



Arno Muhonen

# Raskaan liikenteen latausasemakentän sähkösuunnittelun esiselvitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

27.9.2024

# Tiivistelmä

Tekijä:	Arno Muhonen
Otsikko:	Raskaan liikenteen latausasemakentän sähkösuunnittelun esiselvitys
Sivumäärä:	38 sivua
Aika:	27.9.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Kiinteistöjen sähkötekniikka
Ohjaajat:	Juha Kallunki, lehtori Teemu Lähde, tiimipäällikkö

---

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutustua raskaan liikenteen sähköistyksen tilanteeseen Suomessa ja sähkön etuihin raskaan liikenteen käyttövoimana. Työn aihe tuli Afry Finland Oy:lta, jossa ollaan kiinnostuneita raskaan liikenteen sähköistämisen tulevaisuudesta ja siitä, miten sillä voidaan edistää siirtymää kohti kestävämpää kehitystä. Työ toteutetaan yhdessä latausratkaisuja tuottavan Pragmcharge Oy:n kanssa.

Työn alkupuolella käydään läpi sähköisen raskaan liikenteen tilannetta Suomessa tällä hetkellä ja tutustutaan tarvittaviin toimiin, joilla raskaan liikenteen sähköistys mahdollistetaan laajemmin. Työssä käydään läpi eri lataustapoja ja lakeja, standardeja ja ohjeita, joita tulee ottaa huomioon isojen latausjärjestelmien sähkösuunnittelussa.

Työn lopussa käydään läpi kolmen eri latausjärjestelmien toimittajan laitteistojen soveltuvuutta pohdinnan kohteena olevaan latausasemakentän toteutuksessa ja pohditaan, mitä tulee huomioida sähköliittymää valittaessa. Työn aihe on hyvin laaja ja sen eri osa-alueista on hyvin tietoa saatavilla, mutta haasteen tuo se, ettei vastaavanlaisia isoja raskaan liikenteen latausasemakenttiä ole Suomessa vielä ollenkaan.

Työstä lopputuloksena syntyi eräänlainen esiselvitys, jota voidaan hyödyntää ohjeena, kun lähdetään suunnittelemaan sähköjen osalta isoja latausasemakokonaisuuksia.

Avainsanat: raskas liikenne, sähkörekka, latausasema, sähkösuunnittelu

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Arno Muhonen  
Title: Preliminary electrical design study of charging station infrastructure for heavy-duty vehicles  
Number of Pages: 38 pages  
Date: 27 September 2024

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Electrical Building Services  
Supervisors: Juha Kallunki, Senior Lecturer  
Teemu Lähde, Team Manager

---

The purpose of this study was to explore the current state of electrification in heavy transport in Finland and the benefits of electricity as a power source for heavy vehicles. The subject of the study was provided by Afry Finland Oy, which is interested in the future of heavy transport electrification and how this can help in the transition towards sustainable development. The study is carried out in collaboration with Pragmacharge Oy, which provides charging solutions.

In the beginning of the study, the current state of electric heavy transport in Finland is reviewed, and the necessary actions to enable wider electrification of heavy transport are examined. The study also covers different charging methods and laws, standards, and guidelines that need to be considered when designing electrical systems for large charging stations.

At the end of the study, equipment of three different charging system suppliers is compared to find out which one is the most suitable for a project that like this. Also, there is consideration to what take in account when choosing electrical connection for the whole charging station field. The topic is very broad and there is a lot of information available on its various aspects, but the challenge is the fact that there are no similar large charging station systems for heavy transport in Finland yet.

The end result is a preliminary study that can assist electrical designer when starting to plan large charging station systems.

Keywords: heavy-duty vehicles, electric truck, charging stations, electrical designing

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkö liikenteen käyttövoimana	2
2.1	Sähköinen raskas liikenne Suomessa	3
2.2	Sähkökuorma-autotyyppinä	6
2.3	Sähkö-, vety- ja kaasukäyttöisen kuorma-auton hankintatuki	7
2.4	Sähköisen raskaan liikenteen valtionavustus	8
2.5	Tulevaisuuden näkymät	8
3	Lakeja, standardeja, määräyksiä ja ohjeita	10
4	Lataustavat	12
4.1	AC-lataus	12
4.2	DC-lataus	13
5	Keski- ja pienjännite	17
5.1	Muuntamo	17
5.2	Sähkölaitteiston käytön johtaja	19
5.3	Yliaallot	20
5.4	Loisteho	23
6	Latausasemakentän suunnittelu	24
6.1	Latausjärjestelmävaihtoehdot	26
6.1.1	Kempower	26
6.1.2	Enersense	29
6.1.3	Plugit	30
6.1.4	Latausjärjestelmän valinta	31
6.2	Sähköliittymän ja muuntajien mitoitus	32
6.3	Muuntamon suunnittelu	32
7	Yhteenveto	33
	Lähteet	35

## Lyhenteet

- AFIR: *Alternative Fuels Infrastructure*. Euroopan unionin asetus vaihtoehtoisten polttoaineiden käytöstä. Asettaa pakolliset tavoitteet muun muassa latausinfrastruktuurille.
- CCS: *Combined Charging System*. Pikalatausstandardi, joka mahdollistaa latauksen useiden satojen kilowattien teholla.
- LFP-akku: *Lithium ferrophosphate*- eli litium-rautafosfaattiakku. Litiumioniakku, jossa ei ole käytetty ollenkaan nikkeliä tai kobolttia.
- MCS: *Megawatt Charging System*. Megawattilatausstandardi. Mahdollistaa useiden megawattien tehoisen latauksen.
- TEN-T: *Trans European Transport Network*. Euroopan laajuinen liikenneverkko, jolla pyritään kehittämään turvallinen ja kestävä koko Euroopan unionin kattava liikennejärjestelmä. Koostuu ydinverkosta ja kattavasta verkosta.
- THD: *Total Harmonic Distortion*. Jännitteen harmoninen säröytyminen. Aiheutuu sähköverkon yliaalloista.

# 1 Johdanto

Ilmaston lämpeneminen on globaali ongelma ja haaste. Pariisissa vuonna 2015 solmitun ilmastopöytäkirjan allekirjoittaneet valtiot ovat sitoutuneet rajaamaan maapallon keskilämpötilan nousun 1,5 asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna [1]. Voimassa olevan EU-lainsäädännön mukaan Suomen kasvihuonepäästöjen tulee laskea 50 prosenttia vuoteen 2030 mennessä, kun verrataan vuoden 2005 tasoon. Liikenteestä aiheutuvia kasvihuonepäästöjä Suomi on sitoutunut vähentämään 50 prosentilla vuoteen 2030 mennessä [2].

Raskaan liikenteen sähköistäminen, niiltä osin kuin se on käytännössä mahdollista toteuttaa, on erinomainen keino liikenteen päästöjen vähentämiseen. Suomessa on osoitettu kiinnostusta raskaan liikenteen latausratkaisujen kehittämiseen. Tässä työssä tutustutaan Suomessa olevan sähköisen raskaan liikenteen tämän hetkiseen tilaan, perehdytään erilaisiin latausmenetelmiin ja selvitetään, minkälaisia määräyksiä raskaan liikenteen latausjärjestelmien toteuttamiselle on asetettu viranomaisten puolesta. Työstä on tarkoitus tehdä eräänlainen esiselvitys Kotkan Mussalon satama-alueelle tulevan sähkörekkujen latausasemakentän toteutusratkaisusta sähkösuunnittelun osalta. Työtä pyritään hyödyntämään myös muissa tulevaisuudessa vastaavissa projekteissa. Työn lopussa vertaillaan kolmen eri laitevalmistajan latausjärjestelmiä.

Työn aihe tuli Afry Finland Oy:ltä, jossa ollaan kiinnostettu edellä mainittujen järjestelmien mahdollisuuksista, suunnittelusta ja toteuttamisesta, ja työ toteutetaan yhdessä Pragmcharge Oy:n kanssa. Insinööriyön kirjoittajalla ei ole kokemusta aiheesta, joten työ on mainio tilaisuus päästä tutustumaan raskaan liikenteen sähköistykseen ja sen tulevaisuuteen. Työssä ei keskitytä julkisen liikenteen latausratkaisuihin.

Afry on Ruotsissa vuonna 1895 perustettu suunnittelu- ja konsultointiyritys, jonka toimialoja ovat prosessiteollisuus, rakennettu ympäristö, energia, liikkeenjohdon konsultointi ja teolliset ja digitaaliset ratkaisut. Afryllä on

globaalisti noin 19 000 työntekijää, joista noin 3 000 työskentelee Suomessa. [3.]

Pragmcharge on brittiläinen energiapalveluita tuottava yhtiö. Se on erikoistunut sähköisen raskaan liikenteen kaluston leasing-palveluihin, latausjärjestelmien ja -infrastruktuurin luomiseen ja digitaalisten kalustonhallintaohjelmien tuottamiseen. Pragmcharge on perustettu vuonna 2022, ja se on rekisteröitynyt Suomeen vuoden 2024 alussa. [4.]

## 2 Sähkö liikenteen käyttövoimana

Sähköllä, kuten muillakin olemassa olevilla liikenteen käyttövoimavaihtoehdoilla, on hyvät ja huonot puolensa. Sähkön etuja muihin vaihtoehtoihin verrattuna ovat:

- Se on energiatehokkain käyttövoima.
- Sillä on edulliset käyttökustannukset.
- Suomen sähköntuotanto on kestävämmällä pohjalla kuin Euroopassa keskimäärin. [5, s. 15.]

Haittapuolia tällä hetkellä ovat:

- Kaluston hankinnan investointikustannukset ovat todella kalliita.
- Toimintasäde on rajallinen nykytarpeisiin nähden.
- Raskaalle kalustolle soveltuva latausinfra puuttuu.
- Latausinfra laajentaminen aiheuttaa kustannuksia kuljetusyrityksille.
- Lataaminen vaatii aikaa ja vaikuttaa kuljetusketjuihin.
- Akkujen elinkaari on kysymysmerkki. [5, s. 15.]

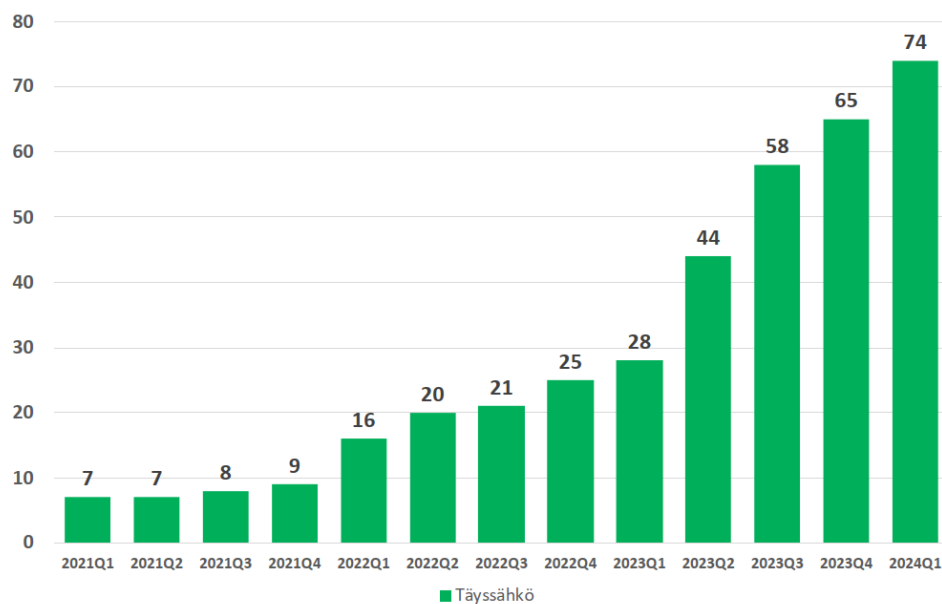
Sähkökäyttöisten ajoneuvojen käytönaikaiset kasvihuonepäästöt ovat käytännössä katsoen nollaluokkaa, joten kestäväällä ja ympäristöystävällisellä tavalla tuotetulla sähköllä toteutettu liikenne on hyvin vähäpäästöistä ja energiatehokasta. Sähkömoottorien hyötysuhde on parhaimmillaan 80–90 prosenttia, mutta haasteeksi on muodostunut sähkön varastoimisen

hankaluudet. Riittävä toimintamatkä ja latausaika, etenkin Suomen talviolosuhteissa, ovat keskeisimpiä haasteita, kun puhutaan raskaan liikenteen sähköistämistä. [5, s. 19.]

Isojen ja suuritehoisten akkujen valmistamisen ympäristöystävällisyys herättää kysymyksiä, kun puhutaan mineraalien riittävydestä kysynnän lisääntyessä. Arvioiden mukaan akkujen elinkaaren lopussa vain noin 50 prosenttia niihin käytetyistä materiaaleista on kierrätyskelpoista lopun ollessa kaatopaikkajätettä. Akkuteknologian kehitys on jo mahdollistanut uudenlaisia litium-rautafosfaattiakkuja eli LFP-akkuja. LFP on lyhenne sanoista lithium ferrophosphate. Näissä akuissa ei tarvita ollenkaan nikkeliä tai kobolttia. Koko elinkaarensa päästöt huomioiden sähköiset ajoneuvot ovat polttomootoriajoneuvoja ympäristöystävällisempiä, vaikka niiden valmistus tuottaakin enemmän päästöjä nykyhetkellä. [5, s. 19.]

## 2.1 Sähköinen raskas liikenne Suomessa

Suomen kuorma-autokanta vuoden 2021 lopussa koostui noin 95 000:sta raskaan liikenteen ajoneuvosta, joista 97 prosenttia kulki dieselillä ja noin 400 kappaletta oli kaasukäyttöisiä [5, s. 9]. Raskaan liikenteen sähköistäminen Suomessa on lähtenyt käyntiin hitaasti, mutta on osoittanut kiihtymisen merkkejä jo muutamassa vuodessa. Vuoden 2021 ensimmäisellä neljänneksellä Suomen täyssähköisen kuorma-autokannan kattoi seitsemän ajoneuvoa, mutta määrässä ei tapahtunut suurta kasvua ennen vuoden 2022 ensimmäistä neljänneistä, jolloin ajoneuvojen määrä lähes kaksinkertaistui vuoden takaisesta. Vuoden 2024 ensimmäisellä neljänneksellä määrä oli jo 74 kappaletta. [6, s. 23.] Kuvassa 1 on pylväsdiagrammi, joka esittää yksityiskohtaisesti sähkökuorma-autokannan kehityksen Suomessa kvartaaleittain vuodesta 2021 eteenpäin.



Kuva 1. Täyssähköisen kuorma-autokannan kehitys Suomessa [6, s. 23].

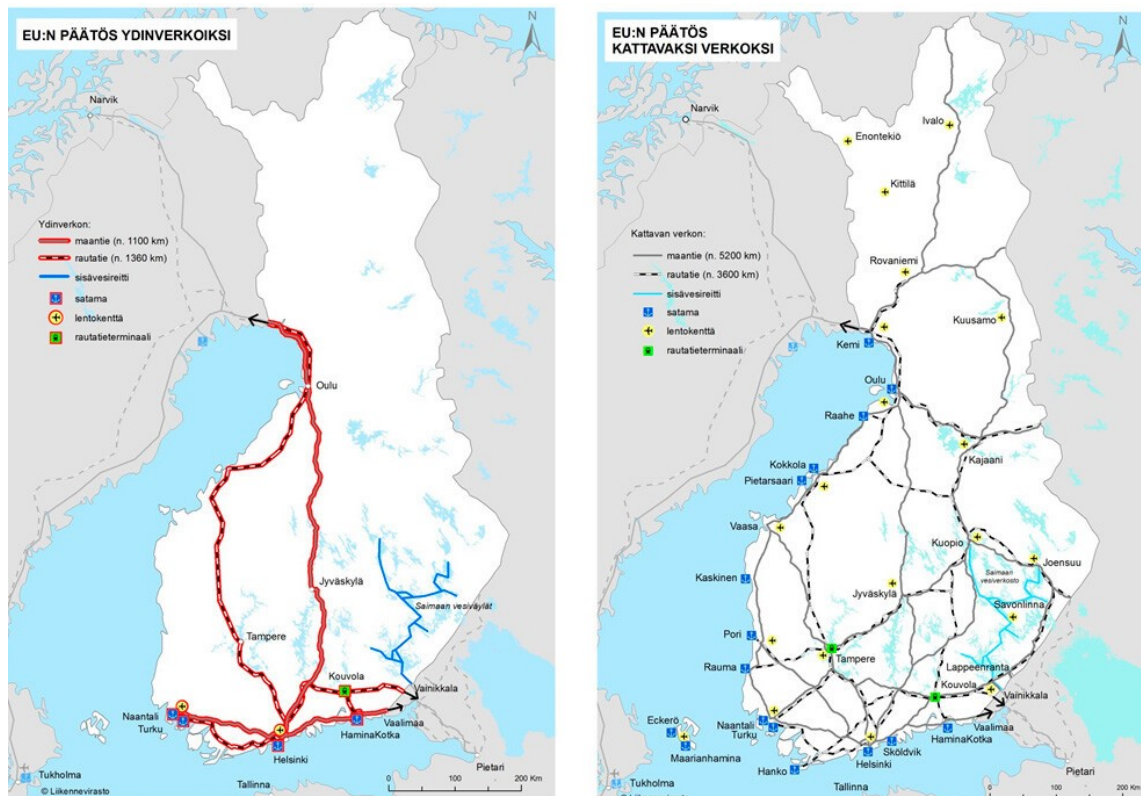
Yksi asia, mikä on hidastanut sähköisen raskaan kaluston määrän kasvua, on se, että Suomesta puuttuu yleisesti saatavilla oleva latausinfra, joka vastaisi raskaan liikenteen tarpeisiin. Henkilöautoille tarkoitettu latausinfra ei sovellu raskaamman kaluston käyttöön muun muassa siitä syystä, että se on hyvin pienitehoinen. Tämä tarkoittaa sitä, että isojen akkujen lataamiseen kuluva aika vaikuttaisi negatiivisesti logistiseen järjestelmään, jossa kuljetuskaluston käyttöasteen maksimoiminen on erittäin tärkeää. Toinen esimerkkisyys on se, että henkilöautojen ja raskaan liikenteen tilatarpeet sekä vaatimukset ajojohdolle ja sijainnille eivät kohtaa. [5, s. 28.]

Laajan latausinfraan suunnittelu ja rakentaminen vaatii suuria investointeja, ja se tulisi toteuttaa niin, että lataus tapahtuisi mahdollisuuksien mukaan luontaisten pysähdysten aikana, jotta muutokset nykyiseen logistiseen järjestelmään olisivat minimaaliset. Kaluston liikkeessä hyvinkin laajalla alueella pelkästään kuljetusyhtiön omalla varikolla tapahtuva lataus ei riitä, vaan latausinfraa tulisi olla esimerkiksi logistiikkakeskusten, satamien ja teollisuuslaitosten yhteydessä, jolloin ajoneuvon lataus hoituisi tavaran lastauksen tai purun yhteydessä. Näissä tilanteissa voisi hyödyntää suuritehoista eli niin sanottua

megawattiluokan latausjärjestelmää. Pitkämatkaisen tavaraliikenteen kannalta julkisten liikenneasemien yhteyteen rakennettu latausinfra taas mahdollistaisi latauksen kuljettajan taukojen yhteydessä. Yön yli tapahtuvien taukojen aikana riittäisi myös pienitehoinen lataus. [5, s. 28, 43.]

## TEN-T-verkosto ja AFIR-asetus

Euroopan laajuinen liikenneverkko TEN-T, joka tulee sanoista Trans European Transport Network, on projekti, jolla pyritään kehittämään turvallinen ja kestävä, koko Euroopan unionin kattava liikennejärjestelmä, ja se koostuu vuoteen 2030 mennessä rakennettavasta ydinverkosta ja vuoteen 2050 mennessä rakennettavasta kattavasta verkosta. Suomen maanteistä ydinverkkoon kuuluvat tiet Helsingistä Naantaliin, Tornioon ja Vaalimaalle. Kattava verkko täydentää ydinverkkoa laajoilla yhteyksillä ympäri Suomea, kuten on esitetty kuvassa 2. [7.]



Kuva 2. TEN-T-projektin ydinverkko ja kattava verkko Suomessa [7].

AFIR-asetus, lyhenne sanoista Alternative Fuels Infrastructure, on Euroopan Unionin vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin asetus, joka asettaa pakolliset tavoitteet muun muassa tieliikenteen lataus- ja vetytankkausinfrastruktuurille. Asetuksessa määrätään, että vuodesta 2025 alkaen TEN-T-ydinverkkoon asennetaan 60 kilometrin välein vähimmäistehoaltaan 350 kW:n raskaille hyötyajoneuvoille tarkoitettuja latausasemia. Kattavan verkon osalta asetus määrää latausasemia asennettavaksi 100 kilometrin välein. Näiden lisäksi tulee asentaa latausasemia yön yli tapahtuvaan lataukseen turvallisille ja valvotuille pysäköintialueille sekä kaupunkien solmukohtiin. [8.]

## 2.2 Sähkökuorma-autotyyppejä

Vaikka raskaanliikenteen latausinfra kehitys on ollut hidasta Suomessa, itse ajoneuvoissa tapahtuu jatkuvasti kehitystä, ja useat Suomen kuorma-automarkkinoilla keskeiset valmistajat ovat jo tuoneet markkinoille täyssähköisiä malleja kaupunkijakeluun. Isolla osalla valmistajista on myös suunnitteilla tuoda markkinoille parin vuoden sisällä täyssähköajoneuvoja yli 16 tonnin painoluokassa, ja osa on ilmoittanut malleista jopa 40 tonnin yhdistelmäpainoille. Suurimpien tällä hetkellä saatavilla olevien täyssähköisten puoliperävaunuyhdistelmän kokoluokan ajoneuvojen toimintasäteet ovat noin 300–500 kilometrin luokkaa, mutta parin vuoden sisällä toimintasäteen uskotaan olevan jopa 600–700 kilometriä. [5, s. 22.]

Kuorma-autovalmistajista esimerkiksi Volvo ja Scania ovat asettaneet tavoitteekseen, että puolet niiden valmistamista raskaan liikenteen ajoneuvoista tulevat olemaan täyssähköisiä vuoteen 2030 mennessä. Molemmilla valmistajilla on tarjolla malleja, joiden toimintamatkat ovat 40 tonnin kokonaismassalla 300–350 kilometriä. Mercedes-Benz julkisti LFP-akkuteknologiaa hyödyntävän 40 tonnin painoluokkaan sijoittuvan pitkän matkan tavarankuljetuksiin tarkoitettun eActros LongHaul -kuorma-auton vuonna 2020, ja sen sarjatuotannon on tarkoitus alkaa vuoden 2024 aikana. Toimintamatka kyseisellä mallilla on noin 500 kilometriä. [5, s. 22–23.]

MAN on aloittamassa laajamittaisen täyssähkökuorma-autojen valmistuksen vuoden 2024 aikana. Vuoden 2022 keväällä he esittelivät puoliperävaunuyhdistelmän vetoauton, jonka latauskapasiteetti on huomattavan suuri ja joka voi nykyisellä akkuteknologialla päästä jopa 600–800 kilometrin toimintamatkaan. Tuhannen kilometrin toimintamatka voi olla mahdollista seuraavan sukupolven akkuteknologialla jo vuoden 2026 tienoilla. [5, s. 24.]

Kotimainen kuorma-autovalmistaja Sisu ei ole vielä esitellyt vaihtoehtoisilla käyttövoimilla kulkevaa kalustoa, mutta on vuodesta 2018 tarjonnut raskaisiin kuorma-autoihin hybridijärjestelmää, joka perustuu diesel- ja sähkömoottorien käyttöön samanaikaisesti tai erillään. Järjestelmän ideana on tuottaa hetkellisesti suuri määrä tehoa haastaviin olosuhteisiin, mutta siitä ei ole suurta hyötyä päästöjen vähentämisen näkökulmasta. [5, s. 24.]

### 2.3 Sähkö-, vety- ja kaasukäyttöisen kuorma-auton hankintatuki

Suomessa on mahdollista hakea erillistä hankintatukea, jolla tuetaan muun muassa sähkökäyttöisten kuorma-autojen hankintaa. Tuen myöntää Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, ja työn kirjoitushetkellä tuen hakuaika on auki vuoden loppuun 31.12.2024 asti. Tuen myöntämiselle on asetettu tiettyjä ehtoja liittyen hankittavaan ajoneuvoon ja itse hakijaan. Ehtoja, joiden tulee täytyä tuen myöntämisen edellyttämiseksi, ovat esimerkiksi:

- Kuorma-auton ainoa käyttövoima on sähkö, vety tai niiden yhdistelmä tai pääasiallisena käyttövoimana on kaasu.
- Perävaunu on sähkökäyttöinen.
- Hankittava kuorma-auto tai perävaunu on uusi ja ensirekisteröimätön.
- Hankittava ajoneuvo tulee ensirekisteröidä Suomeen.
- Tukea myönnetään samalle ajoneuvolle ainoastaan kerran. [9.]

Mahdollisen tuen määrään vaikuttaa ajoneuvon suurin sallittu massa tieliikenteessä. Esimerkiksi 3 501 kilogramman ajoneuvolla tuki voi olla enintään 6 000 euroa, kun taas 26 000 kilogramman suurimmalla sallitulla massalla

olevan ajoneuvon tuki voi olla enintään 25 000 euroa. Yrityksille myönnettävän tuen enimmäismäärään vaikuttaa myös yrityksen koko. [9.]

## 2.4 Sähköisen raskaan liikenteen valtionavustus

Traficom on ollut myös myöntämässä tukea erilaisille tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiohankkeille, joilla edistetään Suomen raskaan liikenteen sähköistystä ja tarvittavien päästövähennysten tavoittamista. Tukea ei ole tarkoitettu latausinfrastruktuurin laajamittaiseen rakentamiseen tai ajoneuvojen hankintaan, ja hankkeet tulee toteuttaa Suomessa. [10.]

Tostaiseksi viimeinen hakukierros kyseiselle tuelle päättyi 10.5.2023, joten tällä hetkellä kyseistä valtionavustusta ei pysty hakemaan. Tukea saaneiden hankkeiden tulee olla täysin valmiita 30.9.2025 mennessä. Aikaisemmassa haussa tukea myönnettiin kuudelle raskaan liikenteen ajoneuvojen sähköistämistä palvelevien teknologioiden, palveluiden, infrastruktuureiden ja kokeiluympäristöjen kehittämistä edistävälle hankkeelle yhteensä noin 3,8 miljoonaa euroa. [10; 11.]

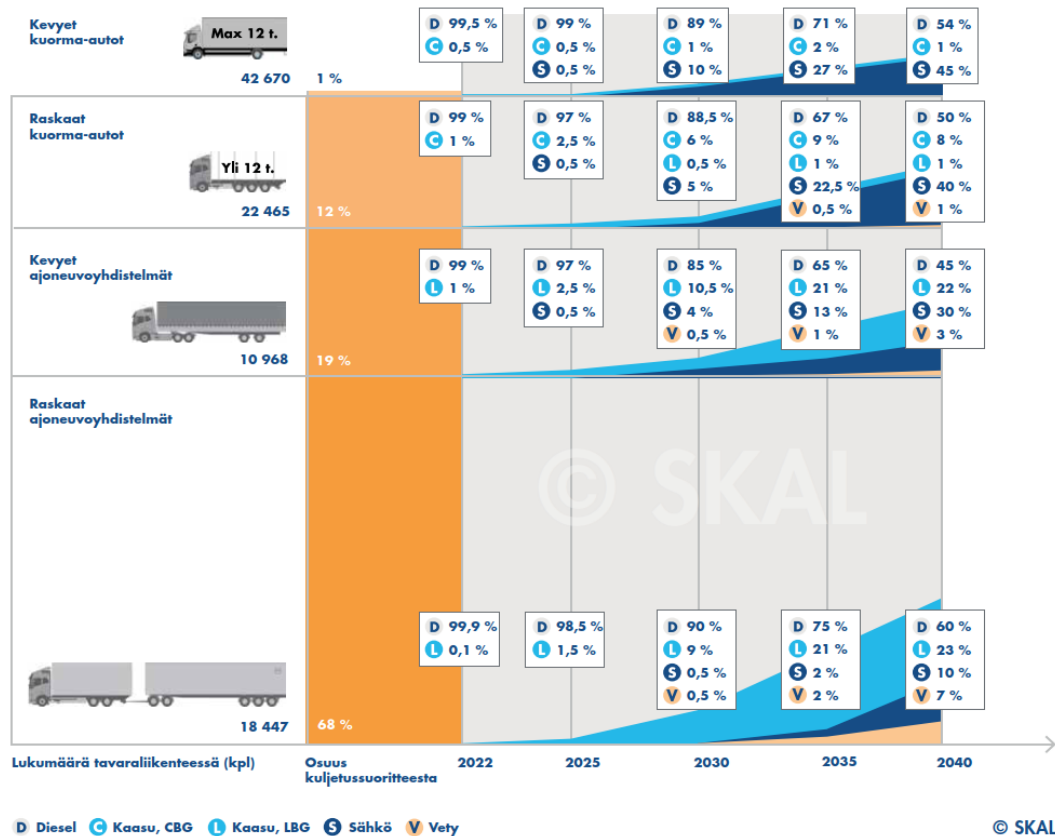
## 2.5 Tulevaisuuden näkymät

Suomen tulee puolittaa liikenteestä aiheutuvat kasvihuonepäästöt vuoteen 2030 mennessä. Sen lisäksi fossiilisten polttoaineiden myynti tulee lopettaa Suomessa vuonna 2045 ja vähintään noin 35 % liikenteen kokonaisenergiankulutuksesta tulee hoitaa sähköllä. Raskaan liikenteen suora sähköistyminen ei näytä vielä olevan kaikin osin mahdollista, mutta akku- ja latausteknologioiden kehitys sekä vaihtoehtoiset fossiilittomat käyttövoimat auttavat mahdollistamaan täysin fossiilivapaan liikenteen. [12, s. 47–49.]

Suomen Kuljetus ja Logistiikka SKAL ry:n ennusteiden mukaan nollapäästöinen kuljetuskalusto tulee yleistymään Suomessa hieman Länsi-Eurooppaa hitaammin. Yksi tähän vaikuttava syy on se, että Suomessa käytettävä kalusto on suurempaa kuin muualla Euroopassa, ja noin 95 000 ajoneuvon kuorma-

autokannassa muutokset tapahtuvat hitaasti, sillä kuorma-autojen käyttöikä on tyypillisesti 10–15 vuotta. [5, s. 46.]

Sähköä pidetään pääosassa dieselin korvaamisessa, kun puhutaan kevyestä kalustosta. Mitä raskaampaan suuntaan mennään, sitä enemmän tullaan hyödyntämään nesteytettyä kaasua ja mahdollisesti myös vetyteknikkaa. Kuvassa 3 on esitetty ajoneuvotyypeittäin SKAL:in ennusteet eri käyttövoimien osuuksista vuosien 2022 ja 2040 välillä, ja siitä ilmenee, että esimerkiksi maksimissaan 12 tonnin kevyistä kuorma-autoista noin 45 % tulee liikkumaan sähkön voimalla vuonna 2040, mutta yli 60 tonnin raskaista ajoneuvoyhdistelmissä sähkön osuus on vain noin 10 %. [5, s. 46.]



Kuva 3. Käyttövoimien kehitys ajoneuvotyypeittäin vuosina 2022–2040 [5, s. 46].

### 3 Lakeja, standardeja, määräyksiä ja ohjeita

Sähköajoneuvojen latausjärjestelmiä suunniteltaessa ja rakennettaessa on useita lakeja, standardeja, määräyksiä ja ohjeita, jotka tulee ottaa huomioon. Tärkein niistä on sähköturvallisuuslaki 1135/2016, ja se asettaa vaatimukset sähkölaitteille ja -laitteistoille, ”joita käytetään sähkön tuottamisessa, siirrossa, jakelussa tai käytössä ja joiden sähkömagneettisista ominaisuuksista voi aiheutua vaaraa tai häiriötä” [13, § 2].

ST-kortissa 51.90 käsitellään keskeisimmät sähköajoneuvojen lataamiseen liittyvät järjestelmät ja niihin liittyvät laitteet, standardit, asetukset, määräykset ja ohjeistukset. Latausjärjestelmien asennuksissa on otettava huomioon pienjänniteasennuksia koskevan standardisarjan SFS 6000 vaatimukset ja etenkin osat

- 4-4, jossa kerrotaan sähköiskuilta suojautumisesta
- 7-722, jossa kerrotaan sähköajoneuvojen lataukseen käytettävien sähköverkkojen asennusvaatimuksista
- 8-813, jossa kerrotaan täydentävät vaatimukset pistokytkimien valintaan ja asentamiseen [14, s. 2].

Muita huomioon otettavia standardisarjoja ovat

- SFS-EN 61439, joka käsittelee pienjännitekeskusten rakennetta
- SFS-EN 61851, jossa määritellään sähköajoneuvojen lataustavat
- SFS-EN 62196, jossa määritellään latauksessa käytettävät pistokkeet ja pistorasiat [14, s. 2].

Keskijänniteliittymän suunnittelu ja toteutus edellyttää

suurjännitesähköasennuksia käsittelevän standardisarjan SFS 6001

noudattamista. SFS 6001 asettaa vaatimukset yli 1 kV:n ja

nimellistaajuudeltaan enintään 60 Hz:n vaihtojännitteisten sähkölaitteistojen ja -

asennusten suunnittelulle ja rakentamiselle [15, s. 8]. Standardisarjaa SFS

6002 sovelletaan sähkölaitteistojen käyttöön ja niiden lähellä työskentelyyn, ja

se kattaa kaikki jännitealueet [16, s. 7].

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto on antanut ohjeet sähköajoneuvojen latauspisteiden suunnitteluun ja rakentamiseen kiinteistöissä. Ohjeiden avulla pyritään siihen, että pelastustoiminta ja sen näkökulmat otetaan huomioon latauspisteiden suunnittelussa [17, s. 3]. Suunniteltaessa erillistä latauskenttää, joka ei ole kytköksissä asuinrakennukseen tai julkiseen kiinteistöön, yksi tärkeimpiä huomioon otettavia asioita ohjeissa on latauspisteiden jännitteettömäksi tekeminen. Kaikki latauspisteet tulee saada jännitteettömäksi yhdestä keskitetystä paikasta, joka ei sijaitse heti latauspisteiden yhteydessä [17, s. 4]. Standardissa SFS 6000-5-53 on määritelty, että jännitteettömäksi tekeminen voidaan toteuttaa riittävästi mitoitetuin kontaktorein [14, s. 8]. Kuvassa 4 on esimerkkejä opasteista, joilla voidaan opastaa keskitetylle katkaisupaikalle.



Kuva 4. Esimerkkejä opasteista, joilla osoitetaan virransyötön katkaisupaikka [17, s. 5].

## 4 Lataustavat

Sähköajoneuvojen lataustavat määritellään standardissa SFS-EN IEC 61851-1, ja ne määräytyvät jännitteen, virran ja käytetyn tekniikan mukaan neljään ryhmään, jotka ovat

- lataustapa 1 eli kevyiden sähköajoneuvojen lataus
- lataustapa 2 eli hidaslataus
- lataustapa 3 eli peruslataus
- lataustapa 4 eli teho-, pika- ja suurteholataus [18, s. 46–53].

### 4.1 AC-lataus

AC-latauksella tarkoitetaan ajoneuvon liittämistä sähköverkkoon, eli lataus tapahtuu vaihtosähköllä, ja se kattaa lataustavat 1, 2 ja 3. Lataustavassa 1 käytetään korkeintaan 16 A:n ja 250 V:n yksivaiheista tai 480 V:n kolmivaiheista standardoitua pistorasiaa, joka on suojattu kiinteään asennukseen kuuluvalla 30 mA:n vikavirtasuojalla. Lataustapaa 1 käytetään lähinnä kevyiden sähköajoneuvojen, kuten sähköpolkupyörien lataamiseen. [18, s. 48; 19.]

Lataustapa 2 tapahtuu korkeintaan 32 A:n ja 250 V:n yksivaiheista tai 480 V:n kolmivaiheista pistorasiaa käyttäen, ja käytettävässä liitosjohdossa tulee olla tarvittavat suojalaitteet. Latausvirran suuruudeksi suositellaan enintään 8 A, sillä standardin SFS 5610 mukaiset maadoitetut kotitalouspistorasiat eivät sovellu sähköajoneuvojen pitkäaikaiseen lataamiseen. Lataustapa 2 soveltuu tilapäiseen käyttöön, jos esimerkiksi lataustavan 3 mukaista latauspistettä ei ole saatavilla. [18, s. 48.]

Lataustavassa 3 sähköajoneuvoa ladataan kiinteästi vaihtosähköverkkoon liitettyllä latauslaitteella. Latausvirran ollessa 6–63 A saavutetaan 1,4–43 kW:n latausteho ja järjestelmän tiedonsiirtoväylä mahdollistaa ajoneuvon oikean kytkeytymisen latauspisteen ja kuormituksen ohjauksen yhden ampeerin portaisissa. Lataustapa 3 on suunniteltu erityisesti sähköautojen lataukseen, ja

yleisimmin käytetty latauspistoke on kuvassa 5 esitetty standardin SFS-EN 62196-2 mukainen Type 2 -pistoke. [18, s. 51.]



Kuva 5. Type 2 -pistoke ja -vastake [18, s. 52].

Lataustavat 1 ja 2 eivät siis sovellu raskaassa kalustossa käytettyjen suurikokoisten akkujen lataamiseen. Lataustapaa 3 voidaan teoriassa hyödyntää yön yli tapahtuvassa lataamisessa. Esimerkiksi 300 kWh:n akun lataamiseen menisi 43 kW:n teholla noin 7 tuntia. On syytä huomioida, että akkujen kasvaessa latausajat pitenevät, jos lataustehoa itsessään ei saada kasvatettua.

## 4.2 DC-lataus

Lataustavalla 4 tarkoitetaan DC- eli tasasähkölatausta, jossa ajoneuvo kytketään ulkopuoliseen tasasähköä syöttävään latauslaitteeseen, joka on kytketty sähköverkkoon. 200–920 VDC:n jännitteellä saavutettavat lataustehot voivat olla satoja kilowatteja ja kuormituksen ohjaus tapahtuu latausjärjestelmän tiedonsiirtoväylän avulla. DC-latauksessa käytetään tällä hetkellä standardissa SFS-EN 62196-3 määritettyä latauspistoketta CHAdeMO tai CCS-standardin mukaista pistoketta CCS2, toiselta nimeltä Combo 2. [18, s. 53–55.] Kuvassa 6 on raskaammille ajoneuvoille suunniteltu megawattiluokan latauksen mahdollistava Charin-pistoke.



Kuva 6. Charin-pistoke [18, s. 55].

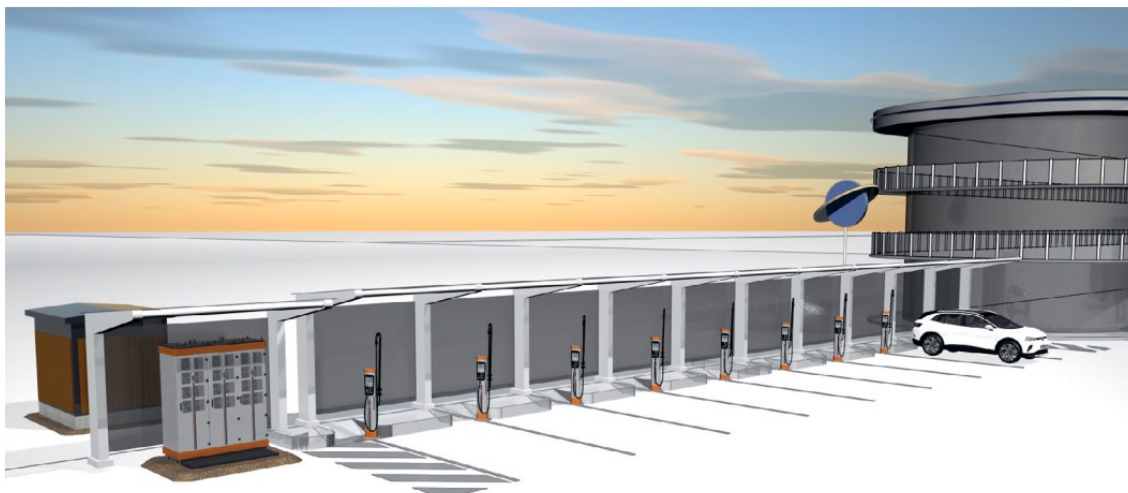
Tasasähkölatauksessa käytettävät latausjärjestelmät ovat joko seinäasenteisia pienemmällä teholla toimivia latauspisteitä tai kiinteällä jalustalla asennettavia rakenteeltaan keskitettyjä tai hajautettuja teholatausasemia. Teholatausasemat voidaan monesti varustaa useilla eri lataustavoilla ja -pistokkeilla mukaan lukien lataustavan 3 mukaisilla Type 2 -pistokkeilla, ja niihin voidaan kytkeä samanaikaisesti useita sähköajoneuvoja. Latausasemien tehon jakautuminen eri latausten välillä vaihtelee tehomodulien järjestelyjen mukaan, ja latausasemat voivat toimia useilla eri tavoilla riippuen niiden varustelusta. [18, s. 70.]

Keskitetty DC-teholatausasema on rakenteeltaan yhtenäinen sisältäen sekä tasasuuntaajan että yhdestä neljään latauskaapelia pistokkeineen. Keskitetylle latausasemalle tuodaan AC-syöttökaapelointi pääkeskukselta, kaapelijakokaapilta tai muuntajalta ja langallinen tai langaton tietoliikenneyhteys. Keskitetyn aseman latausteho on 50-200 kW:n luokkaa, ja ne ovat usein suhteellisen kompakteja, mutta silti tilaa tarvitsevia kaappeja. Siksi latauspistokkeiden ulottuma useammalle ajoneuvolle on myös usein huonompi kuin hajautetussa latausjärjestelmässä. [18, s. 70.] Kuvassa 7 on esitys keskitetystä teholatausasemasta.



Kuva 7. Keskitetty teholatausasema [18, s. 70].

Keskitetty teholatausjärjestelmä on toimiva ratkaisu paikoissa, joissa ladattavien ajoneuvojen määrä ei yhdellä kertaa ole suuri. Hajautettu latausjärjestelmä taas on hyvä valinta esimerkiksi raskaan liikenteen levähdyspaikoille. Niissä usein tarvitaan latausta monille ajoneuvoille ja ajoneuvot kulkevat täysin omien aikataulujen mukaisesti. Hajautettu teholatausasema koostuu erillisestä tehoyksikkökaapista, jolle tuodaan AC-syöttökaapelointi pääkeskukselta, kaapelijakokaapilta tai muuntajalta ja langallinen tai langaton tietoliikenneyhteys, ja erillisistä lataussatelliiteista, joissa on joko yksi tai kaksi latauspistoketta. Tehoyksikön ja lataussatelliittien välille vedetään DC-, ohjaus- ja Ethernet-välikaapeloinnit. Kun latausjärjestelmä koostuu erillisistä tehoyksiköistä ja lataussatelliiteista, latauspisteet voidaan sijoittaa tavalla, joka palvelee useita käyttäjiä mahdollisimman tehokkaasti, kuten kuvassa 8. [18, s. 70–71.]



Kuva 8. Hajautettu latausjärjestelmä henkilöautojen lataukseen [18, s. 70–71].

### Megawattiluokan lataus

Nykyisten CCS-standardin mukaisten latausasemien latausteho on suurimmillaan 400 kW virran ollessa 500 A. MCS-standardi, lyhenne sanoista Megawatt Charging system, eli uusi megawattilatausstandardi on kehitteillä, ja sen mukaisten latausasemien tehon on suunniteltu olevan jopa 3,75 MW virran ollessa 3 000 A. ABB E-mobility esitteli MCS-latausjärjestelmän ensimmäisen prototyypin kuorma-autovalmistaja MANin kehityskeskuksessa Münchenissa. Esittelyssä ladattiin MAN eTruck -kuorma-autoa 700 kW:n teholla ja 1 000 A:n virralla. Akku ladattiin 10 prosentista 80 prosenttiin puolessa tunnissa. [20.]

Myös suomalainen Kempower on lanseerannut megawattilatausjärjestelmänsä, jonka ensimmäisellä versiolla huippulatausteho on 1,2 MW ja latausvirta 1 500 A. Järjestelmän pohjana toimii nestejäähdytteinen lataussatelliitti ja kaksi 600 kW:n tehoyksikköä. Samassa järjestelmässä voidaan käyttää sekä MCS- että CCS-pistokkeita, ja käyttämätön teho jakautuu pistokkeiden kesken dynaamisesti ajoneuvojen tarpeiden mukaan. [21; 22.]

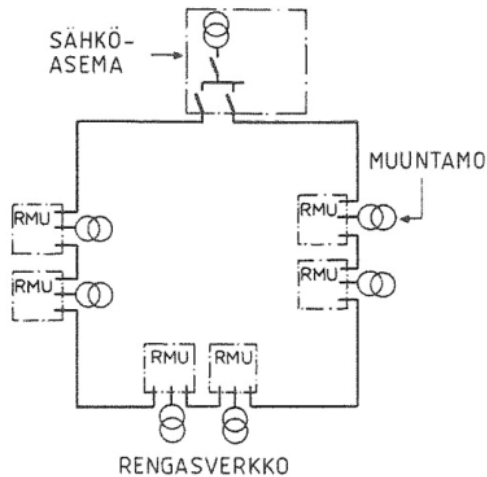
## 5 Keski- ja pienjännite

Standardissa SFS-EN 50160 [21, s. 9] on määritetty, että vaihtosähköverkkojen keskijännitteestä puhuttaessa tarkoitetaan jännitettä, jonka nimellinen tehollisarvo on yli 1 kV, mutta ei enempää kuin 36 kV. Suomessa keskijännitteen jännitetaso on yleensä 20 kV, mutta myös 10 kV:n jännitetaso on käytössä monin paikoin. Jännitetasolla tarkoitetaan Suomessa käytössä olevan kolmivaihejärjestelmän kahden vaiheen välistä pääjännitettä. Pienjännite taas on nimelliseltä tehollisarvoltaan enintään 1 kV ja, pienjänniteverkon jännitetaso on 400 V. Jakeluverkko, jota käytetään sähkön siirtämiseen pienille ja keskisuurille sähkönkäyttäjille, koostuu keski- ja pienjänniteverkosta. [23, s. 9; 24.]

Pohdittaessa valintaa pien- ja keskijänniteliittymän välillä tulee huomioida sähköliittymästä tarvittava teho ja eri liittymävaihtoehtojen kustannukset. Kustannuksissa on eroja eri verkkoyhtiöiden välillä, joten niitä tulee aina tarkastella paikkakuntaakohtaisesti. Esimerkiksi verkkoyhtiö Caruna tarjoaa keskijänniteliittymää 20 kV:n jännitetasolla, kun tehontarve on 0,7 MVA tai enemmän, mutta yli 15 MVA:n liittymät liitetään pääsääntöisesti suurjännitteiseen jakeluverkkoon [25]. Verkkoyhtiöillä on tarkat ohjeet, mitä tulee ottaa huomioon keskijänniteliittymää tilatessa.

### 5.1 Muuntamo

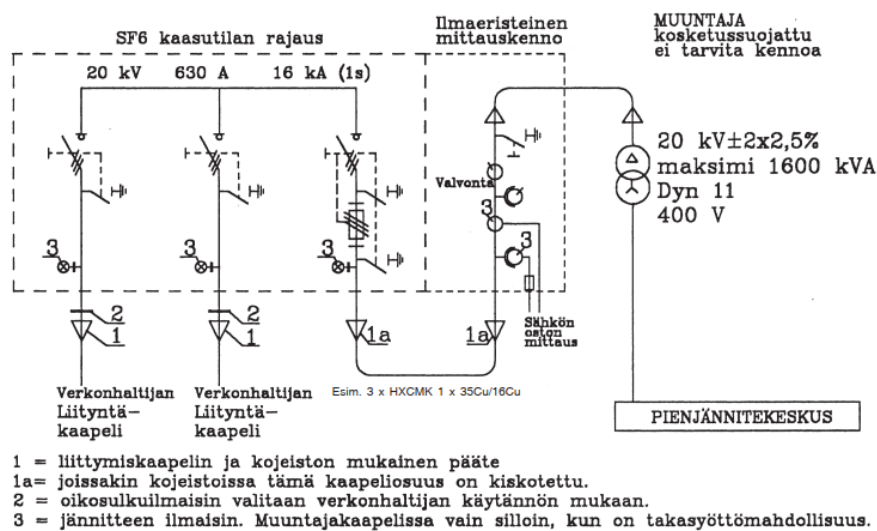
Muuntamo on keskijänniteverkkoon liitetty verkostokomponentti, jossa jakeluverkon 10 tai 20 kV:n jännite muunnetaan 400 V:n pienjännitteeksi. Tyypillisesti keskijänniteverkko toteutetaan kuvan 9 mukaisena niin sanottuna rengasverkkona. Tämä mahdollistaa sen, että vikatilanteessa tai uutta muuntamoita kytkettäessä ei muille verkon käyttäjille aiheudu haittaa. [26, s. 10, 13.]



Kuva 9. Rengasverkon topologia [26, s. 10].

Kuvassa 10 on esitetty yhden muuntajan muuntamon pääkaavio. Käytännössä muuntamo on sähkötila, joka koostuu

- keskijännitekojeistosta
- muuntajasta
- pienjännitekeskuksesta
- pienjännitejohtolähdöistä
- mahdollisista apujännitejärjestelmistä [26, s. 13].



Kuva 10. Esimerkki yhden muuntajan muuntamon pääkaaviosta [27, s. 10].

Perinteisiä muuntamotyypppejä ovat ilmajohtoverkkoihin rakennetut pylväsmuuntamot ja maakaapeloiduissa jakeluverkoissa kiinteistö- ja puistomuuntamot. Kiinteistömuuntamot ovat rakennuksen sisälle, yleensä ulkoseinälle sijoitettuja erikseen palo-osastoituja tiloja. Puistomuuntamo on kiinteistöstä irrallaan oleva tehdasvalmis modulaarinen kokonaisuus, joka voidaan räätälöidä täysin käyttötarkoituksensa mukaan. Puistomuuntamot ovat alkaneet syrjäyttää pylväsmuuntamoja, kun maakaapeloinnit ovat yleistyneet myös maaseudulla. Vaihtoehtoisesti puistomuuntamon sijaan voidaan rakentaa täysin erillinen rakennus pelkästään muuntamo varten. Kummassakin tapauksessa puhutaan erillisestä muuntamosta. [26, s. 13–16.]

ST-käsikirjassa 53.11 [27, s. 2–3] käsitellään verkonhaltijan 10 kV:n tai 20 kV:n jänniteverkkoon liitettäviin kuluttajamuuntamoihin liittyviä säädöksiä, standardeja ja ohjeita. Ohjeet kattavat suunnittelu- ja rakennusvaiheiden eri toimenpiteet muuntamon rakentamispäätöksestä sen sähköverkkoon kytkemiseen saakka. Käsikirjassa käydään läpi myös muun muassa vaatimuksia liittyen muuntamon

- palo- ja rakennustekniseen suunnitteluun
- tilantarpeeseen
- ilmanvaihtoon
- sijaintiin. [27, s. 2–7.]

Muuntajalta pienjännitekeskukselle mentäessä käytetään usein virtakiskoja, ja niissä kulkeva virta voi olla useita tuhansia ampeereja. Virtakiskot ovat joko kuparisia tai alumiinisia ja kulkevat suojattuna kiskosillan sisällä. Näin estetään sekä virtakiskon vaurioituminen että ihmisten joutuminen kosketuksiin niiden kanssa. [28, s. 6–7.]

## 5.2 Sähkölaitteiston käytön johtaja

Sähköturvallisuuslain 1135/2016 mukaan sähkölaitteistolle edellytetään käytön johtajaa, jos

- 1) sähkölaitteistoon kuuluu yli 1 000 voltin nimellisjännitteisiä osia, lukuun ottamatta enintään 1 000 voltin nimellisjännitteellä syötettyjä yli 1 000 voltin sähkölaitteita tai niihin verrattavia laitteistoja; tai
- 2) sähkölaitteiston liittymisteho, jolla tarkoitetaan sähkölaitteiston haltijan kiinteistölle tai yhtenäiselle kiinteistöryhmälle rakennettujen liittymien liittymistehojen summaa, on yli 1 600 kilovolttiampeeria. [13, § 60.]

Käytön johtajalta edellytetään muun muassa, että hän on sähkölaitteiston haltija tai tämän palveluksessa tai sellaisen yhteisön palveluksessa, jolla on sähkölaitteiston haltijan kanssa sähkölaitteistoa koskeva kunnossapitosopimus. Vaihtoehtoisesti käytön johtajana voi toimia henkilö, joka ei ole sähkölaitteiston haltijan palveluksessa, jos sähkölaitteistoon kuuluu enintään kolme nimellisjännitteeltään enintään 20 kV:n muuntamoita tai muuntamoon rinnastettavaa erillistä yli 1 000 V:n nimellisjännitteistä kytkinlaitosta. Käytön johtajalla tulee myös olla töihin oikeuttava pätevyystodistus. [13, § 61, 65.]

Käytön johtajan tehtäviin kuuluu vastata seuraavista asioista:

- Sähkölaitteiston käytössä ja huollossa noudetaan sähköturvallisuuslakia.
- Sähkölaitteisto on sähköturvallisuuslain edellyttämässä kunnossa käytön aikana.
- Käyttötöitä tekevät henkilöt ovat ammattitaitoisia ja koulutettuja tehtäviinsä. [13, § 62.]

### 5.3 Yliaallot

Vaihtosähköverkon jännite on ideaalilanteessa täysin sinimuotoista taajuuden ollessa 50 Hz. Tällöin sähkö on niin sanotusti puhdasta, mutta yliaaltojen esiintyminen sähköjärjestelmissä aiheuttaa jännitteen vääristymistä ja poikkeamista sinimuotoisista aaltomuodoista. Tätä vääristymistä aiheuttaa usein se, kun sähköverkkoon kytketyt epälineaariset kuormat syöttävät verkkoon päin perusaallosta poikkeavaa virtaa. Tällaisia kuormia ovat esimerkiksi tasasuuntaajista koostuvat laitteet, joiden käyttövirta ei ole

verrannollinen syöttöjännitteeseen. Tästä aiheutuu haittaa sähköverkon käyttäjille, sillä nykyaikaiset sähkölaitteet on suunniteltu toimimaan virheettömällä sinimuotoisella jännitteellä. [29, s. 7.]

Sähköajoneuvojen akkujen latauksessa käytetään tasasuuntaajia, ja niiden diodien ja tyristorien lukumäärästä riippuen ne aiheuttavat eri määrän yliaaltoja sähköverkkoon. Mitä enemmän tasasuuntaajassa on diodeja ja tyristoreja, sitä suurempi sen pulssiluku on. [30, s. 4.] Pulssilukujen vaikutusta tasasuuntaajien sähköverkkoon päin tuottamien yliaaltojen määrään voidaan arvioida yhtälöllä 1.

$$n = kp \pm 1 \quad (1)$$

$k$  on kokonaisluku

$p$  on suuntaajan pulssiluku

$n$  on yliaallon järjestysnumero [29, s. 17].

Yliaallon järjestysnumeron selvittyä voidaan arvioida yliaaltojen suuruutta yhtälöllä 2.

$$I_n = \frac{I_1}{n} \quad (2)$$

$I_n$  on yliaaltovirtakomponentti (A)

$I_1$  on perusaallon virtakomponentti (A)

$n$  on yliaallon järjestysnumero [29, s. 17–18].

Yhtälöjen 1 ja 2 avulla voidaan päätellä, että yliaallon järjestysnumero on suoraan verrannollinen tasasuuntaajan pulssilukuun. Yliaallon järjestysnumero taas vaikuttaa kääntäen verrannollisesti yliaaltovirtakomponenttien suuruuteen. Lopputulos on se, että suurella pulssiluvulla olevat tasasuuntaajat aiheuttavat vähemmän yliaaltoja kuin pienellä pulssiluvulla olevat. [30, s. 5.]

Yliaalloista seuraa jännitteen säröytyminen, joka saattaa sekoittaa elektronisten laitteiden ja järjestelmien toimintaa ja vaikuttaa niiden tehokertoimeen.

Jännitteen säröytyminen ilmaistaan THD-arvona, joka on lyhenne sanoista Total

Harmonic Distortion. [30, s. 5.] THD-arvon pitää olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 % [23, s. 22]. Standardissa SFS-EN 50160 on määritetty yliaalloille niiden suurimmat sallitut arvot keskijänniteverkon liittämiskohdassa. Taulukossa 1 on esitetty suurimmat sallitut arvot parillisille yliaalloille. Taulukosta on poistettu parittomien yliaaltojen arvot.

Taulukko 1. Standardissa SFS-EN 50160 määritetyt sallitut arvot parillisille yliaalloille [23, s. 22]. Muokattu.

<b>Parilliset yliaallot</b>			
<b>Kolmella jaottomat</b>		<b>Kolmella jaolliset</b>	
<b>Järjestysluku n</b>	<b>Suhteellinen jännite <math>u_n</math></b>	<b>Järjestysluku n</b>	<b>Suhteellinen jännite <math>u_n</math></b>
5	6,0 %	3	5,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %
11	3,5 %	15	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %
17	2,0 %		
19	1,5 %		
23	1,5 %		
25	1,5 %		

Taulukossa 2 on esitetty suurimmat sallitut arvot parittomilla yliaalloille. Taulukosta on poistettu parillisten yliaaltojen arvot.

Taulukko 2. Standardissa SFS-EN 50160 määritetyt sallitut arvot parittomille yliaalloille [23, s. 22]. Muokattu.

<b>Parittomat yliaallot</b>	
<b>Järjestysluku</b> <b>n</b>	<b>Suhteellinen jännite</b> <b>u<sub>n</sub></b>
2	2,0 %
4	1,0 %
6...24	0,5 %

Yliaaltoja suodattamalla voidaan sähkön laatua parantaa ja jännitteen säröytymistä pienentää, jolloin todennäköisyys verkkoon kytkettyjen laitteiden häiriöille tai vaurioitumiselle pienenee. Yliaaltojen suodattaminen tapahtuu estokeloparistoilla tai yliaaltosuodattimilla, jotka valitaan kohteen ja sähköverkon tarpeisiin sopiviksi. [30, s. 6.]

#### 5.4 Loisteho

Loisteholla tarkoitetaan reaktiivisen kuorman aiheuttamaa tehoa. Loisteho aiheuttaa ylimääräistä kuormitusta sähköverkkoon, kun osa reaktiivisen kuorman energiasta palaa sinne takaisin. Tämä tarkoittaa sitä, että sähköverkko ja sen kojeet täytyy mitoittaa kestäämään myös loistehon aiheuttama virran osuus. Kuorman reaktiivisuus johtuu kapasitanssin ja induktanssin välisestä epätasaisuudesta, ja useimmiten puhutaan induktiivisesta loistehosta. Induktiivinen loisteho syntyy sähkölaitteiden, kuten sähkömoottoreiden, keloista ja käämeistä. Suuremmissa sähköliittymissä verkkoyhtiöt mittaavat loistehon määrää ja laskuttavat liittymän omistajaa sen käytöstä. [30, s. 7.]

Loistehon käyttäjälle aiheuttamat ongelmat ovat lähinnä taloudellisia. Sähköverkon kyky siirtää työtä tekevää pätötehoa huononee loistehon

aiheuttamien häviöiden vuoksi. Tästä seuraa se, että tarvittavan pätötehon saamiseksi vaatimukset pääsulakekoon suhteen kasvavat ja sähköverkon siirtokykyä pitää lisätä. Nämä taas korottavat liittymis-, perus- ja siirtomaksujen kustannuksia. Loistehon määrä myös kasvattaa näennäistehoa, jonka kulutuksen mukaan loppukäyttäjän sähkölasku muodostuu. [30, s. 7.]

Kasvavien kustannuksien hillitsemiseksi onkin ratkaisu. Loistehoa kompensoimalla voidaan pienentää verkon kokonaisvirtaa, jolloin verkkoa ei tarvitse mitoittaa kohtuuttoman suureksi ja jännitteenalenemat sekä sähköjohtojen tuottama lämpö vähenevät. Kun loistehoa kompensoidaan, verkkoyhtiön laskuttamat loistehomaksut myös pienenevät ja sähköliittymä voidaan suunnitella sopivan kokoiseksi. Loistehon kompensointi on järkevin toteuttaa siellä, missä sitä syntyy, ja usein kompensointiyksikkö sijoitetaan pääkeskuksen lähistölle. [30, s. 7–9.]

Loistehoa kompensoidaan rinnakkaiskompensoinnilla. Tämä tarkoittaa sitä, että kompensointilaite asennetaan kuorman rinnalle. Loistehon kompensoinnin yhteydessä voidaan myös suodattaa yliaaltoja käyttämällä esimerkiksi estokelaparistoja. Yleisimpiä loistehon kompensoinnissa käytettyjä laitteita ovat

- estokelaparistot
- kondensaattoriyksiköt
- rinnakkais- tai sarjakondensaattoriparistot
- reaktori
- staattinen kompensattori
- tyristorikytketty kondensaattoriparisto
- yliaaltosuodatin
- pyörivät kompensointilaitteet. [30, s. 7–8.]

## 6 Latausasemakentän suunnittelu

Työssä käsiteltävä latausasemakenttä on suunnitteilla Kotkan Mussalon satama-alueelle. Mussalon satamassa on Suomen suurin ja yksi Itämeren vilkkaimmista konttiterminalaaleista. Siellä käsitellään suurin osa Suomen



## 6.1 Latausjärjestelmävaihtoehdot

Sähköajoneuvojen latausjärjestelmien tarjoajia on markkinoilla runsaasti. Työhön valikoitui vertailtaviksi kolmen laitetoimittajan raskaan liikenteen tarpeisiin sopivat latauslaitteet. Laitetoimittajat ovat Kempower, Enersense ja Plugit. Ajoneuvoesimerkkinä työssä käytetään 728 kWh:n akun sisältävää Scania R450e -sähkörekkää. Laitetoimittajat ja esimerkkirekka on valittu asiakkaan puolesta.

### 6.1.1 Kempower

Kempowerin raskaan liikenteen latausjärjestelmät voidaan rakentaa yhdestä tai useammasta Power Unit C800 -tehoyksiköstä ja halutusta määrästä Mega Satellite -latauslaitteita. Power Unit C800 on modulaarinen kaappi, joka sisältää yhdestä neljään 50 kW:n tehomodulia. Tällöin yhden kaapin teho on suurimmillaan 200 kW, mutta tehoyksikkö voidaan rakentaa kolmesta kaapista, jolloin suurin nimellisteho on 600 kW. Yhdessä kaapissa on 8 latauslähtöä, joten sen perään voidaan kytkeä joko 8 yhden pistokkeen Satellitea tai 4 kahden pistokkeen Satellitea. Yhden pistokkeen MCS-laturi vie kaksi latauslähtöä. Dynaamisen tehonhallinnan avulla latausteho jakautuu kaikkien lähtöjen kesken automaattisesti. 600 kW:n tehoyksikön leveys on 1850 mm, syvyys 841 mm ja korkeus 2195 mm, joten ne tarvitsevat paljon tilaa. [32.] Kuvassa 12 on yhden, kahden ja kolmen kaapin C800-tehoyksiköt.



Kuva 12. Power Unit C800 -tehoyksikön eri kokoonpanot [32].

Kempowerin Mega Satellite -latausasema tulee saataville CCS2-pistokkeella, jolloin suurin latausteho on 560 kW, ja MCS-pistokkeella, jolloin latausteho voi olla jopa 1,2 MW. Yli yhden megawattin latausteho saadaan kytkemällä latausasema kahden 600 kW:n tehoyksikön perään. Latausasemat toimivat 200–1250 VDC:n jännitealueella, mutta C800-tehoyksiköt rajoittavat maksimijännitteen 920 volttiin tasajännitteellä vielä toistaiseksi. Mega Satellite MCS -latausasemat on varustettu yhdellä latauspistokkeella ja CCS2-latausasemat yhdellä tai kahdella pistokkeella. [33.] Kuvassa 13 on Mega Satellite CCS2 ja MCS.



Kuva 13. Mega Satellite CCS2 vasemmalla ja MCS oikealla [33].

Jotta haluttu noin 7 MW:n latausteho saavutettaisiin, tarvitaan tehoyksiköitä yhteensä vähintään 12 kappaletta, joista yksi on teholtaan 400 kW ja loput 600 kW. Tällöin tehoyksiköt ja 14 latausasemaa jakautuisivat näin:

- Kaksi 600 kW:n tehoyksikköä syöttää yhtä MCS-latausasemaa.
- Kolme 600 kW:n tehoyksikköä syöttää kukin kahta CCS2-latausasemaa.
- Kuusi 600 kW:n tehoyksikköä syöttää kukin yhtä CCS2-latausasemaa.
- Yksi 400 kW:n tehoyksikkö syöttää yhtä CCS2-latausasemaa.

Tässä tapauksessa varmistetaan, että megawatin latausasema säilyttää teholatauskapasiteettinsa, vaikka kaikki latausasemat olisivat käytössä. Yhdellä tehoyksiköllä syötettävät tuplalaturit jakavat tarvittaessa lataustehonsa kahden ajoneuvon välillä. Loput latausasemat, paitsi 400 kW:n tehoyksikön perässä oleva, pystyvät antamaan täyden 560 kW:n lataustehon. Yksi mahdollinen haaste tässä tilanteessa on tehoyksiköiden sijoitus.

Jos latausasemakentän kokonaistehosta tingitään, tehoyksiköiden määrä voidaan pudottaa esimerkiksi yhdeksään, jolloin jako menisi näin:

- Kaksi 600 kW:n tehoyksikköä syöttää yhtä MCS-latausasemaa.
- Kuusi 600 kW:n tehoyksikköä syöttää kukin kahta CCS2-latausasemaa.
- Yksi 400 kW:n tehoyksikkö syöttää yhtä CCS2-latausasemaa.

Tällöin latausasemien yhteisteho olisi 5,2 MW ja useampi latausasema jakaisi lataustehonsa tarvittaessa.

### 6.1.2 Enersense

Enersensen ECDC-latausasema sisältää itsessään 160 kW:n tehoyksikön, ja sitä voidaan tehostaa erillisellä Booster Power Unit -yksiköllä, jota on saatavilla 320, 480 ja 640 kW:n teholla. ECDC-latausasemat voivat myös tehostaa toisiaan. [34.] Kuvassa 14 on ECDC-latausasema ja Booster Power Unit -tehoyksikkö.



Kuva 14. Enersensen ECDC-latausasema ja Booster Power Unit -tehoyksikkö [34].

Isoimmalla teholla saadaan siis yhteen kahdella CCS2-pistokkeella varustettuun latausasemaan 800 kW:n latausteho. Yhtä ajoneuvoa voidaan kuitenkin ladata maksimissaan vain 400 kW:n teholla. [34.] Megawattilatausluokan ratkaisua Enersensellä ei tällä hetkellä ole tarjolla. ECDC-latausasemia ei myöskään saa vain yhdellä latauspistokkeella, joten se muodostuu ongelmaksi suunniteltujen ajokaistojen kohdalla. Teoriassa kohteessa voitaisiin hyödyntää kahdeksaa latausasemaa ja tehoyksikköä, mutta yksi latauspistoke jäisi käyttäjien ulottumattomiin. Kokonaislatausteho olisi tällöin 5,6 MW.

### 6.1.3 Plugit

Plugit HUBE -sarjaan kuuluu HUBE Power Unit -tehoyksikkö, jota on saatavana kahdessa koossa, ja HUBE Satellite Unit -latausasema. Tehoyksikön koot ovat 360 kW ja 720 kW, ja jokaisen tehoyksikön perään voidaan sijoittaa 4 latausasemaa. Latausasemissa on yhdestä kahteen latauspistoketta ja niitä saa 180 kW:n ja 360 kW:n kokonaisteholla. [35.] Kuvassa 15 on kahden pistokkeen HUBE Satellite ja 720 kW:n HUBE L -tehoyksikkö.



Kuva 15. HUBE Satellite -latausasema ja HUBE L -tehoyksikkö [35].

Myöskään Plugitilla ei ole vielä tarjolla megawattilataukseen tarkoitettuja laitteita. Suurin saatava latausteho 360 kW on pienin kaikista kolmesta vaihtoehdosta, mutta kohteen latauspisteet voidaan toteuttaa niin, että latauspisteitä ei mene hukkaan. 14 latauspistettä voidaan toteuttaa esimerkiksi seuraavalla tavalla:

- Kaksi 360 kW:n HUBE-tehoyksikköä syöttää kumpikin yhtä yhden pistokkeen ja 360 kW:n HUBE Satelliitea.
- Kuusi 720 kW:n HUBE-tehoyksikköä syöttää kukin kahta yhden pistokkeen ja 360 kW:n HUBE Satelliitea.

Kokonaislatausteho on tällöin 5,04 MW, mutta kaikilta latauspisteiltä on saatavilla maksimaalinen 360 kW:n latausteho kaikkina aikoina.

#### 6.1.4 Latausjärjestelmän valinta

Kempowerin latausjärjestelmä on loogisin valinta kohteeseen, kun haetaan suurinta lataustehoa yksittäisille CCS2-latauspisteille. Koko latausasemakentän teho voidaan myös mitoittaa tarvittaessa useita megawatteja pienemmäksi menettämättä mahdollisuutta ainakin yhteen MCS-latauspisteeseen. Jotta tehoyksikköjen määrä pysyy maltillisena, täytyy osa niistä jakaa useammalle latausasemalle ja hyödyntää dynaamista kuormanhallintaa. Tällöin kaikille latauspisteille ei saada täyttä lataustehoa, jos lataajia on useampi. Enersensen ja Plugitin latausjärjestelmät taas mahdollistavat suhteellisen helposti niillä saatavan maksimaalisen lataustehon ilman vaikutusta muihin latausasemiin, vaikka kaikilla latauspisteillä olisi ajoneuvo.

Akun lataamiseen kuluva aika saadaan arvioitu jakamalla akun kapasiteetti (kWh) latausteholla (kW). Työn esimerkirekan 728 kWh:n akun lataamiseen tarvittava aika vaihtelee runsaasti eri latausvaihtoehdoilla. Oletetaan, että akku ladataan nollasta prosentista täyteen ja se pystyy vastaanottamaan täyden lataustehon. Kempowerin 1,2 MW:n latauksella aikaa kuluu 36,4 minuuttia ja omalla tehoyksiköllään varustetulla CCS2-latauksella 560 kW:n teholla 78 minuuttia. Jos kaksi CCS2-latauspistettä käyttää puoliksi yhden tehoyksikön

antaman 600 kW:n lataustehon, niin akun lataukseen kuluu jopa 145,6 minuuttia. Oman 400 kW:n tehoyksikön perässä olevan CCS2-laturin latausaika on 109,2 minuuttia. Sama aika kuluu Enersensen latausasemalla ladattaessa. Plugitin latausaseman 360 kW:n teholla latausaika on 121,3 minuuttia.

## 6.2 Sähköliittymän ja muuntajien mitoitus

Kymenlaakson Sähköverkko Oy, tästä eteenpäin tekstissä KSOY, tarjoaa keskijänniteliittymän 10 tai 20 kV:n jännitetasolla. Heidän keskijänniteliittymäohjeessaan on tarkat vaatimukset eri toimenpiteille, kun lähdetään suunnittelemaan keskijänniteliittymää. Yksinkertaisesti ilmaistuna sähkösuunnittelija ilmoittaa KSOY:lle tarvittavan tehon, keskijännitekojeiston sijainnin ja milloin liittymä halutaan käyttöön. [36.]

KSOY:n ohjeiden mukaan suurin yksittäisen muuntajakoneen sallittu teho on 2000 kVA. Kuvitellaan, että kohteeseen toteutetaan Kempowerin latausjärjestelmä 7 MW:n latausteholla, eikä muuta sähkökuormaa oteta huomioon. Jaetaan yhdeksän 600 kW:n tehoyksikköä kolmelle muuntajalle, jolloin jokaisen muuntajan tehoksi tulee 1800 kVA. Loput kaksi 600 kW:n tehoyksikköä ja yksi 400 kW:n tehoyksikkö tulevat oman muuntajan perään, jolloin kyseisen muuntajan tehoksi tulee 1600 kVA. Jokaisen muuntajan perään tulee oma 400 V:n pienjännitekeskus, joka syöttää omaa kolmen tehoyksikön ryhmäänsä. 1600 kVA:n muuntaja voidaan tarvittaessa mitoittaa hieman suuremmaksi, kun on selvillä, mitä muuta kuormaa latauslaitteiston lisäksi kohteessa on. Pienjännitekeskukset mitoitetaan muuntajien tehon ja verkon oikosulkuarvojen perusteella standardin SFS-EN 61439-1 mukaisesti.

## 6.3 Muuntamon suunnittelu

Suuren latausasemakentän keskijänniteliittymän jännitekojeistot, muuntajat ja pienjännitekeskukset tarvitsevat paljon tilaa. Siksi suunnittelun alkuvaiheessa on tärkeää selvittää, onko saatavilla puistomuuntamo, joka soveltuisi kohteen tarpeisiin, vai lähdetäänkö rakentamaan kokonaan uutta rakennusta, johon

sijoitetaan kaikki tarvittava. Puistomuuntamot sisältävät usein vain yhden muuntajan, mutta nykyisin on saatavilla erilaisia modulaarisia malleja, joista voidaan rakentaa isoja muuntamokokonaisuuksia.

Mahdolliset kompensointilaitteet ja yliaaltojen suodattimet tulee myös ottaa huomioon tilantarvetta kartoitettaessa. Kempower kertoo C800-tehoyksikkönsä sähköteknisissä tiedoissa, että yksikön tehokerroin täydellä kuormituksella on 0,98 ja jännitteen säröytyminen eli THD-arvo on alle 5% [33]. Plugit kertoo laitteistonsa tehokertoimen olevan suurempi kuin 0,95 [35]. Enersensen esitteissä tietoa ei ole [34]. Näillä tiedoilla karkeasti arvioituna loistehon määrä ei tule olemaan ongelma, mutta on vaikea sanoa, mikä suuren latauskentän lopullinen vaikutus sähköverkkoon tulee olemaan.

Keskijännitekojeisto kannattaa suunnitella siten, että ensimmäisestä vaiheesta lähtien on lopullinen tarvittava määrä muuntajakennoja. Sitä mukaa, kun kenttä laajenee ja latauspisteitä halutaan ottaa lisää käyttöön, asennetaan muuntaja, pienjännitekeskus, kaapeloinnit, tehoyksiköt ja latausasemat. Kentän kaapelireittejä suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon isojen syöttökaapeleiden taivutussäteet ja missä ne kulkevat. On myös hyvä harkita, kannattaako kaapelit asentaa etukäteen vai riittävätkö pelkät putkitukset ja käytetäänkö esimerkiksi kaapelikaivoja raskaiden kaapeleiden vetämisessä paikasta toiseen.

## 7 Yhteenveto

Työssä oli tarkoitus tutustua sähköisen raskaan liikenteen maailmaan, selvittää eri latausjärjestelmien toimivuutta suuren latausasemakentän toteutuksessa ja käydä läpi, mitä asioita sähkösuunnittelussa tulee ottaa huomioon, kun tällaista kenttää lähdetään suunnittelemaan.

Työn edetessä kävi selväksi, että aihe on hyvin laaja ja vaikeahko kokonaisuus, ja sen eri osa-alueiden yksityiskohtaiseen läpikäymiseen voisi käyttää lähes loputtomasti aikaa. Lopputuloksena pyrittiinkin tekemään eräänlainen kooste, jolla pääsee alkuun työssä olevan kohteen ja tulevien vastaavanlaisten

kohteiden suunnittelussa. Työhön koottiin sähkösuunnittelun osalta tärkeitä huomioon otettavia asioita ja ohjeita, joilla suunnittelu saadaan käyntiin vaivattomasti.

Eri laitevalmistajien latausjärjestelmien vertailulla saadaan karsittua kohteeseen soveltumattomat vaihtoehdot. Kustannuseroihin ei tässä työssä otettu kantaa, sillä ne ovat hyvin monen tekijän summa. Latauslaitteiston hankinnan lisäksi kuluja tulee muun muassa sähköliittymän tilaamisesta, suunnittelutöistä, kentän ja muuntamon rakentamisesta, materiaalihankinnoista ja eri asennustöistä.

Latauskentän lopullisia vaikutuksia liitettävään sähköverkkoon oli hankala arvioida olemassa olevilla tiedoilla, joten niitä voidaan tutkia tarkemmin vasta, kun kohde on oikeasti rakenteilla ja tiedetään, minkälaisella laajuudella ja kalustolla latauskenttä tullaan toteuttamaan.

Vaikka työssä ei päästykään sukeltamaan kovin syväälle eri aihealueiden yksityiskohtiin, se opetti paljon siitä, mitä sähköinen raskas liikenne mahdollisesti tulee olemaan tulevaisuudessa ja mitä vaaditaan, että Suomessa päästäisiin vähäpäästöiseen logistiseen toimintaan.

## Lähteet

- 1 Pariisin ilmastosopimus. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/pariisin-ilmastosopimus>>. Luettu 24.9.2024.
- 2 Liikenteen CO2-päästöt liikennemuodoittain sekä maakunnittain. 2024. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/liikenteen-co2-paastot-liikennemuodoittain-seka-maakunnittain>>. Päivitetty 13.8.2024. Luettu 11.9.2024.
- 3 Tietoa meistä. Verkkoaineisto. Afry. <<https://afry.com/fi-fi/tietoa-meista>>. Luettu 21.6.2023.
- 4 What we do. Verkkoaineisto. Pragmacharge. <<https://www.pragmacharge.com/whatwedo>>. Luettu 30.8.2024.
- 5 Millä energialla kuljetamme? Raskaan liikenteen käyttövoimasiirtymän tilannekuva. 2023. Verkkoaineisto. Suomen Kuljetus ja Logistiikka SKAL ry. <[https://skal.fi/wp-content/uploads/2023/01/skal\\_kayttovoimasiirtyma\\_raportti\\_20230110.pdf](https://skal.fi/wp-content/uploads/2023/01/skal_kayttovoimasiirtyma_raportti_20230110.pdf)>. 19.1.2023. Luettu 6.6.2024.
- 6 Sähköisen liikenteen tilannekatsaus – Q1/2024. 2024. Verkkoaineisto. Sähköinen liikenne ry. <[https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2024%20Q1%20Sa%CC%88hko%CC%88inenLiikenne%20tilannekatsaus%202024%2004%2024%20jaettava\\_0.pdf](https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2024%20Q1%20Sa%CC%88hko%CC%88inenLiikenne%20tilannekatsaus%202024%2004%2024%20jaettava_0.pdf)>. 24.4.2024. Luettu 27.5.2024.
- 7 Euroopan laajuinen liikenneverkko TEN-T. 2023. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/liikennejarjestelma/euroopan-laajuinen-liikenneverkko-ten-t>>. Päivitetty 27.12.2023. Luettu 17.6.2024.
- 8 Euroopan vihreän kehityksen ohjelma: uusi kunnianhimoinen laki, jonka tavoitteena on taata riittävä vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuuri. 2023. Verkkoaineisto. Euroopan komissio. <[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/ip\\_23\\_1867](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/ip_23_1867)>. 28.3.2023. Luettu 17.6.2024.
- 9 Hae hankintatukea sähkö-, vety- ja kaasukäyttöiselle kuorma-autolle. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/asioi-kanssamme/hae-hankintatukea-sahko-vety-ja-kaasukayttoiselle-kuorma-autolle>>. Luettu 10.6.2024.

- 10 Sähköisen raskaan liikenteen valtionavustus. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/sahkoinenliikenne>>. Luettu 21.6.2024.
- 11 Kuudelle hankkeelle 3,8 miljoonaa euroa avustusta sähköisen raskaan liikenteen kehittämiseen Suomessa. 2023. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/kuudelle-hankkeelle-38-miljoonaa-euroa-avustusta-sahkoisen-raskaan-liikenteen>>. 2.2.2023. Luettu 21.6.2024.
- 12 Jääskeläinen, Saara. 2021. Fossiilittoman liikenteen tiekartta – Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisestä. Verkkoaineisto. Liikenne- ja viestintäministeriö. <[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163258/LVM\\_2021\\_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163258/LVM_2021_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. 22.6.2021. Luettu 9.7.2024.
- 13 Sähköturvallisuuslaki. 2016. 1135/16.12.2016.
- 14 Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus. 2023. ST 51.90. Sähköinfo Oy.
- 15 SFS 6001:2018. Suurjännitesähköasennukset. Suomen Standardisoimisliitto.
- 16 SFS 6002. 2015. Sähkötyöturvallisuus. Suomen Standardisoimisliitto.
- 17 Sähköajoneuvojen latauspisteet kiinteistöissä ja pelastustoiminnan edellytysten huomioiminen: Ohje toiminnanharjoittajalle. 2022. Verkkoaineisto. Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. <[https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2022-08/S%C3%A4hk%C3%B6autojen\\_latauspisteet\\_kiinteist%C3%B6ss%C3%A4\\_ja\\_pelastustoiminnan\\_edellytysten\\_huomioiminen.pdf](https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2022-08/S%C3%A4hk%C3%B6autojen_latauspisteet_kiinteist%C3%B6ss%C3%A4_ja_pelastustoiminnan_edellytysten_huomioiminen.pdf)>. 14.6.2022. Luettu 10.8.2024.
- 18 Linja-Aho, Vesa; Mäkinen, Jukka & Orrberg, Matti. Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät. ST-käsikirja 41. 2022. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 19 Sähköautojen lataussuositus. 2023. Verkkoaineisto. Sesko. <<https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-latausjarjestelmat/lataussuositus/>>. Päivitetty 18.5.2023. Luettu 23.6.2024.
- 20 ABB E-mobility ja MAN esittelevät ensimmäistä kertaa eTruckin latausta megawatin teholla. 2024. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/news/fi/detail/113917/abb-e-mobility-ja-man>>

esittelevat-ensimmaista-kertaa-etruckin-latausta-megawatin-teholla>. 5.4.2024. Luettu 22.7.2024.

- 21 Kempower esittelee megawattilatausjärjestelmän sähkörekoille ja yli yhden megawatin tehoa käyttäville sähköajoneuvoille. 2023. Verkkoaineisto. STT Info. <<https://www.sttinfo.fi/tiedote/70040485/kempower-esittelee-megawattilatausjarjestelman-sahkorekoille-ja-yli-yhden-megawatin-tehoa-kayttaville-sahkoajoneuvoille?publisherId=69818763&lang=fi>>. 17.10.2023. Luettu 22.7.2024.
- 22 Kempower lanseeraa megawattilatausjärjestelmänsä sähkörekoille Euroopassa. 2024. Verkkoaineisto. Kempower. <<https://investors.kempower.com/fi/releases/kempower-lanseeraa-megawattilatausjarjestelmansa-sahkorekoille-euroopassa/>>. 22.7.2024. Luettu 12.8.2024.
- 23 SFS-EN 50160:2022. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Suomen Standardisoimisliitto.
- 24 Korpinen, Leena. 1998. Sähkövoimatekniikkaopus: 3 Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Verkkoaineisto. Leena Korpinen. <[http://leenakorpinen.com/archive/svt\\_opus/3sahkon\\_siirto\\_ja\\_jakeluverkot.pdf](http://leenakorpinen.com/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf)>. 1998. Luettu 4.8.2024.
- 25 Liittymismaksuhinnasto. 2020. Caruna Espoo Oy. <[https://caruna.fi/sites/default/files/docs/liittymismaksuhinnasto\\_caruna\\_oy\\_1.12.2020.pdf](https://caruna.fi/sites/default/files/docs/liittymismaksuhinnasto_caruna_oy_1.12.2020.pdf)>. 1.12.2020. Luettu 12.8.2024.
- 26 Kauppinen, Vesa. 2022. Muuntamon sähkösuunnittelu. Opinnäytetyö. Oulun Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 27 Kuluttajamuuntamot. 2018. ST 53.11. Sähköinfo Oy.
- 28 Tommila, Janne. 2012. Kiskosilta. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 29 Hentunen, Kalle. 2020. Yliaalto-opus; Yliaaltojen perusteet. Opinnäytetyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 30 Patola, Tuomas. 2015. Sähköautojen latausjärjestelmien vaikutus sähkön laatuun. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 31 Mussalo. Verkkoaineisto. HaminaKotkat Satama Oy. <<https://www.haminakotka.com/fi/tietoa-satamasta/satamanosat/mussalo>>. Luettu 27.8.2024.
- 32 Kempower Power Unit C800. 2024. Asiakkaan toimittama aineisto. Kempower.
- 33 Kempower MegaWatt Charging system. Asiakkaan toimittama aineisto. Kempower.
- 34 We are Enersense. 2024. Asiakkaan toimittama aineisto. Enersense International Oyj.
- 35 Plugit HUBE – High Power DC Chargers. 2023. Asiakkaan toimittama aineisto. Plugit Finland Oy.
- 36 Keskijänniteliittymät (10 kV ja 20 kV) - Ohje. 2024. Verkkoaineisto. Kymenlaakson Sähköverkko Oy. < <https://www.ksoy.fi/wp-content/uploads/2024/04/Keskijanniteliittyman-10-kV-ja-20-kV-toteutus.pdf>>. 10.4.2024. Luettu 7.9.2024.