



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Sebastian Koivuhuhta

Sähköautonlatausyksikön mitoittaminen ja sen haasteet eri kiinteistötyypeissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

10.5.2021

Tekijä Otsikko	Sebastian Koivuhuhta Sähköautonlatausyksikön mitoittaminen ja sen haasteet eri kiinteistötyypeissä
Sivumäärä Aika	29 sivua 10.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Arja Ristola
<p>Opinnäytetyön tavoite oli tutkia sähköautonlatausyksikön mitoittamista. Tavoitteena oli perehtyä mitoittamisen edellytyksiin sekä haasteisiin mahdollisimman laaja-alaisesti. Työssä tutustutaan myös sähköautojen toimintaperiaatteisiin ja tulevaisuudennäkymiin. Opinnäytetyölle ei ollut tilaajaa.</p> <p>Sähköautojen yleistymisen myötä latausyksiköiden tarve tulee lisääntymään. Latausyksiköiden mitoittamiseen liittyy paljon niin hallinnollisia kuin teknisiäkin haasteita, joita voidaan ratkaista eri tavoin. Tässä opinnäytetyössä käsitellään yleisimpiä haastetilanteita ja niiden ratkaisuja kuvitteellisin esimerkein.</p> <p>Opinnäytetyössä suunnitellaan oikeisiin kohteisiin kuvitteelliset sähköautonlatausyksiköt ja verrataan erilaisia latausjärjestelmiä toisiinsa. Mitoitusratkaisut perustuvat opinnäytetyössä esiteltyihin laskelmiin. Kohteiden tietojen sekä laskelmien perusteella valitaan kohdekohtaisesti ihanteellisimmat ratkaisut.</p> <p>Opinnäytetyössä tutustuttiin aluksi sähköauton sähkömoottorityyppeihin, toimintaperiaatteisiin ja erilaisiin latausjärjestelmiin. Selvitettiin myös sähköautonlatausyksikön mitoituksen edellytyksiä kolmeen eri kiinteistötyyppiin ja laadittiin kiinteistökohtaiset mitoitus suunnitelmat. Opinnäytetyön lopuksi tutkittiin tulevaisuuden latausjärjestelmien innovaatioita.</p> <p>Opinnäytetyössä valittiin kullekin mitoituskohteelle sopiva latausjärjestelmä. Esimerkkikiinteistöjen osakkaat tai haltijat voivat hyödyntää opinnäytetyötä mahdollisissa tulevaisuuden sähköautonlatauspaikkojen hankinnoissa. Opinnäytetyötä voidaan soveltaa yleisesti tulevaisuudessa myös vastaavanlaisissa tilanteissa.</p>	
Avainsanat	sähköauto, sähköauton lataus, latausyksikön mitoittaminen

Author Title Number of Pages Date	Sebastian Koivuhuhta Dimensioning of an Electric Vehicle Charging Unit and Its Challenges in Different Real Estate Types 29 pages 10 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Arja Ristola, Senior Lecturer
<p>The target of this thesis work was to study the dimensioning of an electric vehicle charging unit. The goal was to clarify the requirements and challenges of dimensioning as pervasively as possible. The thesis also handles the operating principles and the future of electric vehicles. This thesis had no client.</p> <p>The rising amount of electric vehicles leads to an increasing demand of electric vehicle charging units. Multiple governmental as well as technical difficulties are involved in dimensioning the electric vehicle charging units. These problems can be solved in many ways. This thesis focuses on the most common challenging situations and their solutions with imaginary examples.</p> <p>The thesis work is focused on planning imaginary electric vehicle charging units to real life properties and comparing different charging systems to each other. The dimensioning solutions are based on the calculations showed on this thesis work. The thesis work selects the ideal solutions for each real estate example based on the available real estate information and calculations.</p> <p>The thesis work first got to know the electric motor types and operating principles of electric vehicles as well as different charging systems. The thesis work also examined the requirements of dimensioning in three different real estate types and composed dimensioning plans for each real estate. The future charging system innovations were studied at the end of the thesis work.</p> <p>A fitting charging solution was chosen for each real estate example in this thesis work. The owners or shareholders of the example real estates are able to utilize this thesis work in their possible upcoming purchases concerning electric vehicle charging units. The thesis work can be generally applied in similar situations.</p>	
Keywords	electric vehicle, electric vehicle charging, dimensioning of an electric vehicle charging unit

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköautojen toimintaperiaatteet	2
2.1	Sähköautojen sähkömoottorityypit	2
2.2	Sähköautojen ja polttomoottoriautojen olennaiset erot	7
3	Lataustavat	9
3.1	Hidas lataustapa	10
3.2	Peruslatausasema	11
3.3	Pikalatausasema	12
4	Hallinnolliset haasteet taloyhtiössä sähkölatauspaikan suunnittelussa	13
5	Sähköpaikan mitoittaminen kerrostalokiinteistöön	15
6	Sähköpaikan mitoittaminen paritalokiinteistöön	20
7	Sähköpaikan mitoittaminen vapaa-ajan kiinteistöön	22
8	Sähköautoilun tulevaisuus ja latauspaikkojen yleistyminen	24
9	Yhteenveto	29
	Lähteet	30
	Liitteet	

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on selvittää mitoitusmahdollisuuksia kolmeen erilaiseen kiinteistöön. Kiinteistöt ja niiden sähköjärjestelmät ovat eri-ikäisiä, joten jokainen kohde tuo erilaisen haasteen mitoitussuunnitelmaan. Mitoituskohteet ovat todellisia kohteita, mutta varsinainen mitoitus työ jätettiin tarkoituksella suunnitelman tasolle. Tälle insinööriyölle ei ollut tilaajaa tai toimeksiantajaa.

Insinööriyön on tarkoitus kertoa myös sähköautojen toimintaperiaatteista ja lataamisesta sekä mitoituksessa ilmenevistä sähköteknillisistä haasteista. Sähköautot ovat niin nykypäivää kuin tulevaisuuttakin. Tulevaisuuteen keskitytään tämän insinööriyön kahdeksannessa luvussa tarkemmin. Sähköautoilu on myös tärkeä osa keskustelua kestävään kehitykseen liittyen. Erilaisia sähköautoihin liittyviä säädöksiä on tehty niin kansallisella kuin kansainvälisellä tasolla.

Jotta sähköauton toimintaa voi ymmärtää, on tärkeää huomioida sähköauton ja polttomoottoriauton eroavaisuuksia. Yksi olennainen ero polttomoottori- ja sähköauton välillä liittyy voimanlähteisiin. Polttomoottoriautoa tankataan, kun polttoainetankissa on vauasta. Sähköautoa taas ladataan, kun käyttöakun varausta ei ole enää käyttäjän tarpeisiin riittävästi. Ihanteellisessa tilanteessa, kun sähköautoilija saapuu illalla kotiin, laittaa hän auton lataukseen, ja aamulla akku on täynnä. (Sähköautot 2020; Luukkanen 2020; Vesa 2017: 5; Evans 2019.)

Sähköautot voidaan jakaa täyssähköautoihin ja hybridautoihin. Sekä poltto- että sähkömoottoria hyödyntävät hybridautot voidaan jakaa edelleen kahteen ryhmään, itselataaviin ja ladattaviin hybrideihin. Itselataavat hybridit lataavat hybridiakkua vain talteen otetulla jarrutusenergialla. Hybridiakusta varaus purkautuu sähkömoottorille, joka polttomoottorin lisänä liikuttaa autoa hybridiakun varauksen voimalla. Myös lataushybridit hyödyntävät toiminnassaan jarrutusenergian talteen ottoa, mutta toisin kuin itselataavat hybridit, voidaan lataushybridit ladata ulkoisesta latauspisteestä. Insinööriyössä käsitellään kuitenkin pääsääntöisesti vain täyssähköautoja ja niiden lataamista, joten tekstissä termillä sähköauto viitataan pelkästään täyssähköautoon. (Pohjonen 2018.)

2 Sähköautojen toimintaperiaatteet

Sähköauton toiminta perustuu siihen, että akustoon varastoitu sähköenergia muutetaan liike-energiaksi sähkömoottorin avulla. Täten sähköautoissa avainasemassa toimivat akusto ja yksi tai useampi sähkömoottori. Sähköautossa on perinteisen 12 V:n akun lisäksi myös korkeajänniteakku, jonka jännite on tyypillisesti joko 400 tai 800 V. Noin 400 V:n akut ovat yleisempiä, mutta 800 V:n akut ovat käytössä esimerkiksi sähköurheiluauto Porsche Taycanissa. Tulevaisuudessa todennäköisesti yleistyvä 800 V:n akusto mahdollistaa jopa kaksinkertaisen pikalataustehon verrattuna 400 V:n järjestelmiin. Sähköautojen korkeajänniteakkujen koko on autokohtaista, yleensä akun koko on 16:n ja 100:n kWh:n välillä. (Gupta 2020; Nieminen 2019; Sähköauton lataus 2019.)

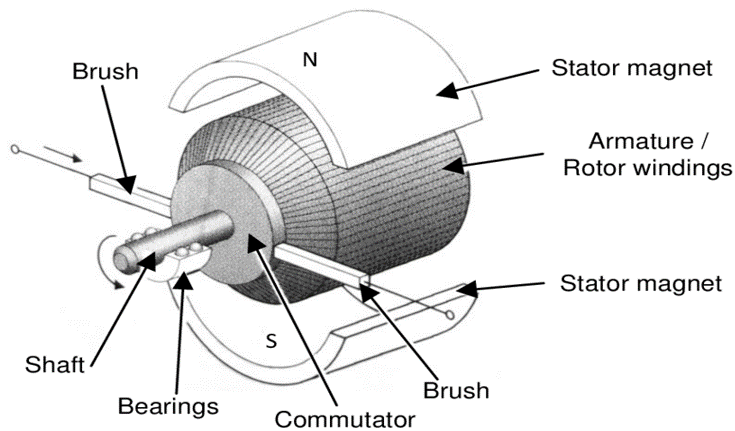
2.1 Sähköautojen sähkömoottorityypit

Sähköautoissa käytettäviä sähkömoottoreita on useita eri tyyppisiä, joista käytetään yleisesti neljää, eli tasavirta-, hiiliharjatonta tasavirta-, kestromagneetti- ja oikosulkumoottoria. (Karthik 2019; Sähkömoottorityypit 2020.)

Tasavirralla toimivissa moottoreissa muuttuva sähkökenttä saadaan aikaiseksi magneettien napaisuutta muuttamalla. Hiiliharjallisen tasavirtamoottorin rakenne on nähtävillä kuvassa 1, jossa staattorin magneetit on merkitty napaisuuksien perusteella lyhenteillä N (north, pohjoinen) ja S (south, etelä). Magneetit ympäröivät kuvassa 1 roottorin käämityksiä, jotka hylkivät samansuuntaisilla napaisuuksilla olevia staattorin magneetteja. Kun moottoriin syötetään tasavirtaa, alkaa roottori pyöriä. Tällöin roottorin käämien napaisuutta vaihdetaan kommutaattorilla ja vastakkaisuuntaiset napaisuudet alkavat hylkiä toisiaan. Pyörimisen jatkuessa kommutaattori vaihtaa staattorin magneettien napaisuutta. (Berg 2020: 10–12.)

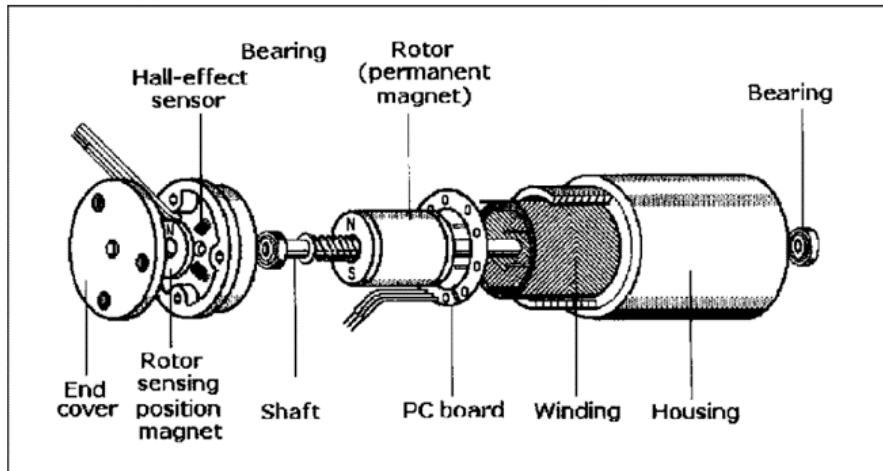
Sähköautojen tasavirtamoottorit ovat usein joko hiiliharjallisia tai hiiliharjattomia. Hiiliharjallinen tasavirtamoottori käyttää hiilestä tai metallista valmistettuja harjoja ankkurivirran syöttöön roottorille. Kuvassa 1 hiiliharjat lepäävät roottorin napaisuutta muuttavan kommutaattorin päällä. Hiiliharjallisen tasavirtamoottorin hyviä puolia ovat sen vaivaton säädettävyys sekä hyvä momentintuotto. Hiiliharjallisen tasavirtamoottorin huonoja puolia

ovat hiiliharjojen kuluminen, ja se, että niitä pitää vaihtaa. Hiiliharjojen kulumisesta syntyy myös paljon hiilipölyä, joka vähentää moottorin käyttöikää. (Koivula 2017: 19–21.)



Kuva 1. Räjätyskuva hiiliharjallisesta sähkömoottorista. Armature / Rotor windings tarkoittaa roottorin käämitystä. Bearings tarkoittaa laakereita. Brush tarkoittaa hiiliharjaa. Commutator tarkoittaa kommutaattoria. Shaft tarkoittaa akselia. Stator magnet tarkoittaa staatorin magneetteja. (Pedersen 2013.)

Hiiliharjattomassa tasavirtamoottorissa on puolijohteita tai mekaaninen kommutaattori, joka tekee syötetystä tasavirrasta vaihtovirtaa. Kuvassa 2 on nähtävillä räjäytyskuva hiiliharjattomasta sähkömoottorista. Hiiliharjattoman moottorin hyvät puolet ovat samat kuin hiiliharjallisessa tasavirtamoottorissa. Hiiliharjattonta tasavirtamoottoria tarvitsee myös huolta vähemmän, sillä hiiliharjoja ei ole, eikä hiilipölyä synny. Huonoja puolia taas ovat taajuusmuuttajan tarpeellisuus hiiliharjattoman tasavirtamoottorin ohjauksessa. Taajuusmuuttajan välttämättömyyden vuoksi hiiliharjaton tasavirtamoottori tulee kalliimmaksi kuin pelkkä hiiliharjallinen tasavirtamoottori. (Sähkömoottorityypit 2020.)



Kuva 2. Räjätyskuva hiiliharjattomasta sähkömoottorista. Bearing tarkoittaa laakeria. End cover tarkoittaa päätykantta. Hall-effect sensor tarkoittaa Hall-anturia. Housing tarkoittaa koteloa. PC board tarkoittaa piirilevyä. Rotor (permanent magnet) tarkoittaa kestopagneetoitua roottoria. Rotor sensing position magnet tarkoittaa roottorin asennon tunnistavia magneetteja. Shaft tarkoittaa akselia. (Masaeli 2012.)

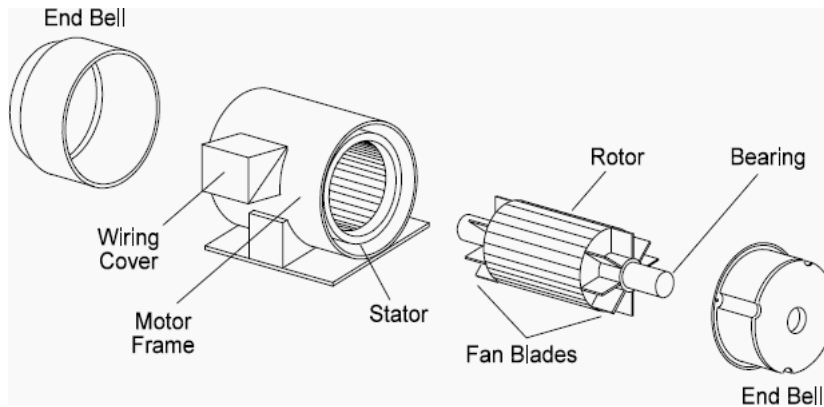
Kestomagneettimoottoreissa toiminta perustuu konetta magnetoiviin, roottoriin asennettuihin kestopagneetteihin. Kuvassa 3 on räjätyskuva kestopagneettimoottorin rakenteesta. Kestomagneetit voidaan sijoittaa monin eri tavoin, kuten roottorin pinnalle tai roottorin sisälle joko tangentialisesti tai v-muotoon. Kuvan 3 kestopagneettimoottorissa magneetit on sijoitettu roottorin sisään v-muotoon induktanssin lisäämiseksi, mikä mahdollistaa moottorin magneettisuuteen vaikuttamisen paremmin staattorin puolelta. Kestomagneetteina toimii yleensä neodyymi-, rauta- tai boorikestopagneetti, koska niillä on korkea energiatulo. Korkea energiatulo mahdollistaa kestopagneettimoottorin pienen painon ja koon. Kestomagneettimoottoreiden hyvänä ominaisuutena pidetään tarkkuutta, joka riittää monissa käytöissä ilman takaisinkytkentää. On myös mahdollista jättää vaihteisto kokonaan pois, jolloin kestopagneettimoottoreissa on vähemmän huollettavaa. (Berg 2020: 10–12; Leppä 2003: 24–27.)



Kuva 3. Räjätyskuva kestmagneettimootorista. Bar wound wire tarkoittaa käämitystä. Bearing support assembly tarkoittaa laakerin tukea. Magnets (pair installation) tarkoittaa parina asennettuja magneetteja. Rotor hub tarkoittaa roottorin napaa. Steel plate tarkoittaa teräslevyä. (GM shows 85 kW permanent magnet EV motor 2011.)

Oikosulkumoottorin toiminta perustuu staattorin ja roottorin ympärillä pyörivään sähkökenttään, joka saadaan aikaiseksi vaihtovirralla (Sähkömoottorityypit 2020). Oikosulkumoottorin rakennetta on esitelty kuvassa 4 tarkemmin. Virransyöttö staattorille tapahtuu kuvassa 4 liitântäkotelon (wiring cover) kautta. Koska vaihtovirrassa sähkövirran suunta vaihtuu moottorille määritellyn taajuuden mukaan, vaihtuu myös sähkökentän napaisuus yhtä nopeasti. Vaihtuvan sähkökentän ansiosta roottori pyörii staattorissa ja moottori toimii. (Leppä 2003: 45–59.)

Oikosulkumoottorin hyviä puolia ovat esimerkiksi todella hyvä soveltuvuus teollisuuteen, koska ne eivät ole rakenteeltaan monimutkaisia ja herkästi vikaantuvia. Oikosulkumoottorit eivät yleensä vaadi jäähdytystä, vaan pelkästään sen pinta täytyy puhdistaa säännöllisin väliajoin moottorin viileyden varmistamiseksi. Lisäksi oikosulkumoottori vaatii vähäistä huoltoa, ja mikäli sen rakenne on suljettu, se sopii hyvin myös vaativiin olosuhteisiin. Oikosulkumoottorin huonot puolet ovat sen pieni ylikuormitettavuus kentänheikennyksessä ja tehokertoimen jääminen yleensä noin 0,8–0,86 lukemaan tavoiteltavan arvon 1 sijaan. (Leppä 2003: 45–59; Kauppi 2012.)



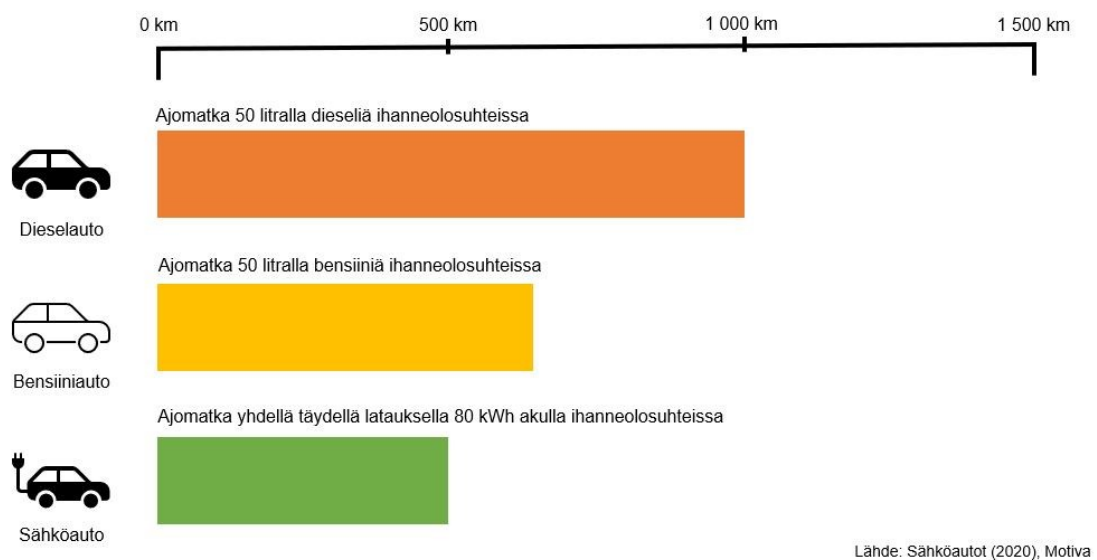
Kuva 4. Räjätyskuva oikosulkumotorista. Bearing tarkoittaa laakeria. End bell tarkoittaa moottorin päätysuojaa. Fan blades tarkoittaa tuulettimen lapoja. Motor frame tarkoittaa moottorin runkoa. Rotor tarkoittaa roottoria. Stator tarkoittaa staattoria. Wiring cover tarkoittaa liitäntäkoteloa. (Csanyi 2011.)

Sähköauton sähkömoottoreita ohjataan pääsääntöisesti taajuusmuuttajalla. Invertteri muokkaa sähköauton akulta saatavan tasasähkön vaihtosähköksi. Akulta saatava tasavirta suunnataan invertterin avulla sähkömoottorin tarpeita vastaavaksi, esimerkiksi vaihtovirraksi tai tasavirraksi. Taajuusmuuttaja muuttaa kiinteän vaihtosähkön muuttuvaksi vaihtosähköksi. (Berg 2020: 7–13.)

Sähköautoissa on mahdollista käyttää useita sähkömoottoreita, joten autosta saadaan helposti nelivetoinen. Erityyppisiä moottoreita voidaan käyttää ja tällä tavoin nostaa ajoneuvon energiatehokkuutta. Jotkin sähköautovalmistajat ovat esimerkiksi valinneet oikosulkumoottorin ja kestopagneettimoottorin yhdistelmän tavoitellessaan suurta tehoa sekä korkeaa hyötysuhdetta. Useamman sähkömoottorin hyödyntäminen on mahdollista, koska sähkömoottorit voidaan sijoittaa suoraan akselille. Sähkömoottorit voivat olla myös kooltaan hyvin pieniä. (Guberman & Rawlinson 2020.)

Sähköautojen energiankulutus on polttomoottoriautoihin verrattuna huomattavasti alhaisempi, koska sähkömoottorien hyötysuhteet ovat erittäin paljon korkeammat kuin polttomoottoreilla. Sähkömoottorin hyötysuhde voi olla yli 90 prosenttia, kun polttomoottorin hyötysuhde jää noin 40–50 prosentin luokkaan. Polttomoottoriautoissa käytetään polttoaineina pääsääntöisesti bensiiniä tai dieseliä. Eri polttoaineilla on erilaisia energiatiheyyksiä. Diesel on noin viidesosan energiatihempää kuin bensiini. Dieselin energiatiheys on myös huomattavasti suurempi, noin 120-kertainen verrattuna sähköautojen käyttämiin litium-ioniakkuihin. Toisin sanoen samankokoiseen tilaan voidaan dieselillä pakata 120

kertaa enemmän energiaa kuin sähköauton litium-ioniakulla. Kuvassa 5 on havainnollistettu eri energiamuodoilla autolla päästävä matka täydellä 50 litran tankilla ja 80 kWh:n ajoakulla ihanneolosuhteissa. Täten voidaan huomata, että täydellä tankilla pääsee pidemmän matkan kuin täydellä ajoakulla, pitkälti polttoaineiden energiatiheiden ansiosta. Akkujen energiatihyettä kuitenkin kehitetään, joten lähivuosien aikana voidaan päästä jo huomattavasti pidempiin matkoihin yhdellä latauksella. (Sähköautot 2020; Federley 2009: 8; Differences Between Diesel and Petrol 2016.)



Kuva 5. Eri energiamuodoilla päästävä matka täydellä tankilla tai akulla (Sähköautot 2020).

2.2 Sähköautojen ja polttomoottoriautojen olennaiset erot

Päivittäisessä käytössä sähköauto toimii lähes samalla tavalla kuin automaattivaihteinen polttomoottoriauto. Joitakin eroavaisuuksia kuitenkin on, kuten vaihteiston puuttuminen sähköautoista. Toisaalta sähköurheiluauto Porsche Taycaniin on asennettu kaksivaihteinen vaihdelaatikko hyötysuhteen parantamiseksi suurilla nopeuksilla. (Rönkkö 2019; Ahtiainen 2019; Sähköautot 2020.)

Sähköauto tarvitsee vähemmän huoltoa kuin polttomoottoriauto, koska sähkömoottorin tyypistä riippuen liikkuvia osia on vähemmän verrattuna polttomoottoriin. Sähkömoottori

voi toimia myös generaattorina, joka mahdollistaa jarrutusenergian talteenoton, ja siten säästää niin jarrupaloja kuin jarrulevyjäkin. Auton sisätilojen suunnittelu voi olla monipuolisempaa, sillä polttomoottoriautoista tuttuja keskitunneleita ei enää tarvita ja moottorit voidaan sijoittaa suoraan akselille. Pakoputket voidaan jättää pois ja moottorin ilmanottoaukkoja voidaan pienentää huomattavasti, mikä parantaa aerodynamiikkaa. Akkujen sijainti mahdollistaa paremman ohjautuvuuden, koska akut sijoitetaan yleensä auton pohja-alustaan, jolloin sähköauton painopiste on alempana verrattuna polttomoottoriautoon. Huomioitavaa on myös se, että polttomoottorille ominaista ääntä ei sähköautosta kuulu. (Heima 2020; Sähköautot 2020; O'Dell 2016; Granström 2020; Adams 2018; Frilander 2015; Abuelsamid 2009; Lempinen 2010; Korhonen 2021.)

3 Lataustavat

Sähköautojen akkujen lataukseen voidaan käyttää tasa- tai vaihtosähköä. DC (Direct Current) eli tasavirta ei vaihda suuntaa vaihtovirran tavoin. Tasavirtaa saadaan monista eri lähteistä kuten paristoista ja aurinkopaneeleista. AC (Alternating Current) eli vaihtovirta vaihtaa suuntaansa jaksollisesti, määrättyllä taajuudella sähköverkosta riippuen. Sekä vaihto- että tasavirtaa voidaan tuottaa generaattoreilla. Pääsääntöisesti vaihtovirta on helpompi tuottaa kuin tasavirtaa, sillä generaattorien pyörimisliike tuottaa suoraan vaihtovirtaa eikä sitä tarvitse erikseen tasasuunnata. (James & Granath 2020.)

Sähköautojen lataukseen on tehty erilaisia standardeja. SFS-EN 50620 on standardi, jolla rajoitetaan halogeenittomien kaapeleiden ulkoasua, mittoja ja testivaatimuksia. Standardi koskee niitä kaapeleita, joissa on puristettu eristys ja vaippa, ja joiden nimelliskäyttöjännite on korkeintaan 450/750 volttia. Standardin SFS-EN 50620 latauskaapeli soveltuu hitaalle lataustavalle ja peruslataustavalle. Maksimissaan käyttölämpötila kaikille standardin SFS-EN 50620 kaapeleiden johtimille on 90°C. Kaapelit voivat standardin mukaan olla auton osa, pysyvästi kiinnitetty latauspisteeseen tai kokonaan erillisenä kaapelina, jota voidaan käyttää kotitalouspistorasiasta käsin sähköajoneuvoon. (SFS-EN 50620:2017 2017.)

SFS-EN 62752 -standardi koskee kaapelinsisäisiä ohjaus- ja suojalaitteita sähköautojen hitaaseen lataustapaan liittyen, mukaan lukien ohjaus- ja turvatoiminnot. Standardia SFS-EN 62196-2 sovelletaan pistokkeisiin, pistorasioihin, ajoneuvon liittimiin ja sisääntuloihin, joita käytetään sähköajoneuvojen latauksessa. Niiden nimelliskäyttöjännite saa olla enintään 480 V AC, 50 Hz-60 Hz ja nimellisvirta enintään 63 A kolmivaiheisena tai 70 A yksivaiheisena. Standardia SFS-EN 62196-3 sovelletaan yhtä lailla kaikkiin niihin osiin, joita käytetään sähköajoneuvojen latauksessa. Erona standardiin SFS-EN 62196-2 on kuitenkin se, että standardia SFS-EN 62196-3 sovelletaan suuritehoiseen tasavirtaan. Täten latausjärjestelmien ohjausvälineiden nimelliskäyttöjännite saa olla enintään joko 1500 V DC tai 1000 V DC ja nimellisvirta 250 A. (SFS-EN 62752:2016 2016; SFS-EN 62196-2 2017; SFS-EN 62196-3 2016.)

Sähköautojen lataustapoja tunnetaan yleisesti ottaen kolme, eli hidas lataustapa, peruslataustapa ja pikalataustapa. Vaihtovirtaa käytetään hidas- ja peruslataustavoissa, kun pikalatauksessa käytetään tasavirtaa. (Sähköajoneuvojen lataussuositus 2021: 1–7.)

3.1 Hidas lataustapa

Hitaaseen lataustapaan tulee turvautua vain, jos perus- tai pikalataus ei ole käytettävissä. Vaikka sähköauton akkua on kannattava ladata hitaasti akun käyttöiän pidentämiseksi, on SESKOn lataussuosituksen (2021) mukaan kokemus osoittanut, että kotitalouspistorasiat harvoin kestävät 16 A mitoitusvirtaansa. Hidas lataustapa vaatii latauskaapelin, joka täyttää standardin SFS-EN 50620 vaatimukset. Tällainen standardin SFS-EN 50620 täyttävä latauskaapeli on esitelty kuvassa 6. Latauskaapelin suojalaiteyksikkö on aseteltava siten, ettei siihen kohdistu vääntöä tai vetoa. Sähköauton akkuun syötetään vaihtosähköä kotitalouspistorasiasta, jollainen löytyy esimerkiksi lämmitysliitynnästä. (Sähköajoneuvojen lataussuositus 2021: 1–7; Vesa 2017: 16.)



Kuva 6. Defan hitaan lataustavan latauskaapeli, joka täyttää standardit SFS-EN 50620 ja SFS-EN IEC 61851-1. (Latauskaapeli Mode 2 Type 2 2021.)

Myynnissä on kotitalouspistorasioita, jotka on tehty kestämään jatkuva 16 A:n virta, mutta standardi näille on vasta kehitteillä. Tärkeää on myös varmistaa, että syöttävä verkko kestää 16 A:n jatkuvan virransyötön. Mikäli virta kuitenkin rajoitetaan standardin

SFS-EN 62752 mukaisesti kahdeksaan ampeeriin, voidaan tavallista kotitalouspistorasiaa käyttää jatkuvaan lataukseen. Toisaalta vakuutusyhtiöt voivat vakuutusehdoissaan määrätä lisävaatimuksia kotitalouspistorasian sähköautonlatauskäyttöön. (Sähköajoneuvojen lataussuositus 2021: 1–7; SFS-EN 62752:2016 2016.)

3.2 Peruslatausasema

Peruslatausasemia on olemassa kiinteillä ja erillisillä latausjohdoilla varustettuna. Kiinteillä johdoilla varustetuilla latausasemilla on nimensä mukaisesti kiinteä latausjohto, jota ei voi vaihtaa. Vastaavasti erillisillä latausjohdoilla varustetuilla asemilla johtoa voi vaihtaa tarpeen mukaan. Täten erillisellä latausjohdolla varustettu asema on kiinteäjohtoista asemaa monikäyttöisempi. (Sähköajoneuvojen lataussuositus 2021: 1–7.)

Peruslatausasemasta lataaminen on kaikista suositeltavin vaihtoehto verrattuna muihin lataustapoihin. Peruslatausasema on suunniteltu sähköajoneuvon lataamista varten, joten se kestää jatkuvan sähkövirran hidaslatausta paremmin. Peruslataamisessa myös sähköajoneuvon lataamisaika on lyhyempi kuin hitaassa lataamisessa. (Sähköajoneuvojen lataussuositus 2021: 1–7; Komonen 2020.)

Peruslatauksessa sähköautopistorasiasta syötetään sähköajoneuvoon vaihtosähköä sitä tukevalla latauskaapelilla, jonka pitää täyttää sähköajoneuvon latauksessa käytettäviä laitteita säätelevä standardi SFS-EN 62196-2. Esimerkki standardin SFS-EN 62196-2 täyttävästä peruslatauskaapelista on esitelty kuvassa 7. Peruslatausasemaksi luokiteltavassa lataustavassa latausvirta saa standardin SFS-EN 62196-2 nojalla olla enimmillään 3*63 A ja suurin sallittu latausteho 43 kW. Käytettävän tehon perusteella voidaan valita myös alhaisempi virtataso. (Sähköajoneuvojen lataussuositus 2021: 1–7; SFS-EN 62196-2 2017.)



Kuva 7. Defan peruslatauskaapeli, joka täyttää standardin SFS-EN 62196-2. (Latauskaapeli Mode 3 Type 2 – Type 1 2021.)

Älykkäiden latausjärjestelmien käyttäminen on suotavaa peruslatausasemilla varsinkin silloin, kun mitoitetaan useita peruslatausasemia kiinteistön sähköjärjestelmään. Älykäs latausjärjestelmä säättää automaattisesti järjestelmän kuormitusta käytön mukaan ja ehkäisee näin ylikuormittumista. Vaikka peruslatausasemaa ei olisikaan varustettu älykkäällä latausjärjestelmällä, on asemat ja kaapelit varustettu tiedonsiirtoväylällä turvallisuuden varmistamiseksi ja latauksen ohjausta varten. (Sähköajoneuvojen lataussuositus 2021: 1–7.)

3.3 Pikalatausasema

Nopein lataustapa on pikalataus, jossa tasavirtaa siirretään suurella teholla lyhyessä ajassa sähköauton akkuun. Pikalataus kuitenkin lyhentää akkujen käyttöikää nopeammin kuin hidas- tai peruslataaminen. Pikalatauksesta joutuu yleensä myös maksamaan enemmän kuin peruslatausaseman käytöstä. Mikäli latausasema on pikalatausasema, on sen täytettävä SFS-EN 62196-3 -standardi. Tämänhetkisissä pikalatausasemissa tehot ovat 50:n ja 350 kW:n välillä ja latausvirta satoja ampeereita. (Sähköajoneuvojen lataussuositus 2021: 1–7; SFS-EN 62196-3 2016.)

4 Hallinnolliset haasteet taloyhtiössä sähkölatauspaikan suunnittelussa

Vuonna 2020 annetussa laissa rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä on määrätty luvussa 2 pykälässä 5, että tulevaisuudessa valmistuvien rakennusten suunnittelussa on otettava huomioon sähköajoneuvojen latauspisteet. Latauspisteet tulee joko asentaa valmistumisen yhteydessä tai saataville tulee mitoittaa latauspistevalmius kaikissa rakennushankkeissa, joiden lupahakemus on jätetty käsiteltäväksi aikaisintaan 11.3.2021. Vaatimus latauspisteiden mitoittamisesta myös nykyisten rakennusten läheisyyteen on olemassa, mikäli rakennukseen tehdään vaikutukseltaan suuri, rakennusluvan vaativa korjaustyö, jonka lupahakemus on jätetty aikaisintaan 11.3.2021. Latauspisteiden rakentamista tai mitoittamista ei kuitenkaan vaadita, mikäli rakennukselle ei ole tulossa suuria korjaustöitä. (Jaakkonen 2021; Koskinen-Tammi & Laurila 2021; Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä 2020.)

Latauspaikkojen mitoittamisessa on tärkeää ottaa huomioon kannattavuus ja hyödyllisyys käyttäjille. Pysäköintipaikalta löytyvä sähköautonlatauspiste voi olla asunnonostajille vaatimus, mikä kasvattaa asunnon arvoa. Vaikka sähköautojen yleistyminen on tulevaisuudessa todennäköistä, on sähköautopaikkoihin sijoittaminen kallista niin taloyhtiölle kuin yksityishenkilöllekin. Taloyhtiön on mahdollista saada asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA:lta taloudellista avustusta sähköautopaikkojen hankintaan, jos tietyt kriteerit täyttyvät. (Jaakkonen 2021; Koskinen-Tammi & Laurila 2021; Avustus sähköautojen latausinfraan rakentamiseen 2021.)

Taloyhtiön täytyy rakentaa valmius vähintään viidelle latauspaikalle, jotta avustusta voi saada asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA:lta. Avustusta jo muualta saaneet hakijat tai keskeneräiset uudisrakennuskohteet eivät voi saada ARA:n tarjoamaa avustusta latauspaikoille. Avustus koskee kartoitus- ja suunnittelukustannuksia, muutostyökustannuksia, kuten kaapelointia ja putkitusta, sekä tuen saajan omistukseen kuuluvia latauslaitteita. Avustussumma on suuruudeltaan korkeintaan 90 000 euroa kuitenkin kokonaissummasta maksimissaan vain 35 prosenttia tai 50 prosenttia, mikäli vähintään puolella latauspaikoista voi ladata 11 kW tai sitä suuremmalla teholla. (Jaakkonen 2021;

Koskinen-Tammi & Laurila 2021; Avustus sähköautojen latausinfraan rakentamiseen 2021.)

Ensimmäinen askel latauspaikan tai latauspaikkojen mitoittamisessa on selvittää tarvittavien latauspaikkojen määrä sekä kartoittaa latauspaikkojen vaatiman tehon kokonaismäärä. Laskelmiin kannattaa sisällyttää myös tulevaisuuden potentiaalinen tarve, sillä on kustannustehokkaampaa mitoittaa kerralla useita latauspaikkoja ja valita 11 kW:n latauspaikat tulevaisuutta varten. Vaikka käytössä olisikin pelkkä lataushybridi, joka ei pysty täyttämään 11 kW:n lataustehoa hyödyntämään, lataa lataushybridi automaattisesti akkunsaa sille sopivalla teholla. Kun taloyhtiön osakkaat ovat ilmaisseet tarpeensa, voi hallitus esimerkiksi lähteä etenemään suunnitelman kanssa tai yksittäinen osakkeenomistaja viedä asian yhtiökokoukseen. Hallinnollisesti suunnitelma voidaan toteuttaa hallituksen luvalla yksittäisen osakkaan muutostyönä, mikäli taloyhtiö ei ryhdy hankkeeseen. (Koskinen-Tammi & Laurila 2021; Sähköauton lataus 2019.)

Latauspisteiden hankintapäätös voidaan tehdä enemmistöpäätöksellä taloyhtiön hallinnassa oleville autopaikoille, mikäli hankinta- ja asennusmenot pysyvät maltillisina osakkeille. Latauspisteet voidaan toteuttaa joko kaikkiin tai vain osaan taloyhtiön parkkipaikoista, mutta kustannusten jakamisessa tulee kiinnittää erityistä huomiota yhdenvertaisuuteen varsinkin, kun kaikkia parkkipaikkoja ei muuteta sähköautojen latauspisteiksi. Jokaisen sähkölatauspaikan sähkönkulutusta voidaan seurata erikseen kWh-mittarilla, jotta sähkölatauspaikkojen käyttäjät maksavat vain kuluttamastaan sähköstä. (Koskinen-Tammi & Laurila 2021.)

Osakashallinnassa olevat autopaikat voidaan muuttaa sähköautonlatauspaikoiksi hallituksen tai yhtiökokouksen suostumuksella, kunhan huomioon otetaan yhdenvertaisuusperiaate. Toisin sanoen, jokainen, joka jatkossa haluaa sähköautonlatauspaikan, saa sen samoilla ehdoilla. Osakashallinteisten autopaikkojen muutostyöt sekä ylläpito ovat osakkaan omakustanteisia. Taloyhtiölle latauspaikkojen hankinta voi jättää myös piileviä kuluja, joita ei pystytä kohdentamaan autojaan latauspaikoilla lataaville. Esimerkiksi pääsulakkeen kasvaessa perusmaksut kasvavat, ja mikäli taloyhtiön sähkösopimus perustuu teholaskutukseen, latauspisteistä johtuva huipputehon tarpeen kasvu nostaa teho-

maksua. Ratkaisuna näiden pilokulujen välttämiseksi on esimerkiksi se, että latauspisteet rakentaa sähkönsiirtoyhtiö, joka myös laskuttaa latauspisteistä käytön mukaan. (Koskinen-Tammi & Laurila 2021; Mattson 2018.)

5 Sähköpaikan mitoittaminen kerrostalokiinteistöön

Opinnäytetyön ensimmäinen mitoituskohde on vuonna 2006 rakennettu kerrostaloyhtiö Vantaalla. Taloyhtiössä on 65 osakasomisteista autopaikkaa, joissa kaikissa on moottorin- ja sisätilanlämmittimen käyttöä varten lämmitinliityntä. Autopaikat ovat joko katospaikkoja tai suojaamattomia autopaikkoja. Suojaamattomalla paikalla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että auto pysäköidään rajattuun ruutuun taivasalle. Autokatospaikkakaan eivät ole lämmitettyjä hallipaikkoja, vaan auto pysäköidään katoksen alle.

Tässä kuvitteellisessa mitoitustilanteessa valitaan kaikille 65 autopaikalle 11 kW:n latauspisteet. Olemassa on myös yksivaiheiset 3,7 kW:n ja 7,4 kW:n latausjärjestelmät, mutta kolmivaiheinen 11 kW järjestelmä on nopeampi lataamaan esimerkiksi suuriakkuisen sähköauton. Täten 11 kW järjestelmä on tulevaisuutta ajatellen parempi ratkaisu, sillä akkujen kapasiteetit tulevat kasvamaan sähköautojen kehittyessä. Kotitalouksien käyttöön on olemassa myös 22 kW latausjärjestelmiä, jotka eivät kuitenkaan ole yleistyneet 11 kW latausjärjestelmien tavoin. (Linja-aho 2016: 24–26; Eddy, Pfeiffer & van de Staaij 2019; Sähköauton ottotehot ja lataaminen - Sähköopin perusteita 2019.)

Suurikokoisempia 22 kW latausjärjestelmiä täydellä teholla hyödyntäviä sähköautoja on vähän, minkä vuoksi suurin osa sähköautoista pystyy hyödyntämään vain 11 kW saatavilla olevasta lataustehosta. Latausta säätelee auton oma, sisäinen latauksenhallintajärjestelmä, joka myös muuntaa akkuun syötettävän vaihtovirran tasavirraksi, kun ajoneuvoa ladataan vaihtovirralla. Latausjärjestelmä joudutaan myös rajoittamaan 11 kW, mikäli kiinteistön sähkökapasiteetti ei riitä 22 kW järjestelmän ylläpitoon. (Lempinen 2020b; Sähköauton ottotehot ja lataaminen - Sähköopin perusteita 2019)

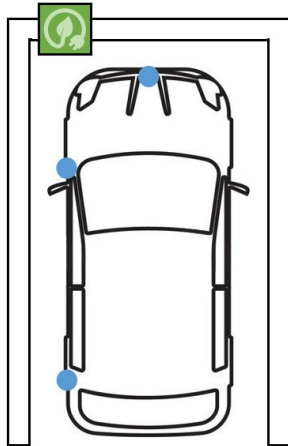
Valitessa sopivaa latausjärjestelmää on hyödyllistä huomioida se, kuinka kauan sähköauton lataamisessa kestää. Taulukossa 1 on esitelty kahden erikokoisen korkeajänniteakun latausajat nolasta sataan prosenttiin ladattaessa. Laskelmissa ei olla kuitenkaan

huomioitu lataustehon hidastumista akun täytyessä tai latauksessa syntyviä häviöitä. Laskelma on tehty ohjeellisen latausajan laskukaavaa hyödyntäen, jossa latausaika saadaan jakamalla auton akun koko latausteholla. (Lataus-FAQ 2018.)

Taulukko 1. 60 ja 100 kWh korkeajänniteakun latausajat (Lataus-FAQ 2018).

Auton akun koko (kWh)	Latausteho (kW)	Latausaika (h)
60	3,7	16,2
60	7,4	8,1
60	11	5,5
60	22	2,7
Auton akun koko (kWh)	Latausteho (kW)	Latausaika (h)
100	3,7	27,0
100	7,4	13,5
100	11	9,1
100	22	4,5

Sähköautonlatauspaikan sijainti on myös tärkeää ottaa huomioon mitoituksessa etenkin suurilla ja ahtailla pysäköintialueilla. Sähköautoissa latausportin sijaintia ei ole määritelty standardeissa, vaan mahdollisia sijainteja on useita. Yleisimmät sijainnit latausporteille ovat auton keulassa tai vasemmassa sivussa joko edessä tai takana. Yleisimmät sijainnit latausporteille esitetään myös kuvassa 8. Latausporttien sijainnit huomioiden, sähköautonlatauspiste kannattaa sijoittaa pysäköintipaikan vasempaan reunaan kuvan 8 esimerkkiä myötäillen. Tällöin latausjohdon pitäisi ylittää latausporteihin vaivatta. (Sähkö liikenteen käyttövoimana osana energiamurrosta – EV-latausjärjestelmän suunnittelijan opas 2019: 11–15.)



Kuva 8. Yleisimmät sähköauton latausportin sijainnit ja suositeltu sijainti latauspisteelle pysäköintiruudussa (Sähkö liikenteen käyttövoimana osana energiamurrosta – EV-latausjärjestelmän suunnittelijan opas 2019.)

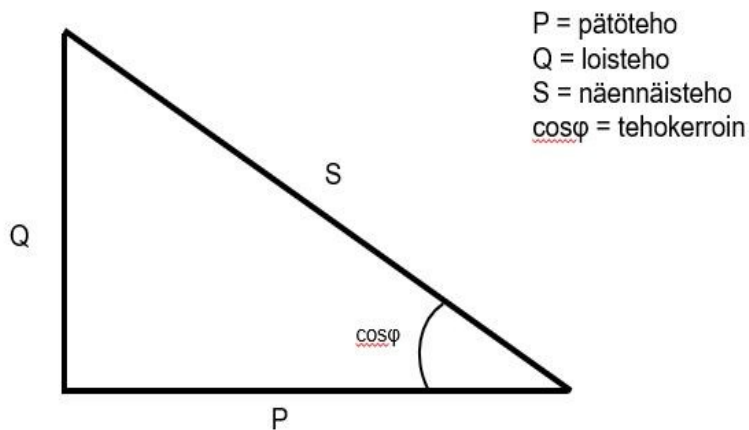
Sähköautonlatauspisteiden kustannukset tulee yksilöidä käyttäjäkohtaisesti, jotta jokainen käyttäjä maksaa vain kuluttamastaan sähköenergiasta. Latauspisteet voidaan liittää osaksi talotekniikan hallintaa. Edellytyksenä talotekniikkaan yhdistämiselle on latauspistekohtainen mittaus ja raportointiratkaisu sekä mahdollinen käyttäjätietokanta. Vaihtoehtoisesti latauspisteitä voi hallinnoida myös latausoperaattori. (Sähkö liikenteen käyttövoimana osana energiamurrosta – EV-latausjärjestelmän suunnittelijan opas 2019: 11–15.)

Sähkötehon laskemiseen täytyy tietää jännitteen ja virran suuruus (Linja-aho 2016: 24–26).

$$P = U * I \quad (1)$$

P on teho
U on jännite
I on virta

Pätöteholla kuvataan vaihtovirran työtä tekevää tehoa. Loisteholla tarkoitetaan sitä tehoa, jota ei voida hyödyntää hyötytyöhön. Loisteho kuitenkin kasvattaa näennäistehoa. Pätö- ja loisteho muodostavat yhdessä näennäistehon. Pätö-, lois- ja näennäistehon suhdetta kuvataan kuvan 9 kaltaisella tehokolmiolla. Tehokolmiossa esiintyy myös tehokerroin $\cos \varphi$. Tehokertoimella kuvataan pättö- ja loistehon suhdetta toisiinsa. (Silvonen 2017: 1–9; Ahoranta 2012: 208; Hughes 2020; Korhonen 2010: 9–12.)



Kuva 9. Tehokolmio.

Vaihtovirran yksivaiheisen pätötehon laskemiseksi käytetään kaavaa 2.

$$P = U * I * \cos\varphi \quad (2)$$

P on pätöteho
U on jännite
I on virta
cosφ on tehokerroin

Mikäli vaihtovirran pätöteho lasketaan kolmivaiheisena, käytetään kaavaa 3.

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi \quad (3)$$

sähköauton voi yksivaiheisesta 230 V:n ja 16 A:n kotitalouspistorasiasta ladata enintään 3,7 kW:n teholla. Tavallinen yksivaiheinen 16 A:n kotitalouspistorasia ei todennäköisesti kestä jatkuvaa, pitkäaikaista 16 A:n latausvirtaa. Erityisen haitallista jatkuva virta on silloin, jos kotitalouspistorasiassa on korroosiota tai muuta kulumaa. Tämän vuoksi kotitalouspistorasioiden latausvirtaa joudutaan usein rajoittamaan 8 A:n. Mikäli lataustehoa halutaan kasvattaa, on suositeltavaa siirtyä kolmivaihepistorasioihin eli voimavirtapistorasioihin. Kolmivaiheisesta 16 A:n pistorasiasta voidaan ottaa tehoa 11 kW turvallisesti pitkäaikaiseenkin käyttöön. Vastaavasti 32 A:n voimavirtapistorasiasta voidaan ottaa 22 kW tehoa. (Lavento 2021; Linja-aho 2016: 24–26; Linja-ajo 2017.)

$$P = 3 * 230 \text{ V} * 16 \text{ A} \approx 11 \text{ kW} \quad (4)$$

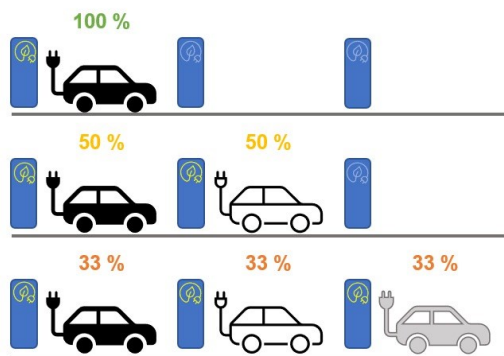
$$P = 3 * 230 \text{ V} * 32 \text{ A} \approx 22 \text{ kW} \quad (5)$$

Pääsulakkeen koko voidaan suoraan laskea kertomalla autopaikkojen määrä yksittäisen sähköautonlatauspaikan sulakkeen koolla.

$$65 * 16 \text{ A} = 1040 \text{ A} \quad (6)$$

Näiden laskelmien perusteella, mikäli halutaan 65 autopaikalle 11 kilowatin latauspisteet, tarvittaisiin yli 3 x 1000 A:n pääsulakkeet. Mitoituskohteen alueen sähköjakeluyhtiön maksimi pienjänniteliittymien pääsulakekoko on 3 x 1000 A, jolloin jouduttaisiin siirtymään 400 V:n pienjänniteliittymästä 20 kV:n keskijänniteliittymään. 20 kV:n keskijänniteliittymän hankinta ja hallinta on erittäin kallista, joten kustannustehokkaampaa olisi ottaa useampi pieni sähköliittymä. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin, että mitoituskohteen alueen sähköjakeluyhtiö ei tarjoa kuin yhden liittymän yhtä tonttia kohden. Lisäksi, vaikka useampi pieni sähköliittymä olisikin mahdollista toteuttaa eivätkä useiden pienten sähköliittymien kustannukset olisi yhden keskijänniteliittymän kustannusten tasolla, on useamman pienen sähköliittymän toteuttaminen ja hallinnointi kallista taloyhtiölle. (Vantaan Energia Sähköverkot Oy 2020: 1.)

Näin ollen edullisimmaksi vaihtoehdoksi jää dynaamisen kuormanhallinnan avulla toteutettava latausjärjestelmä, joka tasoittaa kuorman piikit ja jakaa saatavilla olevan sähkötehon tasaisesti kaikille. Kuvassa 10 on havainnollistettu latauskapasiteetin jakautumista dynaamisessa kuormanhallinnassa. Dynaamisen kuormanhallinnan järjestelmät eivät yleensä tuota lisäkustannuksia, sillä suurin osa latauspisteistä on älykkäitä ja mahdollistavat yhteyden pilvipalveluihin, joista latauspisteitä voidaan hallinnoida verkkoyhteyden avulla. Mikäli kaikkia mitoituskohteen latauspisteitä käytettäisiin samanaikaisesti, jouduttaisiin dynaamisen kuormanhallinnan latausjärjestelmällä rajoittamaan lataustehoa. (Lataa turvallisesti: Dynaaminen kuormanhallinta huolehtii kiinteistön sähkökapasiteetista 2020; Naapuri osti sähköauton ja haluaa latauspisteen: kuka maksaa? 2018.)



Lähde: Lataa turvallisesti: Dynaaminen kuormanhallinta huolehtii kiinteistön sähkökapasiteetista (2020), Virta

Kuva 10. Dynaamisen kuormanhallinnan havainnekuva. (Lataa turvallisesti: Dynaaminen kuormanhallinta huolehtii kiinteistön sähkökapasiteetista 2020.)

6 Sähköpaikan mitoittaminen paritalokiinteistöön

Opinnäytetyön toinen mitoituskohde on vuonna 2020 valmistunut paritalonpuolikas Mäntsälässä. Paritalon pihalla on kaksi suojaamatonta paikkaa, joissa molemmissa on moottorin- ja sisätilanlämmittimen käyttöä varten lämmitinliityntä. Kiinteistön lämmitysjärjestelmä on toteutettu sähköisellä lattialämmityksellä sekä poistoilmalämpöpumpulla. Lisäksi kiinteistössä on sähkösauna.

Mahdollisia latausjärjestelmiä on monia. Sähköautonlatauspistettä valitessaan on tärkeää selvittää, tuleeko piste kiinni seinään vai maahan. Valintaan vaikuttaa olennaisesti pysäköintipaikan sijainti, kuten se, onko pysäköintipaikka autotallissa tai -katoksessa. Mikäli pysäköintipaikka, eli suunniteltu sähköautonlatauspaikka on autotallissa, -katoksessa tai edes rakennuksen seinää vasten, on mahdollista hankkia seinään asennettava latausjärjestelmä. Toisaalta, jos pysäköintipaikkaa ei ole mahdollista asentaa seinään, on valittava maahan asennettava pylväsmalli. Olemassa on myös seinälle asennettava malli, johon voi erikseen ostaa pylväsjalan. Esimerkki tällaisesta mallista on kuvassa 11. (Lavento 2021; Sähköauton lataus 2019; Sähköauton latausaseman asennusjalka 2021.)



Kuva 11. Sähköauton seinään asennettava latausasema ja tarvittaessa erikseen ostettava asennusjalka (Sähköauton latausaseman asennusjalka 2021).

Paritalokiinteistössä on 3 x 25 A:n pääsulakkeet, joten 3 x 16 A:n 11 kW:n latausjärjestelmä dynaamisella kuormanhallinnalla olisi mahdollista asentaa. 3 x 16 A:n 11 kW:n latausjärjestelmän mitoituksessa tulee ottaa huomioon se, että niin kiinteistön sisä- kuin ulkopuolellakin käytetään samoja 3 x 25 A:n pääsulakkeita. Täten mitoitettava sähköautonlatauspiste käyttäisi samoja pääsulakkeita kuin kiinteistön sisäiset sähkölaitteet. Näin ollen 11 kW:n latausjärjestelmän lisäksi tulee ottaa kuormanhallintajärjestelmä, jolla tasataan kiinteistön kulutushuippuja. Kulutushuippuja esiintyy esimerkiksi silloin, kun sauna on päällä tai ulkona on kova pakkanen. Paritalokäytössä dynaaminen kuormanhallinta säätää latauksen tehoa pienemmälle, kun esimerkiksi sähkökuivas kytetään päälle. (Lataa sähköauto kotona turvallisesti ja tehokkaasti 2020; Lavento 2021.)

Mikäli dynaamista kuormanhallintaa ei haluta käyttää, on esimerkikiinteistöömme tällöin valittava pienempitehoinen latausjärjestelmä. Alle 11 kW:n latausjärjestelmistä esimerkiksi 7,4 kW:n latausjärjestelmä lataisi 60 kWh käyttöakun tyhjästä täyteen 2,6 tuntia hitaammin kuin 11 kW:n järjestelmä, joten latausaikaero varsinkaan pienillä akuilla ei ole merkittävän suuri. Vaihtoehtoisesti kiinteistöön olisi myös mahdollista päivittää sähköliittymä 3x35 A:n pääsulakkeisiin, mutta muutos kaksinkertaistaa kuukausittaisen sähkönsiirron perusmaksun. (Lataus-FAQ 2018.)

Sähköauton latauspisteet ovat pitkäikäisiä, joten valinta kannattaa tehdä tulevaisuutta ajatellen. Tärkeää on myös huomioida tulevaisuuden autosuunnitelmat, sillä pienitehoista latauslaitetta ei voi muuttaa suuritehoiseksi, mutta suuritehoisen latauslaitteen tehoa voi asennusvaiheessa rajoittaa. Mikäli sähköjärjestelmää myöhemmin päivitetään, on tehorajoitukset mahdollista poistaa. (Lavento 2021.)

7 Sähköpaikan mitoittaminen vapaa-ajan kiinteistöön

Tämän opinnäytetyön kolmas mitoituskohde on yksin omalla tontillaan sijaitseva vapaa-ajan kiinteistö Lopella. Vapaa-ajan kiinteistön pääasunnot on rakennettu vuonna 1991, mutta sähkö tontille ja kiinteistölle on asennettu vuonna 1987. Vuonna 1987 rakennettiin myös alkuperäiset asunnot, jotka kuitenkin osoittautuivat käyttöön nähden liian pieniksi. Uudet asunnot rakennettiin 1991, jolloin sähkö ja sähkökeskus siirrettiin uuteen päärakennukseen. Vanhat asunnot muutettiin kylmävarastotilaksi, jossa ei ole lämmitystä. Vapaa-ajan kiinteistölle ei ole määritelty erillistä pysäköintialuetta, eikä tontilla ole lämmitinliityntää. Vapaa-ajan kiinteistössä on yksivaiheinen 25 A:n valovirta.

Kuten laskelmasta 7 voidaan huomata, mikäli kaikki sähkö varattaisiin sähköauton lataamiseen, latausvirtaa riittäisi 5,8 kW:n edestä.

$$P = 25 A * 230 V \approx 5,8 kW \quad (7)$$

Mikäli 5,8 kW:n teho käytettäisiin sähköauton lataamiseen, ei kiinteistölle jäisi lainkaan sähköä käytettäväksi. Täten voidaan huomata, että latausjärjestelmän tehoa tulisi huomattavasti rajoittaa kiinteistön muiden sähkökäyttöisten laitteiden toiminnan varmistamiseksi. Nykyisellä sähköjärjestelmällä harkittavia vaihtoehtoja jää kolme – joko kiinteistön sähköjärjestelmä vaihdetaan kokonaan uuteen tai kiinteistöön asennetaan 8:n tai 10 A:n valovirtapistorasias sähköauton latauskäyttöä varten, jolloin latausteho olisi 1,8 tai 2,3 kW.

Sähköjärjestelmän päivittäminen on kokonaiskustannuksiltaan kalliimpi vaihtoehto. Tämä perustuu siihen, että päivityksessä tulee uusia ainakin kaapelointi ja sähköpää-

keskus. Lisäksi sähkösaneerauksen yhteydessä voidaan tarkistaa pistorasioiden ja kytkimien riittävyys, joka on 1980-luvulla rakennetuissa taloissa usein varsin huono nyky-päivän tarpeisiin. Päivityksen yhteydessä myös sähkösiirron kuukausittainen perusmaksu nousee. Tärkeää on kuitenkin huomioida kiinteistön nykyisen sähköjärjestelmän turvallisuus ja energiatehokkuus. Uusimalla sähköjärjestelmän kiinteistön omistaja saa huomattavia etuja myös esimerkiksi vakuutusmaksuissa. Sähköjärjestelmien suositeltu uusintaväli on 15–30 vuotta, joka on vuonna 1987 rakennettuun kiinteistöön umpeutunut. Tässä esimerkkikohteessa kyseessä on vain kesälomakauden käytössä oleva vapaa-ajan asunto, jolloin sähkönkulutusta talvella ei kiinteistössä ole. (Lavento 2019.)

Vaihtoehtoisesti kiinteistöön on mahdollista asentaa 8:n tai 10 A:n valovirtapistorasia sähköauton latauskäyttöä varten. Tällöin latauksen aikana 31–40 % kaikesta sähkötehosta kuluisi sähköauton lataamiseen. Latausajat kuitenkin ovat huomattavasti pidemmät pienemmillä lataustehoilla. Taulukossa 2 on esitelty esimerkkilaskelmat latausaikojen kestosta 1,8:n ja 2,3 kW:n lataustehoilla. Laskelmissa ei olla kuitenkaan huomioitu lataustehon hidastumista akun täytyessä tai latauksessa syntyviä häviöitä. (Lataus-FAQ 2018.)

Taulukko 2. 60 ja 100 kWh korkeajänniteakun latausajat (Lataus-FAQ 2018).

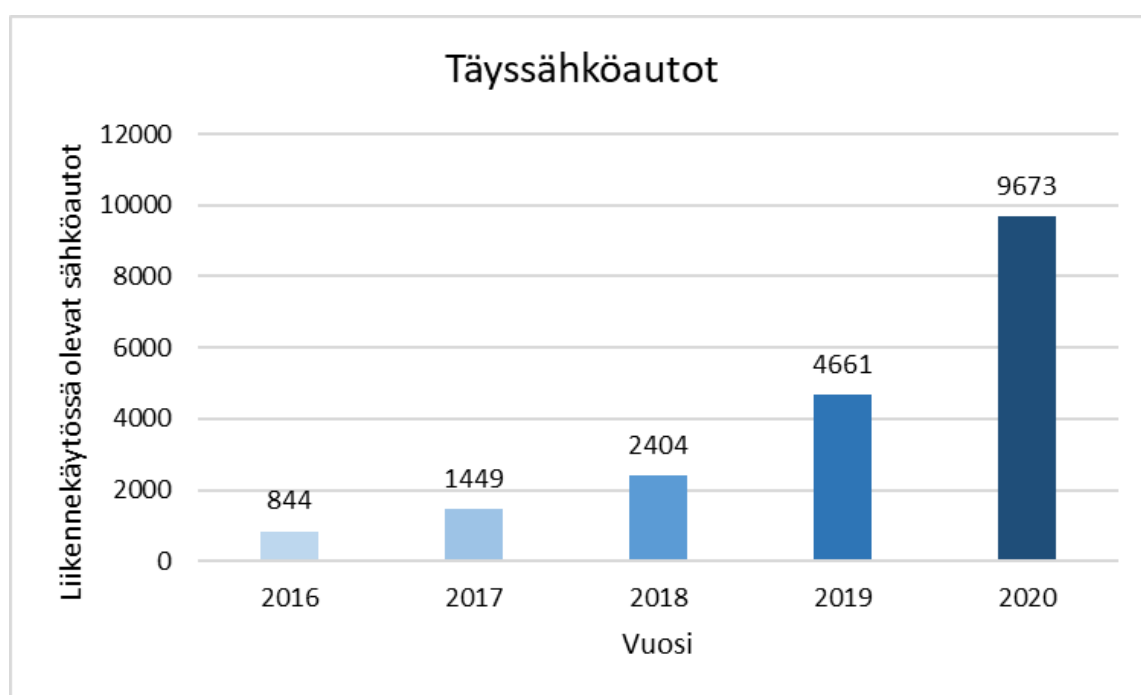
Auton akun koko (kWh)	Latausteho (kW)	Latausaika (h)
60	1,8	33,3
60	2,3	26,1
Auton akun koko (kWh)	Latausteho (kW)	Latausaika (h)
100	1,8	55,6
100	2,3	43,5

Vapaa-ajan kiinteistöön sähköautonlatauspaikkaa mitoittaessa on huomioitava myös latauspisteiden todellinen käyttö. Mikäli vapaa-ajan kiinteistölle mennään rentoutumaan ilman kiirettä, ei pitkästä latausajasta ole haittaa. Suurin osa sähköajoneuvoista ehtii latautua täysin viikonlopun aikana 1,8:n tai 2,3 kW:n latausteholla.

Esimerkkimitoitukskohteen omistajien käyttötarkoitukseen 8:n tai 10 A:n valovirtapistora-sia sähköauton latauskäyttöä varten olisi koko sähköjärjestelmän uusimista parempi vaihtoehto, mikäli kiinteistön sähköjärjestelmä läpäisee kuntotarkastuksen.

8 Sähköautoilun tulevaisuus ja latauspaikkojen yleistyminen

Tämänhetkinen arvio sähköautoilun tulevaisuudesta on positiivinen, mikä lisää myös tarvetta sähköautonlatauspaikoille. Kuvan 12 perusteella voidaankin todeta, että mikäli viime vuosien trendi jatkuisi kuluviinkin vuoden ajan samanlaisena, olisi vuoden 2021 lopussa Suomessa liikennekäytössä olevia sähköautoja lähes 20 000 kappaletta. (Liikennekäytössä olevien ladattavien henkilöautojen määrä 2021.)



Kuva 12. Liikennekäytössä olevien täyssähköautojen määrän vuosittainen kehitys. (Liikennekäytössä olevien ladattavien henkilöautojen määrä 2021.)

20 000 täyssähköauton arvio on realistinen, kun otetaan huomioon liikenne- ja viestintäministeriön työryhmän vuoden 2020 raportti liikenteen päästövähennyksiin liittyen. Raportissa ennustettiin, että vuoden 2030 loppuun mennessä Suomessa olisi 700 000 la-

dattavaa autoa. Näistä 700 000 ladattavasta autosta valtaosa olisi täyssähköautoja. Ennustetta tukevat myös arviot siitä, että viimeistään vuonna 2025 sähköautojen hankintahinta olisi yhtä suuri monissa eri automalleissa polttomoottoriautoihin verrattuna. Kun huomioidaan vielä valtion hiilineutraaliustavoitteet ja pyrkimykset päästövähennyksiin, mikä saattaa osaltaan lisätä polttoaineverotusta, on erittäin todennäköistä, että polttomoottoriautoista siirrytään sähköautoihin. (Heima 2020; Rönkkö 2020.)

Sähköautoilun yleistyminen tulevaisuudessa on todennäköistä myös siksi, että rajoituksia polttomoottoriautojen päästöjä koskien on tehty myös Euroopan unionin tasolla. Vuonna 2020 voimaanastunut päästörajoitus rajoittaa sakkomaksujen uhalla uusien tehdasvalmistettujen ajoneuvojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt valmistajakohtaisesti asetettuun rajaan, joka on yleisesti ottaen 95 g/km. Täten rajoitus suosii etenkin täyssähköautojen valmistamista, sillä sähköautojen viralliset päästöarvot ovat 0 g/km. (Nieminen 2020; Ahtiainen 2020a.)

Kunnianhimoiseen 700 000 ladattavan auton tavoitteeseen on mahdollista päästä myös sähkö- ja autotekniikan asiantuntijoiden mielestä. Mikäli Suomeen tulisi vuoteen 2030 mennessä 70 000 sähköautoa vuodessa, eli 700 000 sähköajoneuvoa vuodesta 2020 vuoteen 2030 mennessä, riittäisi nykyisen sähköverkoston kapasiteetti lataamaan kaikkia niitä samanaikaisesti. Laskelmassa käytettyjen sähköautojen määrä (700 000) perustuu hallituksen tavoitteisiin. Laskelmaan on sisällytetty keskimääräiseksi vuosiajomääräksi noin 14 000 km vuoden 2019 tutkimuksen mukaan (Konttinen 2019). Laskelman energiankulutus 20 kWh perustuu sähköauton tyyppilliseen kulutukseen sataa ajokilometriä kohden. (Koistinen 2020; Ahtiainen 2020b.)

$$700\,000 * 14\,000\text{ km} * 0,20 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} = 1,96\text{ TWh} \quad (8)$$

Laskelman lopputulema, 1,96 TWh, on alle kolme prosenttia koko Suomen sähkönkulutuksesta vuonna 2020. Laskelmaan ei ollut myöskään huomioitu lainkaan älykkäitä latausjärjestelmiä, jotka auttavat kulutushuippujen hallinnassa. (Energiavuosi 2020 sähkö 2021: 6–7; Lempinen 2020a.)

Sähköautoihin on alettu keskittymään etenkin muissa Pohjoismaissa. Vuonna 2021 tulleen selvityksen mukaan, jo yli puolet Norjassa myydyistä ensirekisteröidyistä autoista

kulkevat polttoaineen sijaan sähköllä. Norja on suunnitellut jokaisen uutena myydyn henkilöauton olevan sähköauto jo vuodesta 2025 alkaen. Niin Islanti, Ruotsi kuin Tanskakin ovat taas suunnitelleet uusien polttomoottoriautojen myymisen lopettamista vuonna 2030. Koska sähköautojen ostaminen naapurimaissamme kasvaa on myös Suomella paineita pysyä mukana kehityksessä. (Ziemann 2019, Lempinen 2021; Norjassa jo yli puolet uusista autoista sähköautoja – Tesla menetti kärkipaikkansa 2021.)

Tulevaisuuden latausinnovaatiot

Sähköautojen tekniikan kehittyessä myös lataustapoja halutaan parantaa. Langaton lataus on tulevaisuuden ratkaisu. Latausongelmat, kuten latausporttien tai -johdon häiriöt katoavat täysin, kun lataus tapahtuu langattomasti. Vaikka käytännön latausratkaisuja on jo esitelty markkinoilla, tulee langattoman latauksen yleistymisen viemään vielä paljon aikaa, testaamista ja resursseja. Tulevaisuudessa sähköautojen latauksessa voidaan esimerkiksi asentaa pysäköintipaikan alapuolelle ensiökäämi ja sähköajoneuvoon toisio-käämi, jolloin niiden välille syntyy energian autoon siirtävä magneettikenttä. (Puolakka 2020.)

Esimerkiksi Ruotsin Gotlannissa, Visbyn kaupungissa on rakennettu 800 metriä tietä, johon käämitekniikkaa sovellettiin. Tieosuus rakennettiin osana Smartroad Gotland -hanketta, jossa pyritään pienentämään raskaan sähköisen ajokaluston akkuja sekä latauspysähdysaikoja. Raskaana ajokalustona Smartroad Gotland -hankkeessa pidetään rekka- ja linja-autoja. Latausjärjestelmä on modulaarinen ja mukautuu erikokoisille ajoneuvoille. Kuvassa 13 on esitelty Smartroad Gotland -hankkeen hyödyntämä induktiivinen latausjärjestelmä, joka asennetaan maan alle. Ajoneuvojen vastaanotinyksiköiden suuruus on 25 kW. Energiansiirto tieosuudella ei ala ennen kuin latausjärjestelmän tunnistama ajoneuvo aktivoi järjestelmän päälle. Latausjärjestelmä aktivoituu ja sulkeutuu millisekunneissa ajoneuvon liikehdinnän mukaan metrin kerrallaan, joten sivullisille ja lankulkijoille, eläimille tai ajoneuvoille ei aiheudu tieosuuden käytöstä haittoja. Gotlannin pohjoisen ilmaston on tarkoitus myös todentaa latausjärjestelmän toimivuus vaihtelevissa sääolosuhteissa. (Puolakka 2020.)



Kuva 13. Maan alle asennettava induktiivinen latausjärjestelmä (Puolakka 2020).

Ruotsissa on avattu myös toinen sähköajoneuvon korkeajänniteakkaa lataava maantieosuus Tukholman pohjoispuolelle. Tämä kaksi kilometriä pitkä latausosuus on tarkoitettu henkilöautoille ja sähkö varastoituu siirrettäväksi tien keskellä oleviin latauskiskoihin. eRoad Arlandaksi kutsutulla tieosuudella sähköautoa ei voi ladata langattomasti, vaan auton tulee sisältää erillinen latausvarsi sähköenergian talteen ottamiseksi. Auton pysähtyessä lataus loppuu ja varsi on automatisoitu nousemaan ylös ohitustilanteissa. Tien latauskiskot on asennettu noin viiden senttimetrin syvyyteen, joten sähkövaraus ei nouse maanpinnalle saakka häiritsemään jalankulkijoita tai eläimiä. (Kokkonen 2018.)

Latausinnovaatioita on kehitetty myös pysähtyneiden sähköautojen lataamiseen. Teslalla on prototyyppi robottilaturista, joka automaattisesti avaa auton latausportin ja lataa ajoneuvon korkeajänniteakkaa. Kuvassa 14 esitellään prototyyppi Teslan robottilaturista.

Laturi ja auto olisivat internetin välityksellä yhteydessä toisiinsa korkeajänniteakun varauksen tilaan liittyen, eikä ihmiskontaktia vaadittaisi lataukseen kytkemiseen ollenkaan. Tällainen robottilaturi edesauttaisi myös Teslan visiota siitä, että Teslan myymät täys-sähköautot olisivat jonain päivänä täysin itsenäisiä. Itsenäiset autot ajaisivat silloin itse itseään ja tarpeen mukaan kytkisivät itsensä lataukseen. Optimaalisessa tilanteessa auto voisi esimerkiksi pysäköintipaikan puuttuessa ajaa kotiin siksi aikaa, kun kuljettaja on asioillaan, ja palata kuljettajan pyynnöstä takaisin. Tällainen teknologia on kuitenkin vielä suunnitteluvaiheessa, eikä julkaisupäivämääriä ole julkaistu robottilaturille tai itsenäiselle teknologialle. (Charger prototype finding its way to Model S 2015; Merano 2020; Davies 2020.)



Kuva 14. Teslan robottilaturin prototyyppi (Davies 2020).

9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia sähköautonlatausyksikön mitoittamista kolmeen erillaiseen kiinteistöön. Työssä tehdyt laskelmat ovat suuntaa antavia ja toimivat havainnollistavina esimerkkeinä. Esitellyt kuvitteelliset mitoitusilanteet perustuivat todellisiin kiinteistöihin, joita vastaaviin paikkoihin tullaan todennäköisesti lähivuosina mitoittamaan useita sähköautonlatausyksiköitä. Sähköautojen kehittyessä myös latausinfrastruktuurin tulee vastata tulevaisuuden tarpeisiin. Mitoitus on toistaiseksi yksilöllistä ja ennen mitoittamisen aloittamista tilaajan kanssa tulee keskustella siitä, millaisia lataustehoja ja -omaisuuksia latausjärjestelmältä vaaditaan.

Taloyhtiöissä sähköautonlatausyksikön mitoittaminen on riippuvainen latausyksiköiden kokonaisuudesta ja lataustehosta, mutta mitoitusvaiheeseen pääsemiseksi tulee taloyhtiön osakkaiden tehdä myönteinen päätös yksiköiden asennuttamiselle. Järjestelmän valinnassa tulee pitää myös mielessä tulevaisuuden suunnitelmat. Lataustehokapasiteetin rajoissa sähköautonlatausyksikön lataustehoa voidaan rajoittaa pienemmäksi, mutta ei kasvata suuremmaksi asennuksen jälkeen. Erilaisista latausjärjestelmistä tulee valita käyttäjän tarpeille yhteensopivin järjestelmä, joka ei kuitenkaan ylikuormita kiinteistön sähköverkkoa.

Sähköautojen parissa tehdään jatkuvasti kehitystyötä. Korkeajänniteakkujen energiatiheyttä pyritään kasvattamaan pidemmän toimintamatkan saavuttamiseksi. Täyssähköautojen osuus Pohjoismaissa lisääntyy vuosittain. Tulevaisuuden innovaatiot sähköautojen lataamisessa vähentävät manuaalisen ihmiskontaktin tarvetta.

Lähteet

Abuelsamid, Sam. 2009. Ask AutoblogGreen: Do electric vehicles need front air intakes? Verkkoaineisto. <<https://www.autoblog.com/2009/05/21/ask-autobloggreen-do-electric-vehicles-need-front-air-intakes/#slide-1867117>>. Luettu 5.3.2021.

Adams, Eric. 2018. The Secrets of Electric Cars and Their Motors: It's Not All About the Battery, Folks. Verkkoaineisto. <<https://www.thedrive.com/tech/17505/the-secrets-of-electric-cars-and-their-motors-its-not-all-about-the-battery-folks>>. Luettu 5.3.2021.

Ahoranta, Jukka. 2012. Sähkötekniikka. 1.-11. painos, 2012. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Ahtiainen, Lauri. 2019. Porsche Taycan: mitä numeroiden takaa paljastuu? Verkkoaineisto. <<https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/porsche-taycan-mita-numeroiden-takaa-paljastuu/>>. Luettu 4.3.2021.

Ahtiainen, Lauri. 2020a. Niin mikä oli: tämän takia automaailma puhuu 95 g/km hiilidioksidirajasta. Verkkoaineisto. <<https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/niin-mika-oli-95-g-km-hiilidioksidiraja/>>. Luettu 21.4.2021.

Ahtiainen, Lauri. 2020b. Kysy autoista: kuinka paljon sähköauto kuluttaa? Verkkoaineisto. <<https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/kysy-autoista-kuinka-paljon-sahkoauto-kuluttaa/>>. Luettu 2.5.2021.

Avustus sähköautojen latausinfra rakentamiseen. 2021. Verkkoaineisto. ARA. <<https://www.ara.fi/latausinfra-avustus>>. Luettu 1.4.2021.

Berg, Juho. 2020. Sähkämöötorin käyttö raskaan kaluston voimanlähteenä. Kandidaatintyö. <<http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202010163034.pdf>>. Luettu 20.4.2021.

Charger prototype finding its way to Model S. 2015. Tesla. Videoaineisto. <<https://www.youtube.com/watch?v=uMM0IRfX6YI>>. Katsottu 22.4.2021.

Csanyi, Edvard. 2011. Basic construction of 3-phase AC induction motors you should know. Kuva-aineisto. <<https://electrical-engineering-portal.com/construction-of-3-phase-ac-induction-motors>>. Katsottu 3.4.2021.

Davies, Chris. 2020. Elon Musk says Tesla robo-snake charger is still on the roadmap. Verkkoaineisto. <<https://www.slashgear.com/elon-musk-says-tesla-robo-snake-charger-is-still-on-the-roadmap-09641750/>>. Luettu 22.4.2021.

Differences Between Diesel and Petrol. 2016. Verkkoaineisto. <<https://www.acea.be/news/article/differences-between-diesel-and-petrol>>. Luettu 1.5.2021.

Eddy, James; Pfeiffer, Alexander & van de Staij, Jasper. 2019. Recharging economies: The EV-battery manufacturing outlook for Europe. <<https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/recharging-economies-the-ev-battery-manufacturing-outlook-for-europe#>>. Luettu 23.4.2021.

Energiavuosi 2020 Sähkö. 2021. Verkkoaineisto. <https://energia.fi/files/4428/Sahko-vuosi_2020_netti.pdf>. Luettu 2.5.2021.

Evans, Scott. 2019. Tesla's V3 Supercharger, Tested. Verkkoaineisto. <<https://www.motortrend.com/news/teslas-v3-supercharger-tested/>>. Luettu 5.3.2021.

Federley, Jaana. 2009. Energiatohokkaat moottorikäytöt. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/files/7807/Energiatohokas_moottorijarjestelma_KOULUTUSAINEISTO.pdf>. Luettu 5.3.2021.

Frilander, Jenni. 2015. Onko sähköauto päästötön? Verkkoaineisto. <<https://yle.fi/uutiset/3-8034654>>. Luettu 5.3.2021.

GM shows 85 kW permanent magnet EV motor. 2011. Kuva-aineisto. <<https://newatlas.com/gm-85-kw-ev-motor/20329/>>. Katsottu 3.4.2021.

Granström, Teemu. 2020. No nyt on komea Škoda! Sähköauto Enyaq julkistettiin kuvien kera. Verkkoaineisto. <<https://www.autotalli.com/artikkeli/no-nyt-on-komea-skoda-sahkoauto-enyaq-julkistettiin-kuvien-kera>>. Luettu 5.3.2021.

Guberman, Alex & Rawlinson, Peter. 2020. Multi-Motor ELECTRIC CARS Advantage Explained. Videoaineisto. <<https://www.youtube.com/watch?v=4y5H18nAf1A>>. Katsottu 5.3.2021.

Gupta, Ritvik. 2020. Electric Vehicles And Its Different Types | Explained. Verkkoaineisto. <<https://gomechanic.in/blog/electric-vehicles-types-explained/>>. Luettu 5.3.2021.

Heima, Timo-Pekka. 2020. Asiantuntijat korjaavat harhaluuloja sähköautoista – 700 000 sähköauton tavoite kuulostaa rajulta, mutta onko se sitä todella? Verkkoaineisto. <<https://yle.fi/uutiset/3-11635990>>. Luettu 20.4.2021.

Hughes, Austin. 2020. Power Efficiency – Active Power & Apparent Power. Verkkoaineisto. <<https://www.austin-hughes.com/power-efficiency-active-power-apparent-power/>>. Luettu 23.4.2021.

Jaakkonen, Juha. 2021. Uusi laki vaatii: Jo neljän autopaikan taloyhtiöiden rakennettava sähköautojen latausvalmius. Verkkoaineisto. <<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/tt/8c1022b3-278f-4877-950d-20a7858e6765?ref=email:9a49>>. Luettu 20.4.2021.

James, Luke & Granath, Erika. 2020. What's the difference between AC and DC power? Verkkoaineisto. <<https://www.power-and-beyond.com/whats-the-difference-between-ac-and-dc-power-a-915187/>>. Luettu 10.4.2021.

Karthik, Sri Hari. 2019. Types of Motors used in Electric Vehicles. Verkkoaineisto. <<https://circuitdigest.com/article/different-types-of-motors-used-in-electric-vehicles-ev>>. Luettu 5.3.2021.

Kauppi, Jari. 2012. Oikosulkumoottoreiden huolto ja mittaukset. Insinööriyö. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/48408/inssi.pdf;jsessionid=802638BD7B89787C0C80477393DD2E02?sequence=1>>. Luettu 28.4.2021.

Koistinen, Antti. 2020. Näin työryhmä puolittaisi liikenteen päästöt: Suomeen tarvitaan 700 000 sähköautoa ja autoilun päästöille kovempi hinta. Verkkoaineisto. <<https://yle.fi/uutiset/3-11615349>>. Luettu 2.5.2021

Koivula, Tommi. 2017. EC-moottori. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127108/Koivula_Tommi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 16.3.2021.

Kokkonen, Yrjö. 2018. Ruotsissa avattiin maantie, joka lataa sähköauton akkua ajon aikana. Verkkoaineisto. <<https://yle.fi/uutiset/3-10157546>>. Luettu 22.4.2021.

Komonen, Olli-Pekka. 2020. Sähköautojen pikalataus ei olekaan hyvä idea? Akkuteho näyttää hyytyvän. Verkkoaineisto. <<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/sahkoautojen-pikalataus-ei-olekaan-hyva-idea-akkuteho-nayttaa-hyytyvan/7c56ff0a-6b07-4635-920c-4c2d2c77b242>>. Luettu 10.4.2021.

Konttinen, Juha-Pekka. 2019. Tieliikenteen ajokilometreissä edelleen hienoista kasvua. Verkkoaineisto. <<https://www.tilastokeskus.fi/tietotrendit/artikkelit/2019/tieliikenteen-ajokilometreissa-edelleen-hienoista-kasvua/>>. Luettu 2.5.2021.

Korhonen, Anssi. 2010. Tehtaan sähköjakelun energiamittauksen kehittäminen. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13165/Korhonen_Anssi.pdf>. Luettu 23.4.2021.

Korhonen, Antti-Jussi. 2021. Ovatko sähköautot liian hiljaisia? Kuuntele itse – äänet tulevat pakollisiksi uusiin malleihin: "Ritariässämäinen soundi". Verkkoaineisto. <<https://yle.fi/uutiset/3-11804559>>. Luettu 5.3.2021.

Koskinen-Tammi, Tiina & Laurila, Leena. 2021. Sähköautojen latauspisteet taloyhtiössä. Verkkoaineisto. <<https://talojuristit.fi/?post=sahkoautojen-latauspisteet-taloyhtiossa>>. Luettu 1.4.2021.

Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä. 2020. 733/2020.

Lataa sähköauto kotona turvallisesti ja tehokkaasti. 2020. Verkkoaineisto. <https://www.rakentaja.fi/artikkelit/17548/sahkoauton_lataaminen_kotona_abb.htm>. Luettu 23.4.2021.

Lataa turvallisesti: Dynaaminen kuormanhallinta huolehtii kiinteistön sähkökapasiteetista. 2020. Verkkoaineisto. <<https://www.virta.global/fi/blogi/dynaaminen-kuormanhallinta-ja-s%C3%A4hk%C3%B6auton-lataus>>. Luettu 3.4.2021.

Lataus-FAQ. 2018. Verkkoaineisto. <<https://webastolataus.fi/toiminta/yleisimmat-kysymykset/>>. Luettu 23.4.2021.

Latauskaapeli Mode 2 Type 2. 2021. Kuva-aineisto. <<https://www.defa.com/fi/tuote/latauskaapeli-mode2-type2/>>. Katsottu 3.4.2021.

Latauskaapeli Mode 3 Type 2 – Type 1. 2021. Kuva-aineisto. <<https://www.defa.com/fi/tuote/latauskaapeli-mode3-type2-type1/>>. Katsottu 3.4.2021.

Lavento, Dakota. 2019. Sähköt kuntoon ennen kuin kärehtää. Verkkoaineisto. <<https://rakennusmaailma.fi/sahkot-kuntoon-ennen-kuin-karahtaa/>>. Luettu 23.4.2021.

Lavento, Dakota. 2021. Sähköauton latauspisteen saa omakotitalon pihaan näppärästi. Verkkoaineisto. <<https://rakennusmaailma.fi/sahkoauton-latauspisteen-saa-omakotitalon-pihaan-napparasti/>>. Luettu 23.4.2021.

Lempinen, Tommi. 2010. Suomalaisinsinöörit kertovat, mitä sähköauton ajoakulle voi tapahtua, jos kennot yllilatautuvat. Verkkoaineisto. <<https://www.is.fi/autot/art-2000006500823.html>>. Luettu 5.3.2021.

Lempinen, Tommi. 2020a. Miten sähkö riittää, jos esimerkiksi 750 000 sähköautoa on latauksessa yhtä aikaa? Verkkoaineisto. <<https://www.is.fi/autot/art-2000006587036.html>>. Luettu 20.4.2021.

Lempinen, Tommi. 2020b. Näin sähköauton latauskyky ja -nopeus vaihtelevat – merkki- ja mallikohtaiset erot suuria. Verkkoaineisto. <<https://www.is.fi/autot/art-2000006501243.html>>. Luettu 23.4.2021.

Lempinen, Tommi. 2021. Ottaako Suomi syksyllä mallia Ruotsista? Näin yli 90 grammaa kilometriltä päästävien autojen omistajia rangaistaan – reiluja ympäristömaksuja, täyskielto 2030... Verkkoaineisto. <<https://www.is.fi/autot/art-2000007929745.html>>. Luettu 21.4.2021.

Leppä, Ari. 2003. Kestomagneettitahtikonekäytön soveltaminen paperiteollisuuden linjakäytöissä. Diplomityö. <<https://lutpub.lut.fi/handle/10024/34882>>. Luettu 20.4.2021.

Liikennekäytössä olevien ladattavien henkilöautojen määrä. 2021. Verkkoaineisto. <https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/sahkoautojen_maaran_kehitys>. Luettu 23.4.2021.

Linja-aho, Vesa. 2016. Ostaisinko sähköauton? Helsinki: Into Kustannus.

Luukkanen, Joose. 2020. Mitä sähköautoilu maksaa? Sähkön hinta kotona ja pikalaturilla. Verkkoaineisto. <<https://tyyliniekka.fi/mita-sahkoautoilu-maksaa-sahkon-hinta-kotona-ja-pikalaturilla/>>. Luettu 5.3.2021.

Masaeli, Mohammad. 2012. Exploded view of a brushless DC motor with Hall-effect device (HED) commutation. Kuva-aineisto. <https://www.researchgate.net/figure/24-Exploded-view-of-a-brushless-DC-motor-with-Hall-effect-device-HED-commutation_fig27_245543196>. Katsottu 3.4.2021.

Mattson, Mauri. 2018. Lukijalta: Miksi sähköautojen latauspisteet halutaan taloyhtiöiden piikkiin? Verkkoaineisto. <<https://www.ts.fi/lukijoilta/3994149/Lukijalta+Miksi+sahkoautojen+latauspisteet+halutaan+taloyhtioiden+piikkiin>>. Luettu 22.4.2021.

Merano, Maria. 2020. Tesla “snake charger” wasn’t just a creepy one-off, suggests Elon Musk. Verkkoaineisto. <<https://www.teslarati.com/tesla-snake-charger-elon-musk/>>. Luettu 22.4.2021.

Naapuri osti sähköauton ja haluaa latauspisteen: kuka maksaa? 2018. Verkkoaineisto. <<https://www.kiinteistolehti.fi/naapuri-osti-sahkoauton-ja-haluaa-latauspisteen-kuka-maksaa/>>. Luettu 3.4.2021.

Nieminen, Jussa. 2019. 800 voltilla sähköautoja lataamaan – Parin vuoden päästä mukana ovat myös Hyundai ja Kia. Verkkoaineisto. <<https://tekniikanmaailma.fi/800-voltilla-sahkoautoja-lataamaan-parin-vuoden-paasta-mukana-myos-hyundai-ja-kia/>>. Luettu 4.3.2021.

Nieminen, Jussa. 2020. Vuoden 2020 päästörajojen alittamisen kanssa alkaa olla kiire – Autovalmistajat hakevat jo turvaa toisistaan. Verkkoaineisto. <<https://tekniikanmaailma.fi/vuoden-2020-paastorajojen-alittamisen-kanssa-alkaa-olla-kiire-autovalmistajat-hakevat-jo-turvaa-toisistaan/>>. Luettu 21.4.2021.

Norjassa jo yli puolet uusista autoista sähköautoja – Tesla menetti kärkipaikkansa. 2021. Verkkoaineisto. <<https://www.apu.fi/artikkelit/norjassa-jo-yli-puolet-uusista-autoista-sahkoautoja-tesla-menetti-karkipaikkansa>>. Luettu 21.4.2021.

O'Dell, John. 2016. 10 things that make electric-car maker Tesla special. Verkkoaineisto. <<https://www.marketwatch.com/story/10-things-that-make-the-tesla-a-great-car-2016-08-19>>. Luettu 5.3.2021.

Pedersen, Jacob. 2013. Model of a brush DC motor. Kuva-aineisto. <https://www.researchgate.net/figure/Model-of-a-brush-DC-motor_fig5_288617020>. Katsottu 3.4.2021.

Pohjonen, Pekka. 2018. Mitä eroa on mikrohybridillä, itselataavalla hybridillä ja pistokehybridillä? Yleistietoa sähköautoista. Verkkoaineisto. <<https://www.autotaloampeeri.fi/blogi/hybridityypit/>>. Luettu 22.4.2021.

Puolakka, Marjukka. 2020. Näin toimii sähköautoa lataava tie – Induktiivinen järjestelmä tunnistaa ladattavat ajoneuvot eikä altista muita tienkäyttäjiä sähkömagneettiselle kentälle. Verkkoaineisto. <<https://www.apu.fi/artikkelit/sahkoauton-langaton-lataus-nain-serakennettiin-tien-alle>>. Luettu 29.4.2021.

Rönkkö, Pentti J. 2019. Tiesitkö nämä 6 faktaa uudesta Porsche Taycanista? Verkkoaineisto. <<https://www.iltalehti.fi/autouutiset/a/b35fbba9-6501-4786-855a-77b0a596f5c5>>. Luettu 4.3.2021.

Rönkkö, Pentti J. 2020. Jopa 40 sentin korotus polttoaineveroon uhkana: ”Päästötavoitteeniin ei päästä ilman hinnoittelun muuttamista”. Verkkoaineisto. <<https://www.iltalehti.fi/autouutiset/a/5efcdbc6-ee00-44bb-82f3-62a79de0281e>>. Luettu 20.4.2021.

SFS-EN 50620:2017. 2017. Verkkoaineisto. <<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/5/497805.html.stx>>. Luettu 20.4.2021.

SFS-EN 62196-2:2017. 2017. Verkkoaineisto. <<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/492058.html.stx>>. Luettu 20.4.2021.

SFS-EN 62196-3. 2016. Verkkoaineisto. <<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/336935.html.stx>>. Luettu 20.4.2021.

SFS-EN 62752:2016. 2016. Verkkoaineisto. <<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/423030.html.stx>>. Luettu 20.4.2021.

Silvonen, Kimmo. 2017. Sähkötekniikka ja elektroniikka. Verkkoaineisto. <<https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/481824/course/section/95538/spe-ste-osa4.pdf>>. Luettu 22.4.2021.

Sähkö liikenteen käyttövoimana osana energiamurrosta – EV-latausjärjestelmän suunnittelijan opas. 2019. Verkkoaineisto. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107492A1741&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 24.4.2021.

Sähköajoneuvojen lataussuositus. 2021. Verkkoaineisto. SESKO. <https://www.sesko.fi/files/1210/SESKO_lataussuositus_2021-02-17.pdf>. Luettu 27.3.2021.

Sähköauton lataus. 2019. Verkkoaineisto. Lumme Energia. <<https://www.lumme-energia.fi/sahkoauton-lataus>>. Luettu 1.4.2021.

Sähköauton latausaseman asennusjalka. 2021. Verkkoaineisto. <<https://www.ev-lataus.fi/products/sahkoauton-latausaseman-asennusjalka>>. Luettu 23.4.2021.

Sähköauton ottotehot ja lataaminen - Sähköopin perusteita. 2019. Verkkoaineisto. <<https://www.virta.global/fi/blogi/ampeerit-kilowatit-ja-s%C3%A4hk%C3%B6auton-lataaminen-s%C3%A4hk%C3%B6opin-perusteita>>. Luettu 23.4.2021.

Sähköautot. 2020. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot>. Luettu 5.3.2021.

Sähkömoottorityypit. 2020. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit>. Luettu 5.3.2021.

Vantaan Energia Sähköverkot Oy. 2020. Verkkoaineisto. <<https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/frantic/vantaanenergia-ves/uploads/20200917131943/Pienjanniteliittymatmax.-3x1000A.pdf>>. Luettu 3.4.2021.

Vesa, Juha. 2017. Sähköautojen lataus. Verkkoaineisto. <<https://tukes.fi/documents/5470659/8489681/2017+Vesa+s%C3%A4hk%C3%B6autojen+lataus/516307d5-fc96-4117-84e4-aa9534bbe4fe/2017+Vesa+s%C3%A4hk%C3%B6autojen+lataus.pdf>>. Luettu 5.3.2021.

Ziemann, Marcus. 2019. Analyysi: Suomelle ei ehkä jää muuta mahdollisuutta kuin kieltää uusien bensiini- ja dieselautojen myynti vuonna 2030. Verkkoaineisto. <<https://yle.fi/uutiset/3-10613293>>. Luettu 21.4.2021.

