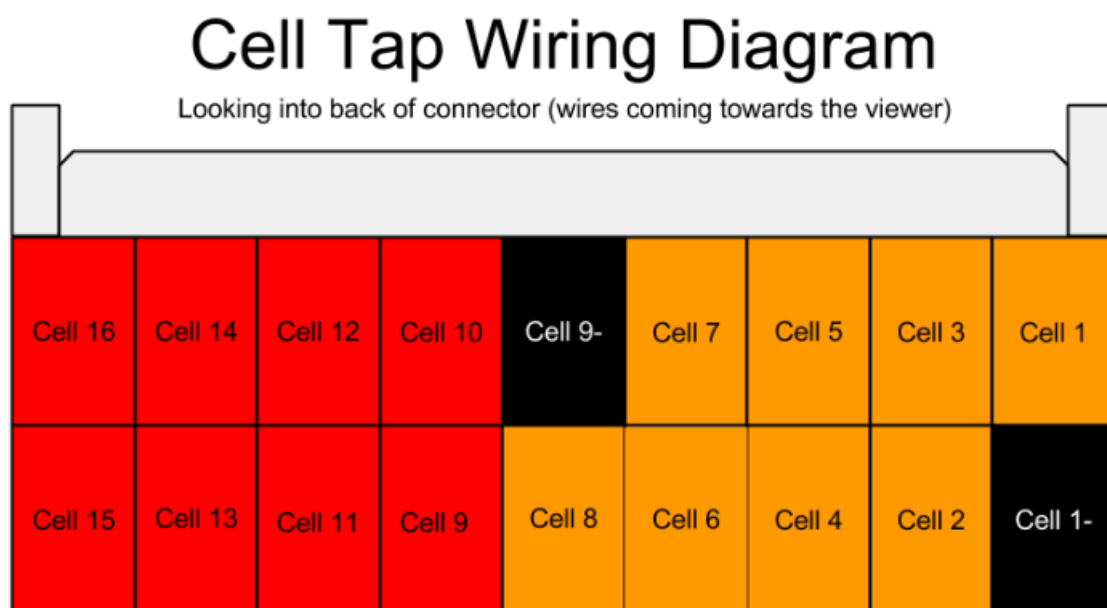
missä CAN-väylä ei ole käytettävissä. (Orion BMS 2019.) Taulukossa 3 on esitetty jokaisen johdon käyttötarkoitus.

TAULUKKO 3. Akunhallintalaitteen I/O liitäntä johdot (Orion BMS 2019)

Johto nro.	Johtoväri	Nimitys	Tarkoitus
1	Harmaa	Charge Enable	On/off signaali laturille kytkeä lataus päälle
2	Sininen	Ready Power	+12 V virransyöttö ajotilanteessa
3	Sininen/harmaa	Discharge Enable	On/off signaali kuormalle kytkeytyä päälle
4	Punainen	Charge Power	+12 V virransyöttö lataustilanteessa
5	Punainen/Valkoinen	Charger Safety	On/Off signaali ohjaamaan latauksen turvarelettä
6	Valkoinen	Ground	BMS maadoitus
7	Ruskea	Multi purpose Enable	Voidaan ohjelmoida kytkeämään päälle haluttua relettä
8	Musta/Valkoinen	Therm Ground	Lämpöanturien maadoitus
9	Violetti/Valkoinen	Multi purpose Output 1	Ohjelmoitava ulostulo
10	Keltainen	Therm 1	Lämpöanturi
11	Musta	SOC	Kertoo akun varaustason asteikolla 0–5 V
12	Violetti	Therm 2	Lämpöanturi
13	Oranssi	Charge limit	Latausvirran rajoitus asteikolla 0–5 V
14	Vihreä/Valkoinen	Discharge limit	Purkuvirran rajoitus asteikolla 0–5 V
15	Oranssi/Valkoinen	Multi purpose input	Ohjelmoitava sisääntulo
16	Vihreä	Therm 3	Lämpöanturi
17	Keltainen/Valkoinen	Multi purpose output 2	Ohjelmoitava ulostulo
18	-		
19	Musta	CAN low	CAN väylä liitäntä muille ohjainlaitteille
20	Punainen	CAN high	CAN väylä liitäntä muille ohjainlaitteille

Taulukossa 3 on esitetty akunhallinnan I/O liittimen johdot ja niiden tarkoitukset. Taulukosta nähdään, että ohjelmoitavat liittännät voidaan ottaa käyttöön vain tarvittaessa. Lisäksi CAN-väylän puutos voidaan korvata analogisilla on/off ja 0–5 V liittännöillä. Taulukosta myös nähdään, että liitinpinni 18 on jätetty tyhjäksi.

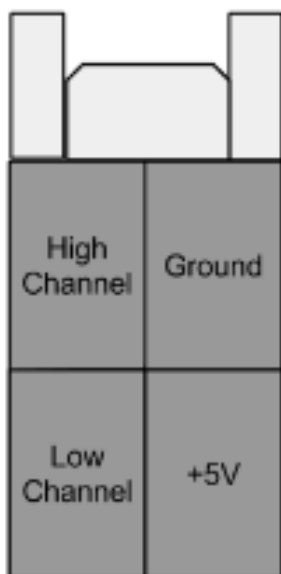
I/O liittäntöjen lisäksi akunhallintalaitteessa on liittäntä akun kennojännitteiden johdoille. Näistä jokainen johto kytketään yksittäiseen akun kennoon, jotta BMS tietää jokaisen kennon jännitteen. Näiden johtojen kautta BMS myös tasapainottaa kennot latauksen loppuvaiheessa. Orionin tapa tasapainottaa kennot on kytkeä kennon kanssa sarjaan vastus, jotta kenno purkaa pienen virran vastuksen kautta ja näin ollen latautuu hitaammin. Kennojännitekytkentä tehdään siten, että kennoihin 1 ja 9 laitetaan maadoitus. BMS siis mittaa muista kennoista vain positiivisesta navasta ja vertaa sitä kennon 1 tai 9 miinus napaan. Samalla kennot jakautuvat kahteen eri ryhmään, joissa molemmissa on 8 kennoa. (Orion BMS 2019.) Kuviossa 5 on esitetty kennojännite liittännän johtovärit.



KUVIO 5. Akunhallinnan kennojännite liittännät (Orion BMS 2019)

Kuviossa 5 on esitetty akunhallinnan kennojännitteen liittännät. Kuvioista nähdään, että miinusnapaan tulevat johdot ovat mustia, kennojen 1–8 plusjohdot oransseja sekä kennojen 9–16 johdot punaisia. Kennojännitejohdot yhdistetään jokaiseen yksittäiseen kennoon eikä niihin tarvitse asettaa sulaketta. (Orion BMS 2019.)

Kennojänniteliitännän vieressä on samankaltainen, mutta pienempi liitin. Tämä liitin on tarkoitettu virta-anturille, joka mittaa akkupakettiin tulevaa- ja siitä purettavaa virtaa. Virta-anturin tarkoitus on pitää akun varaustason tarkkailu mahdollisimman tarkkana. Virta-anturi on Hall-tyyppinen anturi, joka tarkoittaa, että johdot kulkevat anturin silmukan läpi. Näin vältetään turhat liitokset päävirtakaapeleissa, jotka johtaisivat suurempiin tehohäviöihin. Kuviossa 6 on esitetty virta-anturin liitännä.



KUVIO 6. Akunhallinnan virta-anturi liitännä (Orion BMS 2019)

Kuviossa 6 olevasta virta-anturin liitännästä nähdään, että anturi tarvitsee toimiakseen +5 voltin jännitteen ja maadoituksen. Anturi kommunikoi kahden kanavan avulla, jotka toimivat tiedonsiirtoväylänä. Itse antureita on saatavilla useaa eri kokoa siten, että pienin anturi pystyy mittaamaan virran 200 ampeerin asti ja suurin 1000 ampeerin asti. Anturi on mitoitettava siten, että sen arvo on mahdollisimman lähellä suurinta sallittua purkuvirtaa. Anturin virtarajan on kuitenkin oltava suurempi kuin purkuvirta. (Orion BMS 2019.) Tässä työssä virta-anturin arvo oli 500 ampeeria, koska akuston suurin sallittu akuston purkuvirta on 277 ampeeria.

Akunhallintalaitteen asentamisen helpottamiseksi ostettiin laitteen kanssa valmiit johtosarjat. Johtosarjapakettissa on kaikkiin kolmeen liittimeen valmis liitin ja tarvittavat johdot. Näin johtojen värikoodit saatiin oikeiksi ja säästettiin useita työtunteja. Johtosarjat sisältävät liittimen, värikoodatut johdot sekä suojakuori johdoin.

Akunhallinnan kytkemisen jälkeen BMS on ohjelmoitava, jotta se toimii oikein asennetussa ympäristössä. Ohjelmointi suoritetaan RS232 liitintä tai CAN-väylää pitkin. Molempiin ohjelmointitapoihin tarvitaan adapteri, jotta tietokone ja BMS saadaan keskustelemaan toistensa kanssa. Itse ohjelmointi suoritetaan Orionin tekemällä tietokoneohjelmalla. Ohjelmoinnissa laitteeseen syötetään akkutyypin ja akkujen oleelliset tiedot kuten nimellisjännite, virtarajat sekä lämpötilarajat. Näiden tietojen perusteella BMS muodostaa latausvirtakäyrän ja akkukennojen tasapainotus ohjelman. Myös taulukossa 3 esitetyt ohjelmoitavat ulos ja sisään-tulot asetetaan päälle ohjelmointisovelluksella. Ohjelmoinnissa myös määritetään CAN-väylän asetukset, joiden avulla varmistetaan, että BMS kommunikoi luotettavasti muiden ohjainlaitteiden kanssa. CAN-väylä-asetuksiin kuuluu väylän nopeus sekä erilaisten viestien lisääminen ja poistaminen. Näillä viesteillä voidaan korvata analogisia lähtöjä kuten esimerkiksi latauspäälle toiminto. (Orion BMS 2019.)

### **3.1.2 On-board latauslaite**

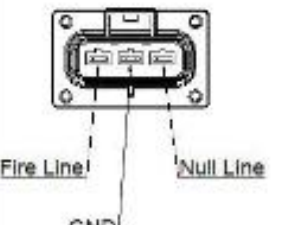
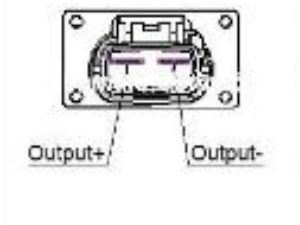
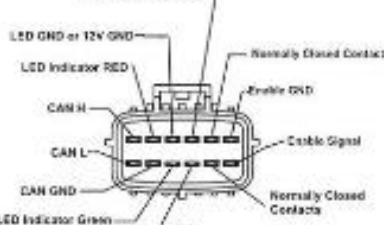
Akunhallinnan latauksesta huolehtiva komponentti on ajoneuvon on-board laturi, joka muuntaa sähköverkosta saatavan vaihtovirran akuille sopivaksi tasavirraksi. Käytettäväksi latauslaitteeksi valikoitui Elconin valmistama TC Charger, joka on tehty 48 voltin akustolle. Laturin latausteho on 1,6 kW (TC Charger n.d.). Kyseinen laturi valikoitui käyttöön sen pienen koon ja alhaisen hinnan takia. Latauslaite on myös yhteensopiva Orionin BMS järjestelmän kanssa, joka tarkoittaa, että sen ohjaukseen voidaan hyödyntää CAN-väylää. Kuvassa 6 on esitetty projektissa käytetty latauslaite.



KUVA 6. On-board latauslaite (TC Charger n.d.)

Kuvassa 6 on esitetty latauslaite. Kuvasta nähdään, että laitteessa on kolme eri liitännää. Nämä liitännät ovat sähköverkon vaihtovirta, akuille menevä tasavirta ja kommunikointiliitäntä mistä laturi saa toimintakäskyt akunhallinnalta. Itse laturissa ainoa turvatoiminto on tasavirta-ulos-tulon oikosulkuvahti. Tämä tarkoittaa, että latauslaite lopettaa latauksen, jos tasavirran ulostulossa havaitaan oikosulku. Muilta osin laturi tarvitsee ohjauksen akunhallinnalta, jotta se osaa säätää oikean latausvirran ja lopettaa latauksen oikeassa tilanteessa. Akunhallinta antaa laturille käskyjä kommunikaatioliittimen kautta. (TC Charger n.d.) Taulukossa 4 on esitetty laturin liitännät.

TAULUKKO 4. On-board laturin liitännät (TC Charger n.d.)

Input NO.: DJ7031-4.8-11	Output NO.: DJ7021-8-11	Signal NO.: DJ7124-2-11
 <p>Female Connector NO.: DJ7031-4.8-21</p>	 <p>Female Connector NO.: DJ7021-8-21</p>	 <p>Female Connector NO.: DJ7124-2-21</p>

Taulukossa 4 on esitetty latauslaitteen liitännät ja niiden toiminnot. Ensimmäisessä sarakkeessa on näkyvissä laturin sisääntuloliitäntä mistä laturiin syötetään sähköverkosta tuleva vaihtojännite. Kuten liitännästä nähdään, on syötettävä vaihtosähkö yksivaiheista. Toisessa sarakkeessa on nähtävissä laturin ulostulo

liitäntä. Liitäntä on yksinkertainen, sillä siinä on vain plus- ja miinusliitäntä. Kolmannessa sarakkeessa on laturin kommunikaatioliitin, joka on 12-napainen liitäntä. Tässä liittimessä on laturin CAN-väylä liittimet, mahdolliset merkkivalojen ohjaukset, laturilta tuleva +12V ohjausvirta, releenohjausliitännät sekä analogiset laturin ohjausliitännät. Merkkivaloliitännöillä tarkoitetaan johtoja, joiden avulla voidaan sytyttää ulkoinen merkkivalo kertomaan laturin toimintatilan. Releenohjausliittimillä tarkoitetaan johtoja, joiden avulla voidaan ohjata ulkoista relettä. Tällä toiminnolla voidaan esimerkiksi kytkeä ulkoinen akkujen viilennyslaitteiston rele päälle. Analogisilla ohjausliittimillä tarkoitetaan tavallisia on/off sisääntuloja, joilla voidaan ohjata laturia CAN-väylän puuttuessa. (TC Charger n.d.) Tässä työssä kommunikaatioliittimestä käyttöön otettiin CAN-väylä-, +12V ulostulo- sekä maadoitusliitäntä.

### **3.1.3 DC/DC muuntaja**

Kuten aikaisemmin mainittu, ajoneuvon matalajännitelaitteiden virransaannista huolehtii ajoneuvon DC/DC muuntaja. Yleensä tämä laite on yhdistetty on-board laturiin tai erilliseen laitteeseen, jota ohjaa BMS. (Orion BMS 2019.) Tässä tapauksessa kumpikaan näistä vaihtoehdoista ei ollut käytettävissä, sillä vallitseva maailmantilanne ja sen aiheuttama komponenttipula aiheutti laitteiden tilaamisessa vaikeuksia. Tämän takia päädyttiin tilaamaan aurinkokennojärjestelmän lataussäädin, koska niitä oli helposti saatavilla. Lisäksi kyseisen laitteen säätäminen ja asentaminen on helppoa, koska laite toimii yksinkertaisena jännitteenalennattajana eikä siinä ole kommunikointiväylää. Hankittu muuntaja on tyypiltään Epever Tracer 2210AN. Laitteen suurin latausvirta matalajänniteakkuun on 20 A. (Epever n.d.) Kuvassa 7 on esitetty käytetty laite.



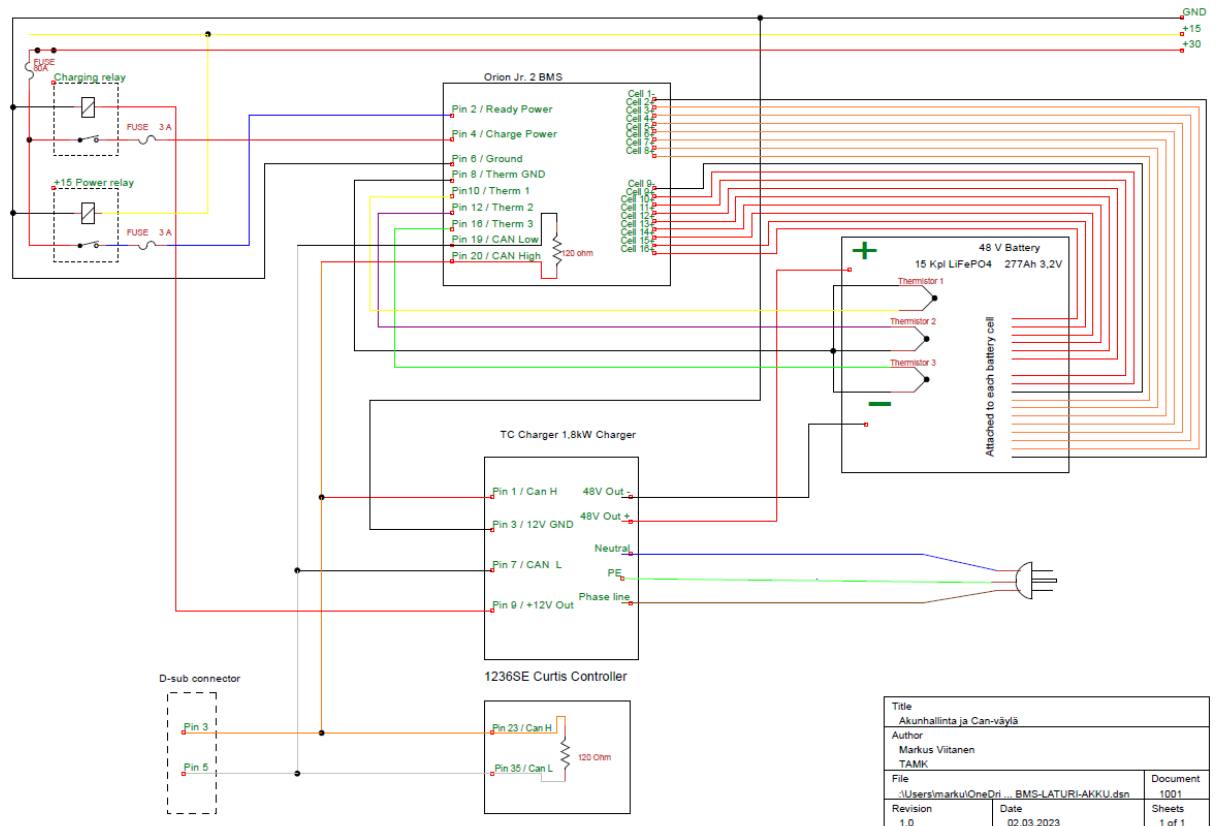
KUVA 7. Tracer 2210AN (Epever n.d.)

Kuvassa 7 on käytetty DC/DC muuntaja. Kuvasta nähdään, että laitteessa on liitännät aurinkokennojärjestelmälle, akulle sekä kuormalle. Tämän lisäksi laitteessa on liitännät lämpötila-anturille sekä Ethernet kommunikaatioportille. (Epever n.d.) Ajoneuvokäytössä laitteeseen kytketään korkeajänniteakusto aurinkopaneelien liitännään ja matalajänniteakusto laitteen akustoliitännään. Kuormaliitännä jätetään tyhjäksi. Lämpötila-anturi otetaan myös käyttöön, jotta laite tietää voiko akkua lämpötilan puolesta ladata. Laite ei ole ajoneuvokäyttöön ideaali, sillä akunhallinnalla ei ole mahdollisuutta käskää aurinkokenno-ohjainta. Tämä voi aiheuttaa mahdollisen vaaratilanteen, sillä akunhallinnan havaitessa korkeajänniteakustossa vian se ei pysty estämään muuntajaa ottamasta virtaa akustosta. Käytännössä tällainen tilanne on hyvin harvinainen eikä tämä riski tee ajoneuvon käytöstä vaarallista. Riskin lisäksi käytetyssä muuntajassa ei ole oikosulkuojoausta ulostuloon, jonka takia sen kytkentöihin on asennettava sulakkeet.

### 3.2 KytKentä

Kun komponentit on saatu valittua ja tilattua on aika kytkeä järjestelmä ajoneuvoon. Edellisen kappaleen komponenttiluettelosta puuttuu sähkömoottori ja siihen käytetty invertteriohjain, jotka on suunniteltu ja valittu toisen opiskelijan tekemässä opinnäytetyössä. Invertteriä ohjaa BMS, joka kertoo, milloin virtaa voidaan akustosta ottaa. Kuvioissa 7, 8 ja 9 on esitetty komponenttien välisten kytkentöjen kytkentäkaaviot. Kuvioissa esiintyvät +15 ja +30 virrat on otettu ajoneuvon omista

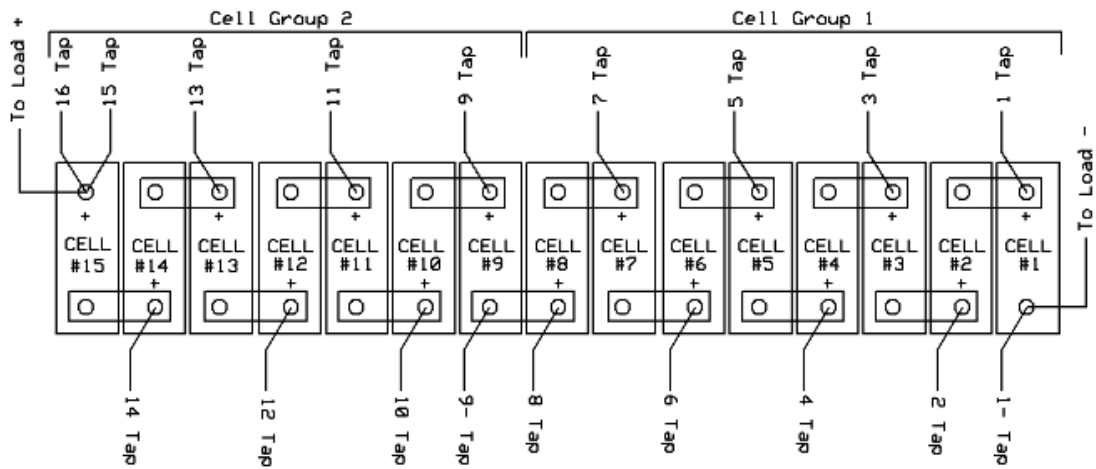
sulakkeista. +15 virralla tarkoitetaan virtalukon takaista jännitettä ja +30 virralla jatkuvasti saatavilla olevaa virtaa. Kytkentäkaavioiden johtovärit ovat samat kuin autoon asennettujen johtojen.



KUVIO 7. Akunhallinnan kytkentä

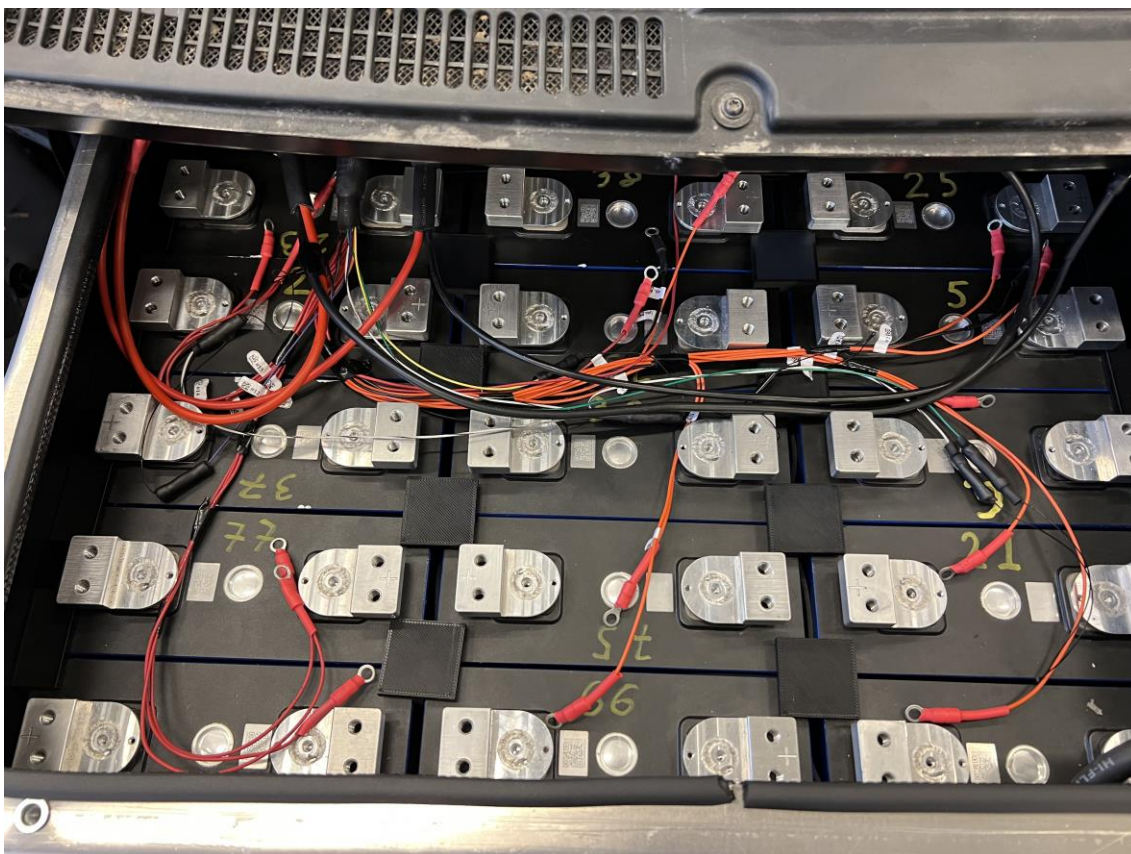
Kuviossa 7 on esitetty akunhallinnan kytkentä ja korkeajänniteakuston lataus. Kuviossa nähdään, että akunhallinnalle on kaksi eri virransyöttöä, jotka määrittelevät, toimiiko BMS lataus- vai ajotilassa. Latausvirran relettä ohjaa laturilta tuleva +12 voltin virta, joka on vahvistettu relettä käyttämällä. Laitteen ajotilan sähkö tulee ajoneuvon omasta virtalukosta, joka on myös vahvistettu releellä. Molempien käyttötilojen sähkö on asetettu kulkemaan 3 ampeerin sulakkeen läpi, jotta BMS on suojattu oikosuilta. Käyttämällä ajoneuvon virtalukkoa varmistetaan, että BMS toimii aina, kun ajoneuvossa on virta päällä. BMS on maadoitettu ajoneuvon runkoon ja sen maapiste sijaitsee apumiehen jalkatilassa. Kommunikoinnin muiden laitteiden avulla BMS hoitaa käyttämällä CAN-väylää. Väylään on liitetty kuvion mukaisesti invertteri (Curtis) ja on-board laturi. Lisäksi väylään on lisätty D-liitin, josta ohjelmointilaite on helppo liittää järjestelmän väylään. Kuviossa myös

nähdään, että väylän päätevastukset sijaitsevat akunhallinnan ja invertterin sisällä. Kennojännitejohdot ja lämpöanturien johdot on vedetty akustoon ja ne on kytketty siellä yksittäisiin kennoihin kuvion 8 mukaisesti.



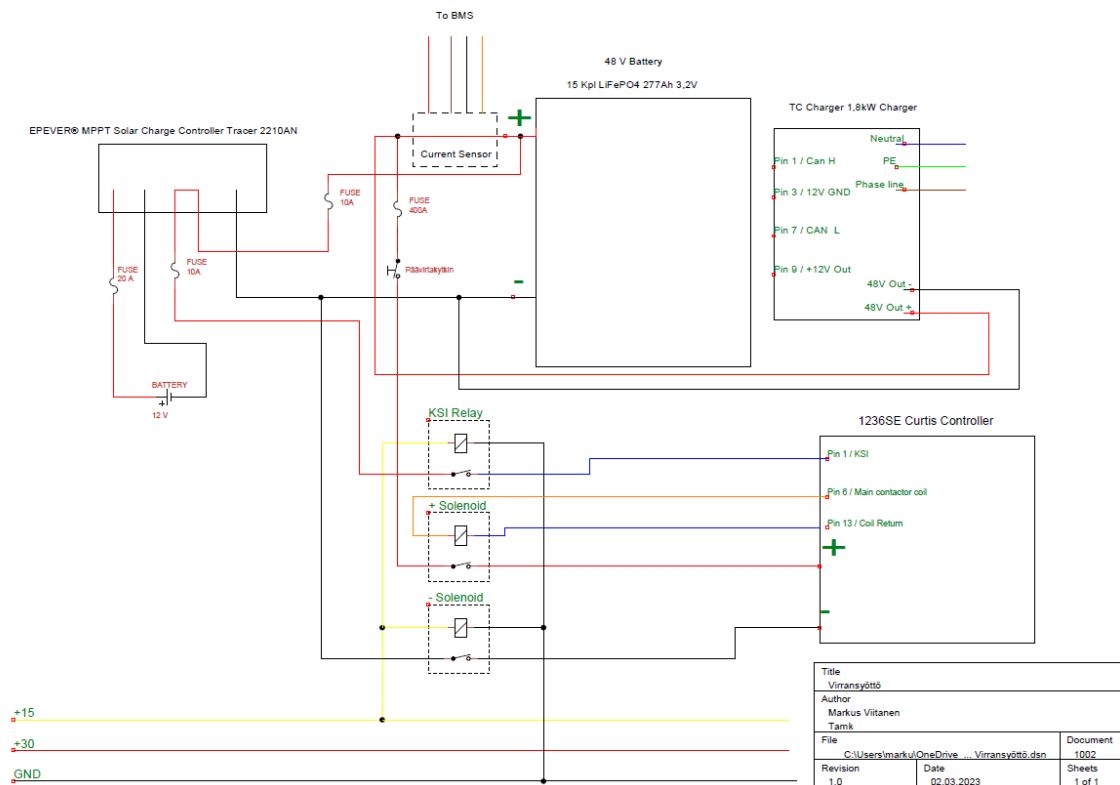
KUVIO 8. Kennojännitejohtojen kytkentä (Orion BMS 2019)

Kuviossa 8 on esitetty Orionin ohjeistama kennojen kytkentä. Kuviossa nähdään, että kennot kytketään siten, että kennoissa 1 ja 9 on maadoitusjohto ja kaikissa kennoissa plusjohto. Kennojen numerointi aloitetaan kennosta, johon kuorman miinusjohdin on kiinnitetty ja lopetetaan kennoon, johon kuorman plusjohdin kiinnitetään. Koska akunhallinta on suunniteltu kuudentoista kennon akustolle, kytketään viimeiseen kennoon kaksi johtoa. (Orion BMS 2019.) Kuvassa 8 on esitetty kennojen järjestys ajoneuvossa.



KUVA 8. Akkukennot autossa

Kuvassa 8 on esitetty kennojen järjestys ajoneuvossa. Kuvassa ensimmäinen kenno on oikealla alakulmassa ja viimeinen kenno vasemmalla yläkulmassa. Keskirivissä kennot ovat siten, että kenno nro. 6 on kuvan yläreunassa ja kenno nro. 10 kuvan alareunassa. Kuvassa on myös nähtävillä kennojännitekaapelit sommiteltuina niiden oikeille paikoille. Kuvassa ei ole näkyvissä akuston lämpötila-antureita. Anturit sijoitettiin kennon 1 päälle, kennojen 8 ja 9 väliin sekä kennon 13 päälle.



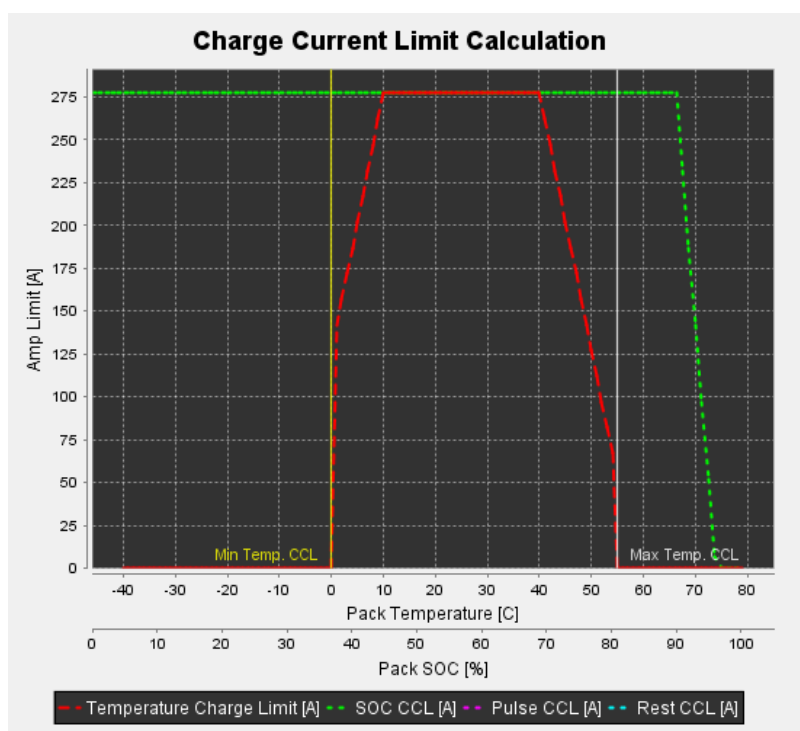
KUVIO 9. Komponenttien virransyötön kytkentä

Kuviossa 9 on virransyöttöjen kytkentäkaavio. Kuviossa on nähtävissä, mihin akuilta lähtevät johdot on kytketty. Kuviossa nähdään, että akulta tulevat plus- ja miinusjohtimet kulkevat solenoidien läpi. Näin varmistetaan, että akustosta ei tule virtaa ohjainlaitteille, kun virtalukon virta katkaistaan. Invertterille tulevassa plusjohtimessa on 400 ampeerin sulake sekä päävirtakatkaisija. Plusjohtimen solenoidia ohjaa invertteri omalla herätevirrallaan. Invertterin miinusjohtimessa on solenoidi, jota ohjaa hansikaslokeron taakse asetettu virtarele. Akustossa olevan virta-anturin läpi kulkee invertterin plusjohdin sekä on-board laturin plusjohdin. DC/DC muuntajalle menevät johdot on asetettu kulkemaan virta-anturin ohi, koska BMS ei pysty hallitsemaan muuntajaa, joten se ei myöskään voi nähdä muuntajan kuluttavaa virtaa. DC/DC muuntajalle menevään plusjohtimeen on asetettu 10 ampeerin sulake ja ulostuloon 20 ampeerin sulake. Muuntajan kautta kulkee myös invertterin herätevirta (KSI). Herätevirtajohdossa on myös 10 ampeerin sulake.

### 3.3 Akunhallinnan ohjelmointi

Komponenttien kytkennän jälkeen akunhallinta on ohjelmoitava, jotta se toimii asennetussa ympäristössä oikein. Ohjelmointi tarkoittaa, että laitteelle kerrotaan käytetty akkutyyppe ja akkujen virtarajat. Lisäksi kerrotaan mitä lisälaitteita autossa on akunhallintaan liittyen. Tämä tarkoittaa latauslaitteen, muuntajien, sähkömoottoriohjauksien ja mahdollisten näyttöjen konfigurointia. Alla olevissa kohdissa on käyty ohjelmointia läpi.

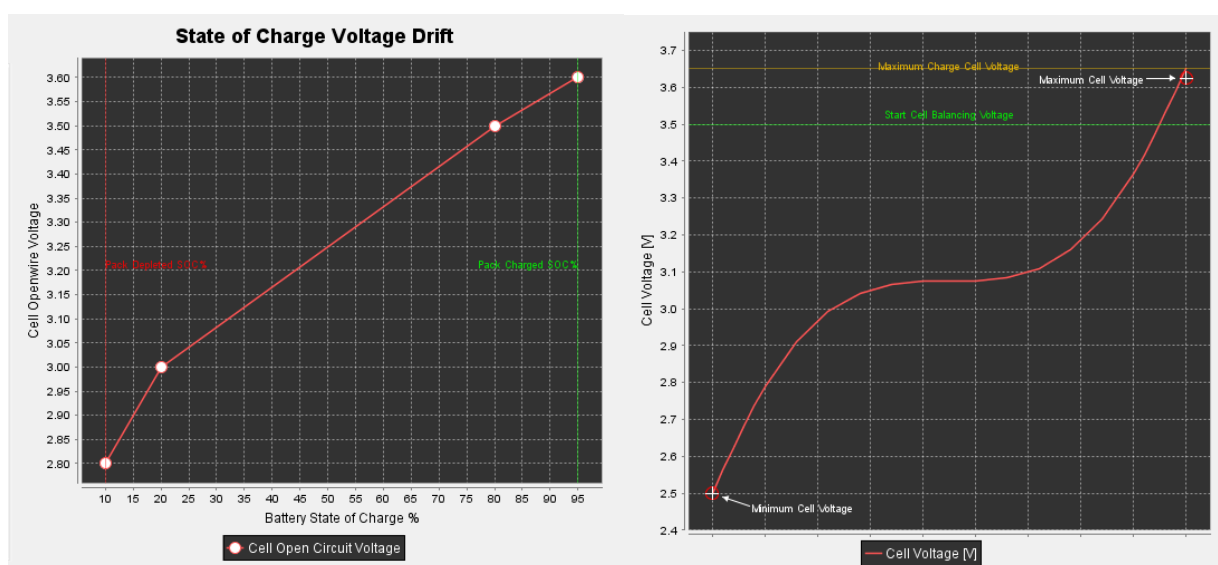
Ensimmäisessä vaiheessa syötetään käytetty akkukemia, akkujen kapasiteetti ja kennojen määrä. Tässä vaiheessa erityisen tärkeää on syöttää tiedot oikein, koska BMS muodostaa itse lataus- ja purkuvirtakäyrät valitun akkutyypin perusteella. Ajoneuvossa olevaa akkutyyppeä ei ollut mahdollista ohjelmoida automaattisesti, joten akuston tiedot syötettiin manuaalisesti. Tämä tarkoitti akun kapasiteetin, virtarajojen, lämpötilarajojen ja kemian manuaalista syöttöä. Manuaalisesti syötettyjen tietojen perusteella BMS muodosti seuraavat kuvaajat.



KUVIO 10. Ohjelmoitu latausvirta rajoitteet

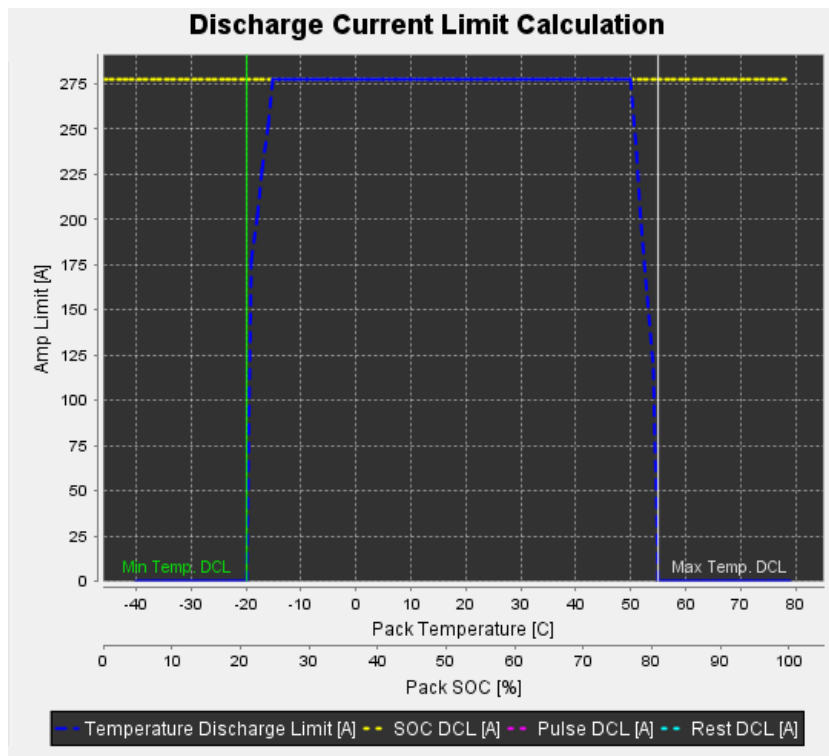
Kuviossa 10 on nähtävissä laitteen muodostama latausvirtakäyrä. Kuvioista voidaan nähdä, että akkua ladataan vain lämpötila alueella 0–55 celsiusta. Lataus-

virtaa myös lasketaan hiukan ennen kuin rajalämpötila saavutetaan. Tämä suojelee akustoa pitämällä sen lämpötilan ohjearvojen sisäpuolella. Kuvioista nähdään myös, että akkua ei ladata yli 95 %. Tämä on akkujen valmistajan määrittelemä turvallinen raja akulle. Näiden rajojen välissä akustoa voidaan ladata 277 ampeerin virralla. Todellisuudessa akkuja ei ladata näin suurilla virroilla, sillä laturin suurin latausvirta on 25 ampeeria. Akunhallinta määrittää virtarajat akkujen tilan perusteella, joten kuvaajasta ei voida tulkita todellista latausvirtaa käyttötilanteessa. Akun varaustaso päivittyy latauksen aikana virta-anturin laskemasta latausvirtamäärästä sekä kennojännitteen muutoksesta. Kuviossa 11 on esitetty kennojännitteen vaikutus varaustason tulkintaan.



KUVIO 11. Kennojännitteen vaikutus lataukseen

Kuviossa 11 on havainnollistettu akun kennojännitteen vaikutus lataustapahtumaan. Vasemmanpuoleisesta kuvioista nähdään, että matalalla kennojännitteellä varaustaso nousee hitaammin. Tämä on ohjelmalla tehty ominaisuus, mikä pyrkii pitämään varaustason laskennan oikeassa luvussa. Ominaisuutta on käytettävä, sillä kennon varaus ei muutu tasaisesti koko latauksen ajan. Tästä syystä BMS myös käyttää virta-anturia varaustilan laskentaan. Oikeassa kuviossa nähdään, että kennojen tasapainotus alkaa, kun ensimmäinen kenno saavuttaa 3,5 voltin jännitteen. Maksimijännite asennetuille akkukennoille on 3,65 voltia (Sig Energy Technology n.d.). Lataus loppuu, kun kaikki kennot on saatu tasapainotettua jännitteeseen  $3,65 \pm 0,01$  voltia. Latausvirtojen käsittelyn jälkeen tehtiin vastaava toimenpide purkuvirralla.



KUVIO 12. Purkuvirran käyttäytyminen

Kuviossa 12 on havainnollistettu akunhallinnan sallimaa purkuvirtaa. Purkuvirta-kuvaajasta havaitaan, että sallittu purkuvirta-alue on lämpötiloissa -20–55 celsiusa. Näiden rajojen lähellä BMS rajoittaa purkuvirtaa maksimista, jotta akut eivät vaurioituisi. Kuvioista ei nähdä, että BMS rajoittaa myös akun purkamisen varaustasoalueelle 5–100 %. Tämä myös suojelee akustoa, koska litium kennoja ei valmistajan mukaan voida purkaa täysin tyhjäksi (Sig Energy Technology n.d.).

Lisäksi ohjelmoinnissa on mahdollisuus muuttaa CAN-väylän asetuksia, ohjelmoitavien lähtöjen toimintoja sekä mahdollisia busbar vastuksia. Busbar vastuksella tarkoitetaan akkukennojen välistä vastusta, joka muuttuu esimerkiksi pitkän välilyhdon takia. Ohjelmoinnilla voidaan siis kompensoida kennojen välissä olevan pitkän johtovedon vaikutusta. (Orion BMS 2019.) CAN-väylän nopeudeksi asetettiin 250 kbit/s ja siihen lisättiin viestit on-board laturille sekä sähkömoottorin invertterille. Ohjelmoitavia relelähtöjä ei otettu tässä projektissa käyttöön.

### 3.4 Komponenttien sijoittelu ja johtojen veto

Yhtenä haasteena projektissa oli saada kappaleessa 3.1 käsitellyt komponentit sopimaan ajoneuvoon. Pienissä henkilöautoissa ei ole suunniteltua tilaa laajennuksille, kuten uusille ohjainlaitteille samalla tavalla kuin hyötyajoneuvoissa. Tämän takia ajoneuvon sisätiloihin jouduttiin tekemään useita muutoksia, jotta uusille laitteille saatiin tilaa. Myös auton matkustamon ulkopuolelle kuten moottoritilaan jouduttiin tekemään useita muutoksia.

Ajoneuvoon asennettavat johdotukset valittiin käyttäen valmistajan ohjeita tai arvioimalla johdoissa kulkevan virran määrää. Yleisin johtokoko, jota ajoneuvossa käytettiin, oli  $0,75\text{mm}^2$ , koska sitä käytettiin matalatehoisten laitteiden ja herätevirran johtimiin. Muita noteerattavia johtokokoja oli  $35\text{mm}^2$ , joka oli korkeajänniteakustolta invertterin kautta moottorille kulkeva johtokoko. Korkeajänniteakun lataus suoritettiin  $4\text{mm}^2$  johtimilla ja matalajännite akun lataus  $6\text{mm}^2$  johtimilla. Näistä molemmat olivat valmistajan ohjeistamat johtokoot eikä niiden oikeellisuutta arvioitu työn aikana. Suuri osa ajoneuvoon asennettavista johdoista tuli ostettujen laitteiden mukana. Näin ollen värikoodit ja johtokoot olivat laitteiden valmistajien mukaisia.

Ajoneuvon sisätiloissa kaikki ohjainlaitteet ja releet päädyttiin sijoittamaan matkustamon oikealle puolelle hansikaslokeron tilalle. Ratkaisuun päädyttiin, sillä sähkömoottorin invertteri oli sijoitettu samaan tilaan eikä hansikaslokeroa voitu enää käyttää. Lisäksi ainoa alue, jossa ajoneuvon etuseinässä oli tilaa uusille johtojen läpivienneille, löytyi oikeasta reunasta. Oli myös järkevää pitää johtovedot mahdollisimman lyhyinä ja asettaa laitteet etuseinän oikeaan reunaan, eli hansikaslokeron tilalle. Lokeron vasemmalle puolelle sijoitettiin akunhallinnan laite ja oikealle puolelle jälkiasennettujen releiden laatikko. Laatikoiden alapuolelle asennettiin sulakerasia jälkiasennetuille laitteille. Lopuksi ajoneuvon oman hansikaslokeron kansi kiinnitettiin kahdella ruuvilla, jolloin uudet ohjainlaitteet jäävät kannen taakse piiloon.



KUVA 8. Johtojen läpiviennit ja lisälaitteiden asennus

Kuvassa 8 nähdään johtojen läpivienti ja asennetut lisälaitteet. Kuvassa vasemmalla on BMS-laite, keskellä sähkömoottorin invertteri ja oikealla relelaatikko, jossa jälkiasenteiset releet sijaitsevat. Laatikossa on yhteensä viisi relettä, jotka kaikki ovat käytössä. Relelaatikon alapuolelle on sijoitettu sulakerasia, jossa kaikki lisälaitteiden sulakkeet sijaitsevat. Kaikki laitteet jäävät hansikaslokeron kannen taakse piiloon, joten lopullisesta asennuksesta tulee siisti.

Ainoastaan DC/DC muuntaja jouduttiin sijoittamaan pois hanskalokerosta sen suuren koon vuoksi. Muuntaja on myös kiinnitettävä lämpöä kestäväan pohjaan, sillä se voi käytön aikana lämmetä jopa 50 asteiseksi (Epever n.d.). Tästä syystä muuntaja päätettiin sijoittaa oikeanpuoleisen istuimen alle. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska tällöin latausjohtojen pituus ei kasvaisi puolta metriä enempää. Penkin alla oleva tila on myös turvallinen, sillä ilman kierto matkustamossa on hyvä, jolloin ylikuumenemista ei tapahdu. Laite on tällöin myös suojassa vesiroiskeilta ja iskuilta.



KUVA 9. Aurinkokenno-ohjain ja sen kiinnitys

Kuvassa 9 on esitetty aurinkokenno-ohjaimen kiinnitys ajoneuvon lattiaan. Kuvasta nähdään, että lattiamatto on leikattu ohjaimen ympäriltä pois. Syy maton leikkaamiseen on ohjaimen lämpeneminen toiminnan aikana, joka voisi johtaa tulipaloriskiin. Laite on kiinnitetty ajoneuvon lattiaan neljällä niittimutterilla, siten että lattian ja laitteen väliin jää muutaman millin ilmarako. Ilmarako on jätetty, jotta matkustamossa liikkuva ilma jäähdyttäisi laitteen tehoelektroniikkaa. Kuvassa on näkyvissä myös ohjaimen tulevat johdot. Johtojen päihin puristettiin pääteholkit, jotta liitäntä laitteeseen olisi mahdollisimman hyvä.

## 4 LISÄLAITTEISTON SUUNNITTELU

Akunhallinnan asennuksen lisäksi työssä suunniteltiin toimiva lisälaittejärjestelmä. Lisälaitteisto tulisi sisältämään toimivan lämmitysjärjestelmän sekä jarruille tärkeän alipainejärjestelmän. Suunnittelussa tehtiin valmiit asennusohjeet järjestelmän toteutukseen.

### 4.1 Komponentit

Järjestelmässä hyödynnetään ajoneuvon omaa lämmityslaitteen sisäkennoa, joten asennettavan laitteiston tehtävä on lämmittää jäähdytysneste sisäkennolle valmiiksi. Näin ollen lisälaitteisto koostuu lämmityksestä, joka sisältää vesisäiliön, lämpötilakatkaisijan, vesipumpun sekä lämmitysvastuksen. Järjestelmien ohjaus suunniteltiin tehtäväksi releillä. Lämmitysjärjestelmän lisäksi ajoneuvoon asennettiin samalla alipainepumppu.

Ensimmäinen lisälaitteistoon valittu komponentti oli alipainepumppu. Pumpun valinnassa päädyttiin mahdollisimman yleiseen alipainepumppuun, joka on helppo vaihtaa sen rikkoutuessa. Alipainepumpun toimittajana toimi Hella ja pumpun tyyppi oli UP28. Pumpun virrankulutus on alle 15 ampeeria 13 voltin jännitteellä (Hella 2023). Virrankulutus on tärkeä tietää lisälaitteiston johtojen asennuksessa. Hella (2023) ilmoittaa pumpun kestoiksi 1200 tuntia, joka pitäisi olla riittävä ajoneuvon tulevaan käyttötarpeeseen nähden. Käytetty alipainepumppu on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Hella UP28 alipainepumppu (Hella 2023)

Alipaineumpun valinnan jälkeen aloitettiin lämmityskomponenttien valinta. Ensimmäisenä valittavana kohteena oli järjestelmän vesisäiliö, koska siihen kiinnitetyisivät muut komponentit. Tavoitteena oli asentaa noin kolmen litran vesisäiliö. Koska valmiita säiliötä ei ollut helposti saatavana, aloitettiin kartoittamaan mahdollista säiliön valmistusta. Säiliön valmistus alusta asti ei ollut koulun tiloissa mahdollista, joten vaihtoehdoiksi jäi valmiin säiliön muokkaaminen tai säiliön 3D-tulostaminen. 3D-tulostaminen päätettiin hylätä, koska säiliön kestävyys oli suuri huolenaihe. Niinpä päädyttiin hankkimaan kolmen litran hydraulikkasäiliö ja tekemään siihen tarvittavat muutokset.



KUVA 11. Hankittu hydraulisäiliö

Kuvassa 11 on näkyvissä hankittu säiliö. Kuvasta nähdään, että säiliössä on valmiit kiinnityskohdat sekä valmis huohotus- ja täyttötulppa. Säiliöön on lisättävä letkulähdöt sekä kiinnityskohta vesipumpulle ja lämmitysvastukselle. Kiinnikkeiden suunnitelmat on esitetty kappaleessa 4.3.

Kun säiliö on valittu, oli löydettävä vesimäärälle sopiva vesipumppu sekä lämmitysvastus. Lämmitysvastuksena päätettiin käyttää matkailuautoissa yleistä vastustyyppiä. Lämmitysvastus upotetaan vesisäiliöön, jossa se lämmittää säiliössä olevaa vettä. Lämmitysvastuksen koolla voidaan vaikuttaa veden lämpenemisnopeuteen. Tässä projektissa päädyttiin kuitenkin pieneen, noin 30 watin vastukseen, sillä ajoneuvoa tullaan säilyttämään sisätiloissa. Tällöin vastuksen tehtävä on pitää vesi lämpimänä, jotta tarvittaessa saadaan lämmittävää ilmaa ajoneuvon matkustamoon. Vastuksen lisäksi järjestelmään asennettiin lämmityskatkaisija, joka katkaisee sähkön vastukselta, kun lämpötila nousee yli asetetun lämpötilan. Tämä suojelee vastusta ja järjestelmän muita komponentteja ylikuumenemiselta.

Järjestelmän vesipumpuksi hankittiin Mercedes-Benz merkkisen auton taukolämmittimen vesipumppu. Pumppu on kooltaan pieni ja se on helppo asentaa hankitun vesisäiliön pohjaan. Pumppu itse on Nissensin valmistama komponentti, joka on tarkoitettu kiinnitettäväksi pantakiinnityksellä. Pumpussa on kaksi liitäntää  $\frac{3}{4}$  tuuman letkulle. Pumpun valmistaja ei ilmoita pumpun tehoa eikä virrankulutusta, joten se joudutaan arvioimaan järjestelmää suunnitellessa. (Nissens 2023.)



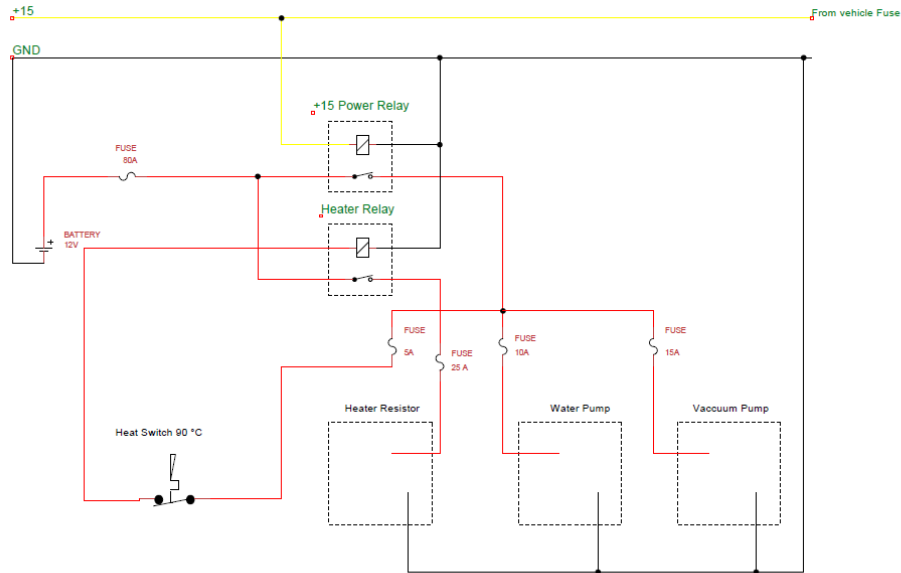
KUVA 12. Kiertovesipumppu (Nissens 2023).

Kuvassa 12 on näkyvissä lämmitysjärjestelmään asennettava kiertovesipumppu. Pumppu kiinnitetään pantakiinnityksellä mustan suojakumin kohdalta. Pumpulle tuleva jäähdytysneste syötetään sen päässä olevasta liitännästä sisään, jolloin pumpulta tuleva jäähdytysneste tulee pumpun sivusta ulos. (Nissens 2023.)

## 4.2 Sähkösuunnittelu

Komponenttien valinnan jälkeen oli aika suunnitella järjestelmän kytkentä ja toimintalogiikka. Kuten aikaisemmin mainittiin, järjestelmää päätettiin ohjata tavallisilla vaihtoreleillä, sillä ne ovat yksinkertainen ja halpa ratkaisu. Järjestelmän re-

leet sijoitettiin luvussa 3.4 esiteltyyn relelaatikkoon muiden jälkiasenteisten komponenttien kanssa. Releiden sähkö otettiin samasta sulakkeesta kuin akunhallinnan +12 voltin sähkö. Kuviossa 13 on esitetty järjestelmän kytkentäkaavio.



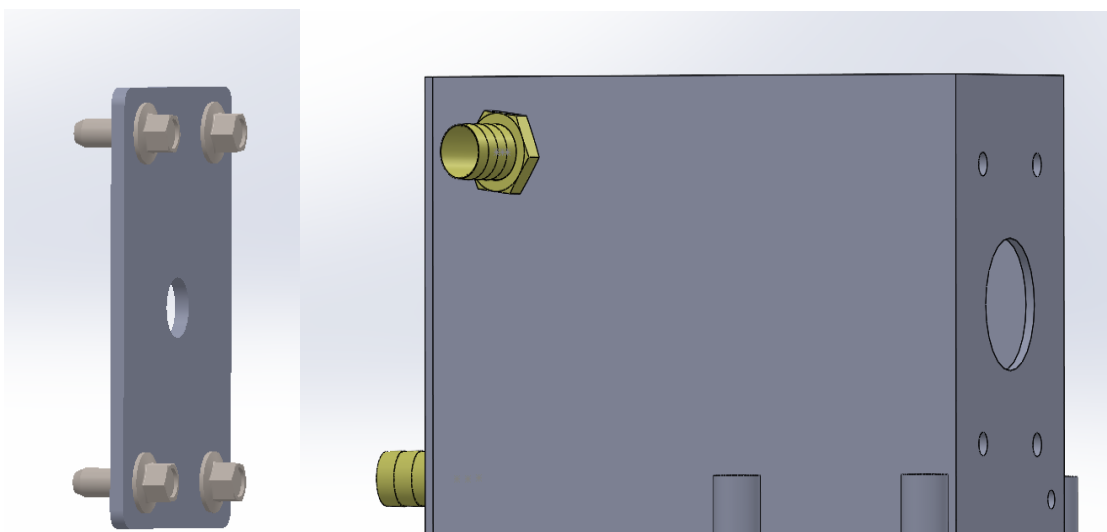
Title		
12 V Lisälaitteisto		
Author		
Markus Viitanen		
Tamm		
File	Document	
C:\Users\marku\OneDrive\12V Laitteisto.dsn	1003	
Revision	Date	Sheets
1.0	07.03.2023	1 of 1

KUVIO 13. Lisälaitteiden kytkentäkaavio

Kuviossa 13 on näkyvä Lisälaitteiston kytkentäkaavio. Kuvioista nähdään, että +15 virtarele kytkee sähköä alipainepumpulle, vesipumpulle ja lämpökatkaisijalle. Lämmitysvastukselle on oma rele, jota ohjaa lämpökatkaisija. Kun veden lämpötila nousee yli 90 astetta, lämpökatkaisija katkaisee releeltä ohjaussähköä, jolloin lämmitysvastus sammuu. Kun lämpötila taas laskee, rele kytkeytyy päälle ja lämmitysvastus alkaa taas lämmittämään vettä. Kuvioista nähdään myös eri komponenttien sulakkeiden koot. Sulakkeet on sijoitettu luvussa 3.4 esiteltyyn sulakerasiaan.

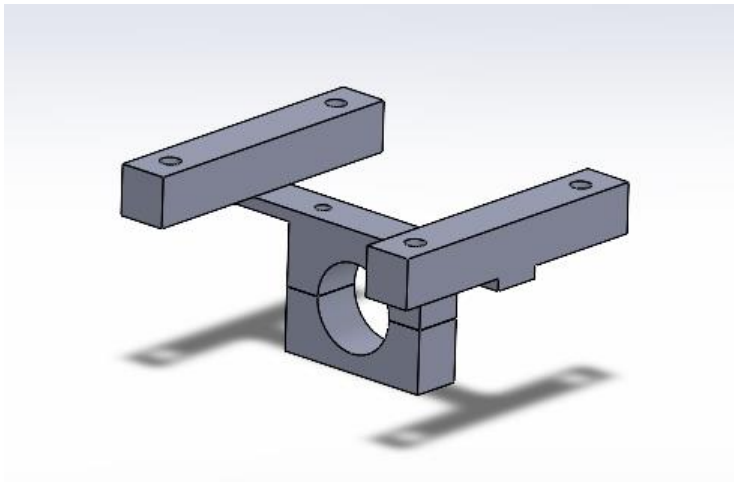
### 4.3 Mekaaninen suunnittelu

Mekaanisessa suunnittelussa suunniteltiin komponenttien kiinnitys itse ajoneuvoon. Tämä tarkoitti säiliön kiinnitystä auton moottoritilaan sekä vesipumpun kiinnitystä lähelle vesisäiliötä. Lisäksi oli suunniteltava kuinka kuvassa 4.1 esitelty säiliö saadaan muutettua käyttöön sopivaksi. Mekaanisen suunnittelun apuvälineenä käytettiin Solidworks mallinnusohjelmaa. Suunnittelutyö aloitettiin säiliön muutosten suunnittelusta.



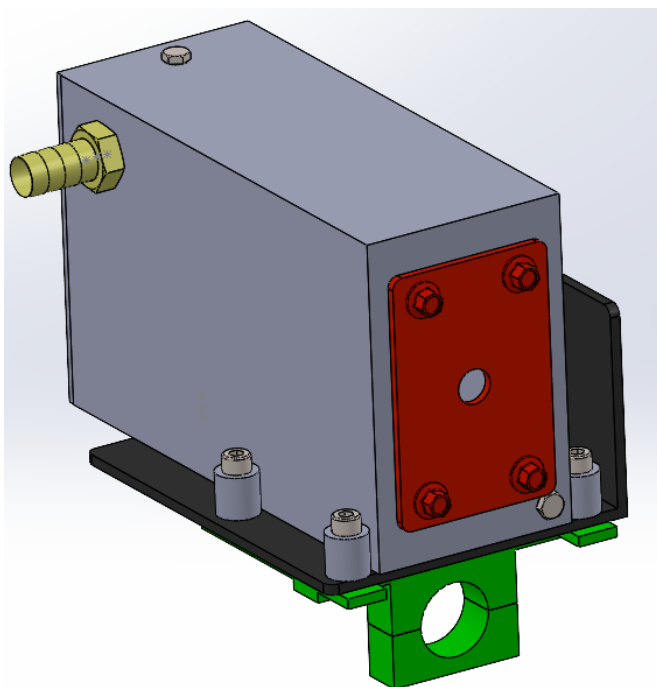
KUVA 13. Säiliön tehtävät muutokset

Kuvassa 13 nähdään säiliölle pakolliset muutokset, jotta säiliö sopeutuu ajoneuvokäyttöön. Kuvassa 11 näkyvä säiliön reikä on peitetty metallilapulla. Lappu kiinnittyy neljällä M8-pultilla säiliöön ja se tiivistyy leikattavan pahvitiivisteiden ja tiivisteliiman avulla. Lapun keskellä on reikä, johon lämmitysvastus asennetaan. Säiliöön on lisätty letkulähdöt  $\frac{3}{4}$  tuuman letkuille. Letkulähdöissä on  $\frac{3}{4}$  tuuman R-kierre, joten ne kiinnittyvät kiertämällä säiliöön. Letkulähtöjen asennuksessa säiliöön on porattava reikä ja reikään on tehtävä  $\frac{3}{4}$  tuuma G-kierre. Pumpulle menevän letkun lähtö on säiliön päässä ja sisäkennolta palaavan letkun liitäntä säiliön kyljessä. Seuraavaksi oli suunniteltava pumpulle kiinnitys säiliön alapuolelle.



KUVA 14. Vesipumpun kiinnike

Kuvassa 14 on vesipumpulle suunniteltu kiinnike. Kuvan kiinnike pultataan säiliön kiinnityskohtiin. Pumpun ympärille tuleva panta on 3D-tulostettua muovia ja se kiinnittyy kuvassa näkyvään poikittaiseen lattarautaan pulteilla. Samat pultit pu-  
 ristavat kiristäessä pantaa, jolloin pumppu myös kiristyy kiinnikkeeseen. Pantaa lukuun ottamatta kappale on valmistettu metallista.



KUVA 15. Säiliön lopullinen rakenne

Kuvassa 15 on näkyvissä säiliön lopullinen rakenne muutostöiden jälkeen. Kuvassa eri muutostyöt on merkitty väreillä. Kuvasta havaitaan, kuinka vesipumppu kiinnitetään säiliön alle vihreällä merkittyyn kiinnikkeeseen. Kuvassa mustalla on

merkitty kiinnityskorva, joka on kiinni säiliön omissa kiinnityspulteissa. Korva voidaan kiinnittää toiselta reunalta ajoneuvossa haluttuun kohtaan. Renault Twingosta ei ollut saatavilla tarkkoja 3D-malleja, joten kiinnityspulttien reiät on mitattava ajoneuvosta käsin. Tämän takia niitä ei ole myöskään mallinnettu kiinnityskorvaan.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tulosta voidaan pitää onnistuneena, sillä työn päätyttyä lopputuloksena oli opetuskäytössä toimiva muunnossähköauto. Valmistunut ajoneuvo on opetuskäyttöön ideaali, sillä siinä olevat komponentit ovat asennettu helposti saataviksi ja säädettäviksi. Myös ajoneuvon ajoakustossa käytetty 48 voltin jännite on turvallinen, sillä se ei aiheuta vakavaa sähköiskuvaaraa koskettaessa.

Työtä suorittaessa keskityttiin tarkasti turvallisuusriskeihin ja niiden vaikutuksiin. Kaikilla ajoneuvon asennuksia suorittavilla henkilöillä tuli olla autoalan SFS6002 sähköturvallisuuskoulutus voimassa sekä maallikon ensiapukoulutus käytynä. Lisäksi asennuksia tehdessä tilassa tuli olla vähintään kaksi henkilöä, jotta tapaturman sattuessa apu oli heti paikalla. Tila, jossa ajoneuvoa rakennettiin, oli varustettu pelastuskoukulla ja defibrillaattorilla, joilla voitaisiin aloittaa ensiaputoimet tapaturman sattuessa. Ajoakustoon tehtävät kytkennät suoritettiin käyttäen VDE hyväksytyjä työkaluja, jotka on suojattu sähköiskuilta 1000 voltin jännitteeseen asti. Kytkennoissä käytettiin myös eristeitä ja liitäntöjä, jotka on hyväksytty korkeajännitteelle, vaikka ajoneuvossa ei korkeajänniterajaa ylittävää jännitettä ollutkaan. Jälkiasenteisten korkea- ja matalajännitejohtimien sulakkeet pyrittiin asettamaan mahdollisimman lähelle virtalähdettä, jolloin riskille altistuva johtimen osa olisi mahdollisimman lyhyt.

Valmista muunnossähköautoa voitaisiin jatkossa kehittää suunnittelemalla siihen tehtäviä laboratoriotöitä, joiden avulla opiskelijat voisivat tulevaisuudessa tutustua sähköauton komponentteihin ja niiden toimintaan. Tällaisia harjoitustöitä voisi olla esimerkiksi akustosta tulevan virran mittaus eri ajotilanteissa tai akuston varaustilan muutos erilaisissa rasiutilanteissa. Ajoneuvon avulla voitaisiin myös harjoitella korkeajännitetöiden tekemistä ajoneuvossa, sillä sen komponentit ja asennukset jäljittelevät korkeajännitemääräyksiä. Jos muunnossähköauton käyttö laboratoriossa yleistyy, siihen on varmasti tehtävä myös päivityksiä. Tällaisia päivityksiä voi olla esimerkiksi akuston jännitteen nosto tai kapasiteetin lisäys. Yhtenä tutkimuskohteena voisi olla vaihdettavan akkupaketin asennus ajoneuvon takakonttiin. Tällöin voitaisiin tutkia toimintaa, jossa ajoneuvon käyttäjä

voi vaihtaa tyhjän akkupaketin täyteen esimerkiksi huoltoasemalla. Ajatus vaihdettavasta akkupaketista oli puheenaihe jo tämän projektin aikana, mutta sitä ei voitu toteuttaa auton etupäähän tilantarpeen takia.

Jos tällaista muunnossähköautoa suunnittelee jokapäiväiseen käyttöön, on huomioitava muutamia asioita. Useimmissa uusissa autoissa muutos on vaikeampi tehdä, sillä polttomoottorin ohjauselektroniikka on vahvasti yhteydessä muihin ohjainlaitteisiin. Tällöin on mahdollista, että polttomoottorin ohjainlaitetta poistaessa syntyy suuri määrä vikoja ajoneuvoon. Vanhoissa ajoneuvoissa polttomoottorin ohjainlaitteen toiminta on yksinkertaisempaa, jolloin sen korvaaminen voi olla mahdollista. Ongelma on kuitenkin huomioitava jo muunnossähköauton suunnitteluvaiheessa.

Projektin tuoman kokemuksen perusteella sähkökonversion kohteeksi kannattaa valita vanha, mutta hyväkuntoinen ajoneuvo. Vanhasta ajoneuvosta on helpompi löytää oleellisia tietoja kuten sähkökaavioita. Lisäksi vanhoissa ajoneuvoissa ei ole tiedonsiirtoväyliä, jotka hankaloittavat ohjainlaitteiden muuttamista ja poistamista. Ajoneuvon pitäisi myös olla suurikokoinen, jotta sähkökonversioon vaadittavat komponentit saadaan sopimaan ajoneuvon rakenteeseen. Liian suuri ajoneuvo johtaa kuitenkin ajosäteen laskemiseen, sillä tehoa kuluu tällöin enemmän ajoneuvon liikuttamiseen. Tässä työssä käytetty Renault Twingo ei ollut ideaali ratkaisu, sillä komponenttien sijoittamisessa jouduttiin tekemään tilanpuutteesta johtuvia kompromisseja. Renaultista ei myöskään ollut kaikkia kytkentäkaavioita saatavilla, joka hankaloitti lisälaitteiden yhdistämistä ajoneuvon alkuperäisiin järjestelmiin.

Raporttia kirjoittaessa huomattiin, että sähköautoista saatava tieto on hyvin rajallista tai se on jo vanhentunutta. Todennäköisesti tämä johtuu sähköautojen lisääntyvästä kysynnästä, joka johtaa kiihtyvään kehitystahtiin. Ajoneuvovalmistajat eivät halua jakaa uusimpia tietoja käytetyistä järjestelmistä, joka johtaa tiedon vaikeaan saatavuuteen. Lisäksi kiihtynyt kehitystahti johtaa kirjalähteiden nopeaan vanhenemiseen. Esimerkiksi 5 vuotta vanha kirjalähde, joka kertoo ajoneuvon sähkömoottoreista, on lähes täysin vanhentunutta tietoa. Myöskään suomenkielistä tietoa ei juurikaan ole saatavilla, koska lähteitä ei ole ehditty kääntää vielä

suomen kielelle. Tämä tarkoitti raportoinnissa useiden verkkolähteiden käyttämistä sekä englanninkielisten lähteiden kääntämistä suomeksi. Tämän takia työtä voidaan käyttää tulevaisuudessa tehtävien sähkökonversioiden suomenkielisenä ohjeena ja tiedonlähteenä.

## LÄHTEET

E-Mobility Engineering. 2021. HVAC Systems. Verkkosivu. Viitattu 20.03.2023. <https://www.emobility-engineering.com/hvac-systems/>

EPEVER. n.d. MPPT Solar Charge Controller. Ohjekirja. Viitattu 23.03.2023. <https://www.epever.com/wp-content/uploads/2021/05/Tracer-AN-Manual-EN-V2.6.pdf>

Gauß, R., Burkhardt, C., Carencotte, F., Gasparon, M., Gutfleisch, O., Higgins, I., Karajić, M., Klossek, A., Mäkinen, M., Schäfer, B., Schindler, R. & Veluri, B. 2021. Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action. Raportti kestomagneettien mineraaleista. Viitattu 14.03.2023. [https://eit.europa.eu/sites/default/files/2021\\_09-24\\_ree\\_cluster\\_report2.pdf](https://eit.europa.eu/sites/default/files/2021_09-24_ree_cluster_report2.pdf)

HELLA. 2023. UP28 Universal Electric Vacuum Pump. Verkkosivu. Viitattu 04.04.2023. <https://myhellalights.com/product/up28-universal-electric-vacuum-pump/>

Hietalahti, L. 2011. Sähkökäyttö- ja hybriditekniikka. Ajoneuvo- ja työkonetyöhön. Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka

Husain, I. 2011. Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals. 2. painos. Boca Raton: CRC Press.

Hyundai Motor Group. 2020. EV A to Z Encyclopedia – 1: Understanding EV Components. Verkkosivu. Viitattu 13.03.2023. <https://www.hyundaimotorgroup.com/story/CONT0000000000000906>

Karhulahti, M. 2019. Opas korjaamolle sähköautojen huolto- ja korjaustoiminnan aloittamiseen. Ajoneuvotekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 13.03.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019052010691>

Kinnunen, J. 2014. ABB:n pienjännitemoottorit. ABB Oy Kotimaan myynti. Koulutusmateriaali. Viitattu 15.03.2023. <https://docplayer.fi/19154823-Jarno-kinnunen-abb-oy-kotimaan-myynti-2014-abb-n-pienjannitemoottorit.html>

Linja-Aho, V. 2022. Litiumioniakkutekniikka. Rakenne-Ominaisuudet-Turvallisuus. Suomen Autoteknillinen Liitto ry

Nissens. 2023. Nissens part number 831056. Verkkosivu. Viitattu 04.04.2023. <https://catalogue.nissens.com/Product>

Orion BMS. 2019. Orion Jr 2 BMS. Verkkosivu. Viitattu 23.03.2023. <https://www.orionbms.com/products/orion-jr2-bms/>

Osmanbasic, Edis. 2020. The Many Types of EV Motors. Project Board. Verkkosivu. Viitattu 14.03.2023. <https://www.engineering.com/story/the-many-types-of-ev-motors>

Rautiainen, S. 2021. Sähköautojen erilaiset akkukemiat – nyt ja tulevaisuudessa. Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka. Turun Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 14.03.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201404033850>

Sig Energy Technology. n.d. Rechargeable lithium-ion battery, LFP277Ah. Tietolehtinen. Viitattu 29.03.2023.

Suolahti, J. 2014. Sovellussuunnittelu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Vaasan ammattikorkeakoulu- Opinnäytetyö. Viitattu 14.03.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201404033850>

TC Charger. n.d. 1.8KW HK-H Series Charger. Hangzhou Tiecheng Information Technology Co., Ltd. Tietolehtinen. Viitattu 23.03.2023.

Tesla. 2023. Tesla Investor Day. Verkkosivu. Viitattu 14.03.2023. [https://tesla-cdn.thron.com/static/AA7YQM\\_Investor\\_Day\\_2023\\_Key-note\\_W9DARX.pdf?xseo=&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3D%22Investor-Day-2023-Keynote.pdf%22](https://tesla-cdn.thron.com/static/AA7YQM_Investor_Day_2023_Key-note_W9DARX.pdf?xseo=&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3D%22Investor-Day-2023-Keynote.pdf%22)

Varta. 2021. The role of 12 Volt batteries in electric vehicles. Verkkosivu. Viitattu 13.03.2023. <https://batteryworld.varta-automotive.com/en-be/12-volt-batteries-in-electric-vehicles>

Yogeshwari, S. 2021. Tesla model 3's IPM-SynRM electric motor. Lesics. Verkkosivu. Viitattu 15.03.2023. [https://www.lesics.com/tesla-model-3\\_s-ipm-synrm-electric-motor.html](https://www.lesics.com/tesla-model-3_s-ipm-synrm-electric-motor.html)