



Hydrauliikka osana sähköajoneuvojen latausta

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja Automaatiotekniikka, insinööri (AMK)
Syksy 2023
Markus Nieminen

Sähkö- ja Automaatiotekniikka

Tekijä Markus Nieminen

Työn nimi Hydrauliiikka osana sähköajoneuvojen latausta

Ohjaaja Timo Väisänen

Tiivistelmä

Vuosi 2023

Opinnäytetyön tavoitteena on ratkaista hydrauligeneraattorin soveltuvuus sähköntuottajaksi liikkuvaan latausjärjestelmään. Työ keskittyy sähköajoneuvojen lataukseen erityisesti tilanteissa, joissa akku on loppunut kesken matkan. Nykyisin sähköajoneuvojen hinaaminen on haasteellista, ja tyypillinen ratkaisu on kuljettaminen hinausautolla latausasemalle. Työssä tutkitaan vaihtoehtoa ladata sähköajoneuvo paikan päällä hydrauligeneraattorin avulla, mikä vähentäisi tarvetta hinauksille.

Työ alkaa sähköajoneuvojen lataamisen menetelmiin tutustumisella, jatkaen sitten latausajan tekijöihin, latausjännitteeseen ja akunhallintajärjestelmään. Keskeisenä osana on myös latauslaitteiston rakenteen ja turvallisuuden tarkastelu, mukaan lukien eri latauspistokkeiden ominaisuudet sekä tekniset ja mekaaniset vaatimukset.

Opinnäytetyö keskittyy myös lataustapahtuman tiedonsiirtoon, erityisesti CAN-väylän rooliin ja eri latausstandardien vaikutukseen tiedonsiirrossa. Siinä tarkastellaan myös sähköntuottamista liikkuvaan latausasemaan hydrauligeneraattorin avulla. Tähän sisältyy generaattorin toiminta, sekä hydraulimoottorin ja voimanulosoton rooli.

Lopuksi perehdytään virtamoduulin tiedonsiirtoon käyttäen apuna ohjelmoitavaa logiikkaa, sekä mitoitetaan latauslaitteisto hinausajoneuvoon. Mitoituksessa huomioidaan itse laturi, hydrauligeneraattori ja voimanotto. Tämän avulla osoitetaan, minkälaiseen ajoneuvoon laitteisto soveltuu.

Opinnäytetyössä tarkastellaan siis kattavasti sähköajoneuvojen latausongelmaa tienpäällä ja ehdotetaan ratkaisuja, joilla voidaan parantaa tehokkuutta ja vähentää tarvetta hinauksille.

Työn tilaajana ja mahdollistaja toimii Dynaset Oy. Se tunnetaan muun muassa maailman johtavana hydrauligeneraattoreiden valmistajana.

Avainsanat Sähköajoneuvot, tiedonsiirto, hydrauliiikka

Sivut 48 sivua ja liitteitä 0 sivua

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Author Markus Nieminen
Subject Hydraulics in Electric Vehicle Charging
Supervisor Timo Väisänen

Abstract
Year 2023

The aim of this thesis was to determine the suitability of a hydraulic generator as a power source for a mobile charging system focusing on charging of electric vehicles. Especially in situations where a battery has run out in the middle of a journey. Currently, towing electric vehicles is challenging and the most typical solution is to transport them by a tow truck to a charging station. This study will explore the option of charging electric vehicles on-site, using a hydraulic generator, thus reducing the need for towing.

This thesis starts with an introduction to the methods of charging electric vehicles, then moves on to factors contributing to charging time, charging voltage and battery management systems. The design and safety of contemporary charging equipment, including characteristics of different charging sockets as well as technical and mechanical requirements, is a key element in this thesis.

This thesis also focuses on electric vehicle charging processes utilising digital communication, in particular the role of the CAN bus, and the impact of different charging standards on the digital communication. This study also examines generating electricity for mobile charging stations using a hydraulic generator. This includes the operation of generators, as well as the role of a hydraulic motor and power take-off systems.

Moreover, the data transmission of a power module using programmable logic is discussed and a charging system is rated for a towing vehicle. The system rating takes in to account the charger itself, the hydraulic generator, the power take-off, as well as power source. This will be used to demonstrate the suitability of the equipment for the exemplary vehicles.

This thesis thus comprehensively examines the problem of charging electric vehicles on the road and proposes solutions to improve efficiency and to reduce the need for towing.

The thesis was commissioned and facilitated by Dynaset Ltd. Dynaset is the world's leading manufacturer of hydraulic generators.

Keywords Electric vehicles, data transmission, hydraulics
Pages 48 pages and appendices 0 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähköajoneuvojen lataaminen	3
2.1	Latausmenetelmät	3
2.1.1	Lataustapa 1 - Kevyiden sähköajoneuvojen lataus	3
2.1.2	Lataustapa 2 - Hidaslataus	4
2.1.3	Lataustapa 3 - Peruslataus	4
2.1.4	Lataustapa 4 - Teholataus	5
2.2	Latausaika	6
2.3	Latausjännite	7
2.4	Ajoneuvon akunhallintajärjestelmä	8
3	Latauslaitteiston rakenne ja turvallisuus	8
3.1	Latauspistokkeet ja -standardit.....	8
3.1.1	CCS-standardi.....	8
3.1.2	CHAdeMO-standardi	10
3.1.3	GB/T-standardi	12
3.1.4	Sähkötekniset vaatimukset	12
3.1.5	Mekaaniset vaatimukset	13
3.2	Komponentit.....	14
3.2.1	Lataussäädin	14
3.2.2	DC-virtamoduuli.....	16
4	Lataustapahtuman tiedonsiirto	17
4.1	CAN-väylä.....	17
4.1.1	Siirtoyhteyserros	17
4.1.2	Fyysinen kerros	18
4.2	Kommunikaatio lataussäätimen ja virtamoduulin välillä	19
4.3	Kommunikaatio ajoneuvon ja latauspisteen välillä CCS-standardissa	21
4.3.1	PP – Proximity Pilot	21
4.3.2	CP – Control Pilot	22
4.4	Kommunikaatio ajoneuvon ja latauspisteen välillä GB/T-standardissa	25
5	Sähkön tuottaminen mobiililatausasemaan	27
5.1	Hydrauligeneraattori.....	28
5.1.1	Automaattinen jännitteensäädin.....	29
5.1.2	Yksivaiheiset generaattorit.....	29
5.1.3	Kolmivaiheiset generaattorit	29

5.1.4	Hydraulimoottori	30
5.2	Voimanulosotto	31
5.3	Hydraulijärjestelmät	33
5.3.1	Avoin hydraulijärjestelmä	33
5.3.2	Suljettu hydraulijärjestelmä	34
6	CHARX-virtamoduulin ohjaus logiikalla	35
6.1	Järjestelmän pääkomponentit	35
6.2	Ohjelmointi.....	36
7	Latauslaitteiston mitoitus hinausajoneuvoon	38
7.1	Latausteho	39
7.2	Latausaika	39
7.3	Ajoneuvo ja komponentit.....	40
7.3.1	DC-laturi	40
7.3.2	Hydrauligeneraattori	41
7.3.3	PTO ja hydraulipumppu.....	42
8	Yhteenveto.....	44
	Lähteet	46

Kuvat

Kuva 1.	Lataustapa 1	3
Kuva 2.	Lataustapa 2	4
Kuva 3.	Lataustapa 3	5
Kuva 4.	Lataustapa 4	5
Kuva 5.	Latauskäyrät.	7
Kuva 6.	CCS Type 2 – AC-latauspistoke.....	10
Kuva 7.	CHAdeMO-protokollien lataustehot.....	11
Kuva 8.	CHAdeMO 2.0.	11
Kuva 9.	GB/T- latausliitäntä	12

Kuva 10. Jäähdytyksen vaikutus DC-latauksessa	13
Kuva 11. Lataussäätimen kytkentäkuva	15
Kuva 12. CHARX PS-M2/3AC/1000DC/30KW -virtamoduuli	16
Kuva 13. Viestikehykset alkuperäisessä ja laajennetussa muodossa.....	18
Kuva 14. CAN-väylän päätevastukset.....	19
Kuva 15. Jännitetasot CAN-väylällä	19
Kuva 16. Viestin rakenne	20
Kuva 17. CAN-viesti virtamoduulille	20
Kuva 18. CHARX PT2C CCS Type 2 – DC-teholatauspistoke	21
Kuva 19. Proximity Pilot -piiri.	22
Kuva 20. Viestin rakenne.	22
Kuva 21. Control Pilot -piiri.....	24
Kuva 22. Tiedonsiirto GP/T-standardissa.....	27
Kuva 23. Hydraulijärjestelmän ja dieselgeneraattorin kokoero	28
Kuva 24. Erilaiset voimanotot.....	31
Kuva 25. Vääntökäyrä Mercedes OM936.....	33
Kuva 26. Avoin hydraulijärjestelmä	34
Kuva 27. Suljettu hydraulijärjestelmä.	34
Kuva 28. Virtalähde.....	35
Kuva 29. Syöttöjännitekysely virtamoduulilta.	37
Kuva 30. Laturin ulkomitat.....	40
Kuva 31. Hydraulimoottorin volumetrinen ja mekaaninen hyötysuhde.....	41
Kuva 32. Latauslaitteiston hydraulijärjestelmä ja sähkökaavio.	43

1 Johdanto

Sähköajoneuvojen käyttöönotto on merkittävästi kasvanut viime vuosina, kun yhteiskunta pyrkii kestävämpiin energiaratkaisuihin ja ympäristöystävällisempiin liikkumisvaihtoehtoihin. Kehitys ja uudet innovaatiot tuovat mukanaan myös ongelmia. Eräs keskeinen ongelma on se, että mitä tehdään, kun sähköajoneuvon akun varaus loppuu kesken matkan. Tällä hetkellä sähköajoneuvon kuljettaminen hinausautolla lähimmälle latausasemalle akun loppuessa on ainoa ratkaisu.

Sähköautojen hinaamiseen pätee eri lainalaisuudet, kuin polttomoottoriautossa. Sähköautojen kohdalla kohtaa haasteen, koska niitä ei voi hinata. Niiden kohdalla on myös se ongelma, että jos akku on täysin loppunut, autoa ei saa vapaalle. Tällöin vaihtoehdoiksi jää väkisin hinaaminen tai ajoneuvon nostaminen hinausauton lavetille. Molemmat vaihtoehdot altistavat hinausautonkuljettajan työskentelemään vaarallisella alueella pidempiä aikoja.

Näiden haasteiden ratkaisemiseksi voitaisiin harkita sähköajoneuvojen lataamista jo tapahtumapaikalla. Tässä tapauksessa latauslaitteen sähköenergiaa ei otettaisikaan sähköverkosta, vaan hydrauligeneraattorin avulla hinausajoneuvon moottorista.

Opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan lataustapahtuman tiedonsiirtoa ja eri latausstandardeja. Lataustapahtuman tiedonsiirto on kriittinen osa prosessia, joka mahdollistaa tehokkaan ja turvallisen latauksen. Työssä tarkastellaan Controller Area Networkin eli CAN-väylän roolia lataustapahtuman tiedonsiirrossa, sekä eri latausstandardien, kuten CCS:n, CHAdeMO:n ja GB/T:n vaikutusta tiedonsiirtoon ja sitä kautta latausprosessin tekniseen toimintaan. Näiden lisäksi käydään läpi latauslaitteen komponentteja ja latureiden eroja.

Yksi liikkuvan latausaseman keskipisteistä on hydrauligeneraattori, joka tuottaa sähköenergian järjestelmään. Opinnäytetyössä tarkastellaan generaattorin toimintaa sekä hydraulimoottoria, jotka muodostavat kriittisen komponentin tässä energiajärjestelmässä. Hydrauligeneraattori saa voimansa nesteen tilavuusvirrasta ja sen muodostamasta paineesta, joten työssä tutustutaan myös siihen, millä ja miten näitä tuotetaan. Voimanulosoton rooli ja mitoitus sekä hydraulijärjestelmien eri muodot, kuten avoin ja suljettu hydraulijärjestelmä, tulevat lukijalle tutuiksi.

Opinnäytetyön tilaajana ja mahdollistajana toimii kotimainen perheyritys Dynaset Oy. Dynaset on maailman johtava yritys hydrauligeneraattoreiden, -korkeapainepesureiden ja -kompressoreiden valmistuksessa. Yrityksen teknologiset innovaatiot ovat tehostaneet liikkuvien työkoneiden suorituskykyä jo vuodesta 1986. Keskeisenä osana liiketoimintaa on asiakkaiden tukeminen uuden teknologian hyödyntämisessä.

Dynaset tarjoaa hydraulilaitteita moneen eri tarkoitukseen. Laitteet muuttavat liikkuvien työkoneiden hydraulitehon esimerkiksi sähköksi, korkeapainevedeksi, paineilmaaksi, magneettitehoksi tai tärinäksi. Yrityksen teknologia perustuu kykyyn hyödyntää työkoneiden, ajoneuvojen ja alusten hydraulijärjestelmiä tehonlähteenä. Dynasetillä on vahva osaaminen eri hydraulijärjestelmien kanssa työskentelystä ja integroinnista eri konemerkkien kanssa.

Kaikki Dynasetin tuotteet valmistetaan Suomessa ammattitaidolla. Laadukas suunnittelu ja valmistus, sekä tarkkaan valikoidut alihankkijat ja osat varmistavat kompakteimmat, luotettavimmat ja tehokkaimmat hydraulilaitteet maailmassa. Yrityksen tavoitteena on tarjota markkinoiden paras teho-koko-suhde, joka mahdollistaa helpon asennuksen kaikkiin liikkuviin työkoneisiin. Yritys on omistautunut innovatiivisten ratkaisujen kehittämiseen, tavoitteenaan luoda entistä parempia ratkaisuja konemaailmaan.

2 Sähköajoneuvojen lataaminen

Viikoittain Suomessa ladataan yli 60 000 sähköautoa ja niiden määrä on viimeisen kymmenen vuoden aikana kasvanut räjähdysmäisesti. Vuonna 2023 Suomessa, joka kolmas uutena ostettu auto on ollut sähköauto. (Tilastokeskus, 2023)

Vaikka nykypäivänä suurin osa puhelimesta voidaan ladata langattomasti, sähköajoneuvojen kohdalla kotimaassa kaikki henkilöautot ladataan latauskaapelin avulla. Markkinoilla on kuitenkin jo saatavilla jälkiasenteisia langattomia latausjärjestelmiä autoihin.

2.1 Latausmenetelmät

Lataustavat voidaan jakaa neljään osaan, jotka ovat määritelty myös standardissa SFS 6000-7-722:2022. Standardi sisältää ohjeita ja määräyksiä sähköasennusten suunnittelulle ja toteutukselle. Standardin tarkoituksena on varmistaa, että lataaminen tapahtuu turvallisesti ja luotettavasti. Se kattaa esimerkiksi kaapeloinnin, suojauksen, maadoituksen ja muiden sähköasennusten ominaisuuksien määrittelyn.

2.1.1 Lataustapa 1 - Kevyiden sähköajoneuvojen lataus

Tämä lataustapa on tarkoitettu ensisijaisesti pienitehoisille kevyille ajoneuvoille, kuten sähköskoottereille ja -nelipyörille. Lataus tapahtuu maksimissaan 16 A:n ja 250 V:n yksivaiheisesta tai vaihtoehtoisesti 480 V:n kolmivaiheisesta suojamaadoitetusta pistorasiasta (Kuva 1). (Sesko, 2023)

Kuva 1. Lataustapa 1 (Deltrix Charging Solutions, 2019).



2.1.2 Lataustapa 2 - Hidaslataus

Hidaslataus on kansainvälisen sähköalan standardijärjestö IEC:n määrittelemä lataustapa, joka poikkeaa lataustapa 1:stä siten, että kohdeajoneuvo on usein sähköauto. Tässä sähköajoneuvoa ladataan vaihtosähkösyötöstä maksimissaan 32 A:n ja 250 V:n yksivaiheisesta tai vaihtoehtoisesti 480 V:n kolmivaiheisesta suojamaadoitetusta pistorasiasta, joka ei ole ensisijaisesti tarkoitettu sähköajoneuvon lataukseen (Kuva 2). Ajoneuvo liitetään pistorasiaan latausjohdolla tai -asemalla, joka sisältää standardin SFS-EN 62752 mukaisen suoja- ja ohjauslaiteyksikön. (Sesko, 2023)

Pistorasioiksi soveltuvat standardin SFS 5610 mukaiset kotitalouspistorasiat tai vaihtoehtoisesti standardin SFS-EN 60309 mukaiset teollisuuspistorasiat, kuten 3-vaiheiset voimavirtapistorasiat. Kotitalouspistorasian käyttöön on määrätty kuitenkin rajoituksia, koska kotitalouspistorasia ei kestä jatkuvaa 16 A:n kuormaa. Kotitalouspistorasia soveltuu käyttöön, jos pitkäaikainen ajoneuvon ottama latausvirta on rajoitettu kahdeksaan ampeeriin standardin SFS-EN 62752 määritysten mukaisesti. (Sesko, 2023)

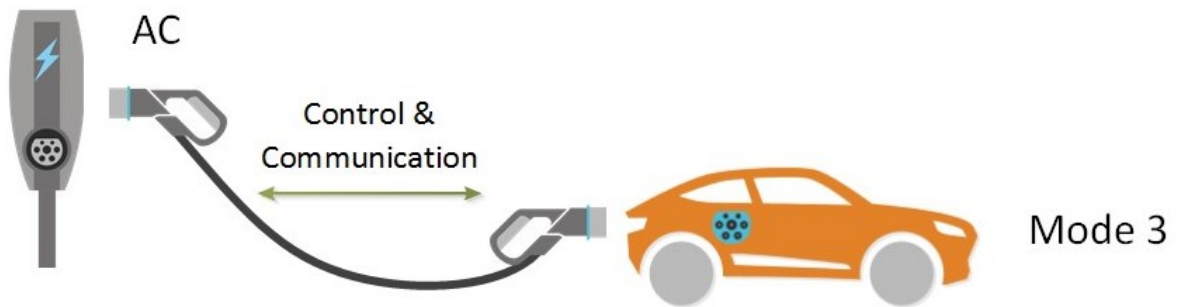
Kuva 2. Lataustapa 2 (Deltrix Charging Solutions, 2019).



2.1.3 Lataustapa 3 - Peruslataus

Lataustapa 3 on tehokkain AC-latausmuoto. Latausvirta voi tässä olla 6 A – 63 A, jolloin lataustehoksi saadaan 1,4 kW – 43 kW. Pistorasiana tässä käytetään standardin SFS-EN 62196-2 mukaista erityisesti sähköajoneuvon lataukseen tarkoitettua kolmivaiheista pistorasiaa. Latausjohto, joka on varustettu ajoneuvopistokkeella, voi olla myös kiinteä osa latausasemaa (Kuva 3). Latausjärjestelmässä on myös tiedonsiirtoväylä, jolla kuormitusta voidaan ohjata, sekä tämän avulla voidaan turvata latauspistokkeen turvallinen kytkeytyminen ajoneuvoon. (Sesko, 2023)

Kuva 3. Lataustapa 3 (Deltrix Charging Solutions, 2019).

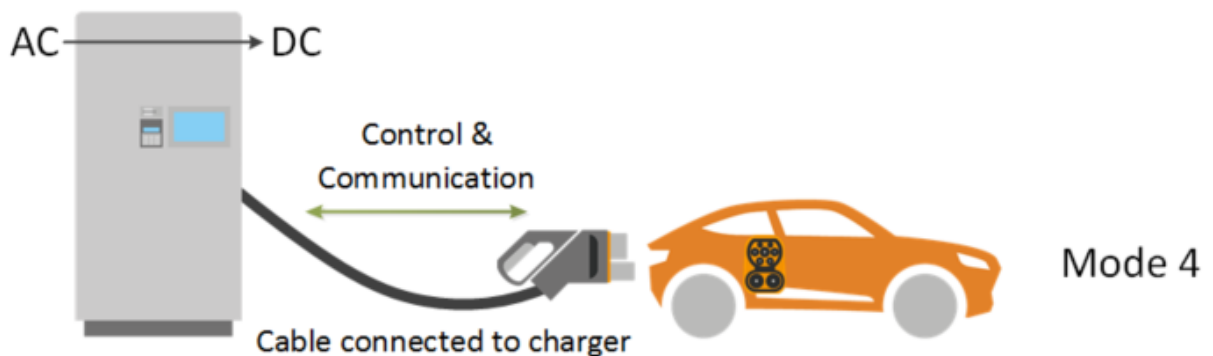


2.1.4 Lataustapa 4 - Teholataus

Erona muihin lataustapoihin, teholatauksessa muunnos vaihtosähköstä tasasähköön tapahtuu ajoneuvon ulkopuolella (Kuva 4). Muissa latausvaihtoehdoissa ajoneuvon sisäinen laturi hoitaa tasasuuntauksen, kun taas teholatauksessa tämä on siirretty ulkopuoliseen latausasemaan. Tähän syinä ovat tehoelektronikan koko-, kustannus-, ja jäähdytettävyyssyyt.

Sähköverkkoon kytkettyjen teholatureiden autoon syöttämä virta voi olla satoja ampeereita ja lataustehot ovat usein 50 kW:sta jopa satoihin kilowatteihin. Kuten lataustapa 3:ssa, myös teholatauksessa on tiedonsiirtoväylä, jolla kuormitusta voidaan ohjata. Tiedonsiirtoväylän avulla voidaan turvata latauspistokkeen turvallinen kytkeytyminen ajoneuvon. (Sesko, 2023)

Kuva 4. Lataustapa 4 (Deltrix Charging Solutions, 2019).



2.2 Latausaika

Sähköajoneuvon akun latausaika saadaan laskettua, kun tiedetään ajoneuvon akun kapasiteetti ja latausteho. Esimerkkinä voimme käyttää Volvon ECR25 täyssähkökaivinkonetta, jossa akun kapasiteetti on 20 kWh. Pikalatauksella ulkoisen laturin enimmäisteho on 17,3 kW ja sen sisäinen AC-laturi pystyy lataamaan yhdestä vaiheesta 3 kW:n teholla. (Volvo, n.d. s.7).

Jos kaivuri ladataan kotitalouspistorasiasta ja latausvirta on rajoitettu suositusten mukaisesti laturilla, voidaan latausteho laskea seuraavasti:

$$P = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 8 \text{ A} = 1840 \text{ W} = 1,8 \text{ kW}$$

Kun latausteho on selvillä, voidaan laskea lataukseen kuluva aika:

$$E = P \cdot t \Rightarrow t = \frac{E}{P} = \frac{20 \text{ kWh}}{1,84 \text{ kW}} = 10,87 \text{ h} \approx 11 \text{ h}$$

Pikalatausta käytettäessä maksimiteholla latausaika voidaan laskea seuraavasti:

$$t = \frac{E}{P} = \frac{20 \text{ kWh}}{17,3 \text{ kW}} = 1,15607 \text{ h} \approx 1 \text{ h } 9 \text{ min}$$

On huomioitava, ettei akku lataudu täyteen asti maksimilatausteholla, vaan latausteho pienenee akun täytyessä. Moni valmistaja ilmoittaaakin latausajan välille 10–80 %, joka onkin tehokkain tapa, kun mietitään latausaikaa ja latauskustannuksia. (SATL, 2020)

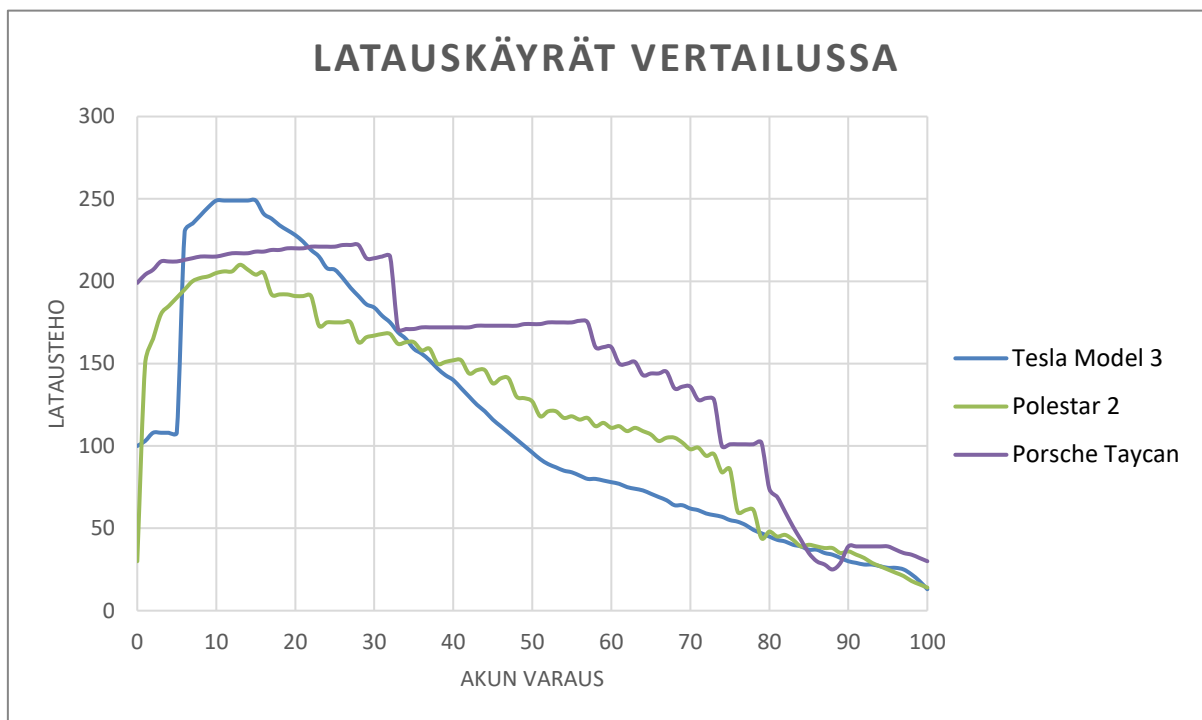
Latausaika koostuu monesta tekijästä. Laturin maksimilatausteho ei kerro suoraan, kuinka nopeasti akku latautuu. Sähköajoneuvoilla on merkki- ja mallikohtaisia eroja maksimilataustehojen välillä ja latauskäyrät poikkeavat huomattavasti toisistaan. Tämä selviää hyvin kuvasta 5, jossa on vertailtu kolmen sähköauton latauskäyrää.

Sähköajoneuvon akun altistuessa kylmille lämpötiloille ilman esilämmitystä, sen latautuminen alkaa hidastua merkittävästi. Esimerkiksi kesällä normaalisti saavutettava 100 kilowatin latausteho voi pakkasella pudota huomattavasti, jopa 20–30 kilowattiin. Tämä johtuu siitä, että kylmä akku vastaanottaa sähkövirtaa hitaammin. Tämän myötä latausprosessi on aluksi tehoton. (Neste, n.d)

Kuitenkin latauksen edetessä akku alkaa lämmetä, mikä parantaa sen varautumiskykyä. Lämpenemisen myötä myös latausnopeus kasvaa, ja akku kykenee ottamaan vastaan suurempaa lataustehoa.

Myös akun varaustaso vaikuttaa olennaisesti lataustehoon. Suurimmassa osassa sähköajoneuvoista ensimmäinen kymmenen prosenttia latautuu huomattavasti pienemällä teholla verrattuna esimerkiksi kymmenestä kahteenkymmeneen prosenttiin. (Neste, n.d)

Kuva 5. Latauskäyrät (Evkx, n.d.).



2.3 Latausjännite

Latausjännitteiden skaala on hyvin laaja, kun puhutaan sähköajoneuvoista. Autopuolella akkujännitteet ovat jakautuneet pitkälti 400 ja 800 volttiin, mutta työkoneissa kirjo on todella laaja. Esimerkiksi Volvo EC230 akkujännite on 600 VDC, kun taas Avantin pienkuormaajissa akkujen nimellisjännitteet ovat 44,4 VDC.

Latausjännitteiden laajuuden vuoksi on tehollisempaa pystyttävä lataamaan eri jännitteillä. Esimerkiksi Kempowerin T-series huoltamolaturissa latausjännite on 150–500 VDC ja raskaankaluston versiossa jännite on 200–800 VDC. (Kempower, n.d)

2.4 Ajoneuvon akunhallintajärjestelmä

Akkujen hallintajärjestelmä eli BMS (Battery Management System) on olennainen osa sähköajoneuvojen akustoa. BMS seuraa, valvoo ja ohjaa akkupakettien toimintaa varmistuen niiden optimaalisen suorituskyvyn ja turvallisuuden. Järjestelmä mittaa yksittäisten kennojen jännitteitä ja lämpötiloja, joiden avulla se tasapainottaa kennojen varausta. BMS seuraa myös akun varaustilaa, purkausvirtaa ja tekee ennakoivaa diagnostiikkaa mahdollisten vikojen tunnistamiseksi. (Linja-aho, 2022, s.62–64)

3 Latauslaitteiston rakenne ja turvallisuus

Sähköajoneuvojen lataaminen, mukaan lukien täyssähköautot, lataushybridit ja kevyet sähköajoneuvot, edellyttää sähköverkkojen suunnittelussa ja käytössä noudattamaan tietyntyyppisiä standardeja. Näitä standardeja määrittää pienjänniteasennuksia koskeva standardisarja SFS 6000. Tämä standardisarja asettaa perusvaatimukset sähköajoneuvojen latauspisteiden ja niihin liittyvien sähköverkkojen turvallisuudelle ja toimivuudelle. (Sesko, 2023)

3.1 Latauspistokkeet ja -standardit

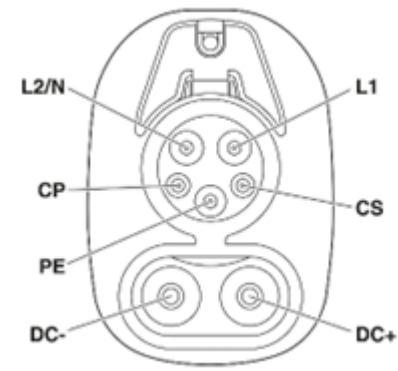
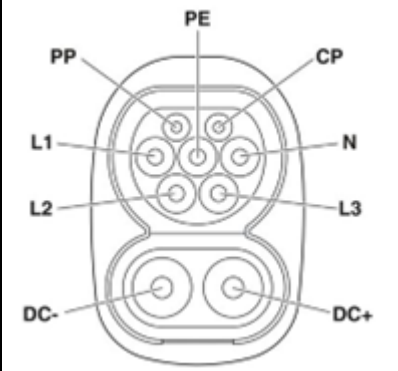
Euroopassa on kaksi käytössä olevaa latausstandardia. Selkeästi suosituin on eurooppalainen standardi CCS, joka löytyy lähes poikkeuksetta jokaisesta uudesta Eurooppaan myytävästä sähköautosta. Toinen standardi on japanilainen CHAdeMO. (InterControl, 2020) CHAdeMo on ollut pääasiassa käytössä japanilaisissa ajoneuvoissa, mutta vuonna 2021 myös Nissan siirtyi käyttämään CCS-standardia USA:n ja Euroopan markkinoilla. (Moloughney, 2020)

3.1.1 CCS-standardi

CCS eli Combined Charging System on Phoenix Contactin ja johtavien ajoneuvovalmistajien yhteistyössä kehittämä järjestelmä. Ajoneuvossa olevaan CCS-inlet-liittimeen sopii sekä AC-että DC-latausliitin. CCS Type 1 on käytössä pääasiassa Pohjois-Amerikassa ja Etelä-Koreassa. CCS Type 1 -liittimen haittana on, että se mahdollistaa vain yksivaiheisen latauksen, eikä siinä ole automaattista sähkömagneettista lukitusta, kuten Euroopassa käytetyssä CCS Type 2 -liittimessä. (Phoenix Contact, n.d. -a). Latausliittimillä on omat

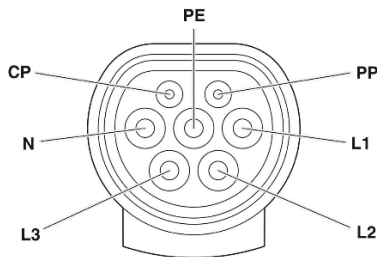
teholuokkansa, joiden mukaan määräytyy muun muassa johdinpoikkipinta-ala. Eri luokat on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. CCS Type 1 ja 2 teholuokat (Phoenix Contact, n.d. -d).

		
	Type 1 CCS	Type 2 CCS
Alue	Pohjois-Amerikka, Etelä-Korea	Eurooppa, Australia, Grönlanti, Intia, Saudi-Arabia, Etelä-Afrikka, Etelä-Amerikka, muut
DC-teholuokka 1		
Johdinpoikkipinta	35 mm ²	35 mm ²
Enimmäislatausteho (jatkuva/väliaikainen)	125/250 kW	125/250 kW
DC-teholuokka 2		
Johdinpoikkipinta	70 mm ²	70 mm ²
Enimmäislatausteho (jatkuva/väliaikainen)	200/500 kW	200/500 kW
DC-teholuokka 3		
Johdinpoikkipinta	95 mm ²	95 mm ²
Enimmäislatausteho (jatkuva/väliaikainen)	250/500 kW	250/500 kW

CCS Type 2 -latausliitin on suunniteltu sähköajoneuvojen lataamiseen ja perustuu standardiin IEC 62196, joka määrittelee liittimen fyysisen muodon ja sähköiset ominaisuudet. AC-tyyppin latauspistoke on esitetty kuvassa 6. Latausliitin mahdollistaa sekä yksivaiheisen että kolmivaiheisen AC-latauksen, mikä tekee siitä monipuolisen ja sopivan erilaisiin lataustarpeisiin. (Phoenix Contact, n.d. -a).

Kuva 6. CCS Type 2 – AC-latauspistoke (Phoenix Contact, n.d. -c).

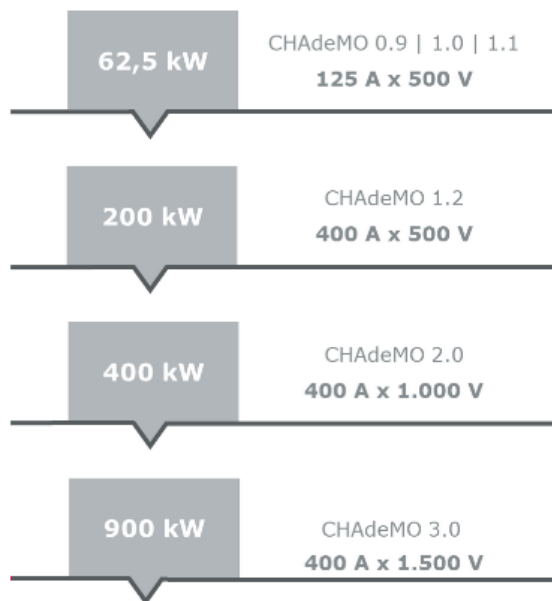


Type 2 -latausliitin on yleisesti käytössä Euroopassa ja monissa muissa maissa, ja useimmat uudet sähköajoneuvot ja plug-in hybridautot tukevat tätä standardia. Tämä standardi mahdollistaa tehokkaan ja turvallisen latauksen sähköajoneuvoille erilaisissa latausverkoissa ja latauspisteissä.

3.1.2 CHAdeMO-standardi

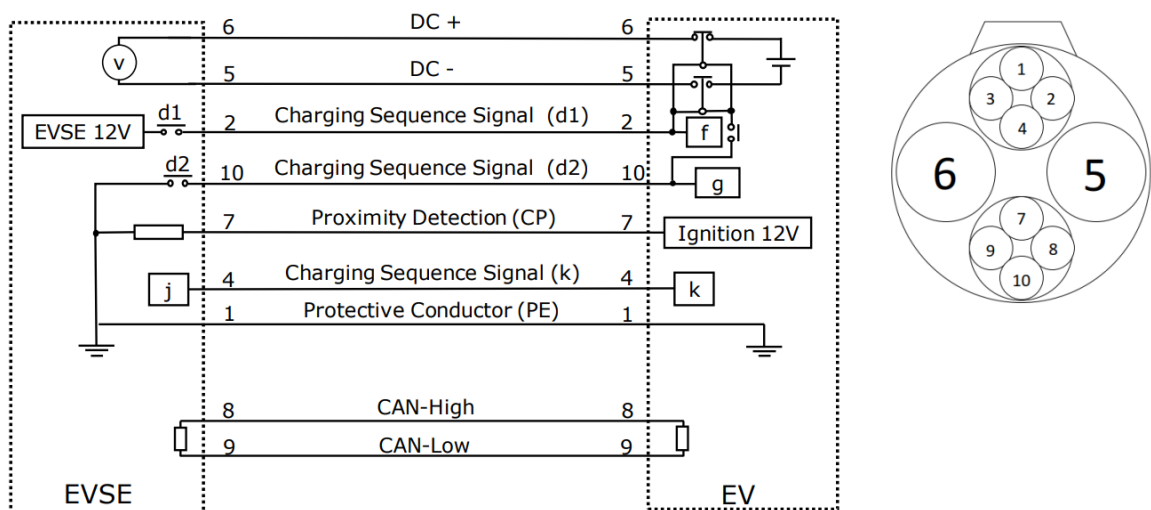
CHAdeMO on japanilainen sähköajoneuvojen pikalatausstandardi. Sen nimi tulee sanoista "CHArge de MOve," ja se kehitettiin alun perin vuonna 2009. CHAdeMO-standardi on suunniteltu mahdollistamaan nopea lataus sähköautoille ja sähköhybrideille. Standardi käyttää omaa pistoketta ja protokollaa, mikä mahdollistaa korkean tehon latauksen. CHAdeMO-standardissa on useita versioita, ja se on kehittynyt ajan myötä lisäämällä tukea korkeammille lataustehoille ja paremmalle yhteensopivuudelle eri sähköajoneuvojen kanssa. Alun perin CHAdeMO tuki 62,5 kilowatin lataustehoa, mutta uudemmat versiot mahdollistavat jo 400 kilowatin latauksen (Kuva 7). GP/T:n ja CHAdeMo:n yhteisprotokolla ChaoJi ylittää jopa 900 kW lataustehoon. (Vector, n.d. -a).

Kuva 7. CHAdeMO-protokollien lataustehot (Vector, n.d. -b).



CHAdeMO-standardi kehitettiin alun perin japanilaisissa sähköajoneuvoissa. Ensimmäiset CHAdeMO-latauspisteet tulivat käyttöön Japanissa vuonna 2010. CHAdeMO-standardia tukevia latausasemia ja pistokkeita on saatavilla useissa maissa ympäri maailmaa, mutta sen suosio voi vaihdella alueittain. Japanissa ja muissa Aasian maissa CHAdeMO on edelleen suosittu, kun taas Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa CCS on laajemmin käytetty standardi. CHAdeMO-standardi poikkeaa niin pistokkeen, kuin kommunikaatio muodon osalta CCS:stä (Kuva 8). (Vector, n.d. -c)

Kuva 8. CHAdeMO 2.0 (Vector, n.d. -a).

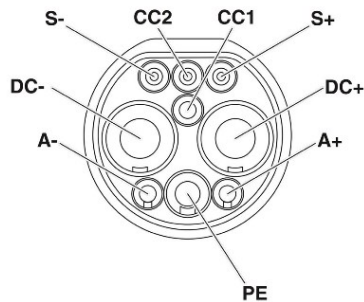


3.1.3 GB/T-standardi

GB/T on kiinalainen standardi sähköajoneuvojen akkujen latausta varten. Kiinassa kehitetty latausstandardi GB/T 27930 on tehty kaapelilatausta varten ja se soveltuu sekä sähköajoneuvoille että hybridisähköajoneuvoille. GB-standardin (kiinaksi Guobiao eli "kansallinen standardi") julkaisi Kiinan sähköneuvosto (China Electricity Council, CEC). CEC julkaisi induktiivista tai langatonta latausta koskevan erillisen eritelmän nimellä GB/T 38775.

Kaapelilatausstandardi GB/T 27930 perustuu SAE J1939 -verkkoprotokollaan, ja siinä käytetään CAN-väylää (Kuva 9), jossa laturin ja akunhallintajärjestelmän välillä on point-to-point-yhteys. (Vector, n.d. -b).

Kuva 9. GB/T-latausliitäntä (Phoenix Contact, n.d. -c).



3.1.4 Sähkötekniset vaatimukset

Turvallinen latausprosessi edellyttää CCS-latausjärjestelmän lämpötilan tarkkaa valvontaa, kuten standardissa IEC 62196 määritellään. Tämän standardin mukaan lämpötilan ei tulisi ylittää 90 °C. Tämä valvonta perustuu lämpötilasta riippuviin vastusantureihin, kuten Pt 1000, jotka pystyvät nopeasti ja tarkasti mittaamaan DC-tehokoskettimien lämpötilaa.

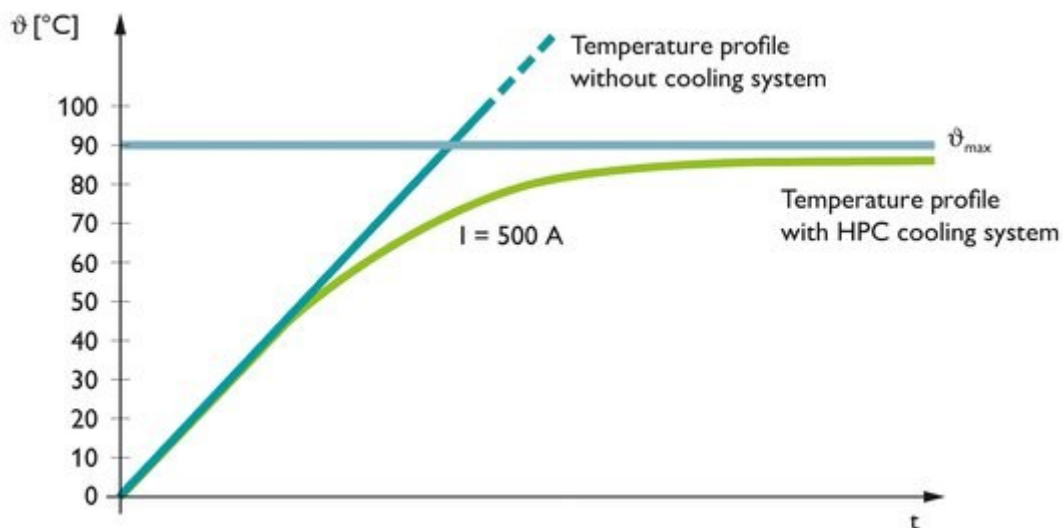
Lämpötilatiedot siirretään latauskontrolleriin signaalilähtöjen kautta. Tämä mahdollistaa sen, että jos esimerkiksi korkeat ympäristön lämpötilat tai ylikuormitus aiheuttavat laturin ylikuumenemisen, latauskontrolleri voi reagoida nopeasti keskeyttämällä latauksen tai säätämällä lataustehoa. Tällä tavoin varmistetaan latausprosessin turvallisuus ja suorituskyvyn optimointi kaikissa olosuhteissa. (Phoenix Contact, n.d. -b)

Lämpötilanvalvonta yhdessä aktiivisen jäähdytyksen kanssa on välttämätöntä järjestelmissä, joissa latausvirta on yli 250 A. Aktiivisen jäähdytyksen ansiosta CCS-liittimet pystyvät tarjoamaan jopa 500 kW:n tehon. Jäähdytyksen vaikutus ilmenee kuvasta 10.

Jos ympäristön lämpötila nousee odottamattomasti tai syntyy ylikuormitustilanne, lämpötilanvalvonta mahdollistaa nopean reagoimisen. Tämä voi tarkoittaa jäähdytysnopeuden nostamista tai latausnopeuden laskemista, jotta liittimen koskettimien lämpötila pysyy turvallisella tasolla.

Standardin IEC TS 62196 mukaan latauspistokkeen ja -kaapelin lämpötila saa nousta enintään 50°C ympäristön lämpötilasta latauksen aikana. Tämä rajoitus on tärkeä varoimenpide, joka takaa sen, ettei latausjärjestelmässä synny liiallista lämpöä, mikä voisi aiheuttaa vaaratilanteita tai vahingoittaa laitteistoa. (Phoenix Contact, n.d. -b)

Kuva 10. Jäähdytyksen vaikutus DC-latauksessa (Phoenix Contact, n.d. -b).



3.1.5 Mekaaniset vaatimukset

Kaikki CCS Type 2 -Inlet-liittimet on varustettu sähkömagneettisella lukituslaitteella, joka noudattaa soveltuvia standardeja. Tämä lukituslaite kiinnittää ajoneuvon latausliittimen tiukasti paikoilleen latausprosessin ajaksi.

Lukituslaitteessa käytetty pultti on suunniteltu kestämään suuria vetovoimia, mikä estää latauspistokkeen tahattoman irtoamisen latauksen aikana. Tämä ominaisuus takaa sen, että

latausliitin pysyy tukevasti paikoillaan ja mahdollistaa turvallisen ja luotettavan latauksen.
(Phoenix Contact, n.d. -b)

3.2 Komponentit

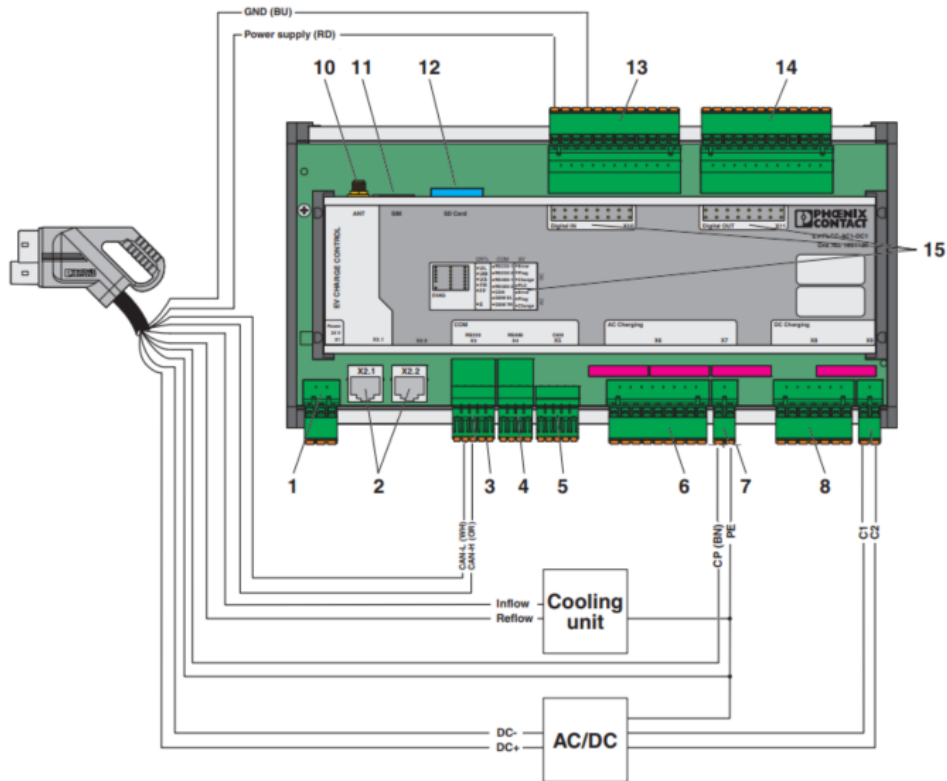
Suurteholaturin pääkomponentit ovat lataussäädin ja virtamoduuli. Virtamoduulin tehtävänä on muuttaa vaihtovirta tasavirraksi, joka tämän jälkeen syötetään sähköajoneuvoon. Lataussäädin kommunikoi ajoneuvon kanssa ja kertoo virtamoduulille lataustehon ja -jännitteen.

3.2.1 Lataussäädin

Lataussäätimen pääasiallisena tarkoituksena on toimia viestinvälittäjänä ajoneuvon ja laturin virtamoduulin välillä. Se toimii myös yhdyskäytävänä kaikille muille latauksessa käytettäville laitteille, kuten käyttöliittymälle, käyttäjätunnistukselle sekä energianmittaus- ja lämpötilanvalvontalaitteille.

Modbus/RTU-protokolla on laajasti käytössä energianmittauslaitteissa. Mittauslaitteissa tiedonsiirto toteutetaan yleensä RS485-liitännän kautta, ja myös Phoenix käyttää tätä protokollaa lataussäätimessä energianmittausta varten (Kuva 11). RFID-kortinlukija käyttää myös tiedonsiirtoon Modbussia. Kortinlukijaa käytetään käyttäjän todentamista varten.
(Phoenix Contact, n.d. -e)

Kuva 11. Lataussäätimen kytkentäkuva (Phoenix Contact, n.d.).



Säätimen liitännät Phoenixin EV-PLCC-AC1-DC1 säätimessä, numerointi kuvassa 11:

1. X1: pistoke 24 V:n syöttöjännitettä varten
2. X2.1/X2.2: Ethernet-liitännät (RJ45)
3. X3: RS-232-liitännät
4. X4: RS-485-liitännät
5. X5: CAN-väyläliitäntä
6. X6: pistoke vaihtovirtalatausta varten
7. X7: pistoke relelähtöä, latauskontaktoria (AC-lataus) varten.
8. X8: pistoke tasavirtalatausta varten
9. X9: pistoke relelähtöä varten, lataus aktivoitu (tasavirtalataus).
10. Antennipistorasia
11. SIM-kortin pidike
12. SD-kortin pidike
13. X10: pistoke digitaalisia tuloja varten
14. X11: pistoke digitaalisia lähtöjä varten
15. Diagnostiikka- ja tilailmaisimet

3.2.2 DC-virtamoduuli

DC-virtamoduuli, eli tasavirtamoduuli, on elektroninen laite, jonka päätehtävänä on muuntaa vaihtovirta tasavirraksi. Tämä muunnos on välttämätöntä erityisesti sähköajoneuvojen latauksessa, sillä sähköverkot toimittavat vaihtovirtaa, kun taas ajoneuvon akut käyttävät tasavirtaa.

Virtamoduulin ulostulovirran ja -jännitteen on oltava säädettävissä, koska ladattavan kohteen akun jännite ei ole aina sama, ja lataustapahtuman aikana latausteho ei ole vakio.

Virtamoduuli saa lataussäätimeltä parametrit, joilla se ohjaa ulostulo virtaa sekä jännitettä. ’

Latausasemilla on usein monia virtamoduuleita. Esimerkiksi Phoenix toimittaa eri kokoluokan virtamoduuleita, joiden tehot vaihtelevat 20 kilowatista 87,5 kilowattiin. Kuvassa 12 on esitetty 30 kW:n versio. Moduuleita lisäämällä järjestelmän latausteho kasvaa, ja siten mahdollistetaan useamman ajoneuvon lataus korkealla latausteholla samanaikaisesti. (Phoenix Contact, n.d. -f)

Kuva 12. CHARX PS-M2/3AC/1000DC/30KW -virtamoduuli (Phoenix Contact, n.d. -f).



4 Lataustapahtuman tiedonsiirto

Tasavirtalatauksessa käskyn antajana on aina ajoneuvon akun BMS eli Battery management system. Tämä tarkoittaa sitä, että laturi tai sähköauton käyttäjä ei määritä latausvirtaa tai -jännitettä. Latausstandardit käyttävät eri protokollia laturin ja ajoneuvon välisessä tiedonsiirrossa. CHAdeMO- ja GB/T-latausstandardit käyttävät CAN-protokollaa, kun taas CCS käyttää PLC eli Power Line Communication -protokollaa korkean tason tiedonsiirtoon ja pulssinleveysmodulaatiota matalan tason tiedonsiirtoon.

4.1 CAN-väylä

Väylätekniikan kehitti Robert Bosch GmbH 1980-luvun puolivälissä ajoneuvojen kehittyneen elektroniikan vaatimuksiin. Alkujaan väylä kehitettiin reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon ajoneuvojen hajautetuissa ohjausjärjestelmissä, kuten moottorinohjaimessa ja ABS-jarruysikössä. Nykypäivänä CAN-väylään törmää ohjauksen ja anturitietojen välityksessä ajoneuvojen lisäksi, myös teollisuudessa. Väylän toimintavarmuuden vuoksi se on yleisesti käytetty myös lääketieteellisuuden ja terveydenhuollon laitteissa. (Juhala ym., 2005, s.131–136)

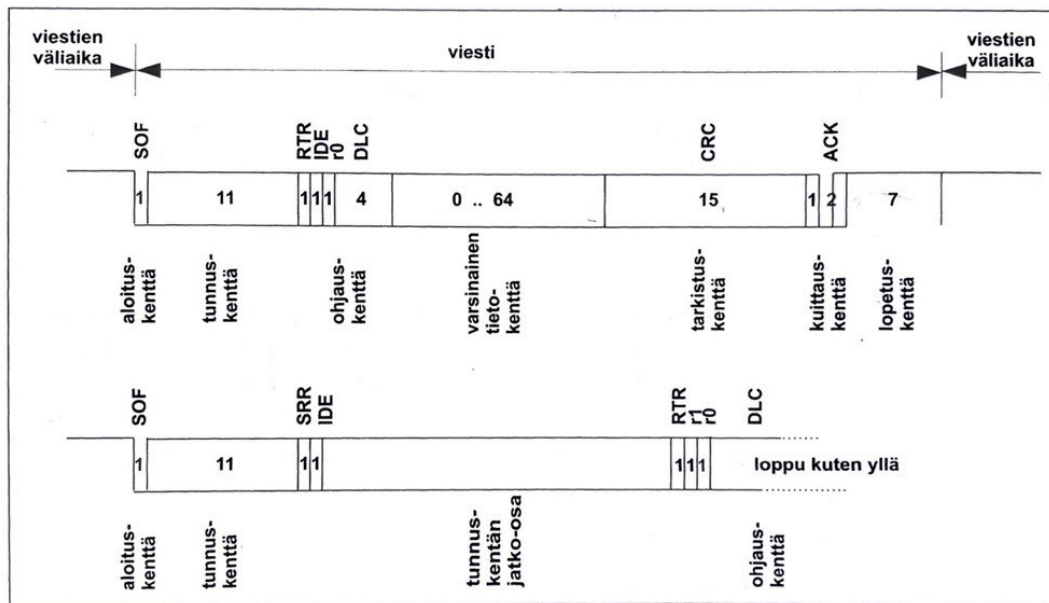
4.1.1 Siirtoyhteyskerros

Rakenteeltaan CAN-väylä on niin sanottu multimaster-väylä. Väylän jokaisella solmulla on yhtä suuret valtuudet lähettää viestinsä väylään. Lähetettyjä viestejä ei kohdisteta erikseen tietylle solmulle, vaan viestiin sisällytetyn tunnisteiden avulla väylällä olevat solmut päättävät itse, mitä tietoa ne tarvitsevat. Täten solmuissa ei ole sidottuja osoitteita, joka tarjoaa merkittävän edun, koska väylälle kyetään lisäämään uusia solmuja tai siitä pystytään poistamaan vanhoja solmuja ongelmitta. Jos moni solmu haluaa lähettää viestin samaan aikaan, prioriteetin perusteella valitaan se, kenen viesti siirtyy ensimmäisenä.

Viestikehys muodostuu kahdeksasta eri kentästä. Aloituskentän tehtävänä on vastaanottavien solmujen toiminnan synkronointi. Kentän pituus on yksi bitti. Seuraava kenttä on 11 bitin mittainen tunnuskenttä. Laajennetussa formaatissa mitta on 11+18 bittiä. Viestikehykset alkuperäisessä ja laajennetussa muodossa on esitelty kuvassa 13. Tunnuskentän jälkeen tulee ohjauskenttä. Kentässä ensimmäisenä on viestipyynnöbitti eli RTR. Viestien lähettäminen pyynnön perusteella onnistuu kyseisen bitin avulla. Viimeisenä on tunnisteiden laajennus bitti eli IDE. Ohjauskenttä muodostuu kuudesta bitistä, josta selviää

varsinaisen tietokentän mitta, joka voi olla 0–64 bittiä. Kyselyissä tai toimintojen tahdistamisessa käytetään usein tyhjää tietokenttää. Tarkistuskenttä sisältää tarkistustiedon, joka on pituudeltaan 15 bittiä. Kuittauskentässä vastaanottajat ilmoittavat saaneensa virheettömän viestin. Lopetuskentässä eli EOF:ssä välitetään virheilmoitus virheen sattuessa. (Juhala ym., 2005, s.131–136)

Kuva 13. Viestikehykset alkuperäisessä ja laajennetussa muodossa (Juhala ym., 2005).

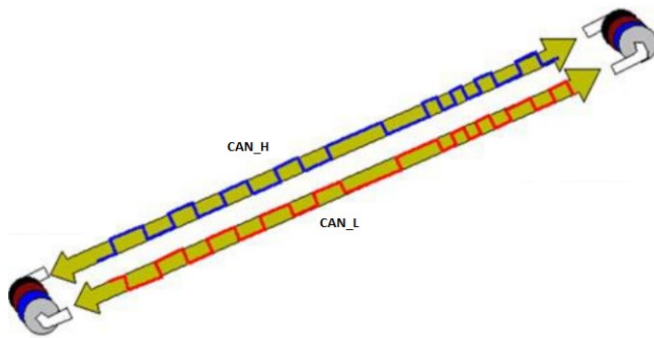


4.1.2 Fyysinen kerros

Fyysistä rakennetta käsitellään standardeissa hyvin suppeasti. Sitä ei esimerkiksi käsitellä alkuperäisessä Boschin spesifikaatiossa ja standardi ISO 11898 määrittää vain kaapeloinniksi parikaapelin. Standardissa ISO 11898 ei määritetä liitintyyppiä, mutta CiA eli CAN in Automation on vakioinut yhdeksän pinnisen d-sarjan liittimen CAN-liittimeksi. Ajoneuvopuolella D-liitintä ei kuitenkaan käytetä. Teollisuudessa M-tyyppin liittimet ovat suosittuja CAN-toimilaitteiden liitännöissä. Johdinvärejä ei ole standardisoitu, mutta yleisesti käytössä ovat sininen ja valkoinen tai keltainen ja vihreä.

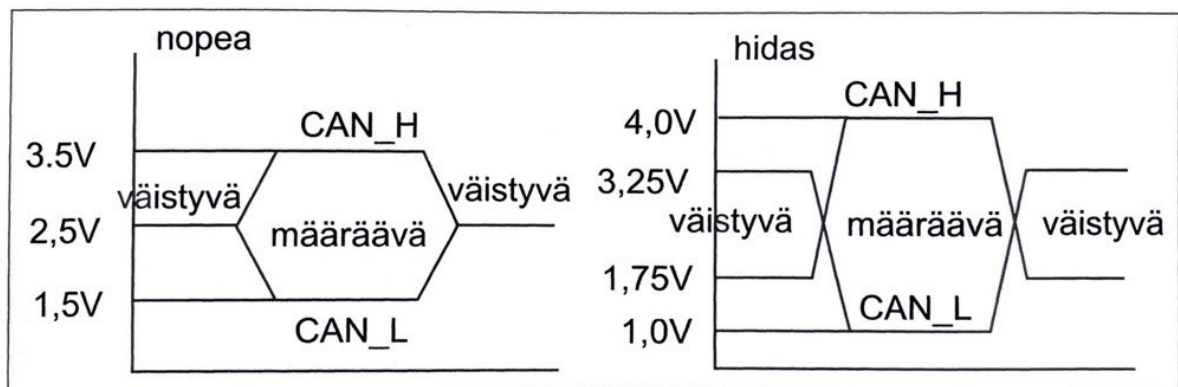
Tiedonsiirto väylällä perustuu kahden johtimen CAN_H:n ja CAN_L:n väliseen jännite-eroon, joka tekee CAN-väylästä erittäin toimintavarman. Jos väylän jännitteeseen vaikuttaa ulkopuolinen sähkömagneettinen säteily, johtimien välinen jännite-ero pysyy silti samana, jolloin tiedonsiirto ei häiriinny. Väylä päätetään aina vastuksella (Kuva 14), jottei lähetetyt signaalit palaa kaikuna häiritsemään tiedonsiirtoa. Vastus on tyypillisesti 120 Ω. (Juhala ym., 2005, s.131–136)

Kuva 14. CAN-väylän päätevastukset (TTS, n.d.).



CAN-väylän jännitetasot riippuvat tiedonsiirtonopeudesta. Nopeassa verkossa eli tiedonsiirtonopeuden ollessa 125 kbit/s – 1000 kbit/s molempien johtimien jännite väistävissä eli resistiivisessä tilassa on 2,5 V. Resistiivisessä tilassa jännite-ero on siis 0 V. Määräävässä tilassa CAN_H:n jännite on 3,5 V ja CAN_L:n jännite on 1,5 V, jolloin jännite-ero on 2 V. Hitaassa verkossa tiedonsiirtonopeus on 0–125 kbit/s. Siinä väistävissä tilassa CAN_H:n jännite on 1,75 V ja CAN_L:n jännite on 3,25 V. Määräävässä tilassa CAN_H:n 4 V ja CAN_L:n 1 V. Jännitteet on havainnollistettu kuvassa 15. (Juhala ym., 2005, s.131–136)

Kuva 15. Jännitetasot CAN-väylällä (Juhala ym., 2005, s.136).



4.2 Kommunikaatio lataussäätimen ja virtamoduulin välillä

CAN-väylää käytetään usein lataussäätimen ja tehomodulin välisessä tiedonsiirrossa. Phoenix Contactin valmistama CHARX PS-M2/3AC/1000DC/30KW -virtamoduuli käyttää laajennettua CAN 2.0B -protokollaa. Tiedonsiirtonopeus on 125 kbit/s ja väylätopologia on rajoitettu 30 laitteeseen. Tässä protokollassa lähetettävän viestin pituus on 8 tavua ja se koostuu tunniste- ja tietokentästä (Kuva 16). (Phoenix Contact, n.d. -f).

Kuva 16. Viestin rakenne (Phoenix Contact, n.d. -f).

Identifrier			Data	
29 bits	Byte 0	Byte 1	...	Byte 7
Identifrier	Data (8 bytes)			

Tunnistekentän sisältö:

- Bitit 0–7 kertoo lähdeosoitteen, pituus 8 bittiä
- Bitit 8–15 kertoo kohteen osoitteen, pituus 8 bittiä
- Bitit 16–21 kertoo komennon, pituus 6 bittiä
- Bitit 22–25 kertoo latteen numeron, pituus 4 bittiä
- Bitit 26–28 kertoo mahdollisen virhekoodin, pituus 3 bittiä

Esimerkiksi, jos tiedustelemme virtamoduuliin tulevan vaihtovirran vaihejännitteitä, lataussäädin lähettää kyselyn jännitteistä tehomodulille. Tällöin tunniste on heksaluvuin ilmoitettuna 02 86 01 F0 (Kuva 17). Data eli tietokenttä on tyhjä, koska kyseessä on kysely. Virtamoduulin vastaanotettua kyselyn, se lähettää jännitetiedon väylään. Tällöin viestin tunniste on 02 86 F0 01 (Kuva 17) ja data voisi olla esimerkiksi 0F B4 0F A5 0F A7 00 00. Kaksi ensimmäistä tavua kertovat vaiheiden L1-L2 välisen jännitteen, seuraavat kaksi kertovat vaiheiden L3-L2 välisen jännitteen ja seuraavat kaksi kertovat vaiheiden L3-L1 välisen jännitteen. Kaksi ensimmäistä tavua ovat 0F ja B4, ja kun yhdistämme nämä, saamme heksaluvun FB4, joka on desimaaleiksi muunnettuna 4020. Kerromme tämän 0,1, jolloin saamme selville, että vaiheiden L1 ja L2 välinen jännite on 402 V.

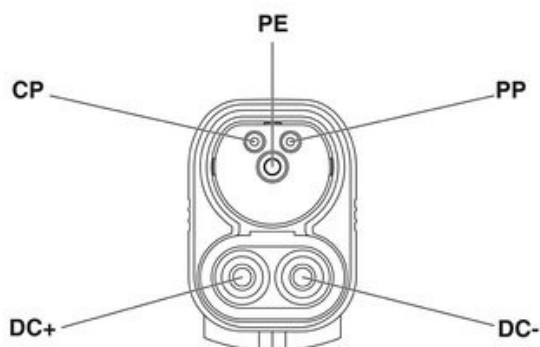
Kuva 17. CAN-viesti virtamoduulille (Phoenix Contact, n.d. -f).

Read AC/DC input voltage information								
Peer-to-peer:	Yes							
Multicast:	Yes, response from every power module in the group							
Broadcast:	No							
	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Request	0	0	0	0	0	0	0	0
Response	V_{L1_L2} / V_{IN} V _± high byte	V_{L1_L2} / V_{IN} V _± low byte	V_{L2_L3} high byte	V_{L2_L3} low byte	V_{L3_L1} high byte	V_{L3_L1} low byte	0	0
Note	Single phase is V _{IN} , unit is 0.1 V							
Example	Ctrl transmits: 02 86 01 F0		00 00 00 00 00 00 00		Read power module #1 information			
	Mdl responds: 02 86 F0 01		0F B4 0F A5 0F A7 00 00		Power module #1 L1_L2 402 VL2_L3 400.5 V L3_L1 400.7 V			

4.3 Kommunikaatio ajoneuvon ja latauspisteen välillä CCS-standardissa

Teholatausta käytettäessä ajoneuvon ja latausaseman välillä on aina tiedonsiirtoväylä, jolla kuormitusta voidaan ohjata. Lisäksi tämän avulla voidaan turvata latauspistokkeen turvallinen kytkeytyminen ajoneuvoon. Pikalatauspistokkeessa on aina oma liittimensä kommunikaatiota, kytkennän tunnistusta ja maadoitusta varten. Nämä liittimet on esitelty kuvassa 18.

Kuva 18. CHARX PT2C CCS Type 2 – DC-teholatauspistoke (Phoenix Contact, n.d. -c).



Pistokkeen kontaktit on tehty eri pituisiksi turvallisuuden takaamiseksi ja oikean kytkennän varmistamiseksi. Tämä tarkoittaa, että kun liität pistokkeen, kontaktit kytkeytyvät oikeassa järjestyksessä. Ensin kytkeytyy maadoitus, joka on tärkeä turvallisuustekijä. Sen jälkeen tulevat vaihe- ja nollakontaktit, jotka mahdollistavat sähkövirran siirtymisen. Lopuksi kytkeytyvät kontaktit, jotka liittyvät latauksen kommunikaatioon ja kytkennän tunnistukseen.

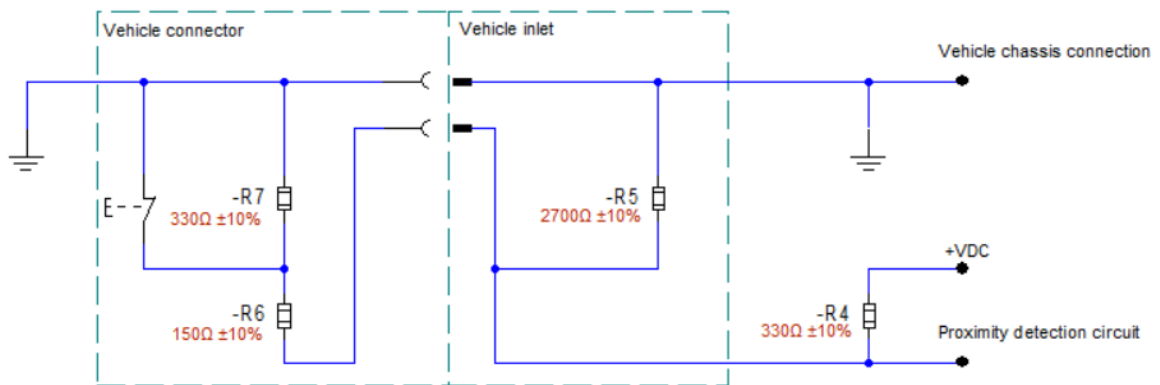
Tämä rakenne parantaa turvallisuutta, koska latauslaite ei anna jännitettä ennen kuin kaikki tarvittavat kontaktit ovat liitetty oikein. Tämä auttaa estämään sähköiskujen ja vaurioiden syntymisen latauksen aikana, koska jännite kytkeytyy vasta, kun kaikki yhteydet ovat turvallisesti paikallaan.

4.3.1 PP – Proximity Pilot

Proximity Pilot eli kytkennän tunnistus tarkistaa, että latausliitin on kytketty oikein ajoneuvon sisääntuloon. Jos yhteys ei ole muodostunut, Proximity Pilot havaitsee sen, jolloin latausprosessia ei lähdetä suorittamaan. Tämän avulla myös ajoneuvo on tietoinen siitä, että latauskaapeli on kiinni, jotta pystytään estämään ajoneuvon liikkeelle lähtö prosessin aikana.

Kytkenän tunnistuksen piiri (Kuva 19) on yksinkertainen ja toimii seuraavasti: Ajoneuvo tuottaa 5 voltin jännitteen, ja tämä jännite maadoitetaan latauspistokkeen maakontaktin kautta. Kun pistoke liitetään, ajoneuvo havaitsee jännitteen aleneman, mikä on merkki siitä, että latauspistoke on kytketty ja lataus voi alkaa. (SFS-EN IEC 61851-1:2019, s. 82–85)

Kuva 19. Proximity Pilot -piiri.



Vaihtosähkölatauksessa Proximity Pilotin kautta määritetään myös latauskaapelin maksimilatausvirta. Latauskaapelin PP- ja PE-kontaktien väliin on sijoitettu vastus. Tämä vastus toimii indikaattorina ja määrittää, mikä on kaapelin suurin sallittu latausvirta (Kuva 20). Vastuksien koko rajautuu välille 100–1500 Ω. (SFS-EN IEC 61851-1:2019, s. 82–85)

Kuva 20. Viestin rakenne.

Vastus	Latauskaapelin maksimi virta
100 Ω	70A/1~ tai 63A 3~
220 Ω	32A
680 Ω	20A
1500 Ω	13A

4.3.2 CP – Control Pilot

CP eli Control Pilot vastaa kommunikaatiosta auton ja latauslaitteen välillä. CP varmistaa, että latausprosessi sujuu turvallisesti ja tehokkaasti. CCS-standardissa tiedonsiirto jakautuu matalan ja korkean tason tiedonsiirtoon.

Matalan tason tiedonsiirtoa käytetään CCS-standardissa Control Pilot -toimintojen käyttöönottoon. Ladatessa lataustavalla 3, Control Pilot -toiminto määrittää, millä maksimivirralla sähköajoneuvoa voidaan ladata latausasemasta. Kun siirrytään pikalataukseen eli lataustapaan 4, Control Pilot välittää tiedon pikalatauksen käytöstä ja lataustapahtuman tilasta. Tämän jälkeen itse tiedonsiirto latausparametreihin toteutetaan korkean tason kommunikaationa.

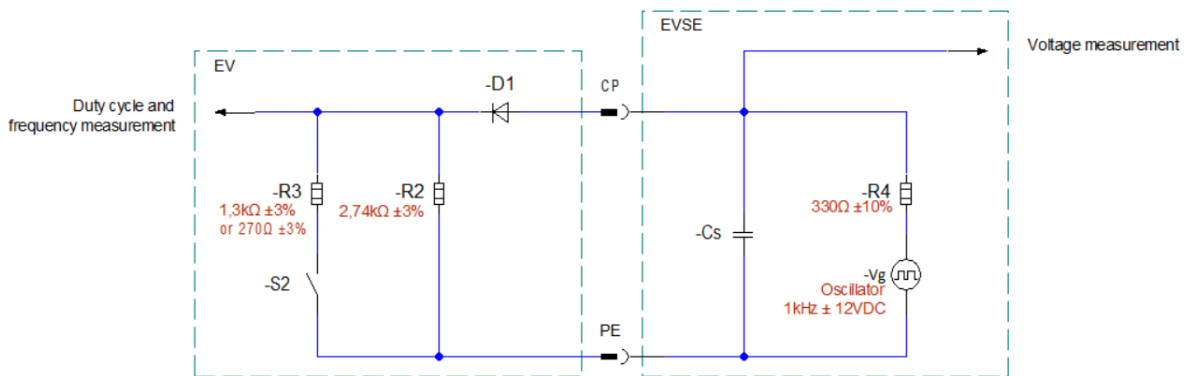
Control Pilot -piirissä (Kuva 21) tiedonsiirto tapahtuu pulssinleveysmodulaation (PWM) avulla. Pikalatauksen aikana pulssin leveys on 3–7 %, ja tämä ilmaisee pikalatauksen käytön. AC-latauksessa pulssinleveys on 8–97 % ja se määrittää latausvirran suuruuden (6–80 A). (SFS-EN IEC 61851-1:2019, s. 71)

Korkean tason tiedonsiirtoon kuuluu useita keskeisiä tietoja, jotka ovat olennaisia latausaseman ja sähköajoneuvon välisessä kommunikaatiossa. Näitä tietoja ovat muun muassa ajoneuvon pyytämät latausvirran ja -jännitteen suuruus, latausaseman määrittelemät maksimilatausjännite ja -virta, käytettävän tiedonsiirtoprotokollan vahvistus sekä erilaiset parametrit, kuten korkein ajoneuvon hyväksymä latausjännite ja -virta.

Tiedonsiirrossa huomioidaan myös turvallisuustekijät, kuten eristysvastusmittauksen testitulokset, latausta ennen oikosulun varalta suoritettujen testien tulokset sekä kontaktorien hitsautumista estävän toiminnon tiedonvaihto. Lisäksi välitetään tietoa siitä, mikäli käyttäjä on pysäyttänyt latauksen, latausaseman tarjoama reaaliaikainen latausvirta, digitaalisen kommunikaation keskeytyminen ja tiedot latauksen päättymisestä, joka perustuu latausvirran mittaukseen.

Control Pilotin kautta varmistetaan myös lataustapahtuman maadoitus, sillä CP- ja PE-johtimet muodostavat suljetun virtapiirin laturin ollessa kytkettynä ajoneuvoon. Johtimet yhdistetään ajoneuvon puolella kahdella rinnan kytketyllä vastuksella, joista toinen voidaan erottaa piiristä koskettimella. Piirin resistanssi voi näin vaihdella, joka vaikuttaa jännitteeseen. Piirin jännitteen avulla määritetään lataustapahtuman tila.

Kuva 21. Control Pilot -piiri.



Kun ajoneuvoa ei ole kytketty laturiin, CP:n ja PE:n välinen jännite on 12V. Jännite putoaa 9 volttiin, kun laturi kytketään ajoneuvoon, sillä 2,74 kΩ vastus R2 laskee jännitettä.

EV sulkee S2 koskettimen, kun tiedonsiirtoyhteys on varmistettu ja aloitusvaihe on valmis. Tässä vaiheessa muodostuva jännite riippuu R3-vastuksen arvosta. Tämän vastuksen arvo määrittää, tarvitaanko tällä latausalueella ilmanvaihtoa vai ei. Latausalueilla, joissa ilmanvaihtoa ei tarvita, R3:n resistanssi on 1,3 kΩ, jolloin CP:n ja PE:n välinen jännite on 6V. Ilmanvaihtoa vaativissa tiloissa vastusarvo on 270 Ω, jolloin jännite on noin 3 V. Latausvaiheessa 7 ajoneuvo avaa koskettimen S2, jolloin piirin jännite nousee takaisin 9 volttiin ja laturi tietää tällöin, että lataustapahtuma on päättynyt.

Taulukko 2. Latauksen vaiheet CCS-standardissa (SFS-EN IEC 61851-1:2019, s. 62–70).

Vaihe	Tilan muutos ja toimet
1. Ajoneuvoa ei ole kytketty	CP = 12 V DC Latausasema suorittaa tarvittaessa eristyksen valvonnan syklisesti.
2. Kytke ajoneuvo	Ajoneuvon latausliitin kytketty ajoneuvoon, CP kytkeytyy 9 V DC:ksi
3. Aloitus	PWM kytkeytyy päälle 5 %:n pulssityökertoimella.
	Ajoneuvon ja latausaseman välinen digitaalinen tiedonsiirto luodaan.
	Latausparametrien vaihto ajoneuvon ja latausaseman välillä.
	Lähtöjännitteen tarkistaminen DC+ ja DC- välillä <60 V.
	Ajoneuvo lähettää latausvirran ja -jännitteen enimmäisraja-arvot latausasemalle.
4. Kaapelitesti	Ajoneuvo lukitsee ajoneuvon latausliittimen ajoneuvon latausliitintään.
	Latausasema ilmoittaa latausvirran ja latausjännitteen enimmäisarvot takaisin ajoneuvoon
	Ajoneuvo varmistaa, että ajoneuvon latausliitin on lukittu. Ajoneuvo pyytää kaapelitestiä Latausasema testaa kaapelin ja ilmoittaa eristyksestä ajoneuvolle.

	Kaapelin/eristyksen testaus suoritettu
	Ajoneuvo ja latausasema valmiina lataukseen
5. Esilataus	Ajoneuvo lähettää latausasemalle esilatauspyynnön, jossa on <2 A ja esilatausprosessin käynnistämiseen tarvittava jännite.
	Latausasema säättää jännitteen ajoneuvon vaatimaan arvoon ja rajoittaa latausvirran enintään 2 A:iin.
	Vaadittu jännite saavutettu
	Ajoneuvo sulkee tasavirtakontaktorit, jos jännite-ero <20 V.
	Ajoneuvo antaa latausluvan (ajoneuvo siirtyy latausvalmiustilaan).
	Esilatauspiiri on estetty ja tasavirtalähde kytketty.
	Latausasema lähettää latausvalmiussignaalin ajoneuville.
6. Lataus	Ajoneuvo lähettää jatkuvasti tarvittavan jännitteen latausasemalle.
	Latausasema säättää jännitteen jatkuvasti ajoneuvon vaatimaan arvoon.
	Latausasema ilmoittaa jatkuvasti todellisen latausvirran ja todellisen latauksen. jännitteen sekä todelliset enimmäisraja-arvot ajoneuville.
	Latausasema säättää latausvirran ajoneuvon eritelmien mukaisesti.
7. Kytke pois päältä	Ajoneuvo vähentää latausvirtaa akun hallintajärjestelmän (BMS) mukaisesti.
	Latausasema vähentää latausvirtaa niin, että latausvirta on <1 A.
	Ajoneuvo peruuttaa latauksen aktivoinnin (ajoneuvo ei ole enää latausvalmiustilassa).
	Ajoneuvo avaa tasavirtakoskettimet, jos latausvirta on <1 A.
	Latausasema purkaa DC-välipiirin.
	Latausasema siirtyy tilaan "EVSE_NotReady".
	Ajoneuvo avaa ajoneuvon latausliittimen lukituksen ajoneuvon lataussisäänmenossa, jos jännite DC+ ja DC- välillä <60 V
	Ajoneuvo lopettaa digitaalisen viestinnän latausaseman kanssa.
Kolmen tai viiden sekunnin kuluttua digitaalisen viestinnän lopettamisesta latausasema kytkee PWM:n pois päältä.	
8. Irrota ajoneuvo latausasemasta	Ajoneuvon latausliitin irrotettu ajoneuvosta.

4.4 Kommunikaatio ajoneuvon ja latauspisteen välillä GB/T-standardissa

Laturin ja BMS:n välinen tietoliikenneverkko käyttää CAN 2.0B -viestintäprotokollaa. Laturin ja BMS:n välinen CAN-viestintäverkko koostuu vain näistä kahdesta solmusta. Tiedonsiirtonopeus voi olla maksimissaan 250 kbit/s.

Latauksen aikana laturi ja BMS valvovat jännitettä, virtaa ja lämpötilaa. Ajoneuvon akunhallintajärjestelmä eli BMS hallinnoi koko latausprosessia. Latausviestintään kuuluu ensisijaisesti se, että sekä akunhallintajärjestelmä että laturi sopivat ajoneuvon tehontarpeesta ja latauksen aikana käytettävistä ampeereista ja jännitteistä sekä

latausprosessin valvonnasta. (Vector, n.d. -b) GB/T-27930-protokollan avulla viestintä jaetaan latausprosessin aikana vaiheisiin, jotka ovat esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Latauksen vaiheet GB/T-standardissa (Vector, n.d. -b).

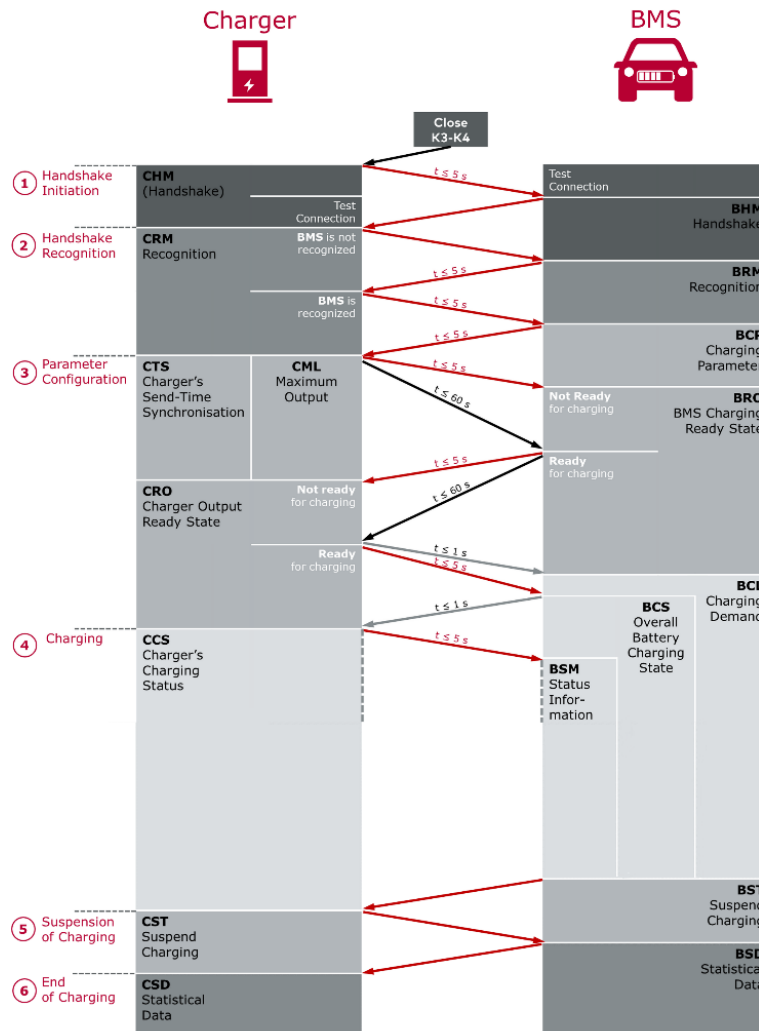
Vaihe	Tilan muutos ja toimet
1. Kättelyn aloitus	Viestinnän ensimmäinen vaihe käynnistyy, kun laturi ja ajoneuvo on yhdistetty latauskaapelilla. Latausprosessi ei ole vielä alkanut tässä vaiheessa, eli virta ei kulje. Yhteys tarkistetaan, ja ajoneuvo ilmoittaa laturille suurimman sallitun latausjännitteen.
2. Kättelyn tunnistaminen	Kädenpuristustunnistusvaiheessa laturin yhteyden tarkastus saatetaan päätökseen ja vaihdetaan yleisiä tietoja, kuten protokollaversio ja ajoneuvon tiedot (akkutyypin, ajoneuvon tunnistenumero jne.).
3. Parametrien konfigurointi	Parametrien konfigurointivaiheessa neuvotellaan latausprosessin parametreit. Ajoneuvo ilmoittaa laturille sallitun virran ja jännitteen. Laturi ilmoittaa ajoneuvolle käytettävissä olevan virran ja latausjännitteen.
4. Lataus	Jos laturi voi täyttää ajoneuvon vaatimukset, latausprosessi käynnistetään latausvaiheessa ja akku ladataan. Latausprosessin aikana ajoneuvo ilmoittaa laturille säännöllisin väliajoin akun senhetkisen varaustilan.
5. Latauksen keskeyttäminen	Latauksen keskeytysvaiheessa kumpikin osapuoli voi lopettaa latausprosessin. Syitä tähän voivat olla esimerkiksi akun täyteen latautuminen tai latausprosessin aikana ilmenevä vika.
6. Latauksen lopettaminen	Latausvaiheen päättymisvaiheessa latausprosessi lopetetaan ja laturi lakkaa antamasta virtaa.

Laturi aloittaa lähettämällä CHM-viestin eli Charger Handshake Messagen. Kun ajoneuvo on vastaanottanut viestin ja tarkistanut yhteyden, se lähettää BHM:n eli BMS handshake messagen. Heti kun laturi on vastaanottanut BHM-viestin, se aloittaa omalta osaltaan vastaavan toimenpiteen, ja tarkistaa ajoneuvon ja laturin yhteensopivuuden. Kun tehtävä on suoritettu, se aloittaa uuden viestin lähettämisen. Vaiheessa 4 eli varsinaisessa latausprosessissa, viestintä on huomattavasti selkeämpää, koska tilasiirtymiä ei enää tapahdu.

Kun yhteensopivuus on varmistettu, ajoneuvo käynnistää latausprosessin. Ajoneuvo lähettää vaatimukset laturille BCL-viestillä (Battery Charging Demand), sekä ilmoittaa laturille oman tilansa BCS- ja BSM-viesteillä. Näistä viesteistä selviää akun latauksen kokonaistila ja akun varaustilan tiedot. On myös kolme valinnaista sanomaa, joilla ajoneuvo voi antaa laturille lisätietoja sisäisestä tilastaan latauksen aikana: yksittäisen akun jännite (BMV), akun lämpötila (BMT) ja akku ladattu täyteen (BSP). Laturi puolestaan lähettää CCS-sanoman ja ilmoittaa ajoneuvolle sen tilasta, syötettävästä virrasta ja maksimijännitteestä, joka voidaan tuottaa.

Latausprosessi jatkuu, kunnes joko akunhallintajärjestelmä tai laturi ilmoittaa latauksen päättymisestä. Tämä tapahtuu joko silloin, kun akku on ladattu täyteen, määritelty latauksen kesto on saavutettu tai ulkopuolinen taho keskeyttää latauksen. (Vector, n.d. -b).

Kuva 22. Tiedonsiirto GP/T-standardissa (Vector, n.d. -b).



5 Sähkön tuottaminen mobiililatausasemaan

Kun sähköautosta loppuu akku keskellä moottoritietä, on harvoin sähköverkosta saatavaa sähköä tarjolla. Tällöin vaihtoehdoksi jää siirtää hinausautolla ajoneuvo lähimmälle laturille, joka voi olla kymmenien tai satojen kilometrien päässä. Toinen vaihtoehto on tuottaa sähkö ajoneuvon laturille paikan päällä, joko aggregaatilla tai hydrauligeneraattorilla.

Kun tarkastelee dieselgeneraattoreita ja hydrauligeneraattoreita rinnakkain, niiden välillä on merkittävä kokoero (Kuva 23). Dieselgeneraattorit ovat selvästi suurempia kuin hydrauligeneraattorit, mikä tekee hydrauligeneraattorin käytöstä kätevämpää liikkuvissa ja logistisissa sovelluksissa. Hydrauligeneraattori mahtuu helposti ajoneuvon tai koneen sisään, mikä tarkoittaa, ettei se ole koskaan tiellä toiminnan aikana.

Hydrauligeneraattorit voivat olla jopa 95 % pienempiä kuin dieselgeneraattorit samalla teholla. Tämä kompaktius tuo mukanaan aikasäästöä, koska ylimääräistä perävaunua ei tarvita kuljetukseen.

Kuva 23. Hydrauli- ja dieselgeneraattorin kokoero (Dynaset, n.d.).



5.1 Hydrauligeneraattori

Hydrauligeneraattori hyödyntää työkoneen, ajoneuvon tai aluksen omaa hydraulijärjestelmää voimanlähteenään. Sen tarkoitus on muuntaa hydraulioöljyn virtaus ja paine sähköiseksi energiaksi. Samalla kun hydraulioöljy välittää tehon generaattorille, se palaa paluulinjaa pitkin takaisin laitteen hydraulioöljysäiliöön. Tällainen järjestelmä mahdollistaa hydraulisen energian tehokkaan muuntamisen sähköenergiaksi ja samalla säilyttää hydraulijärjestelmän toiminnan.

Hydraulimoottorin akseliin kiinnitettyssä roottorissa on magnetointikäämi. Sähköenergia otetaan staattorin käämeistä. Jännitteensäätöjärjestelmän apukäämi niin ikään on sijoitettu staattoriin. Generaattorin teho voi vaihdella 1000 VA:sta aina 350 kVA:han, käyttötarkoituksen mukaan.

5.1.1 Automaattinen jännitteensäädin

Automaattisen jännitteensäätimen eli AVR:n tarkoituksena on säätää generaattorin roottorin magnetointitehoa siten, että tuotettava jännite pysyy stabiilina sähkökuormituksen vaihdellessa. Jännitteensäätimen toiminta on riippuvainen roottorin pyörintänopeudesta siten, että nimellisjännite saavutetaan nimellistaajuudella. Tämä ei kuitenkaan koske elektronista jännitteensäädintä.

5.1.2 Yksivaiheiset generaattorit

Yksivaiheisissa generaattoreissa jännitteen säädöstä pitää huolen kondensaattoriipiiri, joka on kytketty apukäämiin. Kondensaattoriipiiri pitää jännitteen stabiilina +/- 6 % tarkkuudella koko kuormitusalueella. Piiri pystyy reagoimaan kuormanvaihteluun alle 0,1 sekunnissa. (Dynaset, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

5.1.3 Kolmivaiheiset generaattorit

Kolmivaiheisissa generaattoreissa on usein käytössä, joko compound- tai elektroninen jännitteensäädin. Compound-säädin kytketään myös apukäämiin ja se pitää jännitteen stabiilina ± 5 % tarkkuudella läpi koko kuormitusalueen. Säätäminen Compound-säätimessä tapahtuu jokaisen vaiheen kuormituksen mukaan eri käämillä. Jokainen vaihe on maksimivirtaan asti vapaasti kuormitettavissa.

Elektroninen jännitteensäädin on kaikista tarkin, sillä se pitää jännitteen vakiona ± 3 % tarkkuudella. Kytkeminen tapahtuu staattorin ja erillisen magnetointigeneraattorin käämeihin. Toiminta perustuu siihen, että elektroninen jännitteensäädin vertailee ulostulojännitteen arvoa asetusarvoon ja säätää kuormituksen mukaan magnetointivirtaa. Compound- ja elektronisen jännitteensäätimen reagointinopeus on alle 0,1 sekuntia. (Dynaset, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

5.1.4 Hydraulimoottori

Hydraulimoottorit ovat laitteita, jotka tuottavat pyörivää liikettä hydraulipaineen ja -virtauksen avulla. Vääntömoottoreiksi kutsuttujen moottorityyppien ominaispiirre on, että ne eivät välttämättä rajoitu pyörimään yksinomaan yhteen suuntaan. Rakenteellisesti hydraulimoottorit muistuttavat paljon pumppuja, ja osa niistä voi toimia sekä pumppuina että moottoreina.

Moottorit jaetaan kolmeen pääluokkaan niiden käyntinopeuden perusteella:

- Hidaskäyntiset hydraulimoottorit (0–500 r/min)
- Keskinopeusalueen hydraulimoottorit (500–2500 r/min)
- Nopeakäyntiset hydraulimoottorit (2500 r/min ja sitä enemmän)

Mitoittaminen tapahtuu usein tarvittavan vääntömomentin perusteella, ja tämä saadaan laskettua kaavalla:

$$M = \frac{V_k \cdot \Delta p}{2\pi \cdot \eta_{mh}}$$

Kaavassa M kuvaa tarvittua vääntömomenttia, V_k moottorin kierrostilavuutta, Δp paine-eroa moottorin yli ja η_{mh} hydromekaanista hyötysuhdetta.

Hydraulijärjestelmässä ei tapahdu mitään, ellei synny tilavuusvirtaa. Tilavuusvirta määrittelee esimerkiksi hydraulimoottorin, -pumpun tai -sylinterin nopeuden. Mitä suurempi tilavuusvirta on, sitä nopeammin moottoriakseli pyörii tai sitä nopeammin sylinteri suorittaa iskunsa. Sylinterillä oleva kuorma tai akselilla oleva momentti määrittää järjestelmässä silloin tarvittavan paineen. Tilavuusvirta saadaan laskettu seuraavasti:

$$Q = \frac{V_k \cdot n}{\eta_{vol}}$$

Kaavassa n kuvaa vaadittua pyörimisnopeus ja η_{vol} volumetristä hyötysuhdetta.

Kuormitettaessa moottoria sen yli vaikuttava paine-ero kasvaa. Tämän suuruuteen vaikuttavat moottoria kuormittava vääntömomentti M , kierrosluvu V_k ja hydromekaaninen hyötysuhde η_{hm} . Paine-ero Δp voidaan siis ratkaista kaavalla:

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \pi \cdot M}{V_k \cdot \eta_{hm}}$$

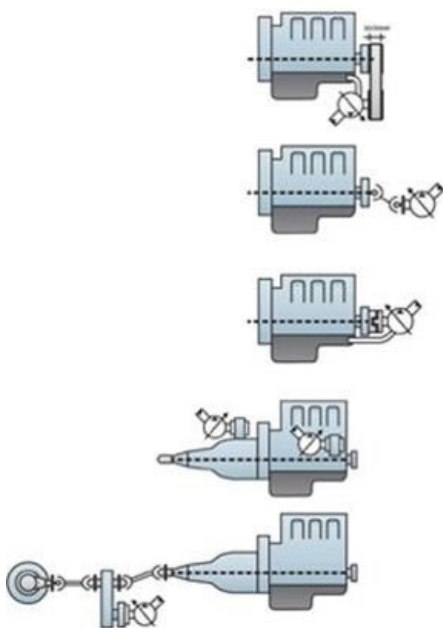
(Paavilainen, 2009, s. 75)

5.2 Voimanulosotto

PTO eli Power Take Out on menetelmä, jolla otetaan moottorista tehoa ulkopuoliselle toiminnalle. Voimanotto tarkoittaa voiman ottamista ulos tehonlähteestä, kuten traktorin, kuorma-auton tai veneen moottorista. Voimanottoon voi liittää erilaisia lisälaitteita, jotka voivat olla käytössä joko ajon aikana tai paikallaan ollessa, riippuen ulosotontyypistä.

Hihna-, moottori- ja vauhtipyöräkäyttöinen voimanotto on käytössä erityisesti silloin, kun tarvitaan suuria tehoja. Kampiakselin hammaspyörien avulla voima välitetään suoraan toimilaitteelle. Voimanottoa voidaan käyttää myös ajon aikana, jolla mahdollistetaan esimerkiksi kylmälaitteiden käytön kylmäautoissa tai sähkön tuottamisen kuljetuksen aikana. Erilaiset voimanotot on esitetty kuvassa 24.

Kuva 24. Erilaiset voimanotot (Dynaset, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.).



Vaihteisto- ja vetoakselikäyttöistä voimanottoa käytetään tilanteissa, joissa toimilaitteiden käyttö paikallaan ollessa on tarpeen. Tämä mahdollistaa esimerkiksi putkenpesuvarusteiden tai muiden huoltoautotoimintojen käytön.

Voimanotto voidaan asentaa lähes jokaiseen koneeseen, ja sen teho vaihtelee moottorin ja vaihteiston mukaan. Voimanoton kiinnityslaippa noudattaa erilaisia standardeja riippuen käyttökohteesta, kuten ISO 500-3 maatalouskoneissa ja ISO 7653 kuorma-autoissa.

Mekaaninen teho voidaan laskea kulmanopeuden ja vääntömomentin avulla:

$$P = M \cdot \omega$$

Kaavassa M kuvaa vääntömomenttia ja ω kulmanopeutta. Koska PTO:n teho P annetaan yleensä kilowatteina ja pyörintänopeus n kierroslukuna, täytyy rad/s muuttaa rpm:ksi (revolutions per minute):

$$1 \text{ rpm} = \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s}$$

, joten teho saadaan kaavasta:

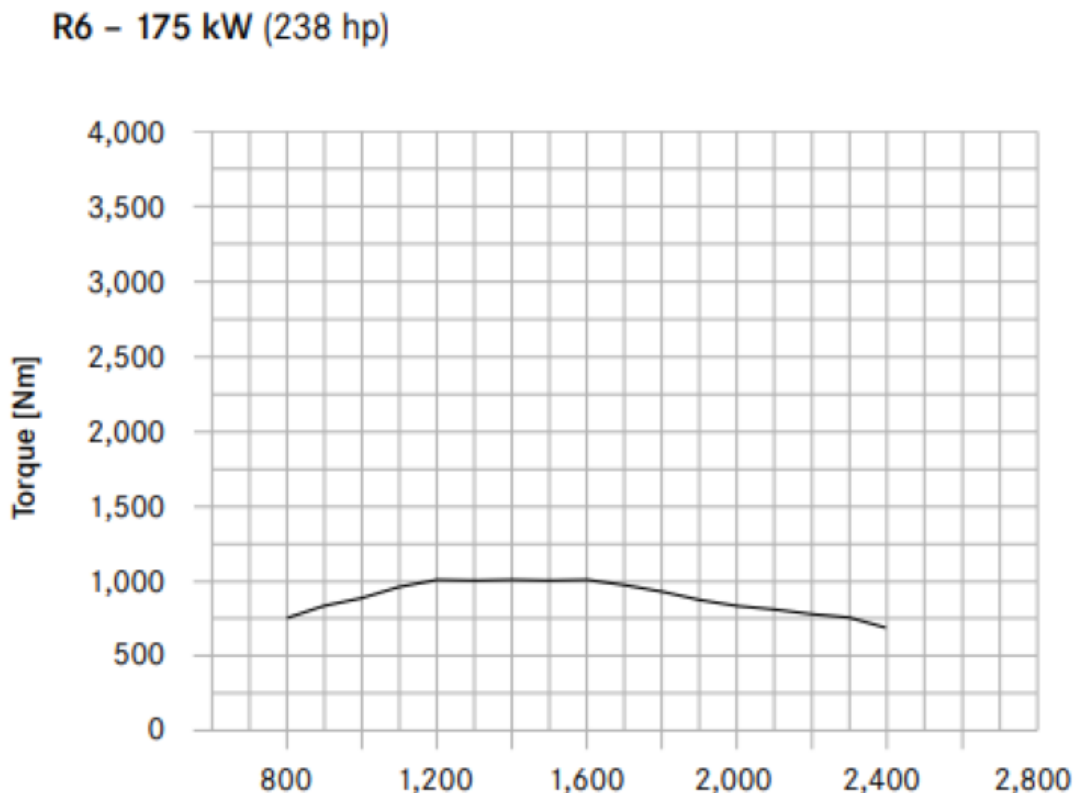
$$P = M \cdot \left(n \cdot \frac{2\pi}{60} \right)$$

Voimanoton ja pumpun mitoituksessa on tärkeää huomioida moottorin vääntökäyrä. Vääntökäyrästä voidaan katsoa, millä kierrosalueella on paras väännöntuotto (Kuva 25). Kierrosnopeudella on olennainen vaikutus pumpun mitoitukseen, sillä tilavuusvirta Q_{teor} saadaan kertomalla pumpun pyörimisnopeus n kierrostilavuudella V_k :

$$Q_{teor} = n \cdot V_k$$

(Dynaset, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

Kuva 25. Vääntökäyrä Mercedes OM936 (Mercedes-Benz, n.d.).



5.3 Hydraulijärjestelmät

Hydraulijärjestelmät voidaan rakenteensa puolesta jakaa kahteen pääryhmään, joko avoimiin- tai suljettuihin järjestelmiin. On myös olemassa puoliavoimia järjestelmiä, jotka ovat yhdistelmiä pääryhmän järjestelmistä.

Järjestelmissä hydraulitehoa merkitään isolla P kirjaimella, joka voidaan laskea paine-eron ja tilavuusvirran avulla:

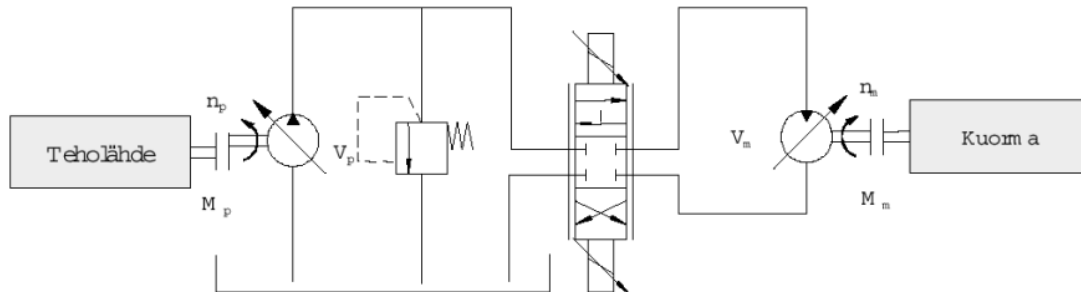
$$P = Q \cdot \Delta p$$

5.3.1 Avoin hydraulijärjestelmä

Avoimessa hydraulijärjestelmässä (Kuva 26), kun toimilaitetta ei käytetä, öljy virtaa vapaasti ohjausventtiilien avoimen keskilinjan läpi takaisin säiliöön. Säättötilavuuspumppu säättää öljynpaineen ja virtauksen pumpun käytön mukaan. Pumppu on yksisuuntainen ja suunnan

vaihdot toteutetaan venttiileillä. Avoin järjestelmä on usein edullisempi ja yksinkertaisempi toteuttaa verrattuna suljettuun järjestelmään. (Metropolia, n.d.)

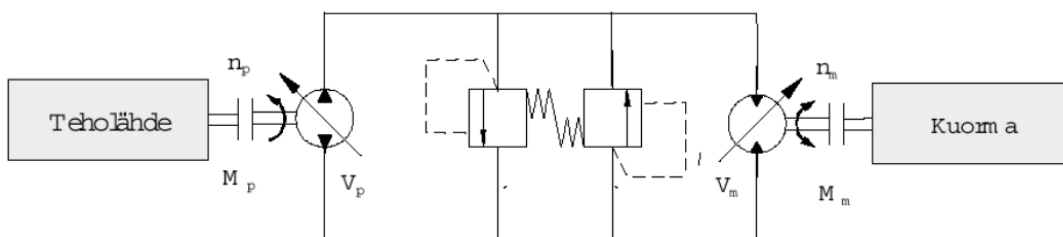
Kuva 26. Avoin hydraulijärjestelmä (Metropolia, n.d.).



5.3.2 Suljettu hydraulijärjestelmä

Suljetussa hydraulijärjestelmässä (Kuva 27) toimilaitteelta palaavaa öljyä ei johdeta säiliöön, vaan se johdetaan takaisin pumpun imupuolelle. Vuotojen kompensointiin ja jäähdytystä varten järjestelmä tarvitsee kuitenkin oman säiliön ja syöttöpumpun. Järjestelmässä käytetään useimmiten kaksisuuntaista säätötilavuuspumppua, jolloin pumppauksen sunnalla voidaan toteuttaa sunnan vaihdot. Toimilaitteen liikenopeutta voidaan säätää muuttamalla pumpun kierrostilavuutta. Säätötilavuuspumppu säätää öljynpaineen ja virtauksen pumpun kuorman mukaan. (Metropolia, n.d.)

Kuva 27. Suljettu hydraulijärjestelmä (Metropolia, n.d.).



6 CHARX-virtamoduulin ohjaus logiikalla

Yhtenä opinnäytetyöprojektin tavoitteena oli suunnitella virtalähde Dynasetin tuotekehitysosaston käyttöön. Virtalähdettä tullaan käyttämään eri kokoisten tasavirtasähkömoottoreiden kanssa, joten tämä antoi tietyt kriteerit virtamoduulin valintaan.

6.1 Järjestelmän pääkomponentit

Virtamoduuliksi valikoitui Phoenix Contactin CHARX PS-M2/3AC/1000DC/30KW - virtamoduuli. Virtamoduuli on suunniteltu alun perin sähköajoneuvojen latausasemiin, joten tämä toi oivan mahdollisuuden tutustua konkreettisesti lataussäätimen virtamoduulin väliseen tiedonsiirtoon.

Virtamoduulia ohjaa normaalisti lataussäädin. Näiden väliseen tiedonsiirtoon käytetään CAN-protokollaa, joten se avasi mahdollisuuden toteuttaa ohjaus ohjelmoitavalla logiikalla eli PLC:llä. Logiikaksi valikoitui IFM:n CR0403, joka on liikkuviin työkoneisiin suunniteltu ohjausjärjestelmä. Siinä on 12 tuloa ja 12 lähtöä. Lisäksi virtalähteelle haluttiin näyttö, josta jännite- ja virtaparametrit voidaan määrittää ja lukea. Tämäkin löytyi CR-tuoteperheestä ja on tarkalta malliltaan CR0451. Näytön ja logiikan välinen tiedonsiirto hoidetaan myös CAN-protokollaa hyödyntäen. Näin ollen virtalähteen CAN-väylään kuuluu kolme solmua. Logiikan ja näytön ohjelmointi tapahtuu Codesys V2.3 -ohjelmalla, mutta molemmille on omat ohjelmansa. Virtamoduuli ja oheislaitteet sijoitettiin 19” rakkikaappiin, joka on esitetty kuvassa 29.

Kuva 28. Virtalähde.



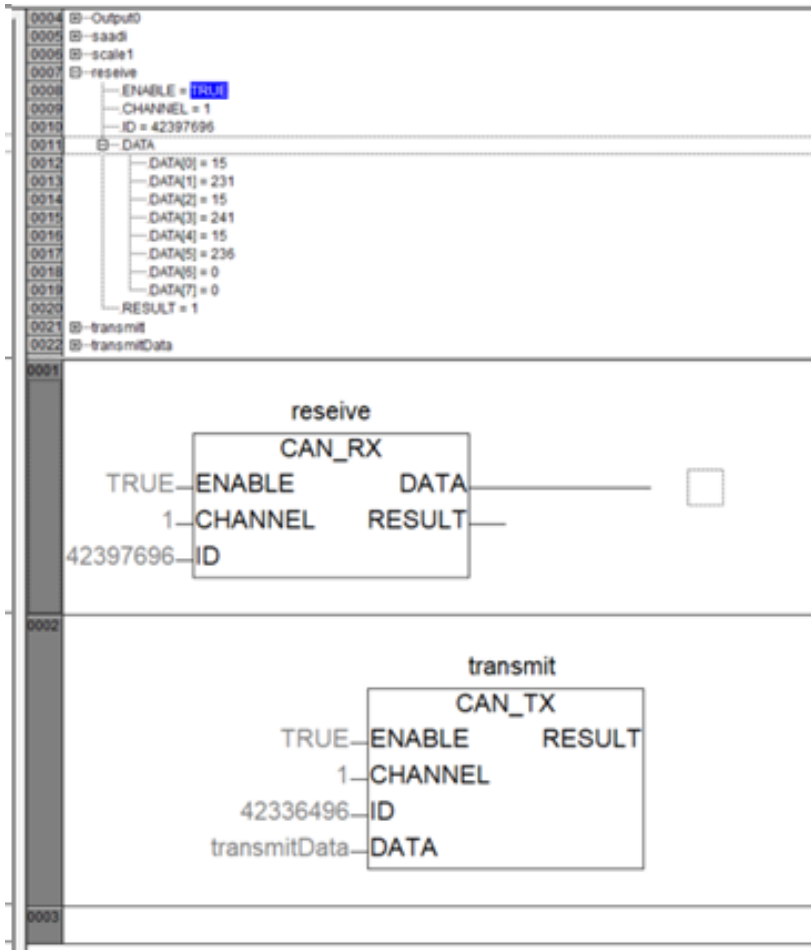
6.2 Ohjelmointi

Kun tarvittavat kytkennät oli saatu tehtyä ja parametrit asetettua PLC:lle, ohjelmointi aloitettiin siitä näkökulmasta, että saamme varmistuksen väylän toiminnasta. Tähän helpoin lähestymistapa oli kysyä syöttöjännitettä virtamoduulilta ja tämän jälkeen lukea viesti väylältä logiikalla. Tämä siksi, koska siihen riittää yksi viesti ja vastaanotettavan viestin paikkaansa pitävyys oli helppo todentaa yleismittarilla.

Viestin lähetykseen käytettiin CAN_TX-toimilohkoa. Siinä on neljä sisääntuloa ja yksi ulostulo. ENABLE-sisääntulosta määritetään, onko toimilohko aktiivisena vai ei. Viesti lähetetään joka ohjelmankierrolla, jos toimilohko on koko ajan aktiivisena, kuten kuvassa 28. CHANNEL-sisääntulossa määritetään, lähetetäänkö viesti logiikan ykkös- vai kakkoskanavalle. ID- ja DATA-sisääntuloissa määritetään varsinainen lähetettävä viesti eli tunniste ja tiedot. Toimilohkon ulostulo kertoo viestin lähettämisen onnistumisesta tai virheestä.

CAN_RX-toimilohkon avulla virtalähteen lähettämä viesti luetaan väylältä. Siinä on samat sisään- ja ulostulot, kuin tx-lohkossa, mutta DATA on luonnollisesti ulostulona. Lähetettävän sekä vastaanotettavan viestin tunnisteet sai selville Phoenixin manuaalista. Jännitetieto saatiin virtamoduulilta ja tulos ei poikennut mitatusta tuloksesta.

Kuva 29. Syöttöjännitekysely virtamoduulilta.



Virtalähteelle täytyy antaa käynnistymiskäskey, lähtöjännitteen ja -virran tiedot, jotta siitä saadaan tehoa ulos. Virtamoduulin tila määritetään käynnistys- ja pysäytyskäskyllä. Käynnistymiskäskey on oma viestinsä, jonka seurauksena virtamoduuli siirtyy lepotilasta valmiutilaan. Pysäytyskäskyssä tilanmuutos tapahtuu toisin päin. Lepotilassa ulostulojännite on nolla voltia. Lähtöjännitteen ja -virran tiedot määritetään samassa viestissä. Tietokentän neljä ensimmäistä tavua määrittävät jännitteen ja loput neljä maksimivirran. Molempien viestien välitykseen käytetään CAN_TX-toimilohkoa ja toimintaperiaate on sama, kuin syöttöjännitteen kyselyssä.

Virtalähteen lähtövirran maksimiarvo sekä käynnistymis- ja pysäytyskäskyt määritetään näytön painonapeilta. Jännitearvoa pystyy säätämään potentiometrin avulla. Potentiometrin resistanssi mitataan PLC:llä ja skaalataan vastaamaan sille määritettyä jännitearvoa. Jännitearvo muutetaan virtamoduulin ymmärtämään muotoon eli heksaluvuksi. Painonappien painalluksesta näytön ohjelmaan kirjoitetun virtamuuttujan arvo joko nousee tai laskee. Muuttujan arvo lähetään väylään, josta logiikka lukee sen. Kun logiikka on lukenut virta-arvon väylältä, se muutetaan heksaluvuksi. Neljätavuinen virta- ja jännitemuuttuja muutetaan yhdeksi kahdeksan tavuiseksi muuttujaksi, jolloin se voidaan syöttää CAN_TX:n DATA-sisääntuloon.

7 Latauslaitteiston mitoitus hinausajoneuvoon

Sähköajoneuvon akunvarauksen loppuminen vilkkaasti liikennöidyillä tiellä altistaa aina hinausautonkuljettajan työskentelemään vaarallisessa ympäristössä. Kuljettajien turvallisuuden parantamiseksi ajoneuvon ulkopuolella vietetty aika täytyy minimoida.

Sähköautojen kohdalla on myös se ongelma, että jos akku on täysin loppunut, autoa ei saa vapaalle. Tällöin vaihtoehtoiksi jää väkisin hinaaminen tai ajoneuvon nostaminen lavetille. Nostaminen on näistä kahdesta parempi sillä väkisin vedettäessä auton sähköjärjestelmä saattaa vaurioitua. Molemmissa vaihtoehtoissa kuljettajan vaarallisella alueella työskentelyssä kulunut aika kasvaa suureksi. Lisäksi sähköauton matkustajatkin joutuvat vaaralle alttiiksi, koska heidän täytyy poistua ajoneuvosta ennen siirtoa.

Jos asiaa mietitään siltä kannalta, että tielle jäänyt auto ladattaisiin jo pientareella, kuljettajan tehtäviksi vaarallisella alueella jäisi ainoastaan latauskaapelin kytkentä ja irrotus. Latausajan hinausautonkuljettaja pystyisi viettämään ajoneuvossaan. Tielle jääneen auton matkustajien ei tarvitsisi tällöin poistua ajoneuvostaan. Latausta voitaisiin jatkaa niin kauan, kunnes varaus riittää seuraavalle latausasemalle. Vaarallisimmissa kohteissa lataus tien päällä olisi vain niin lyhyt, että auto pystytään siirtämään turvalliseen paikkaan. Siirron jälkeen latausta voitaisiin jatkaa.

7.1 Latausteho

Suunnitellessa ajoneuvoon rakennettavaa latausjärjestelmää on huomioitava laturin fyysinen koko, kustannukset ja ajoneuvon PTO:n teho. Koko ja hinta vaikuttavat jo pelkästään siihen, että yli 50kW:n latausjärjestelmää ei välttämättä ole järkevää tai mahdollista hankkia.

Suuntaa antavana linjauksena voi pitää, että ajoneuvoon asennettavan DC-latausjärjestelmän latausteho olisi 30–70 kW:n luokkaa. Näin ollen järjestelmän fyysinen koko pysyy maltillisena ja se ei rajoita ajoneuvon muuta käyttöä. Jos teholuokassa mennään lähelle 20 kW, on järkevää harkita lataustapa 3:n mukaista AC-laturia. Näiden hinnat ovat huomattavasti edullisempia verrattuna DC-latureihin. Tässä on kuitenkin huomioitava se, että monen sähköauton sisäisen laturin maksimilatausteho on 11 kW.

7.2 Latausaika

Kuinka kauan tien viereen jäänyttä autoa täytyy ladata 40 kW:n laturilla, jotta sillä päästään 50 kilometrin päässä olevalle suurteholatausasemalle?

Otetaan esimerkiksi Polestar 2 Single Motor, jonka kulutus on noin 18 kWh/ 100 km.

Polestarilla 50 kilometrin matkaan kuluisi siis arviolta noin 9 kWh sähköä. Kun tiedämme sähkökulutuksen ja lataustehon, saamme ajan selville kaavalla:

$$t = \frac{E}{P} = \frac{9 \text{ kWh}}{30 \text{ kW}} = 0,3 \text{ h} = 18 \text{ min}$$

Laskennassa ei ole kuitenkaan otettu huomioon ympäristön lämpötilan vaikutusta, ja lasku on tehty sillä oletuksella, että latausteho pysyy vakiona koko lataustapahtuman ajan.

Tarkastellessamme kuvasta 5 Polestarin latauskäyrää huomaamme, että lataus alkaa 30 kW:n teholla. Tästä voisimme päätellä, että akku vastaanottaa tyhjänäkin 30 kW:n

lataustehon, joka tukisi laskettua aikaa. Tällöin 50 kW:n laturilla 50 kilometrin toimintamatka saavutettaisiin jopa lähes 10 minuutissa.

7.3 Ajoneuvo ja komponentit

Pienemmän kokoluokan hinausautoissa ylimääräistä tilaa on rajallisesti, joka myös rajoittaa latausjärjestelmän tehoa. Tässä kokoluokassa myös ulosoton maksimivääntö saattaa tulla rajoitteeksi.

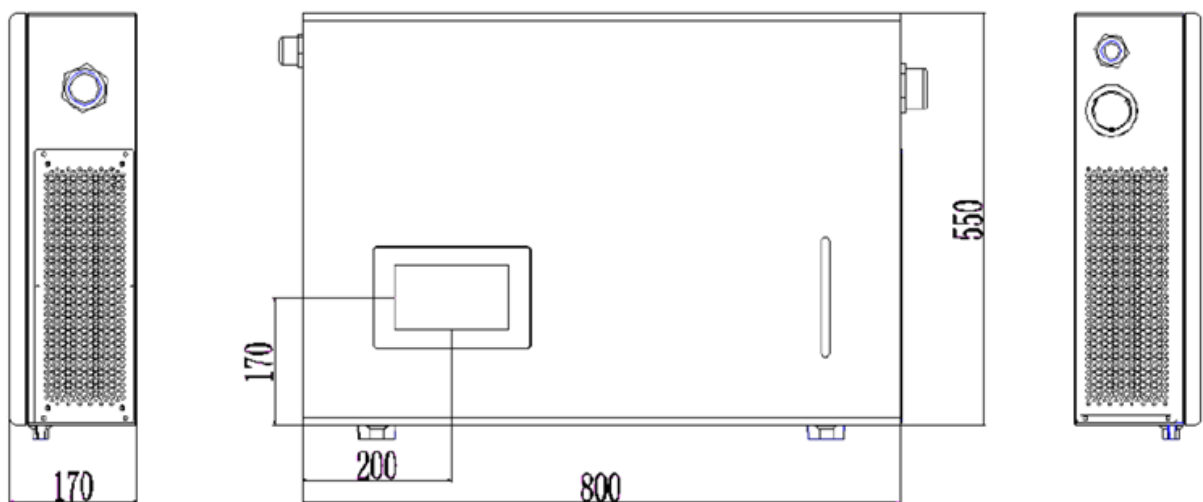
7.3.1 DC-laturi

Järjestelmään valikoitui 40 kW:n pikalaturi. Laitteen lataussäädin tukee CCS-standardia ja se on varusteltu yhdellä CCS Type 2 -latausliittimellä. Virtamoduulin ulostulojännite on 200–1000 VDC, joka pitää ladattavien ajoneuvojen skaalan todella suurena. Syöttöjännite on 400 VAC ja maksimiottovirta on 62 A. Laturin maksilataustehoa on mahdollista rajoittaa ohjelmallisesti, joka mahdollistaa käytön myös pienempien generaattoreiden kanssa.

Laturi on varustettu useilla suojaustoiminnoilla, kuten ylijännitesuojauksella, ylivirtasuojauksella, yllämpötilasuojauksella, oikosulkusuojauksella ja hätäpysäytyssuojauksella. Laturin kyljessä sijaitseva hätäseis-painike katkaisee laturin virransyötön. Laturin IP-luokitus on 54, joten se soveltuu jo valmiiksi ulkokäyttöön.

Kompaktit ulkomitat mahdollistavat asennuksen kohteisiin missä tilaa on vähän, kunhan huolehditaan riittävästä tuuletuksesta. Laturin fyysiset mitat selviävät kuvasta 31.

Kuva 30. Laturin ulkomitat.



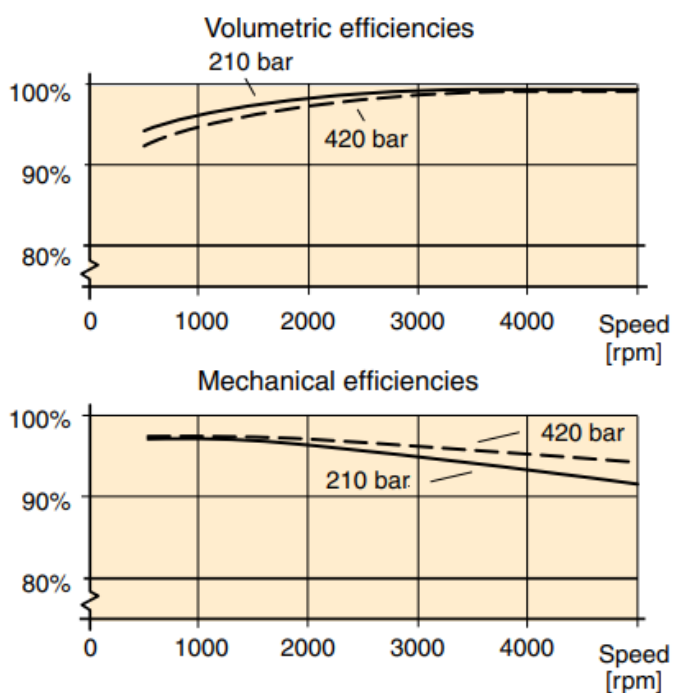
7.3.2 Hydrauligeneraattori

Koska tiedämme laturin maksimiottovirran ja jännitteen, voimme mitoittaa sille sopivan generaattorin. Kolmivaihekytkennässä vaihejännitteellä U_p ja generaattorin vaiheen virralla I saatava teho P voidaan ratkaista kaavalla:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I = \sqrt{3} \cdot 400V \cdot 62A = 42780VA \approx 43kVA$$

Tähän kokoluokkaan sopii Dynasetin HG45 hydrauligeneraattori. Generaattorin maksimi ulostulovirta on 65 A, jännite 400 V ja tajuus on 50 Hz. Pyörintänopeus on 3000 rpm ja se on varustettu 30 cc hydraulimoottorilla. Volumetrinen hyötysuhde nähdään kuvasta 31.

Kuva 31. Hydraulimoottorin volumetrinen ja mekaaninen hyötysuhde.



Generaattorin tarvitseman tilavuusvirran laskeminen:

$$Q = \frac{V_k \cdot n}{\eta_{vol}} = \frac{0,00003 \frac{m^3}{r} \cdot 50 \frac{r}{s}}{0,98} = 0,00153 \frac{m^3}{s} = 91,84 \frac{l}{min}$$

Paine-ero maksimikuormituksella saadaan kaavasta:

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \pi \cdot M}{V_k \cdot \eta_{hm}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 143 \text{ Nm}}{0,00153 \frac{\text{m}^3}{\text{r}} \cdot 0,95} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 3,15 \text{ MPa} = 315,26 \text{ Bar}$$

Hydrauligeneraattorin vaatima hydrauliteho voidaan laskea, kun tiedossa on tilavuusvirta ja paine maksimikuormituksella:

$$P = \frac{\Delta p \cdot Q}{\eta_{kok}} = \frac{3,15 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot 0,00153 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,98 \cdot 0,95} = 51809,9 \text{ W} \approx 52 \text{ kW}$$

Laskennoissa ei ole otettu huomioon virtaushäviöitä venttiileissä ja putkistoissa.

7.3.3 PTO ja hydraulipumppu

Monen hinausliikkeen suosimassa Iveco Dailyssä PTO:n vääntömomentti on 180 Nm. Dailyä saa 3-litraisella sekä 2,3-litraisella dieselmoottorilla. Molemmissa moottorivaihtoehdoissa vääntömomentti on sama, mutta ratio eli välityssuhde poikkeaa toisistaan. Hinauskäyttöön valitaan usein isompi moottorivaihtoehto, jossa välityssuhde on 1,08. Lasketaan seuraavaksi voimanotosta saatava maksimiteho, kun moottorin kierrosluku on 2400 rpm.

PTO:n kierrosluvun saamme, kun kerromme moottorin kierrosluvun välityssuhteella:

$$n_{PTO} = 2400 \text{ rpm} \cdot 1,08 = 2592 \text{ rpm}$$

Kun tiedämme voimanoton pyörimisnopeuden, voimme ratkaista sen välittämän tehon:

$$P = M \cdot \omega = M \cdot 2\pi \cdot n_{PTO} = 180 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{2592 \text{ rpm}}{60} = 48858 \text{ W} = 48,86 \text{ kW}$$

Jo ennen sopivan pumpun mitoittamista näemme, että kyseisellä ajoneuvolla ei pystytä saavuttamaan 40 kW:n lataustehoa.

Isompaa kokoluokkaa edustavaan Mercedes-Benz Ategoon tämän kokoiset latausjärjestelmät alkavat olla omiaan, sillä kyseisen ajoneuvon PTO:n vääntömomentti on 314 Nm ja välityssuhde on 1,2. Voimanuloston maksimipyörintänopeus on 2000 rpm, jolloin hydraulitehoksi saadaan:

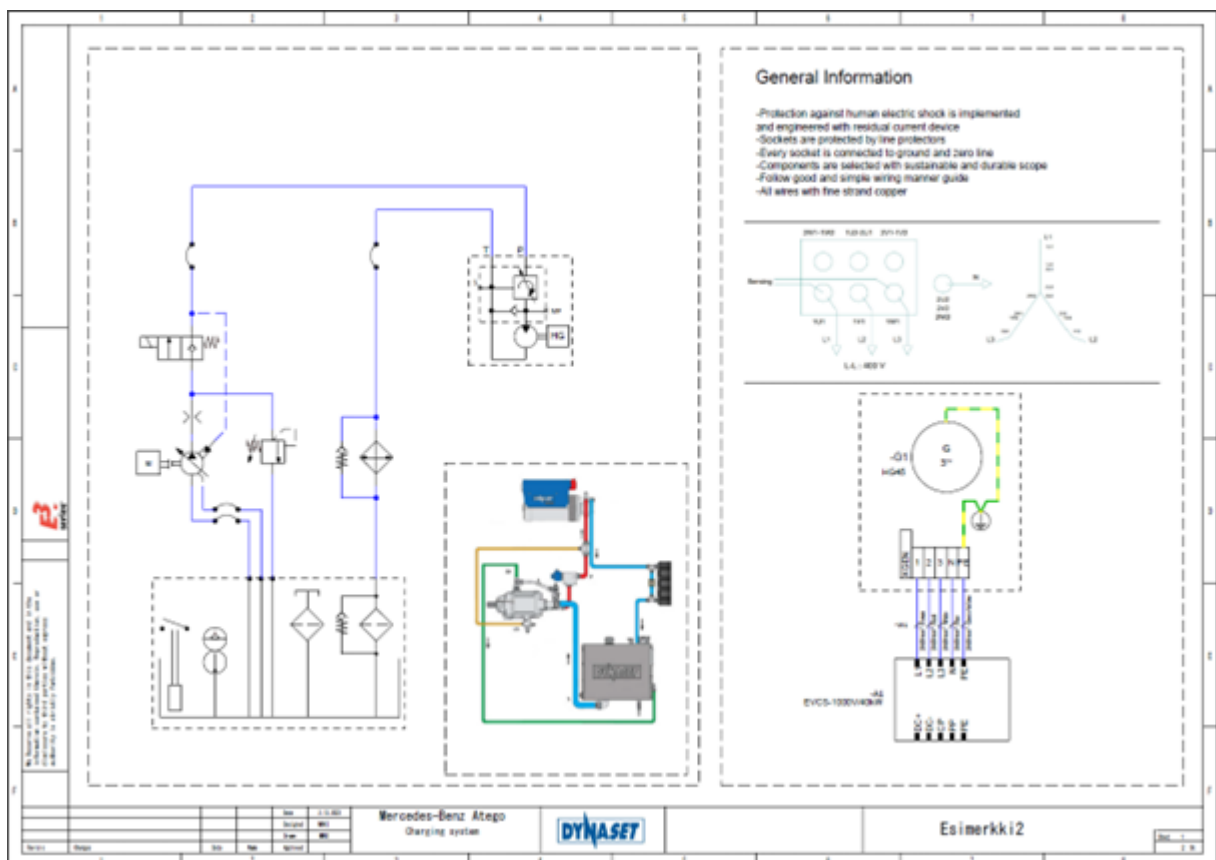
$$P = M \cdot \omega = M \cdot 2\pi \cdot n_{PTO} = 314 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{2000 \text{ rpm}}{60} = 65764 \text{ W} = 65,76 \text{ kW}$$

Hydraulipumppu voidaan mitoittaa, kun tiedämme vääntömomentin ja painetason. Tehdään laskenta, sillä olettamuksella, että pumpun hydromekaaninen hyötysuhde on 90 %. Sen kierrostilavuus saadaan kaavasta:

$$M = \frac{V_k \cdot \Delta p}{2\pi \cdot \eta_{hm}} \Rightarrow V_k = \frac{2\pi \cdot M \cdot \eta_{hm}}{\Delta p} = \frac{2\pi \cdot 314 \text{ Nm} \cdot 0,9}{3,15 \cdot 10^7 \text{ Pa}} = 0,000056 \text{ m}^3/\text{r} = 56,32 \text{ cm}^3/\text{r}$$

Kuvassa 32 on esitettyä Mercedes-Benz Ategoon suunnitellun latausjärjestelmän hydraulii- ja sähkökaavio.

Kuva 32. Latausjärjestelmän hydraulii- ja sähkökaavio.



8 Yhteenveto

Työssä on avattu kattavasti latausjärjestelmän rakenne, niin komponenttien, tiedonsiirron kuin hydraulikankin osalta. Tämä on tuonut itselle valtavasti lisää uutta osaamisäää, sekä auttanut ymmärtämään koko latausprosessia aivan uudessa perspektiivissä. Uskonkin, että pystyn ammentamaan opinnäytetyöstäni saamia oppeja myös monissa muissa sähköistyvän konemaailman tuomissa haasteissa.

Latausmenetelmien tarkastelu on tuonut esiin eri latausstandardien eroavaisuudet niin tiedonsiirron, lataustehon kuin latauspistokkeiden kannalta. Latauslaitteiston rakenteeseen tutustuminen on syventänyt ymmärrystä latauksen turvallisuuteen vaikuttavissa asioissa sekä avannut silmiä, kuinka yksinkertaisesti ja kustannustehokkaasti näitä ongelmia on pystytty ratkomaan.

Tutkimus lataustapahtuman tiedonsiirrosta on nostanut esiin CAN-väylän keskeisen roolin eri latausstandardeissa. Vaikka sitä ei käytettäisikään ajoneuvon ja laturinväliseen, kuten CHAdeMO- ja GB/T-standardeissa, niin löytyy sille käyttöä laturin sisäisessä tiedonsiirrosta. Opinnäytetyön aikana saamani oppi liittyen CAN-väylään on tuonut jo tässä vaiheessa apua erilaisten tuotekehitysprojektien haasteiden ratkaisuun.

Sähkön tuottaminen liikkuvassa latausasemassa hydrauligeneraattorin avulla näyttää teoriapohjalta olevan mahdollinen ja tehokas tapa tarjota lisävirtaa sähköajoneuvoille. Generaattorin toiminnan, hydraulimoottorin ja voimanulosoton tarkastelu antaa kattavan kuvan tämän energiaratkaisun käytännön toteutuksesta. Seuraava askel tuotekehitysprojektissa onkin käytännön testit. On mielenkiintoista nähdä, miten kymmenien kilowattien äkillinen kuorma vaikuttaa hydrauligeneraattorin toimintaan, ja kohtaammeko haasteita muun muassa inertian suhteen.

Yhteenvetona voidaankin todeta, että liikkuvat latausasemat hydrauligeneraattorilla voivat olla varteenotettava ratkaisu sähköajoneuvojen hinausongelmaan. Olisi mielenkiintoista kuulla, mikä on hinausalan yrittäjien vastaanotto järjestelmälle. Maailmalla ongelmaa on lähdetty ratkaisemaan huoltoajoneuvon sijoitettavan akkupaketin avuin. Tässä ratkaisussa laturi saa energiansa ajoneuvoon sijoitetusta akusta. Itse näen tässä kuitenkin tiettyjä ongelmakohtia, kuten rajallinen kapasiteetti, valmistuskustannukset ja akuston lämmitys.

Akullinen järjestelmä vaatii yhtä lailla lataussäätimen ja virtamoduulin. Valmiita laturiratkaisuja tähän lataustyyliin on tuskin olemassa, joka tarkoittaa sitä, että myös

latauslaitteiston valmistaminen jäisi itselle. Uskon vahvasti, että kyseisen järjestelmän valmistaminen pienillä volyyymeilla ei tule ainakaan halvemmaksi kuin valmiin pikalaturin ostaminen.

Opinnäytetyössäkin mainittiin lämpötilan vaikutuksesta akun varautumiseen ja purkautumiseen. Altistuessa kylmille lämpötiloille, sen varautuminen alkaa hidastua merkittävästi ja sama pätee myös sen antotehoon. Tämä tarkoittaisi sitä, että kylmemmissä olosuhteissa myös akkupaketti tarvitsisi esilämmityksen.

Kun mietitään hydrauligeneraattorin muita hyötyjä verrattuna akkupakettiin, esiin nousee jatkuva käyttömahdollisuus sekä se, että ajoneuvo pystyy tarjoamaan sähköä muihinkin käyttötarkoituksiin. Esimerkiksi verkkovirtaa vaativaa induktiolämmitintä joudutaan käyttämään usein kenttäolosuhteissa. Lisäksi hinausajoneuvoa pystyy käyttämään pääkäyttötarkoitukseensa ongelmitta.

Jos aikaa olisi ollut enemmän käytettävissä olisi ollut mielenkiintoista laskea tarkemmin koko järjestelmän hyötysuhdetta, sekä paljon lataukselle kertyy hintaa kilowattia kohden. Mielenkiintoista olisi ollut myös vertailla liikkuvan latausjärjestelmän kustannuseroja, kun järjestelmä toteutettaisiin hydrauligeneraattorilla, dieselgeneraattorilla ja akkupaketilla.

Opinnäytetyö tarjoaa kattavan tietopohjan innovatiiviseen ratkaisuun toteuttaa lataus hydrauligeneraattorilla ja antaa suuntaviivoja tulevalle kehitykselle. Toimeksiantajalle opinnäytetyö voi tarjota arvokasta tietoa ja näkemystä liikkuvien latausasemien suunnitteluun ja toteutukseen.

Lähteet

CharIN. (8.5.2019). *Design Guide for Combined Charging System V7*.

https://www.charin.global/media/pages/home/technical-details-ccs-basic/8573eac41b-1645622501/design_guide_combined_charging_system_v7.pdf

Deltrix Charging Solutions. (2019). *EV Charging Modes*.

<https://deltrixchargers.com/about-emobility/charging-modes/>

InterControl. (2020). *Mikä DC, HPC, CHAdeMO?*

<https://www.intercontrol.fi/blogi/mika-dc-hpc-chademo-sahkoauto-ja-lataussanasto/>

Juhala, M., Lehtinen, A., Suominen, M. & Tammi, K. (2005). *Moottorialan sähköoppi*.

Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus

Kempower. (2023). *Kempower Movable Charger - Technical Datasheet*.

<https://kempower.com/wp-content/uploads/2023/02/KEMPOWER-MOVABLE-CHARGER-EN-US-DATASHEET-REV.1.10-02-2023.pdf>

Linja-aho, V. (2022). *Litiumioniakkuteknikka*.

Metropolia, (n.d.). *Mobilehydrauliikka - Järjestelmätyypit*.

<https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=12160528>

Mercedes-Benz. (n.d.). *Engine performance data – Atego*.

https://www.mercedes-benz-trucks.com/en_GB/models/atego-distribution/technical-data/engine-performance-data.html

Moloughney, T. (15.7.2020). *Nissan Transitions To CCS For US And Europe*.

<https://insideevs.com/news/433929/nissan-switches-to-ccs-in-us-europe/>

Neste. (2023). *Näin pidempikin matka onnistuu sähköauton kanssa*

<https://www.neste.fi/vinkit/sahkoautojen-lataus-matkalla>

Paavilainen, H. (20.08.2009). *HYDRAULIIKKA 1*.

<https://wiki.metropolia.fi/download/attachments/12158203/luentomoniste.pdf>

Phoenix Contact. (n.d. -a). *Sähköisen liikenteen lataustekniikan perusteet.*

<https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/teollisuudenalat/sahkoinen-liikenne/sahkoisen-liikenteen-lataustekniikan-perusteet>

Phoenix Contact. (n.d. -b). *Teknologiaa pikalatausasemille.*

<https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/teknologiat/high-power-charging>

Phoenix Contact. (n.d. -c). *CHARX – Charging technology for e-mobility.*

<https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/charging-technology-for-e-mobility>

Phoenix Contact. (n.d. -d). *Short charging times for your electric vehicles.*

<https://www.phoenixcontact.com/en-pc/industries/e-mobility/ccs-charging-inlet>

Phoenix Contact. (n.d. -e). *Installing and operating the EV-PLCC-AC1-DC1 controller.*

<https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/tuotteet/dc-charging-controller-ev-plcc-ac1-dc1-1624130>

Phoenix Contact. (n.d. -f). *CHARX PS-M2/3AC/1000DC/30KW.*

<https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/tuotteet/dc-power-module-charx-ps-m23ac1000dc30kw-1232243>

Sesko. (18.5.2023). *Sähköajoneuvojen lataussuositus 2023.*

<https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-latausjarjestelmat/lataussuositus/>

SATL. (2020). *Kysymyksiä sähköautoista. SATL:n asiantuntijat vastaavat.*

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/338918/satl_sahkoauto_opas_kannella.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tilastokeskus. (6.9.2023). *Moottoriajoneuvojen ensirekisteröinnit.*

<https://www.stat.fi/julkaisu/cl8cr4gq57npj09w2i9r1lrky>

Vector. (n.d. -a). *CHAdeMO 2.0 and Interoperability To CHAdeMO 3.0.*

https://cdn.vector.com/cms/content/events/2021/vTES21/2_Testing_Day_E-Mobility/12_Slides_Dominik_HUSSFELDT_VAZQUEZ_Vector_Testing_Day_02_EN.pdf

Vector. (n.d. -b). *Chinese Protocol for Communication Between Chargers and EV.*

<https://www.vector.com/int/en/know-how/protocols/gbt-27930/#c204146>

Vector. (n.d. -c). *Charging Standards.*

<https://www.vector.com/int/en/know-how/smart-charging/charging-standards/#c236996>

Volvo. (n.d). *Volvon sähkökäyttöiset minikaivukoneet 2,68–2,78 t.*

[https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/emob/brochures/ecr25-electric/product guide ecr25 electric fi 15 20062063 a.pdf?v=EdVoPw](https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/emob/brochures/ecr25-electric/product%20guide%20ecr25%20electric%20fi%2015%2020062063%20a.pdf?v=EdVoPw)

