



Sähköajoneuvon latausjärjestelmä akustolla ja invertterillä

Miika Ahola

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2022

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

MIIKA, AHOLA:

Sähköajoneuvon latausjärjestelmä akustolla ja invertterillä

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Marraskuu 2022

Opinnäytetyössä perehdyttiin sähköajoneuvojen latausjärjestelmän suunnitteluun ja toteutukseen, kun halutaan hyödyntää akustoa ja invertteriä. Invertterillä muutetaan akuston tasasähkö latureille sopivaksi vaihtosähköksi. Latausjärjestelmää käytetään paikoissa, joissa sähköliittymä on liian pieni, mutta halutaan silti ladata useampaa sähköajoneuvoa samanaikaisesti. Opinnäytetyössä tarkasteltu latausjärjestelmä perustuu Pohjois-Suomeen tulevaan Plugitin rakentamaan latauslaitteeseen, jolla ladataan sähköisiä moottorikelkkoja.

Työssä perehdyttiin latauslaitteen komponentteihin ja niiden yhteistoimintaan. Oli tärkeää tarkastella, kuinka latauslaite toimii eri tilanteissa ja miten erilaiset olosuhteet vaikuttivat sen toimintaan.

Työn tuloksena mitoitettiin akusto ja invertteri 10 kW:n tehon perusteella ja siten, että akuston avulla saadaan ladattua yksi sähkömoottorikelkka täyteen. Järjestelmä on optimoitu siten, että akusto latautuu täyteen ennen seuraavan moottorikelkan latausta. Sähköisten moottorikelkkojen suurin latausteho on 6.6 kW. Järjestelmä mahdollistaa 32 A:n syötöllä neljän latauspaikan samanaikaisen latauksen 6.6 kW:n teholla. Kun latauslaite kytketään 16 A:n syöttöön, mahdollistaa se kolmen latauspaikan samanaikaisen latauksen 6.6 kW:iin ja kaikkien neljän pisteen latauksen 4.6 kW:n teholla.

Asiasanat: sähköajoneuvo, latausjärjestelmä, akusto, invertteri

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Electrical Power Engineering

AHOLA, MIIKA:
Electric Vehicle Charger with Battery and Inverter

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 3 pages
November 2022

The study will delve into electric vehicles charging system design and implementation when a battery and an inverter are used together with a charger. The reason for including a battery and an inverter is to support a weak grid where getting a bigger main fuse is not an option. This charger is built by Plugit, and this charger can provide higher charge power. This allows the charger to charge multiple electric snowmobiles at the same time.

It's important to study and research the charger's components and how those components will work with each other. This research can be used in the future to design new chargers and will include batteries and inverters. This first design is not cost effective, but it is used to develop these chargers in the future.

As conclusion, it was found out that the charger was dimensioned to 10 kW of power and so that battery can provide power for one electric snowmobile. The system was optimized so that an integrated battery could charge to full before the next snowmobile would come to charge. The maximum charge power of snowmobiles was 6.6 kW. The system with 32 A input could charge all four ChargePoint with 6.6 kW power. When using 16 A input the charger could charge three ChargePoint with 6.6 kW power or all four points with 4.6 kW power.

Key words: electric vehicle, Charging network, Charging system, battery, inverter

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	SÄHKÖAJONEUVOJEN LATAUS.....	7
	2.1. Sähköajoneuvojen latauksen vaatimukset.....	8
	2.2. Litiumioniakun pohjustus.....	10
	2.2.1 Litiumioniakun turvallisuus.....	11
	2.3. Invertterin pohjustus.....	11
	2.4. Latauslaitteen pohjustus.....	12
	2.5. OCPP-standardi.....	13
3	LATAUSLAITTEEN KÄYTÖN SELITYS JA VAATIMUKSET.....	14
	3.1. Latauslaitteen logiikka.....	15
4	LATAUSLAITTEEN RAKENNE.....	17
	4.1. Akuston ja invertterin tarkastelu ja testaaminen.....	17
	4.1.1 Akustojen vertailu Valmet.....	18
	4.1.2 Akustojen vertailu BYD.....	18
	4.2. Inverttereiden vertailu.....	19
	4.3. PLC-ohjaus invertterille.....	21
	4.4. Latauslaitteen kokoonpano.....	22
	4.4.1 Latauslaitteen sulakkeiden määrittäminen.....	23
	4.4.2 Latauslaitteen vikavirran määrittäminen.....	24
	4.5. Kaapelointi ja muu kokoonpano.....	24
	4.5.1 Kaaviot kokoonpanosta.....	25
	4.6. Testipenkki ja oikea laturi.....	25
5	AKUSTON MITOITUSTYÖKALU.....	27
	5.1. Latauslaitteen käytännön selitys.....	27
	5.2. Excel-työkalun toiminta.....	27
6	SIMULOINTITULOSTEN ANALYSOINTI.....	29
	6.1. Simuloidut tulokset.....	29
	6.1.1 Simuloidut tulokset moottorikelkat.....	30
	6.1.2 Simuloidut tulokset sähköauto.....	33
	6.2. Käyttöä vastaavat simuloinnit.....	39
	6.3. Lopulliset tulokset.....	41
7	YHTEENVETO.....	42
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET.....	45
	Liite 1. Huben akuston ja invertterin sähkökuvat.....	45
	Liite 2. Huben sähköpuolen piirustukset.....	46

ERITYISSANASTO

EV	Sähköajoneuvo, normaalisti viitataan autoon
AC	Vaihtosähkö
DC	Tasasähköä
Type-2	Pistoketyyppi, jota käytetään Euroopassa AC-lataukseen
CSS-2	Pistoketyyppi, jota käyttävät eurooppalaiset autot DC-lataukseen
CHAdeMO	Pistoketyyppi, jota käyttävät aasialaiset autot DC-lataukseen
OCPP	Latauslaitteiden käyttämä standardoitu kommunikaatioväylä
Hube	Plugitin rakentama kustomoitu latausratkaisu

1 JOHDANTO

Haasteita Suomen latausinfraan kasvulle aiheuttavat liikenteen nopea sähköistyminen ja polttomootoriautojen myynnin kieltäminen 2035 vuonna Euroopassa. Sähköajoneuvojen lisääntyessä tarve uusille latausasemille kasvaa ja uusien ratkaisujen löytäminen on tärkeää. Sähköajoneuvot vaativat lataamiseen sille tarkoitetun laturin. Latureita voi olla normaaliin suojamaadoitettuun pistorasioihin kytkettäviä malleja, kiinteästi asennettavia yksivaiheisia latureita, kolmivaiheisia latureita tai tasasähkölatureita. Näiden eri latauslaitteiden tehot vaihtelevat huomattavasti. Vaihtosähköpuolella latausteho on 1,3–44 kW ja taas tasasähköpuolella lataustehot voivat nousta aina 360 kW asti.

Opinnäytetyö perehtyy latausjärjestelmän suunnitteluun, kun käytetään akustoa ja invertteriä lataustehon ylläpitämiseksi. Latausjärjestelmä on suunniteltu Pohjois-Suomeen, jossa liittymän suurentaminen on hankalaa heikon sähköverkon takia. Lataukset ovat myös hetkellisiä, joten vaikka akusta puretaan energiaa suurella teholla, sen varaustila ehditään yön ja päivän aikana ladata halutulle tasolle alhaisempaa tehoa käyttäen. Ladattavat sähköajoneuvot ovat sähkökäyttöisiä moottorikelkkoja. Kelkkoja käytetään moottorikelkkasafareissa, joissa kaikki kelkat ovat samaan aikaan liikkeellä. Kelkkojen ollessa kohteessa on tärkeää, että ne ovat samaan aikaan latauksessa maksimitehollaan, jotta ne ehtivät latautua ennen seuraavaa safaria.

Luvussa kaksi perehdytään tarkemmin latauslaitteen vaatimuksiin, akuston ja invertterin toimintatapaan. Lisäksi luvussa selitetään mikä on OCPP ja miksi sen rooli tärkeä sähköautojen latauslaitteita. Kolmannessa luvussa perehdytään tarkemmin opinnäytetyön ongelmaan ja sen ratkaisemiseen. Neljäs luku taas perehtyy tarkemmin laitteen komponentteihin ja niiden valintaperusteisiin. Viides luku pohjustaa Excel-työkalun tekoa. Lisäksi luvussa selitetään, kuinka työkalun avulla voidaan jatkossa laskea latauskäyriä.

2 SÄHKÖAJONEUVOJEN LATAUS

Sähköautojen lisääntyessä kasvaa tarve niiden lataukselle. Latausverkosto on kasvanut nopealla tahdilla lähivuosina ja sen kasvamisen jatkuminen on hyvin tärkeää. Ladattavia sähköautoja on kahta eri tyyppiä. Löytyy ladattavia hybridiautoja sekä täyssähköautoja (ST-kortti 51.90 2022, 1). Sähköautoja voidaan ladata myös kahdenlaisilla latureilla. Latureita on siis hitaita vaihtosähkölatureita ja nopeita tasasähkölatureita. Erona tasa- ja vaihtosähkölatureissa on se, että tasasähkölaturit voivat ladata akkua suoraan, kun taas vaihtosähkölatureissa autoon syötetään vaihtosähköä ja latauksen vaatima tasasuuntaus suoritetaan autoon integroidulla laitteistolla. Auton akku siis tarvitsee ladatakseen aina tasasähköä. Kaikki autot eivät kuitenkaan tue tasasähkölatausta, joten kumpaakin versiota tuetaan. Tasasähkölaturit tuottavat tasasähkön latauslaitteen sisällä tehomoduurien avulla ja lataavat auton akkua suoraan ohittaen auton oman laturin. Tasasähkölaturit ovat tämän takia monesti nopeampia, koska autoihin asennetaan yleisesti 11–22 kW:n laturit, mutta tasasähkölatureihin on helppo asentaa lisää tehomodulleita ja nostaa teho jopa 360 kW:iin. (Virta 2022).

Latausverkoston kasvutarpeeseen on puututtu myös lainsäädännöllä, ja 31.12.2024 mennessä uusista tai laajamittaisesti korjatuista kiinteistöistä (ei koske asuinkiinteistöjä) tuleekin löytyä latauslaitteistot sähköajoneuvoille. Kuvassa 1 on esitetty jakeluinfradirektiivi kiinteistöjen latauspisteiden lisäämiselle. Tämä muutos lisää paljon latauspisteitä ympäri Suomea ja näin saadaan valtakunnallinen sähköautojen latausverkosto. (ST-kortisto 51.90 2022, 3).

Uudet ja laajamittaisesti korjattavat muut kuin asuinkiinteistöt		
11-30 paikkaa	1 suuritehoinen tai 1 normaalitehoinen latauspiste	Latauspistevalmius $\geq 50\%$ pysäköintipaikoista
31-50 paikkaa		Latauspistevalmius $\geq 20\%$ pysäköintipaikoista (15 kpl minimi)
51-75 paikkaa	1 suuritehoinen tai 2 normaalitehoista latauspistettä	
76-100 paikkaa		
Yli 100 paikkaa	1 suuritehoinen tai 3 normaalitehoista latauspistettä	>15 kpl

KUVA 1. Jakeluinfradirektiivin (2019/94/EU) mukainen vaatimus 31.12.2024 mennessä.

2.1. Sähköajoneuvojen latauksen vaatimukset

Onnistuneen latauksen saavuttamiseksi vaaditaan muutama asia. Lataustehon suuruus riippuu laturista ja autosta, mutta myös lämpötilasta ja akun varauksesta. Näillä kahdella on suuri vaikutus lataustehoon. Akulle tai akustolle on tärkeää, että lämpötila ei ole liian alhainen tai korkea. Akkua on tarvittaessa lämmitettävä tai jäädytettävä, jos senhetkinen lämpötila ei mahdollista halutun lataustehon käyttämistä. Yleisesti akuston latausteho alkaa laskea, kun akun varaus on noin 80 %. Tätä lukua voidaan monesti myös säädellä auton asetuksista, mutta 80 % on monesti optimaalinen akuston pitkäikäisyyden säilyttämiseksi. (ST-kortti 51.90 2022, 5.)

Lataustavat on määritelty standardissa EN 61851-1. Standardissa on määritelty neljä erilaista lataustapaa. On kuitenkin tärkeää avata hieman, kuinka virrat ja tehot liittyvät toisiinsa. Latausteho muodostuu jännitteestä ja virrasta. Suomessa yksivaiheinen jännite on 230 V ja kolmivaiheinen pääjännite on 400 V. Riippuen lataustavasta jännitteen ja virran tulo vastaa lataustehoa. Mikäli kyseessä on kolmivaiheinen laturi, latausteho saadaan kaavasta $3 \cdot 230 \cdot I$, jossa I on latausvirta. Tämän laskutoimituksen tuloksena tulee latausteho. Lataustapa yksi on määritelty siten, että latauksessa kulkee korkeintaan 16 A ja 250 V yksivaiheisena tai 480 V kolmivaiheisena. Nämä arvot on standardiin määritellyjä maksimiarvoja ja

Suomessa yksivaiheisesti jännite on 230 V ja kolmivaiheisesti pääjännite on 400 V. Tätä lataustapaa käytetään yleisesti vain kevyiden sähköajoneuvojen lataamiseen. Lataustapa kaksi on samantyylinen kuin lataustapa yksi. Lataustavassa kaksi virran taso nousee korkeintaan 32 A ja jännitteet pysyvät yksi- ja kolmivaiheisena samoina eli 250 V ja 480 V. Lataustapa kolme on taas tarkoitettu erityisesti sähköajoneuvojen latausjärjestelmään. Latausvirta voi olla 6–63 A, jolloin lataustehoksi saadaan 1,4–43 kW. Tässä lataustavassa voidaan myös tietoliikenteen avulla ohjata lataustapahtumia ja tehoja. Lataustapa neljä taas poikkeaa eniten edellä mainituista lataustavoista. Lataustavassa neljä laturi saa myös vaihtosähköverkosta virtansa, mutta vaihtosähkön muutos tasasähköksi tehdään jo laturilla. Auton oma laturi ei siis näissä tilanteissa joudu muuttamaan sähköä ja tasasähkö pääsee suoraan akustoon. Myös näillä latureilla voidaan ohjata lataustapahtumia ja tehoa.

(ST-kortti 51.90 2022, 6.)

On tärkeää, että latauslaite ja auto keskustelevat keskenään. Latauksessa voidaan käyttää erilaisia pistokkeita. Tällä hetkellä Suomessa yleisin AC-pistoke on type-2-pistoke ja pikalatauksen puolella CCS2- ja aasialaisissa autoissa CHAdeMO-pistoke. Type-2-tyyppistä pistoketta käytetään etenkin lataustavassa kolme, mutta myös lataustavoissa yksi ja kaksi. Lataustapa neljä vaatii taas erilaisen pistokkeen ja siinä käytetään Suomessa yleisesti CCS2-pistoketta. Myös jonkin verran on käytössä CHAdeMO-pistokkeita, joka on aasialaisten autovalmistajien käyttämä standardi. CHAdeMO-pistokkeiden saatavuus on kuitenkin romahtanut Suomessa. (ST-kortti 51.90 2022, 7.)

Type-2-pistokkeessa on seitsemän johdinta. Johtimista kolme on vaiheille ja oma johtimensa suojamaalle ja nollajohtimella. Kaksi viimeistä hieman pienempää johdinta ovat PP ja CP. Näiden avulla lähetetään signaalia latauksesta, jotta laturi ja auto suostuvat lataamaan. Lyhenne PP tulee sanoista ”Proximity pilot”, joka liittyy latauspistokkeen kytkemiseen. Lyhenne CP taas tulee sanoista ”Control pilot”, jolla tarkkaillaan latauspistokkeen irrottamista. Nämä kaksi pinniä ovat eri pituisia, joten johdot menettävät tai saavat signaalin eri aikaan. Tämän avulla voidaan määritellä, kytketäänkö vai poistetaanko liitintä. (Type 2 connector 2022.)

2.2. Litiumioniakun pohjustus

Litiumioniakusto koostuu erilaisista kemikaaleista, joiden avulla voidaan varastoida energiaa ja myöhemmin purkaa se. Yksittäinen akkukenno koostuu kahdesta elektrodista ja väliaineesta. Tämän tyyppiset akut rakennetaan kennoista ja kennoja sarjaan kytkemällä saadaan haluttu jännite. Projektissa testatuissa akustoissa on yksittäisiä akkumoduuleja, joiden sisällä on monia pienempiä akkukennoja. Eli lopullinen akusto koostuu useammasta akkumoduulista, ja yksittäinen moduuli koostuu yleensä sarjaan kytketyistä akkukennoista. (TTK, 2022.)

Litiumioniakku on hyvin tarkka sen lataamisesta ja purkamisesta. Litiumioniakku ei siedä ylilatausta tai liiallista purkamista ja sen tilaa täytyy seurata akulle sopivan akunhallintajärjestelmän avulla. Näiden järjestelmien yleisnimi on BMS (Battery management system), ja lisäksi eri valmistajilla on omille järjestelmilleen vielä omat nimensä. Esimerkiksi Valmet kutsuu omaa järjestelmäänsä PDU, joka tulee power distribution unitista. Näillä ohjausyksilöillä voidaan varmistaa akun terveys ja ne voivat tarvittaessa keskeyttää akuston latauksen tai purkamisen. Tärkeitä suureita, joita akku valvoo, ovat ylilatautuminen, alipurkautuminen ja liiallinen akuston lämpeneminen. Näissä tilanteissa ohjausyksikkö voi katkaista akuston sähkönsyötöstä. (Litiumioniakku, 2022.)

Yhteenvedon akustosta on, että akusto koostuu moduuleista, jotka ovat joko sarjaan tai rinnan kytketty riippuen siitä, halutaanko suurempi jännite vai virta. Akustoa ohjaa sen oma akunhallintajärjestelmä ja se vahtii, että lämpötilat pysyvät sallitulla alueella, ja että akkua ladataan ja puretaan oikeanlaisilla jännitteillä ja virroilla. On tärkeää, että akunhallintajärjestelmän kanssa voidaan keskustella ja sille voidaan lähettää lataukseen ja purkuun liittyviä käskyjä. Tämä keskustelu tapahtuu CAN-väylän kautta, joka on kiinni PLC-logiikassa. PLC-logiikka on pieni tietokone, jolle syötetään input- ja output-tietoja. PLC-logiikkaan voidaan tämän jälkeen ohjelmoida automaatioprosesseja. CAN-väylä on taas kommunikaatioväylä, jota käytetään yleisesti automaatiöväylänä.

2.2.1 Litiumioniakun turvallisuus

Litiumioniakun lataamisessa on tärkeää, että sitä ei yllädata tai pureta liian alhaiselle varaukselle. Akustoihin on monesti rakennettu suojapiiri, mikä estää vääränlaista käyttöä. Akuston lämpötila ei myöskään saa nousta liikaa, koska muuten akuston lämpeneminen saattaa aiheuttaa palovaaran. Sama pätee myös kylmän akun kanssa. On tärkeää, että akusto pidetään optimaalisessa lämpötilassa, jotta sen käyttöikä pysyy optimaalisena. (Yleiselektronikka, 2022.)

Litiumakustoa ei suositella jätettävän lataukseen pitkiksi aikaa akun ollessa jo täynnä, koska se heikentää akun toimintaikää huomattavasti. Latausvirran täytyy myös olla juuri oikea, ettei akuston toimintaikä lyhene. (Yleiselektronikka, 2022.)

2.3. Invertterin pohjustus

Invertteri on sähkövoimalaite, jonka avulla voidaan muuttaa tasavirtaa vaihtovirraksi. On tärkeä muistaa, ettei invertteri itsessään ole teholähde, vaan se muuttaa sille tulevaa tasasähköä vaihtosähköksi. Invertterit voivat olla pelkästään sähköisiä komponentteja tai niissä voi löytyä myös mekaanisia ratkaisuja.

Aurinkopaneelien tuottamaa energiaa muunnetaan vaihtosähköksi hybridi-invertterillä. Tämän invertterin avulla tuotettu sähköenergia voidaan muuntaa kiinteistölle sopivaksi vaihtosähköksi, ja toisaalta hybridi-invertteri mahdollistaa myös akuston lataamisen ja purkamisen. Hybridi-invertteri siis tarjoaa laajasti erilaisia vaihtoehtoja ja se toimii hyvin kotikäytössä. Hybridi-inverttereitä löytyy useammassa eri kokoluokassa, mutta mentäessä suurempiin inverttereihin muuttuvat invertterin toiminnot suppeammaksi. Tällä hetkellä markkinoilla on puutteita keskikokoisissa inverttereissä. Kotikäyttöön tarkoitettuja inverttereitä löytyy 10 kW:iin asti, mutta tästä noustessa teollisuuskäyttöön tarkoitettujen invertterien hinta nousee 50–100 kW:n tienoille. Pienempiä inverttereitä käytetään kotikäytössä, joten valinnan varaa löytyy ja suuremmat invertterit tilataan aina kustomoituna valmistajalta. Keskkokoisia inverttereitä on heikosti, koska niillä on pieni kysyntä ja niiden kustomoituna tilaaminen nostaa invertterin hintaa reilusti.

2.4. Latauslaitteen pohjustus

Latauslaitteena projektissa käytetään Phoenixin moduulisia latauslaitteita. Laite koostuu yhdestä master-kortista ja siihen voidaan kytkeä 15 slave-korttia. Nämä EV-kortit ovat PLC-pohjalta rakennettuja latauslaitteen ohjausyksiköitä. Näihin EV-kortteihin voidaan liittää inputteja ja outputteja ja kortin sisään rakennetulla ohjelmalla voidaan säätää, koska se sulkee esimerkiksi kontaktorin tai lukee energiamittarin arvon. Master- ja slave-kortin ero on se, että kommunikaatio muun järjestelmän kanssa tapahtuu master-kortin välityksellä, kun taas slave-kortit voivat vain kommunikoida master-kortin kanssa. Slave-kortit ovat siis lisäosa master-korttiin. EV-kortit keskustelevat MODBUS TCP:n välityksellä, joka on Ethernet-pohjainen tiedonsiirtoprotokolla. EV-kortti keskustelee OCPP-yhteyden avulla, joko kuormanhallinnan tai suoraan pilvipohjaisen palvelun kanssa. OCPP-yhteys tarkoittaa autojen ja latauslaitteiden standardoitua keskusteluprotokollaa. Tämän protokollan ansiosta kaikki sähköajoneuvot voivat käyttää mitä vain latausreiteja ja toiminta latureilla pysyy silti samana.

Latauslaite tarvitsee EV-kortin lisäksi latauspistokkeen, vikavirtasuojan, sulakkeen, energiamittarin ja kytkimen toimiakseen. Eli sähkö tulee keskukseseen, josta virta kulkee vikavirtasuojan kautta suoraan sulakkeille. Tämän jälkeen virta kulkee keskuksessa olevien energiamittareiden läpi, joiden virtatietoa EV-kortti seuraa. Seuraavana on rele, jolla EV-kortti kytkee sähköä latauspistokkeelle latauksen alkaessa. Rele voidaan kytkeä vain, kun lataustapahtuma on turvallisesti alkanut ja EV-kortin logiikka sen sallii. Viimeisenä komponenttina on latauspistoke, johon voidaan kiinnittää latauskaapeli. Latauspistoke sisältää lukkomoottorin, jolla latauskaapeli saadaan pysymään latauksen ajan kiinteänä. Tätä moottoria ohjaa myös EV-kortti. Latauslaitetta hallinnoi EV-kortti, jolle syötetään virta muuntajan kautta. EV-korttia voidaan ohjata kuormanhallinnan avulla ja tällöin voidaan muuntaa ladatun tehon määrää. Laturi koostuu monesta eri komponentista, mutta se mahdollistaa laajan kustomoinnin ja laitteet saadaan mahdutettua haluttuun tilaan paremmin. Myös laaja valikoima erilaisia komponentteja mahdollistaa monipuolisen käytön, joka ei rajoitu vain yhden valmistajan tuotteisiin.

2.5. OCPP-standardi

OCPP eli "open charge point protocol" on standardi, jonka avulla laitevalmistajat voivat rakentaa yhteensopivia latauslaitteita. Standardi varmistaa, että latauslaite, auto ja taustayhteys voivat kaikki keskustella toistensa kanssa. Englanti on myös määrännyt vuonna 2019, että kaikki uudet latauslaitteet joutuvat käyttämään OCPP-protokollaa tai vastaavaa järjestelmää. (OCPP 2.0 Overview, 2022)

OCPP-standardista on kolme eri versiota. Ensimmäinen versio tuli 2012, joka on OCPP 1.5. Tämän järjestelmän käyttö on nykyään harvinaista, mutta vanhemmissa laitteissa se on edelleen käytössä. Seuraava versio tuli 2015, joka on OCPP 1.6 ja se toi tullessaan paljon uusia ominaisuuksia. Sen mukana tuli älykäitä latausominaisuuksia ja JSON-tuki. JSON on lyhenne "Java Simple Object Notation" ja se on yksi kommunikaatiotapa OCPP-standardissa. Versiota 1.6 tukevia laitteita on erittäin paljon tällä hetkellä. Uusin versio on OCPP 2.0, joka tuli 2018 markkinoille. Se on vielä harvoin tuettu ja suurin osa laitteista tukee vasta versiota 1.6. Uudet laitteet alkavat kuitenkin tukea versiota 2.0 ja sen uusia ominaisuuksia ja tämä versio tulee toimimaan varmasti pitkään standardina. Uusi versio 2.0 myös mahdollistaa latauslaitteiden konfiguraation OCPP:n välityksellä. (OCPP 2.0 Overview, 2022)

Yksi version 2.0 uusista ominaisuuksista on 15118-tuki. Tämä mahdollistaa plug & charge -ominaisuuden käytön eli tunnistautumisen käyttämällä autosta tulevaa sertifikaattia. Plug & charge toimii niin, että latauslaite kysyy laitteelta, kuka on auton omistaja ja laskutettava. Tämän jälkeen auto varmistaa monien eri lähteiden avulla, kuuluuko auto samalle henkilölle. Tietojen tarkistuksen jälkeen auto antaa asiakkaan luottokorttitiedot, jolla lataus lopuksi maksetaan. (OCPP 2.0 Overview, 2022)

3 LATAUSLAITTEEN KÄYTÖN SELITYS JA VAATIMUKSET

Kun latauslaitteen yhteydessä on akusto ja invertteri, järjestelmä mahdollistaa sähköliittymän maksimitehoa suuremman lataustehon. Latauslaitteeseen voidaan rakentaa pääsulakkeen ja halutun lataustehon mukaan akusto ja invertteri. Latauslaite on myös suunniteltu niin, että se on siirrettävä ja se voidaan kytkeä kohteisiin, joissa sähkön saanti on rajoitettua. Tulevaisuudessa uudet laturit määrittellään asiakkaan toimesta ja tulevat sisältämään jopa 10 latauspistettä.

Tämä opinnäytetyö perehtyy latauslaitteeseen, josta löytyy noin 13 kWh:n akusto ja 10 kW:n invertteri. Tämä tarkoittaa, että akusto pystyy tarjoamaan 10 kW:n lataustehon verkosta otettavan 11–22 kW:n lisäksi. Akusto pystyy tuottamaan 10 kW:n tehoa noin tunnin ajan riippuen siitä, paljonko akkua halutaan ladata ja purkaa. Akusto on kytketty sarjaan, joten akuston jännite on korkea. Tämä vaatii toimintaan korkeajännitteisen invertterin.

On myös tärkeää huomioida latauslaitteen sijainti ja käyttöolosuhteet. Opinnäytetyössä käytetty latauslaite asennetaan ulos pohjoisiin olosuhteisiin, jossa sitä käytetään talvella. Lapissa lämpötilat voivat tippua yöllä jopa -30 asteeseen, joten latauslaite vaatii lämmityslaitteen, jotta akusto ja invertteri voivat toimia. Latauslaitteeseen asennetaan 250 W:n lämmitin, jonka avulla pidetään akusto ja invertteri tarpeeksi lämpimänä jopa kylminä päivinä. On myös tärkeää, että akusto tai invertteri eivät ylikuumene. Käyttö sijoittuu talveen ja syklimäisen lataamisen takia akusto ja invertteri ehtivät viilentymään tarpeeksi. Mikäli samanlaista ratkaisua halutaan myöhemmin rakentaa lämpimämpiin olosuhteisiin tai vuodenajalle, täytyy jäähdytyksen lisäystä harkita.

Latauslaitteella ladataan sähkömoottorikelkkoja, joiden täysi latausteho on 6.6 kW. Kelkkojen akuston koko on 9 kWh, joten 13 kWh:n akuston avulla voidaan ladata yksi kelkka tyhjästä täyteen. Latauslaitteella on suunniteltu kaksi eri tehooptiota. Ensimmäinen on, kun latauslaite kytketään 32 A:n pääsulakkeen taakse. Näin voidaan ladata neljää sähkömoottorikelkkaa samanaikaisesti niiden täydellä latausteholla. Toinen optio latauslaitteen pääsulakkeelle on 16 A. Tällä teholla voidaan ladata kolmea sähkömoottorikelkkaa niiden ottamalla täydellä teholla tai kaikkia neljää sähkömoottorikelkkaa korkealla 4.6 kW:n latausteholla.

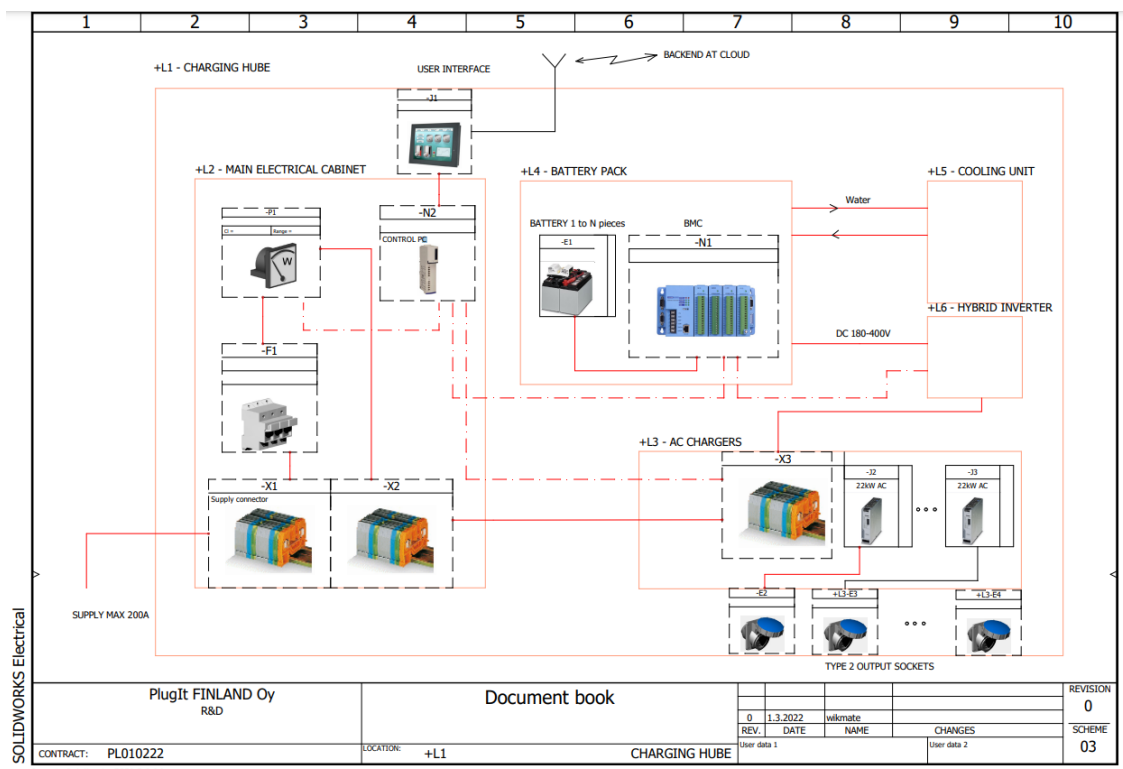
Moottorikelkkojen akkujen ollessa vain 9 kWh:n kokoisia, latauslaitteen akuston varaustila ehditään yön ja päivän aikana ladata halutulle tasolle alhaisempaa tehoa käyttäen. Akusto ja invertteri on mitoitettu niin, että neljällä laturilla voidaan ladata samanaikaisesti täydellä 6.6 kW:n teholla, kun käytössä on suurempi 32 A:n syöttö. Ilman akustoa suuremmalla syötöllä kaikki neljä latauspistettä voivat ladata noin 5 kW:n teholla, kun huomioidaan muu kulutus. Tämä syöttö mahdollistaa myös kolmen kelkan täydentehon latauksen 6.6 kW:lla. Tällöin kuitenkin neljännelle laturille ei jää tarpeeksi tehoa latauksen aloitukseen. Akuston avulla voidaan ladata kaikkia sähkömoottorikelkkoja täydellä teholla, kun käytetään suurempaa syöttöä. Akusto siis mahdollistaa yhden ylimääräisen kelkan latauksen täydellä teholla.

Latauslaite mahdollistaa myös muiden ajoneuvojen latauksen. Suurin osa sähköautoista pystyy lataamaan noin 11 kW:n teholla ja latauslaite pystyy mahdollistamaan tämän kahdella latauspisteeltä kokonaisuudessaan ja kolmannelta pisteeltä noin 10 kW:n verran. Latauslaite tukee lataustehoja 22 kW:iin asti, joten uusien moottorikelkkamallien saapuessa lataustehoa on riittävästi. Järjestelmä on mitoitettu tarkasti ja sen suurentaminen jälkikäteen ei onnistu. Mikäli lisää lataustehoa haluttaisiin saada, vaatisi tämä invertterin vaihdon tai toisen invertterin integroimisen latauslaitteeseen. Tämä aiheuttaa myös ongelmia, koska akusta saadaan 10 kW noin tunnin ajan. Akusto siis muodostuu nopeasti pullonkaulaksi. Laturilla voidaan siis ladata sähköautoja huoletta ja akulla voidaan tunnin ajan nostaa latauksen tehoa.

3.1. Latauslaitteen logiikka

Latauslaite vaatii toimiakseen paljon älyä, joten sen logiikkaan perehdytään hieman tässä luvussa. Alla olevassa kuvassa 2 on latauslaitteen periaatekuva. Kuvassa on esitetty laturin sisältämien komponenttien yhteydet toisiinsa ja sen toimintamalli. Kuvaan tulee vasemmalta alhaalta syöttö, joka tuodaan kiinteistöltä latauslaitteelle. Syöttöä valvotaan DIN-sertifioituilla mittareilla, jotka kertovat verkosta otetun tehon määrän kuormanhallintayksikölle sekä pilvipohjaiseen sovellukseen, josta sitä voidaan tutkia ja laskuttaa. Syötön jälkeen menevät johdot pis-

teeseen, josta ne haaroittuvat invertterille sekä itse latauspisteiden sulakkeille. Invertteriä ohjataan MODBUS-yhteyden avulla, joko PLC-logiikan avulla tai käyttäen kuormanhallintayksikköä. Laturi sisältää myös modeemin ja se sijaitsee kuormanhallinnan luona, jotta se pystyy lähettämään tietoa taustajärjestelmään. Itse laturista löytyy myös hallintapaneeli, jolla voidaan aloittaa ja lopettaa lataus. Latauksia voidaan myös hallita pilvipohjaisen palvelun kautta. Pilvipohjaisesta palvelusta voidaan tarkastella ladattua energiaa, latauksen kestoa ja latauksen hintaa.



KUVA 2. Latauslaitteen periaatekuva

Laitteessa oleva logiikka tasapainottelee akun lataamisen ja purkamisen välillä. Laitteesta löytyvä kuormanhallintayksikkö määrittää, millä teholla se antaa latauspisteiden ladata, jotta verkosta otettu teho ei ylitä sallittua määrää. Tällä yhdistelmällä saadaan rakennettua turvallinen ja hyvin tehokas ratkaisu, jossa asiakkaan ei tarvitse tehdä kompromisseja.

4 LATAUSLAITTEEN RAKENNE

Opinnäytetyö tekeminen aloitettiin latauslaitteen komponentteihin perehtymisellä. Projektia varten testattiin muutamaa eri ratkaisua, ja selvitettiin paras ratkaisu. Opinnäytetyön avulla voidaan myös rakentaa erikokoisia latausjärjestelmiä ja ensimmäisiin vaiheisiin kuuluvat juuri akustojen ja inverttereiden tutkiminen. On tärkeää, että asiakas voi tilata juuri omaan tarpeeseen ja tilanteeseen rakennetun laitteen.

4.1. Akuston ja invertterin tarkastelu ja testaaminen

Projektia varten oli vuokrattu Valmetilta 6 kpl 2.2 kWh:n akkumoduulia, jotka kytkettiin sarjaan. Akustolle asennettiin nestejäähdytys ja samaan kehikkoon asennettiin 10 kW:n invertteri. Kehikko on suunniteltu siten, että se voidaan asentaa jo olemassa olevan latauslaitteen sisälle. Ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin invertterin ja akuston yhdistämistä. Kuvassa 3 on Valmetin akkumoduuli.



KUVA 3. Latauslaitteen Valmetin akuston yksi moduuli

Latauslaitteen akuksi testattiin aluksi Valmetin rakentamia 2.2 kWh:n akkumoduuleita, koska niiden rakenne soveltuu hyvin moduuliseen ratkaisuun ja niiden jäähtymiseen voidaan käyttää ulkoista vesijäähdytteistä ratkaisua. Akkumoduuleista voidaan rakentaa eri kokoisia latausjärjestelmiä niitä lisäämällä.

Akusto keskustelelee CANopen-väylällä ja sitä voi ohjata PLC tai PC riippuen järjestelmästä. Valmetin akustot on suunniteltu käytettäväksi ajoneuvoissa ja niitä ei suoranaisesti ole suunniteltu invertterin kanssa toimivaksi. Projektin ideana oli tutkia ja arvioida, saadaanko Valmetin akustoa toimimaan invertterin kanssa ja miten se käyttäytyy latauslaitteen kanssa.

4.1.1 Akustojen vertailu Valmet

Valmetin valmistamat akut olivat ensimmäisenä tutkinnan alla. Akusto on prototyyppi ja sen mahdollisuuksia haluttiin tutkia tämän projektin myötä. Nämä ovat hyvin kalliita ja valmistettu kestäväksi iskuja ja kuljetusta. Vaikka latauslaite on siirrettävissä, ei tämä kuitenkaan ole vaatimuksena. Halvemman ja kompaktimman ratkaisun mahdollistava akusto olisi myös parempi. Modulaarinen ratkaisu mahdollistaa kuitenkin järjestelmän koon muokkaamisen ja se ominaisuus on hyvin tärkeä jatkon kannalta. Valmetin akun tutkiminen antoi syvempää ymmärrystä, kuinka akkuja voidaan käyttää tulevaisuudessa ja mitä komponentteja ne tarvitsevat toimiakseen.

Valmetin akun tutkimisen jälkeen tuloksena oli, että valmiin paketin ostaminen, jossa akusto ja invertteri toimivat keskenään, tulisi järkevämmäksi. Tällöin voitaisiin ohjata laitteita yhtenä pakettina kuormanhallinnan ja PLC:n avulla. Akuston ja invertterin kokoaminen itse aiheuttaa turhia ongelmia ja valmiilla paketilla saadaan keskityttyä olennaiseen.

4.1.2 Akustojen vertailu BYD

Seuraavaksi tutkittiin BYD:n valmistamia akkuja, koska Valmetin akkujen kanssa ei päästy haluttuun lopputulokseen. Invertteri on yhteensopiva BYD:n tekemän akuston kanssa. Näiden akkujen hyötynä on, että voidaan käyttää invertterin

älyominaisuuksia. Projektia varten tilattiin akusto samoilla ominaisuuksilla kuin Valmetin akusto. Valmiin akuston etuina ovat sen kompakti koko ja helppo modulaarinen rakenne. Valikoituneen akuston kapasiteetti on 12.8 kWh ja moduuleina on BYD:n HVS-moduulit, joiden jännite on korkeampi. Korkeamman jännitteen avulla saadaan invertterillä tuotettua suurempi teho. Toinen vaihtoehto, joka käy suoraan invertteriin, on BYD:n HVM-akusto. Nämä toimivat muuten samalla tavalla, mutta moduulien jännite on puolet pienempi. Tämä mahdollistaa isomman akuston kasaamisen, mutta 13 kWh:n luokassa ulos otettava teho jäi pienemmäksi invertterin kautta. Tämä akusto valikoitui paremmaksi vaihtoehdoksi ja sen avulla projektia jatkettiin.

4.2. Inverttereiden vertailu

Invertteriksi tarvittiin 10 kW:n hybridi-invertteri. Hybridi-invertteri pystyy muuttamaan tasasähköä aurinkopaneeleilta verkkoon ja mahdollistaa myös akuston lataamisen ja purkamisen. Invertterin avulla latauslaite lataa akustoa, kun moottorikelkat eivät ole latauksessa ja taas vastaavasti purkaa akkua, kun lisää lataustehoa tarvitaan.

Invertteri on SMA:n valmistama ja se on tarkoitettu aurinkopaneeleiden tuottaman tasasähkön muuntamiseen verkkosähköksi. Invertteri voi tuottaa DC-puolelle 1000 V:iin asti jännitettä, mutta maksimaalinen tehonsiirto saavutetaan, kun sen toimintasäde on 280–800 V. Invertteri voi antaa akustolle 150–600 V:iin asti jännitettä ja ladata sekä purkaa akustoa aina 30 A:iin asti. Maksimaalinen akuston lataus- ja purkuteho on 10600 W. Sähkömoottorikelkkojen maksimilatausteho invertterin läpi on 10 kW ja lisäämällä rinnakkainen syöttö voidaan latureita ladata syötöstä saadulla teholla sekä akustolla. Kuvassa 4 on esitetty SMA:n valmistama hybridi-invertteri.



KUVA 4. SMA:n hybridi-invertteri

Opinnäytetyöprojektissä isoimmaksi haasteeksi osoittautui invertterin ja akuston yhteensovittaminen. Alkuperäinen idea oli ohjata akustoa ja invertteriä erillisellä PLC:llä, mutta invertterin täytyi ensin tunnistaa akusto, jotta se pystyisi lataamaan sitä. Tämä aiheutti ongelmia, koska Valmetin akusto ja invertteri eivät olleet yhteensopivia.

Opinnäytetyön aikana markkinoilla oli heikosti inverttereitä ja suurin osa niistä oli tarkoitettu aurinkopaneeleille. Käytössä olevien kustomoitujen akkujen yhteensovittaminen näiden inverttereiden kanssa osoittautui mahdottomaksi suurimmalla osalla inverttereistä. Monet invertterit eivät edes tukeneet akustoa. Markkinoilta olevista inverttereistä SMA Tripower 10.0 oli paras vaihtoehto haluttuun ratkaisuun, mutta se aiheutti myös paljon ongelmia.

Kesken projektin suunniteltiin erilaisia vaihtoehtoja riippuen siitä, miten projektin kanssa haluttiin edetä. Ensimmäisenä mietinnässä oli, miten Valmetin akusto

saataisiin toimimaan latauslaitteessa. Yhtenä vaihtoehtona oli tilata uusi invertteri akustolle, jota voitaisiin ohjata käskyjä antamalla. Tätä ratkaisua selvitettiin Danfossin kanssa ja Danfossin AC-DC-invertteriä mitoitettiin akustolle. Danfossin invertterit eivät kuitenkaan olleet hybridi-inverttereitä, joten akustoa olisi pitänyt ladata ja purkaa erillisillä komponenteilla. Etuna tässä ratkaisussa oli se, että invertteriä voidaan käskyttää halutulla tavalla. Danfossin invertteri ei kuitenkaan ollut sopiva, koska jännitealueet olivat vääränlaiset. Täysin kustomoidun invertterin hinta myös nousi nopeasti ja sen toimitusajat olisivat menneet pitkälle tulevaisuuteen. Näiden selvittelyiden jälkeen päätettiin luopua kustomoidun invertterin hankkimisesta.

Pitkän testauksen ja selvittelyiden jälkeen projektiin hankittiin BYD:n akusto, joka toimii suoraan SMA:n invertterin kanssa. Tällä tavoin saatiin laskettua hintaa ja tehtyä järjestelmästä vakaampi. Valmetin akuston ja SMA:n invertterin yhteensovittamisen olisi voinut teoriassa tehdä parilla tavalla. Lopputuloksen hinta olisi kuitenkin noussut liian korkeaksi ja ratkaisujen rakentaminen olisi vienyt paljon aikaa.

4.3. PLC-ohjaus invertterille

Akustolle ja invertterille tarvitaan PLC-ohjaus, jotta voidaan määritellä, koska akustoa halutaan ladata ja purkaa. Opinnäytetyön luvussa 3.1 käydään hieman läpi PLC-logiikkaa ja tässä luvussa kerrotaan PLC-ohjauksesta komponenttina. PLC löytyy akuston vierestä 24 V:n DC-jännitteen puolelta, jossa se säätelee akuston purkua ja latausta. PLC on tietoliikenneyhteys kuormanhallinnalle, invertterille ja laturille. Pääohjaus tapahtuu invertterin ja PLC:n välillä ja latureiden tilanteesta PLC saa tiedon kuormanhallintayksikön avulla.

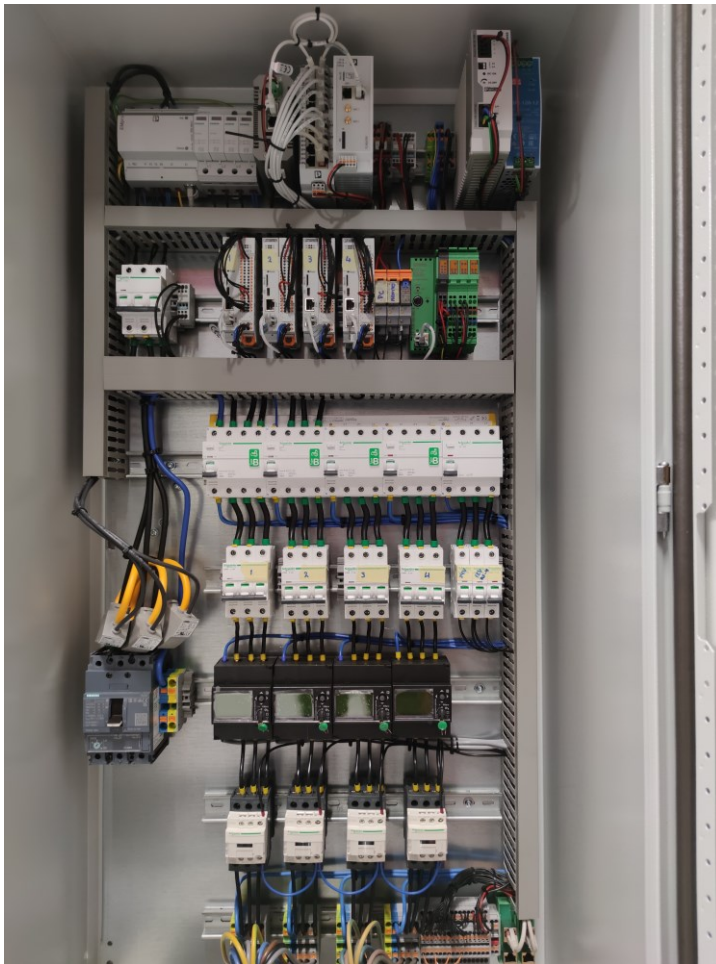
Latauslaite sisältää myös kuormanhallintayksikön, joka kykenee säätelemään latauspistokkeita portaattomalla säädöllä. Kuormanhallintayksikkö on rakennettu teollisuustietokoneella, johon on rakennettu Linux-pohjainen ohjelma. Kuormanhallinta voi käyttää latauspistokkeiden säätelyyn fyysisiä energiamittareita tai virtuaalisia mittareita, jotka toimivat latauspisteeltä saadun tiedon pohjalta. Kuormanhallinta voi säädellä lataustehoa 1.4–22 kW:iin. Latausvirta ei voi kuitenkaan

pudota alle 6 A:n, koska osa autoista ei pysty aloittamaan latausta alle 6 A:n virralla ja tästä on tullut standardiminimiraja lataukselle (ST-kortisto 51.90. Sivu 9).

Järjestelmä on mahdollista toteuttaa eri tavoilla riippuen siitä, mitä komponentteja käytetään. Optimaalisin tapa tehdä järjestelmä yhteensopivaksi on vähentää komponenttien välissä olevaa kustomoitua ohjelmaa. Valmiiden komponenttien käyttö aiheuttaa myös omat riskinsä. Täysin kustomoidulla ohjelmalla voidaan ohjata komponentteja, kuinka itse halutaan. Valmiiden laitteiden paritukset eivät anna samaa mahdollisuutta muokata niitä haluamalla tavalla ja mikäli ongelmia syntyy, joudutaan aiheesta olemaan yhteydessä valmistajiin. Vian korjaaminen vie siis enemmän aikaa.

4.4. Latauslaitteen kokoonpano

Latauslaite vaatii suojalaitteita, jotta sen käyttö on turvallista, ja jotta vian sattuessa voidaan taata käyttäjän ja järjestelmän turvallisuus. Latauslaite vaatii sulakkeet ja vikavirtasuojat ennen pistokkeita ja laitteen sisältä löytyy suojalaitteita niin piensähkön komponenteille, akustolle ja invertterille. Kuvassa 6 on esitetty Huben sähköpuolen kuva. Hube on tämän latauslaitteen markkinoitu nimi ja se tarkoittaa suunnannäyttäjää. Hubet ovat Plugitin erikoisratkaisuja ja niissä on aina panostettu latauslaitteen kehittämiseen.



KUVA 6. Huben sähköpuolen kuva

Latauslaitteella on ensin pääkontaktori, jota voidaan etäohjata. Tämän jälkeen johdotus kulkee vikavirtasuojille, josta virta kulkeutuu taas sulakkeille. Kuvassa näkyy, kuinka latauslaite koostuu ohjelmoitavasta logiikasta, jonka jälkeen jokaiselle lähdölle on oma vikavirtasuojaja, johdonsuojakatkaisija, energiamittari ja rele. Älykkäille komponenteille menevä virta kulkee taas oman vikavirtansa läpi, josta se muuntuu tasasähköksi modeemille, näytölle, kytkimelle, kuormanhallinnalle ja PLC:lle.

4.4.1 Latauslaitteen sulakkeiden määrittäminen

Ladattavien kelkkojen maksimilatausteho on 6.6 kW. Lataus tapahtuu moottorikelkkojen ladataksa kahdelta vaiheelta 14.3 A. Latauslaitteet silti suunnitellaan kestäväksi 32 A, jotta laturia voidaan isomman lähdön löytyessä käyttää täydellä teholla. Latauspisteiden sulakkeet asetetaan niin, että jokaiselle neljästä lähdöstä tulee 32 A:n kolmivaiheinen johdonsuojakatkaisija. Latauslaitteesta löytyy myös

sulakkeet kommunikaatiolle puolelle, jonka sulakkeena toimii kolmivaiheinen 10 A:n johdonsuojakatkaisija. Kommunikaatiopuoli sisältää 24 V:n DC-jännitteen ja sitä tarvitsevat komponentit.

4.4.2 Latauslaitteen vikavirran määrittäminen

AC-latauslaitteet vaativat vikavirtasuojauksen, jotta niiden käyttö olisi turvallista. Latauspistokkeille asennetaan 40 A:n B-typin vikavirtasuojat.

Vikavirtasuojat suojaavat käyttäjää tehokkaasti sähköiskuilta ja estävät tulipaloja. Vikavirtasuojat laskevat sähköjohtimeen menevän ja tulevan virran erotusta. Jos menevän ja tulevan virran ero on liian suuri, se katkaisee piirin. Vikavirtasuojat vaaditaan SFS 6000-4-41 kohdan mukaan ja se täytyy asentaa enintään 20 A:n sisä- ja 32 A:n ulkopistorasioihin. Vikavirtasuojat vaaditaan myös asennettavaksi sähköautojen latauslaitteille.

4.5. Kaapelointi ja muu kokoonpano

Latauslaitteen kaapelointi poikkeaa hieman normaalin AC-laitteen kaapeloinnista. Invertterin mukana oli jo toimitettu DC-kaapelit akun ja invertterin välille. Nämä kaapelit kestävät paremmin korkeita jännitteitä kuin tavalliset AC-kaapelit. ST-kortistossa on määritetty latauspisteiden kaapeloinnille erilaisia korjauskertomuksia riippuen siitä, millaisissa olosuhteissa kaapelit ovat. Kaapelien korjauskertoimen on kuitenkin yksi ja sitä kuuluisi käyttää myös keskuksen syötön mitoittamiseen, mikäli ei kuormanhallintaa ole (ST-kortisto 51.90, Sivut 6). Latauslaitteelle syöttökaapeli tulee säteittäisenä 5x16mm² kaapelilla, joka voidaan asentaa 32 A:n kolmivaiheiseen pistorasiaan tai kiinteämmin sähkökeskukselle omaan lähtönsä. Latauslaitteen yksi oleellinen osa on kuitenkin sen siirrettävyys ja sen mahdollistamat sijainnin muutokset, joten kovin isoa integraatiota keskuksiin ei ole ideana tehdä.

On myös tärkeää, että latauspistokkeiden vaiheistuksessa huomioidaan vino-kuorma ja näin vaihdellaan vaiheita. Ladattavat moottorikelkat lataavat normaali-

lista poiketen käyttäen kahta vaihetta, joten vaiheistus korostuu entisestään. Oikein vaiheistettuna latauslaite ottaa siis 28 A kahdelta vaiheelta ja 42 A yhdeltä vaiheelta, kun akusto ja verkko syöttävät laturia samanaikaisesti.

Latauslaitteeseen asennetaan myös MID-sertifioitu mittari, jotta latureiden kuluista voidaan seurata ja laskuttaa. Mikäli latausta halutaan laskuttaa kilowattipohjaisesti, on Suomessa pakollista käyttää MID-sertifioitua mittaria.

4.5.1 Kaaviot kokoonpanosta

Latauslaitteeseen liitettävä akuston ja invertterin sähkökuvat löytyvät liitteestä 1.

Latauslaitteen sähköiset kuvat löytyvät liitteestä 2. Kuvista näkee, kuinka latauslaitteen kylkeen asennettu sähkötila on tehty.

4.6. Testipenkki ja oikea laturi

Opinnäytetyössä ei päästä integroimaan akustoa ja invertteriä jo valmiina olevaan laturiin, mutta pakettia päästään silti testaamaan samanlaisella testilaturilla Pirkkalassa. Pohjois-Suomessa oleva latauslaite sisältää neljä kappaletta Phoenixin vaihtosähkölaturia ja Pirkkalan päässä on rakennettu identtinen testipenkki, jossa on kaksi laturia. Työn tarkoitus oli alun perin saada syksyn aikana laturi koottua, mutta päivämäärän siirryttyä alkuvuodelle menee se opinnäytetyön aikaikkunan ulkopuolelle.

Testipenkissä latauslaitteet on toteutettu samanlaisella moduulilla kuin jo olemassa olevalla laturilla, mutta siinä on hyödynnetty uutta lisäosaa 3000-sarjalaiseen master-korttiin. Tämä 3000-sarjalainen master-kortti ja sen lisäosana toimiva 1500-sarjalainen slave-kortti käytetään latauslaitteen hallinnoimiseen. Näitä master-korttiin tulevia slave-moduuleita voidaan liittää 15 kappaletta ja näin voidaan yhden älykkään moduulin avulla hallinnoida montaa latauspistettä. Pohjoisessa olevassa latauslaitteessa laturit on toteutettu neljällä 3000-sarjalaisella moduulilla, ja ne toimivat kuin yksittäiset laturit. Testipenkin ideana on päästä testaamaan latauslaitetta akuston ja invertterin kanssa ja varmistaa niiden toiminta ennen niiden asennusta.

Testipenkissä päästiin testaamaan Valmetin ja BYD:n akuston kommunikaatioita invertterin kanssa. Testeissä luettiin CAN-väylää erilaisilla muuntimilla ja annettiin sille käskyjä. Myöhemmin myös testejä tehtiin MODBUS-väylän kautta, jonka avulla lopullinen logiikka tulee rakentumaan.

5 AKUSTON MITOITUSTYÖKALU

Opinnäytetyön yhtenä osana on rakentaa työkalu, jonka avulla voidaan nopeasti tarkastella, millainen akusto ja invertteri vaaditaan annetuilla latausehdoilla. Työkaluun voidaan asettaa alkutiedot ja työkalu laskee ja piirtää näiden arvojen avulla lataus- ja akuston käyttäytymiskuvaajat päivän ajalta. Työkalu rakennettiin Exceliin, koska se soveltuu hyvin laajasti tämän tyyppisiin sovelluksiin.

5.1. Latauslaitteen käytännön selitys

Latauslaite käyttää normaaleita AC-latureita, jotka tuovat sähköajoneuvolle halutun määrän verran sähkötehoa. Latauslaitteet eivät siis tiedä, mistä sähkö tulee ja kuormanhallinnan avulla voidaan estää, ettei laturi yritä ottaa enempää tehoa kuin verkosta ja akusta yhteensä on saatavilla. Asiakas voi päättää, montako latauspistettä latauslaitteelle rakennetaan ja työkalun avulla voidaan laskea, millaisen akuston ja invertterin tämä vaatii.

Latausjärjestelmässä sijaitsevan invertterin logiikan avulla saadaan purettua ja ladattua akustoa aina halutulla tavalla. Latausjärjestelmä myös sisältää kuormanhallinnan, joka akuston virran hiipuessa säätelee lataustehoa.

5.2. Excel-työkalun toiminta

Työn yksi tärkeä osa oli rakentaa työkalu, jonka avulla voidaan simuloida erilaisia latausjärjestelmiä akustolla. Tähän Excel-ohjelmaan voidaan asettaa kuvaajassa 1 vasemmalla näkyviin kohtiin vakiolukuja ja näiden perusteella lasketaan päivän latauskäyrät. Taulukkoon voidaan määrittää käytettävän akuston kapasiteetti ja sen maksimipurkuaste lataustilanteessa. Muita tärkeitä muuttujia ovat invertterin ja liittymän koko. Näiden avulla voidaan laskea maksimilataustehot latureille. Vakioarvoista löytyy myös lämmitykseen menevä teho ja se on huomioitu akuston lataamisessa. Työkalun hyötynä on se, että kaikkia arvoja voidaan muuttaa ja kuvaajat tottelevat eri skenaarioita. Tämän työkalun avulla voidaan myös laskea isojen latausjärjestelmien toimivuutta akuston kanssa.

Muuttujat			Aika	Akun varaus Wh	Akun varaus %	EV Lämmitys	Huben lämmitys	Laturin ottama	Yhteensä	EV akun varaus	EV akun varaus %
Akun max	%	90	0.00.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Akun min	%	10	0.15.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
EV lukumäärä	kpl	4	0.30.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
EV akusto	Wh	9000	0.45.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Akusto	Wh	13 000	1.00.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Invertteri	W	10 000	1.15.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Latausteho	W	3700	1.30.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Liittymän teho	W	11000	1.45.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Lämmityksen teho	W	700	2.00.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Lataus alkaa 1	h	7.00.00	2.15.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Lataus loppuu 1	h	10.00.00	2.30.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Lataus alkaa 2	h	11.00.00	2.45.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Lataus loppuu 2	h	15.00.00	3.00.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Lataus alkaa 3	h	16.00.00	3.15.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Lataus loppuu 4	h	20.00.00	3.30.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
EV Lähtee aamulla	h	6.00.00	3.45.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
EV täyteen kuluva aika	h	2,4	4.00.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Akun max varaus	Wh	11700	4.15.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100
Muutettavat arvot			4.30.00	11700	90	2800	250	0	3050	9000	100

KUVAAJA 1. Excel-työkalu akuston ja invertterin mitoittamiseen

Seuraavassa luvussa on kuvaajia työkalulla simuloituista tilanteista. Työkalun avulla on silti testattu monia muitakin tilanteita ja näin päädytty optimaaliseen ratkaisuun.

6 SIMULOINTITULOSTEN ANALYSOINTI

Opinnäytetyössä akustoa ja invertterin toimintaa mallinnettiin Excelillä. Exceliin oli rakennettu loogisia laskentakaavoja, joten voitiin muuttaa haluttuja arvoja ja seurata, kuinka latauskäyrä muuttuu päivän aikana.

Projektissa järjestelmää ei päästy testaamaan aidossa lataustapahtumissa, koska projektin valmistuminen siirtyi.

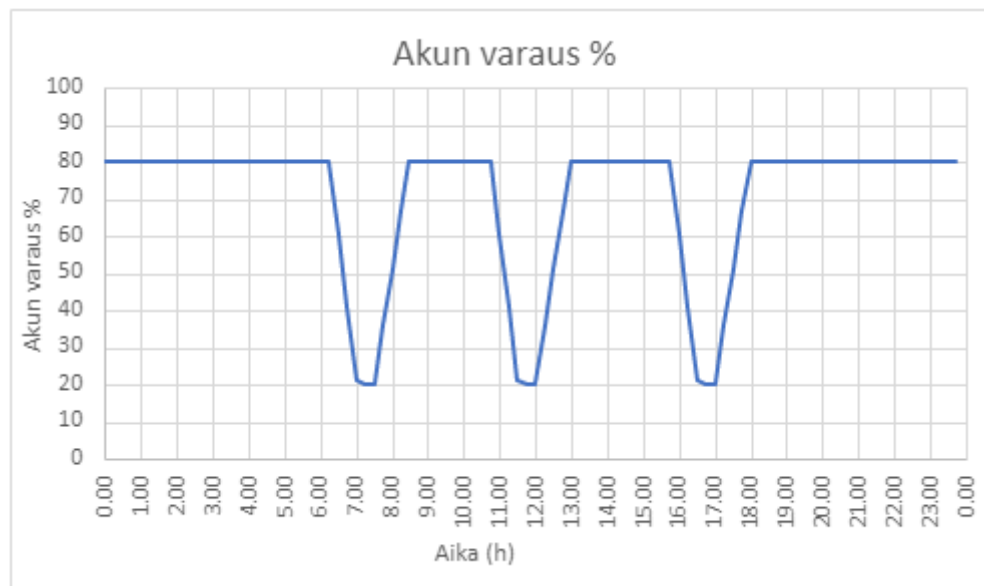
6.1. Simuloidut tulokset

Projektin ajankohdan siirryttyä ei latauslaitetta päästy integroimaan sen tulevaan laturiin opinnäytetyön aikana. Tästä syystä latauslaitteen latausta on simuloitu erilaisten kaavioiden avulla. Latauslaitteen vaatimukseksi oli annettu 16 A:n kolmivaiheinen syöttö. Latauslaite sai kuitenkin 32 A:n syötön ensimmäisessä paikassaan. Tällä teholla saadaan ladattua kolmea sähkömoottorikelkkaa samanaikaisesti täydellä teholla, mutta teho ei riitä enää neljännelle pistokkeelle. Mikäli neljää kelkkaa ladattaisiin samaan aikaan, jouduttaisiin rajoittamaan 5 kW:n teho jokaiselle latauspistokkeelle. Akuston avulla saadaan syötettyä neljälle latauspisteelle haluttu 14 A kaksivaiheisesti ja akun koko on tarpeeksi suuri, jotta se pystyy lataamaan sähkömoottorikelkan 0–100 prosenttiin pelkän akun voimalla.

Mikäli 16 A:n liittymää voidaan käyttää vain laturille, mahdollistaa akusto lataus-tehon 21 kW:iin asti. Akuston avulla voidaan mahdollistaa yhdestä pisteestä suurempi latausteho, jos esimerkiksi olisi tarve ladata sähköautoa laturilla. Tällöin laturista saataisiin maksimissaan 30.5 A:n virta, joka vastaa 21 kW:n tehoa. Tällaista tehoa saadaan tuotettua hieman yli tunnin verran, kun akusto puretaan 90 % aina 10 % asti. Tämän latauksen aikana auto ehtii lataamaan 21 kWh:n verran akustoonsa, joka vastaa noin 50 % sähköauton keskimääräisen akun kapasiteetista. Keskimääräinen sähköauton akun koko on noin 40 kWh (Electric car battery capacity & lifespan, 2022).

6.1.1 Simuloidut tulokset moottorikelkat

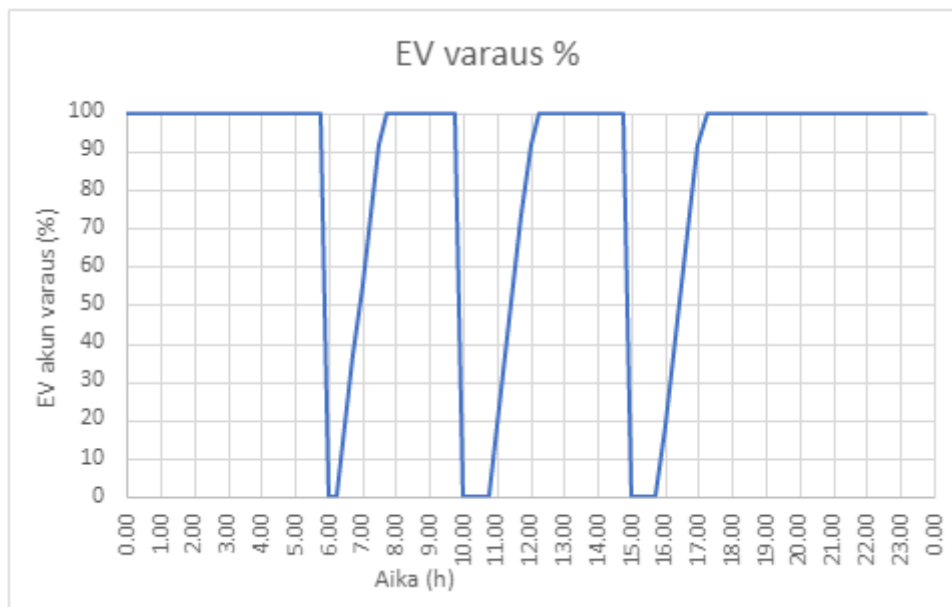
Alla on simuloitu, kuinka akusto ja invertteri toimivat päivän latauksissa ja kuinka paljon akuston purkuvirta vaikuttaa lataukseen. Kuvaajat on esitetty 16 A:n syöttöllä. Moottorikelkkojen latauksessa ei ole juuri merkitystä, puretaanko akku 80–20 prosenttiin tai 90–10 prosenttiin, koska moottorikelkkojen akut ovat tarpeeksi pieniä. Akuston koko mahdollistaa kuitenkin yhden moottorikelkan latauksen pelkällä akustolla. Kuvaajissa 2, 3 ja 4 on huomioitu myös kelkkojen ja latauslaitteen ottama teho niiden lämmitykseen. Latauslaitteen lämmitin kuluttaa 250 W, jolla se pitää akuston ja invertterin niiden lämpöikkunassa. Moottorikelkat ottavat taas 700 W per kelkka lämmitystehoa, jonka kelkat haluavat koko ajan, kun niitä ei ladata.



KUVAAJA 2. Akun varaus päivän aikana 20–80 %



KUVAAJA 3. Moottorikelkkojen ottama teho päivän aikana 20–80 %

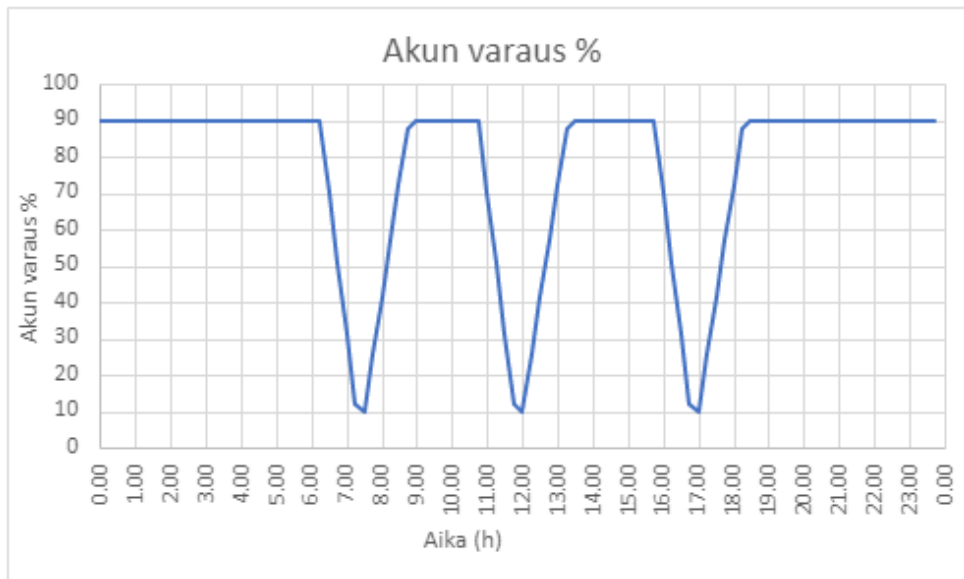


KUVAAJA 4. Sähköajoneuvon latauskäyrä

Kuvaajista 2, 3 ja 4 nähdään akuston nopea lataaminen täyteen ja moottorikelkkoja voidaan ladata uudestaan tunnin päästä viime latauksesta. Kuvaajissa on myös mallinnettu maksimikulutusta ja arvot näyttävät silti hyvältä. Maksimikulutus toteutuu, kun ulkolämpötila on pakkasen puolella ja laturin lämmitin on päällä ja neljä moottorikelkkaa lämmittää itseään latauspisteiden avulla. Tästä tulee yhteensä 3 kW:n kuormitus latauksen ajaksi. Kolmantena kuvaajana on moottorikelkan latauksen käyrä. Käyrästä voidaan lukea, kuinka nopeasti akku latautuu.

Käyrästä ei voida lukea kelkkojen akun tason laskemista käytön aikana, koska tätä tietoa ei ollut saatavilla. Kuvaajassa on oletettu, että akun varaustila on 0 %, kun se kiinnitetään latauslaitteeseen ja se latautuu täydellä teholla täyteen. Tämän jälkeen se lämmittää kelkkaa niin kauan, kunnes se irrotetaan laturista.

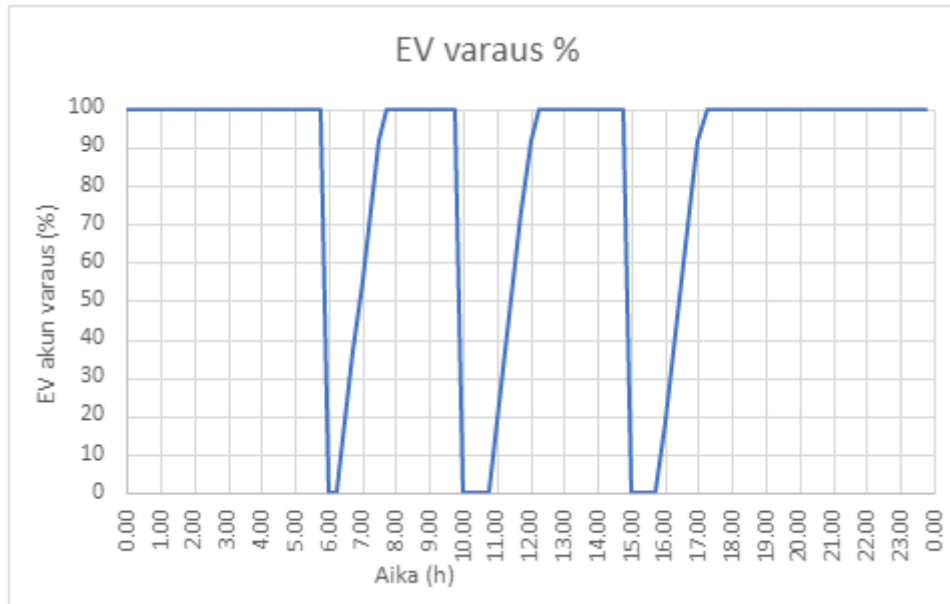
Seuraavana kuvaajissa 5, 6 ja 7 on mallinnettu, kuinka akusto käyttäytyy samantilaisessa tilanteessa kuin aiemmin. Kuvaajissa on muutettu akun latausta ja purkua, joten latausväli on kasvanut.



KUVAAJA 5. Akun varaus päivän aikana 10–90 %



KUVAAJA 6. Moottorikelkkojen ottama teho päivän aikana 10–90 %



KUVAAJA 7. Sähköajoneuvon latauskäyrät

Kuvaajista 5, 6 ja 7 nähdään, että latauskäyrät ovat hyvin samanlaisia kuvaajien 2 ja 3 käyriin verrattuna. Moottorikelkkojen latauksesta ei juuri huomata mitään eroa, puretako akusto 80–20 % vai 90–10 %. Erona näillä on se, että 80–20 % latauksessa viimeisillä hetkillä akustosta loppuu virta ja kelkat ladataan täyteen verkkovirralla. Kun taas latauslaitetta syötetään 32 A:n syötöllä, ei akku pääse tyhjenemään lainkaan. Lopputuloksena on, että tositilanteessa akun purkaantumisen säätelyllä ei olisi isoa merkitystä. Sähköajoneuvot eivät tule lataukseen 0 % akunvarauksella niin kuin on laskettu. Mikäli kelkat tulisivat lähes tyhjällä akulla lataukseen, saadaan viimeiset prosentit ladattua pelkällä verkkovirralla ilman, että lataustapahtuma pitkittyy huomattavasti. Suurempi akuston purkuväli voi myös olla eduksi, mikäli akustoa ladataan tiheämmin, tai jos uudempia kelkkoja voitaisiin ladata isommalla teholla.

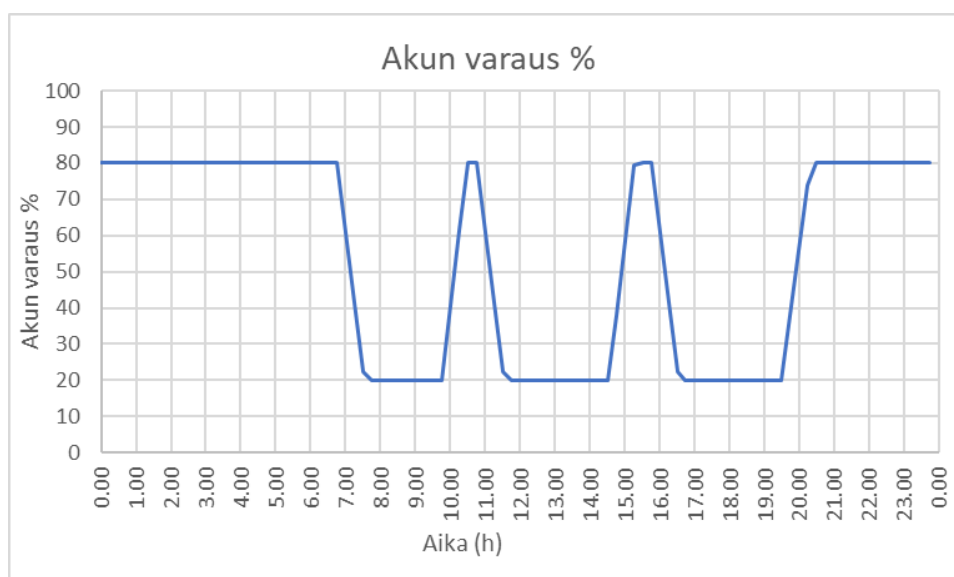
6.1.2 Simuloidut tulokset sähköauto

Latauslaite on tarkoitettu moottorikelkkojen lataukseen, mutta sillä voidaan myös ladata sähköautoja. Tämä myös mahdollistaa tulevaisuudessa tulevien moottorikelkkojen latauksen ja niiden suuremman lataustehon. Ensin tässäkin tarkastellaan 16 A:n syötön tilannetta. Ilman akustoa laturista voidaan ladata mitä vain ajoneuvoa kolmivaiheisesti 16 A:lla, mistä vain pistokkeesta. Mikäli latauksessa

on kolmivaiheisesti latautuvia ajoneuvoja ja aloitettaisiin lataus yksivaiheisesti latautuvalla moottorikelkalla, tiputtaisi tämä huomattavasti kolmivaiheisesti lataavan tehoa. Tämä johtuu siitä, että kolmivaiheisessa latauksessa kaikista vaiheista täytyy tulla sama virtamäärä.

Kiinnitettynä 16 A:n kolmivaihesyöttöön, latauslaite mahdollistaa 21 kW lataustehon, joka on hyvin lähellä AC-latauslaitteiden maksimitehoa 22 kW. On olemassa myös 44 kW:n latauslaitteita, mutta niin suurella teholla voi ladata vain Renault Zoe:ta ja tämä teknologia on jo unohdettu. Mikäli kohteesta löytyy suurempi lähtö esimerkiksi 32 A:n voimavirtapistorasialla, voidaan latauslaitteen tehoa nostaa entisestään. 32 A:n tulolla voidaan ladata useammasta pistokkeesta samanaikaisesti suuremmilla tehoilla.

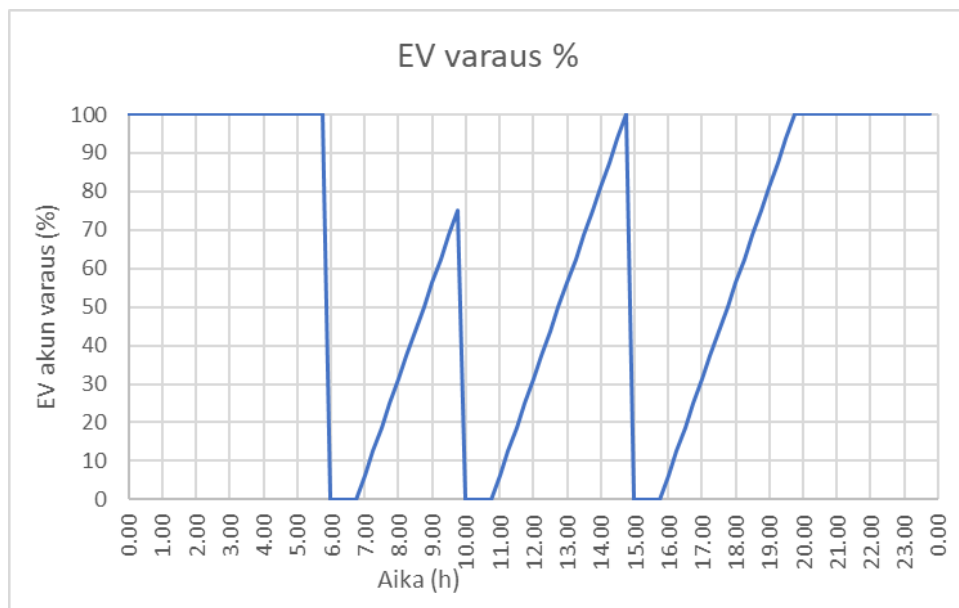
Alla olevissa kuvaajissa 8, 9 ja 10 on mallinnettu kahden sähköauton lataamista samanaikaisesti. Autot on valikoitu sähköautojen keskimääräisten tulosten perusteella. Autojen akuston kapasiteetiksi on valittu 44 kWh ja niiden maksimilataustehoksi 11 kW. Kuvaajissa on simuloitu, kuinka akun varaus vaikuttaa lataukseen. Ensimmäisissä kuvaajissa (8, 9 ja 10) on kuvattu 20–80 %, seuraavissa kuvaajissa (11, 12, ja 13) on kuvattu 10–90 % ja viimeisissä kuvaajissa (14, 15 ja 16) on kuvattu maksimikestävyyttä akusta eli 0–100 %.



KUVAAJA 8. Akun varaus päivän aikana 20–80 %



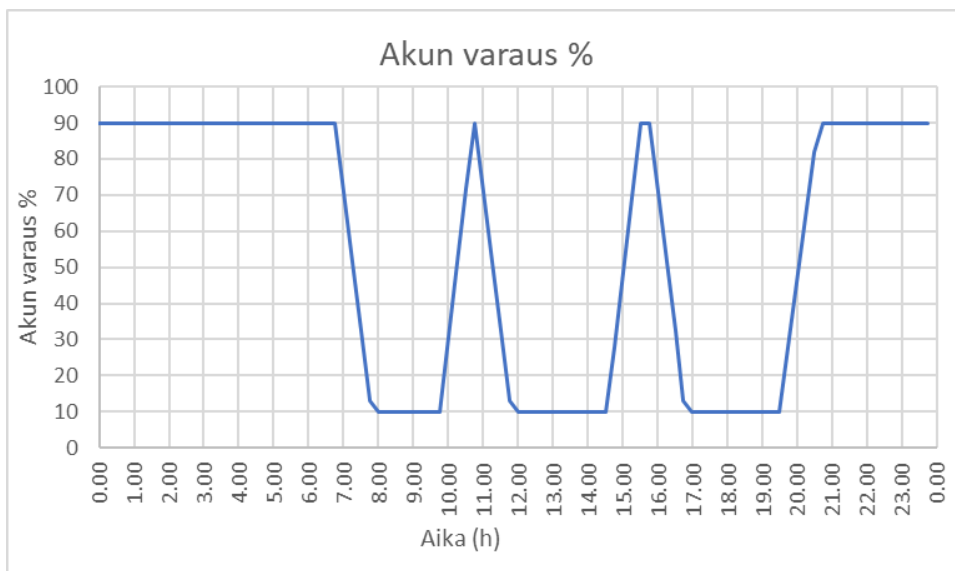
KUVAAJA 9. Sähköajoneuvojen ottama teho päivän aikana 20–80 %



KUVAAJA 10. Sähköajoneuvon latauksen mallinnus 20–80 %

Latauslaitteella voidaan myös ladata kahta sähköautoa kolmivaiheisesti tunnin verran niin, että toinen saa 11 kW ja toinen 10 kW. Nykyään lähes kaikki autonvalmistajat ovat tyytyneet 11 kW:n sisäisen laturiin ja keskittyneet pikalatauksen tehojen nostamiseen. Autojen integroidut laturit eivät ole juuri nähneet parannuksia täyssähköautojen tulon jälkeen. Tämä käy järkeen, koska vaihtosähköla-

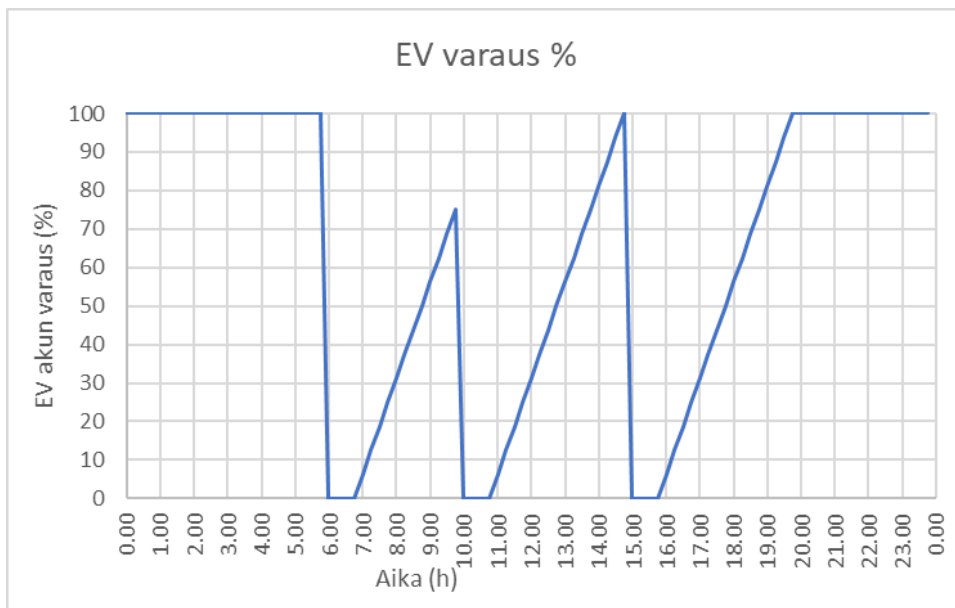
tausta käytetään yleisesti koti- tai työpaikkalatauksessa. Koti- ja työpaikkalatauksessa auto voi ladata pidemmän aikaa ja nopeus ei ole ensimmäisenä prioriteeteissa. Myös kotilatauksessa 16 A:n lähdöt ovat sopivan kokoisia, koska hyvin yleisesti omakotitalojen pääsulakkeet ovat 25 A:n kokoisia, joten 32 A:n latausvirran saavuttaminen ilman akustoa ei onnistuisi.



KUVAAJA 11. Akun varaus päivän aikana 10–90 %

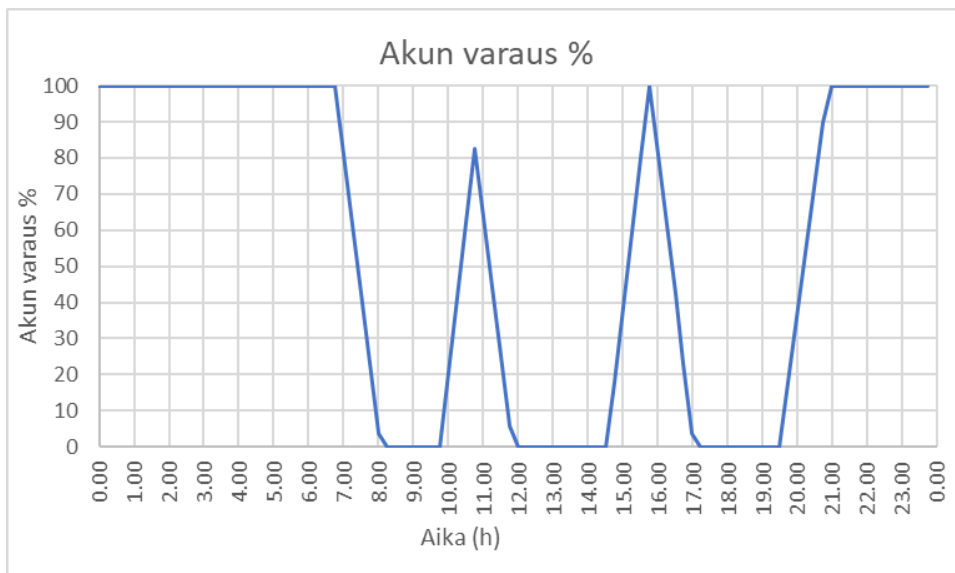


KUVAAJA 12. Sähköajoneuvojen ottama teho päivän aikana 10–90 %

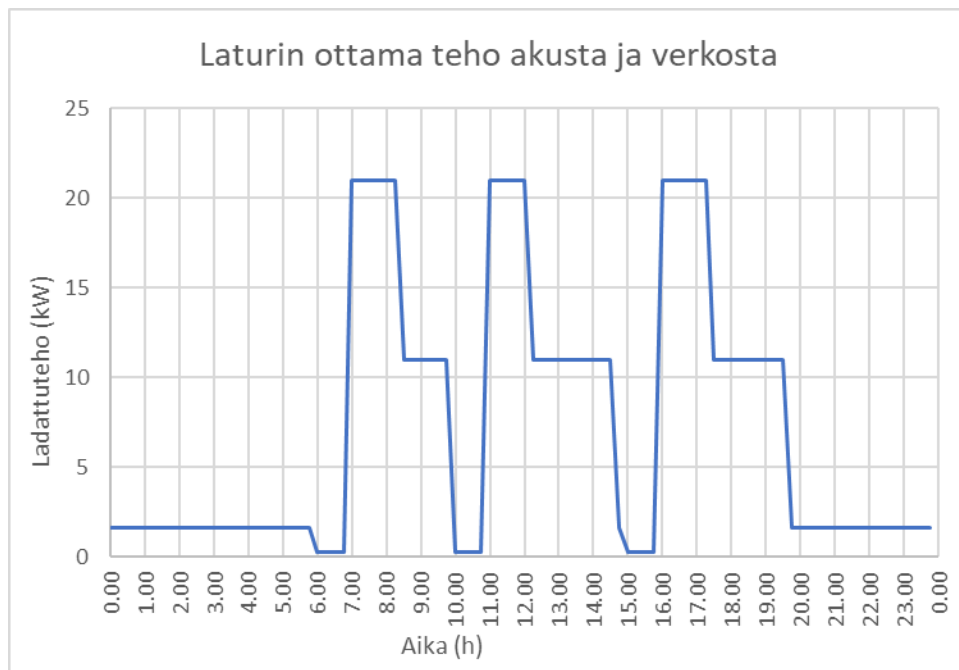


KUVAAJA 13. Sähköajoneuvon latauksen mallinnus 10–90 %

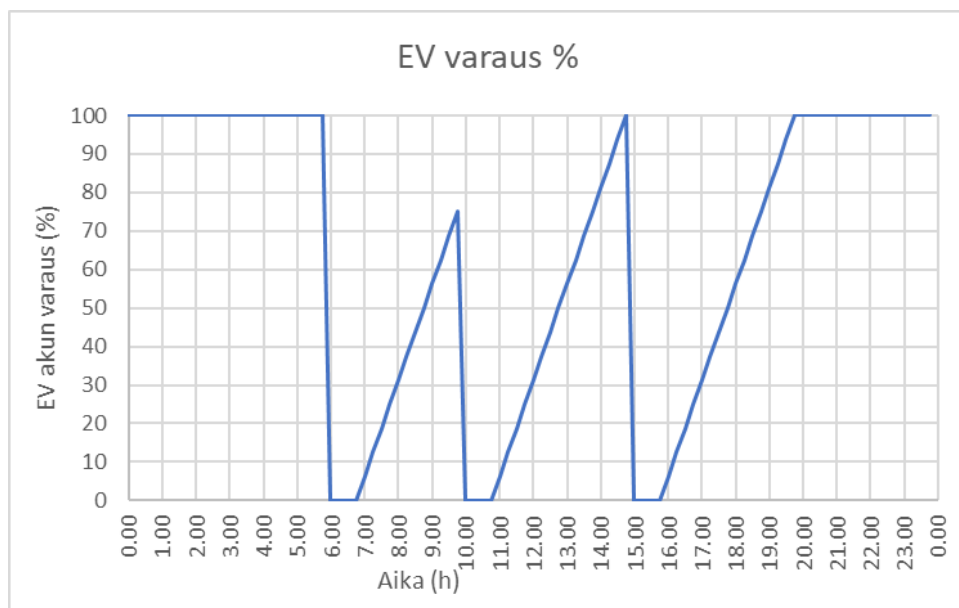
Kolmas tarkastelukohde on, kun ladataan latauslaitteen akku täyteen ja puretaan täysin tyhjäksi. Tämä lyhentää akun elinikää, joten pienet hyödyt latauksen kestossa koituvat ongelmiksi myöhemmin. Kuvaajia tutkimalla voidaan selvittää, missä kohdassa löytyy optimaalinen akuston varaustaso.



KUVAAJA 14. Akun varaus päivän aikana 0–100 %



KUVAAJA 15. Sähköajoneuvojen ottama teho päivän aikana 0–100 %

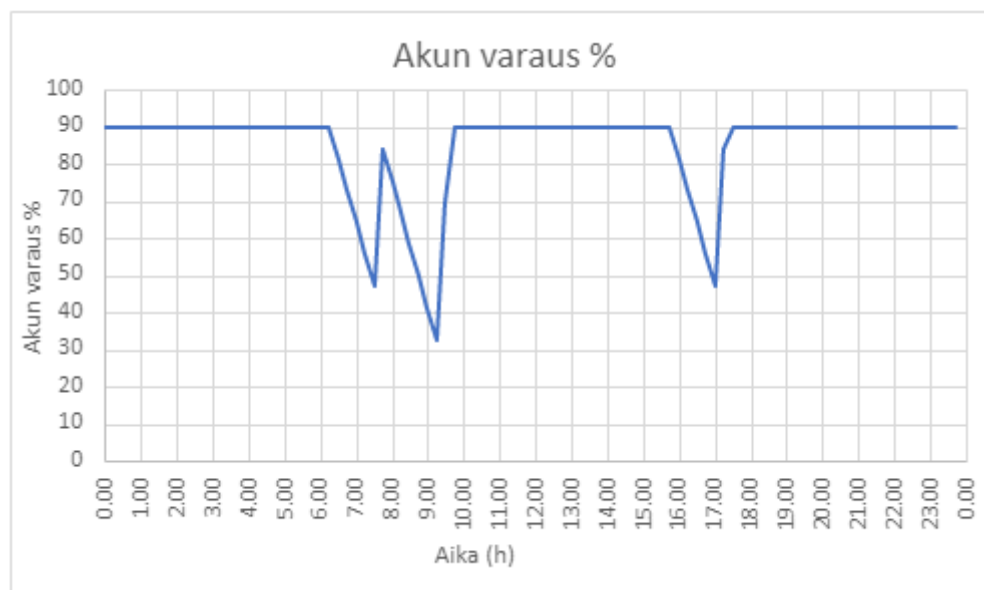


KUVAAJA 16. Sähköajoneuvon latauksen mallinnus 0–100 %

Akuston täyteen lataamisesta ja tyhjentämisestä saadaan tuettua lataustapahtumia pidemmän aikaa. Tämän avulla saadaan suurempi hyöty akusta ja invertteristä. Näistä vaihtoehdoista optimaalisin ratkaisu on 10–90 %, koska se säästää akun elinikää ja antaa silti enemmän tehoa lataukseen. Latausten aikaikkunoiden ollessa samoja huomataan myös, ettei laturi ehdi ladata itseänsä täyteen tunnissa ensimmäisen ja toisen latauksen välissä.

6.2. Käyttöä vastaavat simuloinnit

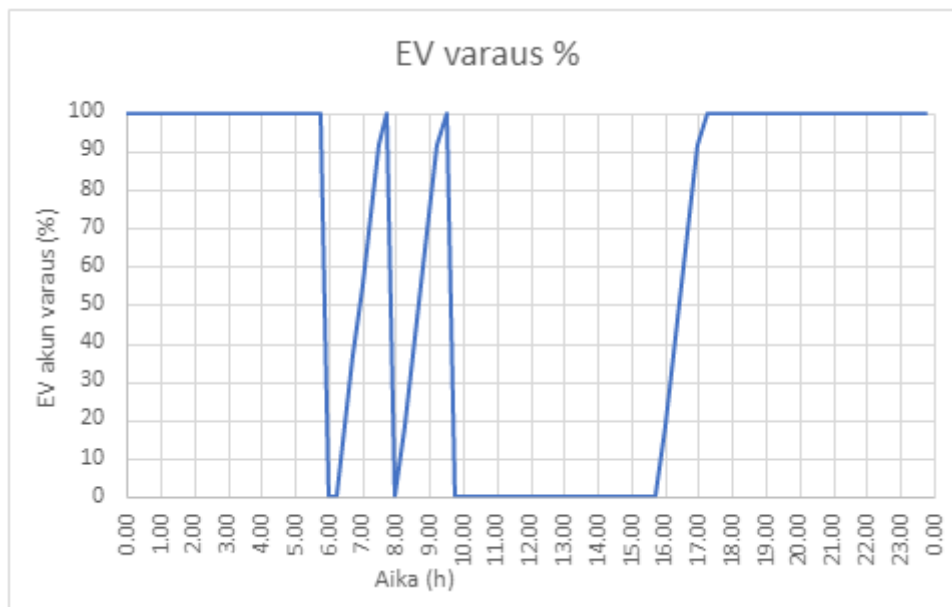
Lopuksi tarkastellaan vielä tilannetta, johon latauslaite tammikuussa asennetaan. Latauslaite asennetaan 32 A:n kolmivaihesyöttöön ja latauspistokkeita on neljä kappaletta. Kuvaajiin 17, 18 ja 19 on mallinnettu, kuinka neljä latauspistettä lataavat kahdeksan moottorikelkkaa peräkkäin. Kelkkojen lataus alkaa simuloinnissa kello 6:30, jonka jälkeen ensimmäiset neljä kelkkaa lataavat akkunsä täyteen. Akkujen tultua täyteen 8:00 vaihdetaan tilalle loput neljä moottorikelkkaa, jotka lataavat akkunsä täyteen. Tämä lataustapahtuma päättyy 9:45, jolloin loput kelkat ovat lataantuneet.



KUVAAJA 17. Akuston varaus tosi tilanteessa

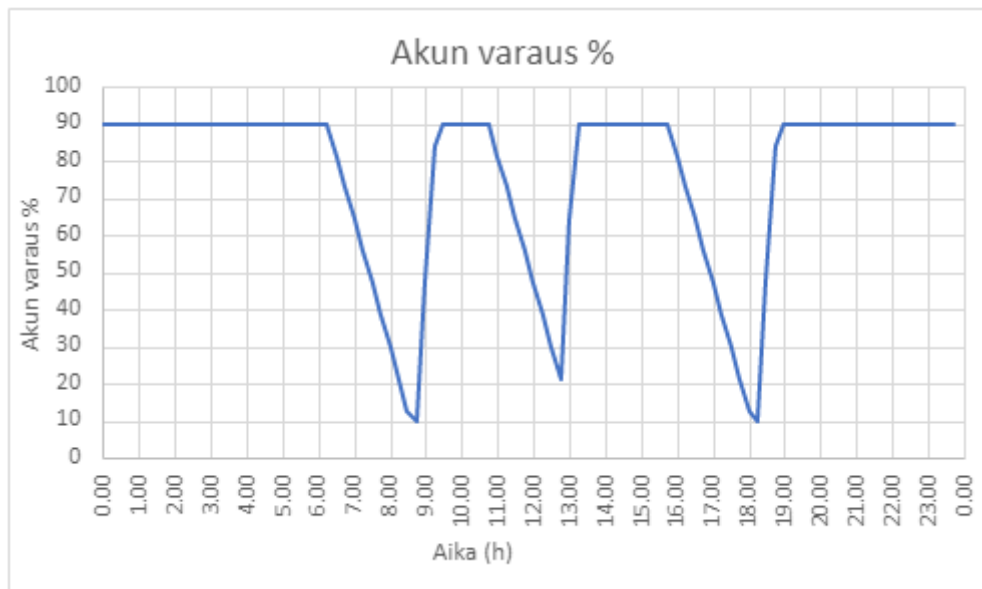


KUVAAJA 18. Sähköajoneuvojen ottama teho tosi tilanteessa



KUVAAJA 19. Sähköajoneuvon latauksen mallinnus tosi tilanteessa

Kuten kuvaajista nähdään, suoriutuvat akusto ja inverterti kahdeksan moottorikelkan haasteesta melko hyvin. Kuvaajasta 17 nähdään, kuinka akusto ehtii latautumaan 15 minuutin aikana melkein 40 % akuston kapasiteetista. Vaikka seuraavien moottorikelkkojen lataus alkaisi heti edellisten latausten jälkeen, riittäisi akuston teho juuri ja juuri tehon ylläpitämiseen. Kuvaajassa 20 on mallinnettu, kun kelkat ladataan täysin peräkkäin.



KUVAAJA 20. Kahdeksan moottorikelkan lataus peräkkäin

6.3. Lopulliset tulokset

Latauskäyrien avulla voidaan todeta, että akuston optimaalinen suhde on purkaa akku 90 %:sta aina 10 %:iin asti. Tällöin voidaan suojata akkua ja pidentää sen elinikää lataamatta ja purkamatta sitä täydestä tyhjäksi. Myös tositilanteessa akusto ei pääse purkaantumaan yleensä alarajalleen, ellei laturia haluta käyttää eri ajoneuvoilla. Akustosta saadaan myös suurempi hyöty, koska latauksen aika lyhenee.

Työkalulla voidaan simuloida suuri määrä erilaisia käyriä ja niiden avulla tutkia eri tilanteita. Opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin simuloimaan tulevaa laturia ja sen käyttömahdollisuuksia. Tämän takia merkittävin tarkastelun kohde on, kuinka akkua puretaan ja ladataan. Opinnäytetyössä saatiin mitoitettua akusto ja invertteri latauslaitteelle ja tutkittua markkinoilta erilaisia komponentteja. Projektin päätös opinnäytetyön osalta on, että latauslaitteelle valittiin akusto ja invertteri ja latauslaitteen toiminta saatiin suunniteltua. Vaikka oikeita lataustapahtumia ei opinnäytetyöhön saatu, onnistuttiin työssä mallintamaan ja mitoittamaan oikeat komponentit, jotta latauslaite toimii halutulla tavalla.

7 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin sähköajoneuvojen latauslaitteita ja sitä, kuinka niihin voidaan integroida akusto ja invertteri. Toisessa luvussa perehdyttiin tarkemmin erilaisiin lataustapoihin ja latureiden vaatimuksiin. Luvussa käytiin läpi akuston, invertterin ja tarkemmin erilaisten komponenttien toimintaa. Luvussa perehdyttiin myös OCPP-yhteyteen, jonka avulla latauslaite kommunikoi latauksen tilaa kuormanhallinnalle.

Kolmannessa luvussa perehdyttiin latauslaitteen käyttöön ja siihen, miksi akusto ja invertteri halutaan integroida latauslaitteelle. Suurin syy akuston ja invertterin integroimiseen on lataustehon suurentaminen. Kiinteistön ongelmana oli lataustehon suurentaminen, kun kiinteistön sulake itsessään on pienempi kuin haluttu latausteho. Luvussa myös perehdyttiin latauslaitteelle tulevaan ohjelmoitavaan logiikkaan. Tämän logiikan avulla latauslaite voi hallinnoida akustoa ja invertteriä.

Neljännessä luvussa käytiin läpi latauslaitteen rakennetta ja komponenttien testausta. Luvussa testattiin Valmetin ja BYD:n tekemiä akustoja ja päädyttiin BYD:n valmistamaan akustoon. Valmetin akuston kohdalla ongelmaksi muodostui invertterin ja akuston välinen kommunikointi, kun taas BYD:n akusto oli valmistuki invertterin valmistajalta.

Viidennessä luvussa käytiin läpi akuston mitoitustyökalun tekoa. Työkalu rakennettiin Exceliin ja sen avulla voidaan alkuarvojen avulla luoda päivän aikana tapahtuvia latauskäyriä. Työkalun avulla voitiin helposti ja vaivattomasti testata, miten erikokoiset akustot ja invertterit vaikuttavat lataustapahtumiin.

Kuudennessa luvussa käytettiin Excel-työkalua ja simuloitiin erilaisia lataustapahtumia. Työkaluun valittiin projektin akuston ja invertterin arvot ja määriteltiin liittymän sulake ja muun kuorman kuluttama teho. Tämän jälkeen työkalulla mallinnettuja kuvaajia päästiin tutkimaan. Luvussa tutkittiin, kuinka latauslaitteen akuston lataamisen rajat vaikuttivat itse moottorikelkkojen lataamiseen. Kuvaajia tutkimalla päädyttiin siihen, että latauslaitteen varaus on paras olla 10–90 %. Tällöin akuston käyttöikä pidentyy ja akusto pystyy antamaan tehoa pidemmän ajan.

Johtopäätöksinä työstä on se, että latauslaitteisiin on mahdollista integroida akusto ja invertteri. Akustojen ja inverttereiden hintojen laskiessa tulee niiden määrä varmasti latauslaitteissa kasvamaan. Latauslaiteteknologia on edistynyt nopeasti ja akuston ja invertterin lisääminen järjestelmiin on selkeä seuraava askel. Akustolla ja invertterillä voidaan nostaa hetkellisesti lataustehoa ja näin voidaan ruuhka-aikoina tarjota suurempaa lataustehoa asiakkaille. Akusto ja invertteri auttavat myös tehopiikkien pienentämiseen, joten tehomaksut tulevat olemaan pienempiä.

LÄHTEET

Electric car battery capacity & lifespan, 2022. Luettu 24.10.2022.

<https://www.eonenergy.com/electric-vehicle-charging/costs-and-benefits/battery-capacity-and-lifespan.html>

Life-Cycle Analysis for Lithium-Ion Battery Production and Recycling, Gaines, 2011, L., Sullivan, J., Turnham, A., Belharouak, I. Luettu 1.10.2022.

<https://web.archive.org/web/20151105231136/http://www.transportation.anl.gov/pdfs/B/855.PDF>

Litiumioniakun toimintaperiaate, TKK, 1998. Luettu 1.10.2022.

<http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/34/rakenne.shtml>

Open charge alliance. 2022. OCPP versions. Tulostettu 4.10.2022.

<https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-201/>

ST-kortti 51.90. 2022. Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus. Espoo: Sähkötieto ry. Tulostettu 27.5.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://severisahkoinfo-fi.libproxy.tuni.fi/item/3937?search=51.90>

Virta. Sähköauton ottotehot ja lataaminen - Sähköopin perusteita. Luettu 4.10.2022. <https://www.virta.global/fi/blogi/ampeerit-kilowatit-ja-s%C3%A4hk%C3%B6auton-lataaminen-s%C3%A4hk%C3%B6opin-perusteita>

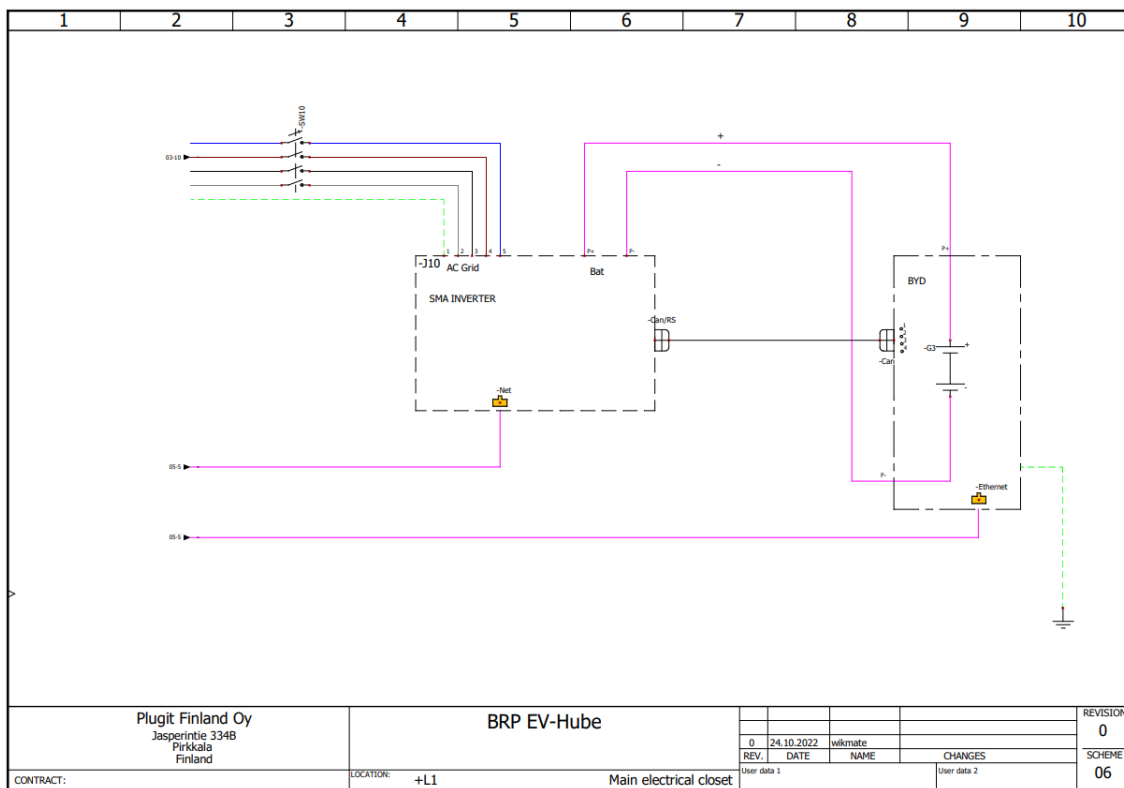
Wikipedia. 2022. Type 2 connector. Luettu 27.5.2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Type_2_connector

Wikipedia. 2022. Litiumioniakku. Luettu 1.10.2022. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Litiumioniakku>

Yleiselektroniikka, 2022. Litium-akun lataus – Turvallisesti & Nopeasti. Luettu 6.10.2022. <https://www.yeint.fi/uutiset/litium-akun-lataus>

LIITTEET

Liite 1. Huben akuston ja invertterin sähkökuvat



Liite 2. Huben sähköpuolen piirustukset

