

Lavan Khoshnaw

Sähköautojen älykkään latausjärjestelmän mitoitus lyhyt- ja pitkäaikaisessa pysäköinnissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

21.11.2017

| | |
|--|--|
| <p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p> | <p>Lavan Khoshnaw Sähköautojen älykkään latausjärjestelmän mitoitus lyhyt- ja pitkäaikaisessa pysäköinnissä</p> <p>22 sivua 21.11.2017</p> |
| <p>Tutkinto</p> | <p>Insinööri (AMK)</p> |
| <p>Koulutusohjelma</p> | <p>Sähkötekniikka</p> |
| <p>Suuntautumisvaihtoehto</p> | <p>Sähkövoimatekniikka</p> |
| <p>Ohjaaja</p> | <p>Lehtori Jukka Karppinen</p> |
| <p>Insinööriyössä selvitettiin, mikä on turvallinen kaapeleitten, sulakkeitten ja keskusten mitoitus sähköautojen lataukselle, kun latausjärjestelmä on älykäs.</p> <p>Aihetta tutkittiin keräämällä eri lähteistä tietoa esim. millä virroilla sähköautot lataavat, kuinka paljon keskimäärin suomalainen ajaa päivässä jne. Miettimällä, laskemalla ja päättelämällä saatiin selville, kuinka monta sähköautoa kannattaa kytkeä yhteen sulakeryhmään, millä sulakkeilla ja kaapeleilla.</p> <p>Tuloksista huomattiin, kuinka mitoitus dynaamisella kuormanhallinnalla lataus ei ole niin kuormittavaa, kuin yleisesti kuvitellaan. Päinvastoin Suomessa on esimerkiksi jo pitkään ollut hyvin yleistä asentaa ”lämpötolppia” autoille talvea varten, joten kun mitoituksen tekee oikein, voi kohteessa ladata sähköautojakin turvallisesti.</p> <p>Työssä pohdittiin myös sähköautojen latausvalmiutta, joka on kaikin puolin ylivoimainen mitä tulee perinteisiin piharasioihin varsinkin pitkäaikaisessa pysäköinnissä, kuten taloyhtiöissä.</p> | |
| <p>Avainsanat</p> | <p>Sähköautojen lataus, sähköautot, mitoitus, latausvalmius, latauslaitteiden mitoitus</p> |

| | |
|--|--|
| Author Title | Lavan Khoshnaw The Sizing of a Smart EV Charging System in Short- and Long-term Parking |
| Number of Pages Date | 22 pages 21 st November 2017 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Electrical engineering |
| Professional Major | Electric power engineering |
| Instructors | Jukka Karppinen, Senior lecturer |
| <p>This study examines the safety requirements for cables, fuses and switch, when considering charging electric cars with a smart charging system.</p> <p>The topic was studied by collecting data from different sources e.g. with what currents electric cars are recharged. How much an average Finnish person drives during a day. By calculating and concluding, it was found out how many electric cars it is possible to connect to one fuse group and with which cables and fuses.</p> <p>The results show how the sizing with smart charging devices is not as loading as people think. With dynamic load control cars can be put on queue and the optimal phase be selected. If the sizing is done correctly, electric cars can be recharged efficiently and safely.</p> <p>The study also touched upon the subject of EV readiness for electric cars. Overall, EV readiness in a parking zone is superior compared to heating poles and single charging devices in long and short-term parking.</p> | |
| Keywords | Electric car, electric cars, EV ready, charging |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Lataustavat | 2 |
| 3 | Sähköautojen toimintasäde | 3 |
| 4 | Pysäköinti- ja latausaika | 5 |
| 5 | Latausjärjestelmän mitoitus | 6 |
| 5.1 | Yleisesti sähkösuunnittelusta | 6 |
| 5.2 | Pitkäaikainen pysäköinti | 8 |
| 5.3 | Lyhytaikainen pysäköinti | 9 |
| 5.4 | Sähkökeskukset | 10 |
| 5.5 | Esimerkkitapaus | 10 |
| 6 | Olemassa oleva sähköinfrastruktuuri kiinteistössä | 11 |
| 7 | Dynaaminen kuormanhallinta | 17 |
| 8 | Sähkön ja polttoaineen kustannusvertailu | 18 |
| 9 | Latausvalmius | 19 |
| 10 | Yhteenveto | 21 |
| | Lähteet | 22 |

Lyhenteet ja käsitteet

| | |
|-------------|---|
| AC | Vaihtovirta. |
| CCS | Eurooppalainenlähtöinen AC/DC pikalausliitin standardi. |
| CHAdeMo | Japanilaislähtöinen DC-pikalatausliitin. |
| DC | Tasavirta. |
| MCMK | PVC-eristeinen, kuparijohtiminen maakaapeli, konsentrinen PEN-johdin. |
| Latauslaite | Fyysinen laite, johon latauskaapeli kiinnitetään tai on kiinteästi asennettu. |
| Latauspiste | Pysäköintiruutu, jossa voi ladata yhtä sähköautoa kerrallaan. |
| Sähköauto | Täyssähköautot ja ladattavat hybridit. |

1 Johdanto

Sähköautot ovat yleistymässä Suomessa. Lähivuosille ennustetaan sähköautojen voimakasta myynnin kasvua, johtuen sähköautojen hintojen putoamisesta, tukimuodoista, päästövaatimuksista, tekniikan kehitymisestä ja polttoaineen kallistumisesta.

Sähköautojen heikkouksista ja ongelmista puhutaan paljon (mm. toimintasäde, latausaika, latauspisteet, hinta, räjähdysvaarat, äänettömyys, matkojen suunnittelu, akun heikentyminen, jne.). Näistä vain yksi on todellinen ongelma, ja se on latausaika. Toimintasädettä saa suurennettua isommalla akulla ja hyötysuhteen parantumisella, latauspisteet lisääntyvät, hinnat putoavat koko ajan alaspäin tuotantotekniikan kehittyessä, akun heikentyminen ratkaistaan uudella akulla ja laittamalla vanhan hyötykäyttöön.

Polttoaineen tankkaamiseen voidaan ajatella menevän keskimäärin 1–2 minuuttia, kun taas lataamisessa menee huomattavasti enemmän aikaa. Haaste on latauskaapelin virrankestoisuudessa, sillä mitä suurempi latausvirta on, sitä enemmän kaapeli lämpee ja sitä suurempi kaapelin pinta-alan täytyy olla (mikä hankaloittaa käyttöä). Tähän ongelmaan ei ole suoraa ratkaisua, mutta siihen on epäsuora ratkaisu ja se on latauspisteiden voimakas ja laaja lisääntyminen. Mitä laajemmin latauspisteitä on levittäytynyt maan ympäri, sitä lyhyempi matka on seuraavan paikkaan, jossa on latausmahdollisuus, näin kilometrien tarve pienenee latauspisteiden välillä.

Latausmahdollisuuksien suunnittelu ja kartoitus ovat tulossa monen kiinteistön hallituksen työliselle. Sähköautot ovat tulevaisuutta ja ne ovat tulossa, latauspisteiden lisääntyminen edistävät kasvua ja parantavat sähköautojen yleistä käyttötehokkuutta.

Insinööriyössä näytetään, kuinka sähköautojen lataaminen kiinteistöissä ei ole niin kuormittavaa, kun yleisesti uskotaan, jos mitoitus tehdään oikein ja älykkäästi. Investointien kannalta se ei myöskään ole merkittävästi sen kalliimpaa kuin autonlämmityksen rakentaminen kohteeseen.

2 Lataustavat

Seuraavaksi käydään läpi neljä eri lataustapaa, jolla sähköautoja voi ladata. *Lataustapa 1* on kevyiden sähköajoneuvojen lataus, kuten sähköpolkupyörien ja -mopojen AC-lataus normaalista kotitalouspistorasiasta. Latausjohtona voi toimia esim. normaali pistotulppa (kuva 1). [1.]



Kuva 1. Pistotulppa. [2.]

Lataustapa 2 on sähköajoneuvon AC-lataus kotitalous- tai voimapistorasiasta. Tätä lataustapaa voidaan käyttää sähköauton lataamiseen tilapäisesti. Latausvirta on rajoitettava riittävän pieneksi (1 x 8 A tai 1,8 kW) esim. ajastimella. Toisella nimellä lataustapaa kutsutaan "hidaslataukseksi". Latausjohtona voi toimia esim. 3-vaiheinen johto (kuva 2). [1.]



Kuva 2. 3-vaiheinen liitin. [3.]

Lataustapa 3 on AC-lataus ajoneuvoon kuuluvalla liitäntäjohdolla standardin mukaisesta sähköautopistorasiasta. Latausvirta on maksimissaan 3 x 63 A (43 kW). Latausjärjestelmän tiedonsiirtoväylän avulla varmistetaan, että ajoneuvo on oikein ja turvallisesti

kytketty latauspisteeseen. Toisella nimellä lataustapaa kutsutaan ”peruslataukseksi”. Latauskaapelina voi toimia esim. Type 2 liitin (kuva 3). [1.]



Kuva 3. Type 2 liitin. [4.]

Lataustavassa 4 sähköautoa ladetaan tasasähköllä suurella virralla ulkopuolisesta DC-laturista. Latauskaapeli on kiinteästi liitetty latauspisteeseen standardin mukaisella pistokkeella (CCS- tai CHAdeMo-liitäntä (kuva 4). Latausvirta on maksimissaan 200 A (50 kW). Toisella nimellä lataustapaa kutsutaan ”pikalataukseksi” tai ”teholataukseksi”. [1.]



Kuva 4. CHAdeMo liitin. [5.]

3 Sähköautojen toimintasäde

Keskimäärin suomalainen ajaa 50 km päivässä [6], josta saadaan keskimääräinen energiantarve 10 kWh [7, s. 5]. Talviaikaan energian kulutus on suurempaa. Näillä tiedoilla voidaan laskea, että esimerkiksi 1 kWh vastaa viittä kilometriä ja 20 kWh sataa kilometriä.

Teho saadaan kaavalla 1.

$$P = U_v \times I \quad (1)$$

U_v on vaihejännite

I on latausvirta

Toimintasäde saadaan kaavalla 2.

$$r = P \times t \times 5 \text{ km} \quad (2)$$

P on latausteho

t on aika (tunneissa)

Edellä mainituilla kaavoilla saadaan täytettyä taulukko 1, josta voi nähdä minkälainen toimintasäde saadaan eri latausvirroilla.

Taulukko 1. Latausaikoja eri virroilla. [8.]

| Virta / A | Teho / kW | 1h lataus / km | 4h lataus / km |
|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1x10 | 2,3 | 12 | 48 |
| 1x13 | 3,0 | 15 | 60 |
| 1x16 | 3,7 | 19 | 76 |
| 3x16 | 11 | 55 | 220 |
| 3x32 | 22 | 110 | 440 |

Toimintasäteen ahdistus on aiheellinen täyssähköautoille, koska latauspisteitä ei ole Suomessa paljon suhteessa pinta-alaan, tulee matkojen etukäteen suunnitteleminen ongelmallisemmaksi. Jos akkuteknologia tai latausajat ei koe mullistavaa läpimurtoa, yksi realistinen ratkaisu on lisätä julkisia latauspisteitä ja konvertoida lämpötolpat sähköautojen lataukseen soveltuviksi. Suomessa on yrityksiä, jotka hyödyntävät lämpötolppia lataukseen. Yksi niistä on esimerkiksi Parkkisähkö.

4 Pysäköinti- ja latausaika

Yli 90 % latauksesta tapahtuu joko kotona tai työpaikalla ja loput julkisissa paikoissa kuten ostoskeskuksissa. Tämän perusteella on järkevää keskittyä infrastruktuurin rakentamiseen paikoissa, joissa potentiaalista latausaikaa on eniten [9, s. 4].

Keskimäärin henkilöautolla ajetaan noin tunti päivässä ja loput 23 tuntia auto on pysäköitynä [9, s. 4]. Keskimäärin potentiaalista latausaikaa on 20 tuntia vuorokaudessa (yöllä, kotona, työpaikalla, julkisissa paikoissa). Realistista latausaikaa on 13 tuntia normaalina vuorokauden aikana. Esimerkkitapauksena voidaan miettiä:

Potentiaalista latausaikaa

- yöllä (8 h)
- työpaikalla (8 h)
- illalla kotona (3 h)
- muualla (1 h)

Realistista latausaikaa

- yöllä (8 h)
- työpaikalla (2 h, perinteinen piharasia 2 h kellokytkimellä)
- illalla kotona (2 h)
- muualla (1 h)

Latausaikaa on vuorokaudessa runsaasti, ja se riittää helposti ihmisen arkeen, sillä keskimäärin suomalainen ajaa 50 km päivässä. Esimerkiksi jos lataa 13 A yksivaiheisena neljän tunnin ajan, sillä voi saada 60 km. 13 tuntia latausta (1 x 13 A) vastaa 39 kWh, joka taas antaa toimintasäteeksi 195 km.

5 Latausjärjestelmän mitoitus

5.1 Yleisesti sähkösuunnittelusta

Sähköautojen latauslaitteet johdotetaan sarjaan. Yhden latauslaitteen kannattaa palvella kahta parkkiruutua verrattuna yhteen rakennuskustannusten vähentämiseksi.

Ryhmäkaapelin johdinmateriaalina käytetään melkein aina kuparia paremman virrankestoisuuden takia [10] ja korroosion estoksi (tapahtuu, kun kaksi eri johdinmateriaalia on liitetty toisiinsa) [11], sillä latauslaitteiden johdinmateriaalit ovat todennäköisesti myös kuparia parempien ominaisuuksien vuoksi. Kaapelin suojamaan on hyvä olla konsentrisen (tarjoaa paremman suojan esim. tapaturman sattuessa) ja sulakkeiden johdonsuojakatkaisijoita tai tulppasulakkeita (ovat kalliimpia ja vievät enemmän tilaa). Kahvasulakkeita kannattaa käyttää vain silloin, kuin sulakkeen tarvitsee olla suurempi kuin 63 A. Asuinkiinteistöissä ei tarvitse olla tätä suurempi sulakeryhmä, mikä todetaan myöhemmin tässä työssä. Tosin ostoskeskuksia saattaa tarvita suurempaa riippuen, miten teknisen toteutuksen tekee.

Suunnitteluvaiheessa on tärkeää tietää, minkä tehoista latausta kohteessa tullaan käyttämään tai on järkevää käyttää. Tämä tieto vaikuttaa pääasiassa siihen, kuinka monen sulakeryhmään ruudut jaetaan.

Esimerkiksi ostoskeskuksen latauspisteiden täytyy olla tehokkaampia kuin asuinkiinteistöissä olevat, sillä on tärkeää, että lyhytaikaisessa pysäköinnissä kaikki autot saavat latausta heti. Asiakaskäynnit kestävät tyypillisesti vain muutamia tunteja parhailaan. 11 kW:n lataus saattaa bisnesmielessä olla parempi kuin 22 kW, sillä useasti asiointipaikoissa lataaminen on ilmaista ja matalampi teho tarkoittaa pienempää investointikustannuksia ja vielä pienempää sähkölaskua.

Kaapeleina kannattaa käyttää MCMK 4 x 16 + 16 mm² - sillä taulukosta 5, nähdään, että jopa pinta-asennettuna ilman heikentäviä tekijöitä kaapelin virrankestoisuus on 3 x 80 A. Tämä mahdollistaa melkein aina sulakkeen maksimiarvoksi 3 x 63 A. Tätä suurempi kaapeli on niin paljon kalliimpaa, että sitä on vaikeampi asentaa ryhmäkaapeliksi suuren pinta-alan vuoksi. Pienempää kaapelia taas en suosittelen käyttämään, koska mitoitus tulee olemaan heikkoa ja säästö olisi melkein merkityksetön. Paksu kaapeli takaa varauksen, mikäli ketjua jatketaan uusilla tai tehokkaammilla latauslaitteilla.

Pidettäköön mielessä, että varmennustarkistus vaaditaan, kun ryhmäsulakkeen koko on suurempi kuin 35 A [12]. Mikäli varaus on olemassa suuremmallekin sulakkeelle, mutta sähköautoja ei kohteeseen pitkään aikaan, kannattaa säästömielessä laittaa 35 A:n sulake. Näin varmennustarkistusta ei alkuun tarvitse tehdä.

Taulukko 2. Tähän taulukkoon perustuu mitoitus. Taulukosta nähdään mitoitusperusteet.

| | Kylmä parkkialue | Lämmin parkkialue | Asiointi |
|-----------------------|------------------|-------------------|----------|
| Tarve / pv | 50 km | 50 km | - |
| Latausaika | 4 h | 4 h | - |
| Latausikkuna | 12 h | 13 h | 1 h |
| Latausvirta | 1 x 13 A | 1 x 13 A | 3 x 16 A |
| Latausteho | 3,0 kW | 3,0 kW | 11 kW |
| Sulakkeet | 3 x 63 A | 3 x 63 A | 3 x 63 A |
| Samaan aikaan | 12 | 12 | 4 |
| 24h | 36 | 39 | - |
| Mitoitus virta | 5,3 A | 4,8 A | 3 x 16 A |
| Mitoitus teho | 1,2 kW | 1,1 kW | 11 kW |

| | |
|--------------|---|
| Kylmä halli | Alue, jossa tarvitaan auton lämmitystä ja jossa auto viettää yleensä yön. |
| Lämmin halli | Alue, jossa ei tarvita lämmitystä ja jossa auto viettää yleensä yön. |
| Asiointi | Alueet kuten ostoskeskukset ja ravintolat. Tarve on käyttäjäkohtainen. |
| Tarve | Keskimäärin suomalainen ajaa 50 km/pv, jolloin tätä voidaan myös pitää keskimääräisenä tarpeena. |
| Latausaika | Taulukosta 1 nähdään, kauanko pitää lataa, jotta tarve täyttyy. |
| Latausikkuna | Kuinka monta realistista tuntia latausaikaa on vuorokauden sisällä. Kylmässä hallissa on 1 h vähemmän kuin lämpimässä, koska 1 h on varattu lämmitykselle latauksen sijaan turvakertoimeksi. Asiointipaikoissa, kuten ravintoloissa tai ostoskeskuksissa viivytään max. 1 h (arvio). Arvot ovat päätelty luvussa 4. |
| Latausvirta | Yleisin virta, jolla autoa ladataan. Ei hirveästi merkitystä pitkäaikaisessa latauksessa mitä latausvirtaa käytetään, sillä latausteho ja latausaika ovat kääntäen verrannollisia toisiinsa nähden. |
| Latausteho | Lasketaan latausvirrasta kertomalla vaihejännitteellä. |
| Sulakkeet | Sulakkeet voisivat periaatteessa olla muutakin, mutta tämä on valittu olettaen ryhmäkaapeliksi 4 x 16 + 16 mm ² (Cu). |

| | |
|---------------|---|
| Samaan aikaan | Samaan aikaan ladattavien sähköautojen määrä. Lasketaan, kuinka monta "latausvirtaa" mahtuu sulakeryhmään. $63 \text{ A} / 13 \text{ A} \approx 4,8$. Pyöristyy neljään autoon yhdessä vaiheessa, koska vaiheita on kolme, niin yhdessä sulakeryhmässä voidaan ladata $3 \times 4 = 12$ samaan aikaan. |
| 24 h | Arvo kertoo, kuinka monta sähköautoa voidaan ladata vuorokauden aikana. Saadaan kun "latausikkuna" jaetaan "latausajalla", jonka jälkeen kerroin kerrotaan "samaan aikaan" arvolla. |

5.2 Pitkäaikainen pysäköinti

Kun lämpötolpallisia autopaikkoja suunnitellaan ST-kortin [13, s. 12] mukaisesti, käytetään seuraavaa kaavaa 3.

$$P_{pys} = \frac{10 + 0,5 \times N}{N} \quad (3)$$

P_{pys} on teho/ruutu

N on autopaikkojen lukumäärä

Jos meillä on esimerkiksi 100 ruudun kylmä parkkialue niin tehoksi ruutua kohden saadaan 0,6 kW, joka on mitoitettu vain lämmitystä varten parkkialuetta kohden.

$$P_{pys} = \frac{10 + 0,5 \times 100}{100} = 0,6$$

Taulukosta 2. voidaan kehittää seuraava kaava, josta saadaan sekä lämmitykselle, että lataukselle mitoitusvirta ryhmää kohden.

$$P_{pys} = \frac{3 \times S \times U_v}{A} \quad (4)$$

S on sulakekoko

U_v on vaihejännite

A on vuorokauden aikana ladattavien määrä "24 h" yhdessä sulakeryhmässä

Kylmässä parkkialueessa mitoitustehoksi saadaan 1,2 kW ruutua kohden, joka on mitoitettu sekä lämmitykseen, että lataukseen.

$$P_{pys} = \frac{3 \times 63 \times 230}{36} = 1,2$$

Vaikka saatiin tulokseksi 1,2 kW:n teho ruutua kohden, niin asetetaan varmuuden vuoksi turvakertoimeksi 1,5, jolloin saadaan $1,2 \text{ kW} \times 1,5 = 1,8 \text{ kW}$ tai $36 / 1,5 = 24$ (tämä vastaa siis arvoa "24 h" kylmässä parkkialueessa) mitoitusta varten.

Jos parkkialue on lämmin, vastaaviksi arvoiksi samoilla kaavoilla ja turvakertoimilla saadaan 1,7 kW ja 26 ("24 h"). Koska olosuhteet ja saadut arvot ovat kylmässä ja lämpimässä parkkialueessa lähes samat, niin yksinkertaisuuden vuoksi ja "turvakertoimeksi" käytetään molempiin olosuhteisiin "turvallisempaa" mitoitusta (kylmä parkkialue).

Tästä voidaan rakentaa taulukko 3. Kun tiedetään, monta ruutua halutaan sähköistää lataukseen, niin käytetään paksuja kaapeleita, jos latauslaitteet halutaan, vaikka päivittää tehokkaampaan tai ketjua jatkaa, niin kaapelien mitoitukset ovat valmiina. Sulakkeet ovat tapauskohtaisia, taulukossa tosin on huomioitu tehokkaammat latauslaitteet.

Taulukko 3. Yhteen sulakeryhmään johdotetut ruudut (max 24). Tämä mitoitus koskee pitkäaikaista pysäköintiä (1 x 16 A max.) esim. kotona tai työpaikalla. Lämmittäjät ja muutamat lataustapa 3 lataajat huomioitu.

| Ruudut | Kaapeli / mm ² | Sulake / A |
|---------|---------------------------|------------|
| 1 – 3 | 4 x 10 + 10 | 3 x 35 |
| 4 – 6 | 4 x 16 + 16 | 3 x 35 |
| 7 – 9 | 4 x 16 + 16 | 3 x 50 |
| 10 – 24 | 4 x 16 + 16 | 3 x 63 |

5.3 Lyhytaikainen pysäköinti

Lyhytaikaisessa pysäköinnissä (1 – 2 h) on tärkeää, että kaikki autot saavat latausta samanaikaisesti, sillä käyttäjät pettyvät, mikäli käynnin jälkeen sähköauto on ollut jonossa eikä auto ole saanut latausta. Sen takia suositeltu määrä ruutuja sulakeryhmää kohti (taulukko 4) on vain neljä johtuen suuresta lataustehosta ja tarpeesta saada sähköä heti.

Taulukko 4. Yhteen sulakeryhmään johdotetut ruudut (max. 4). Tämä mitoitus koskee lyhytaikaista pysäköintiä (3 x 32 A max.) esim. ostoskeskuksessa tai ravintolassa.

| Ruudut | Kaapeli / mm ² | Sulake / A |
|--------|---------------------------|------------|
| 1 – 4 | 4 x 16 + 16 | 3 x 63 |

5.4 Sähkökeskukset

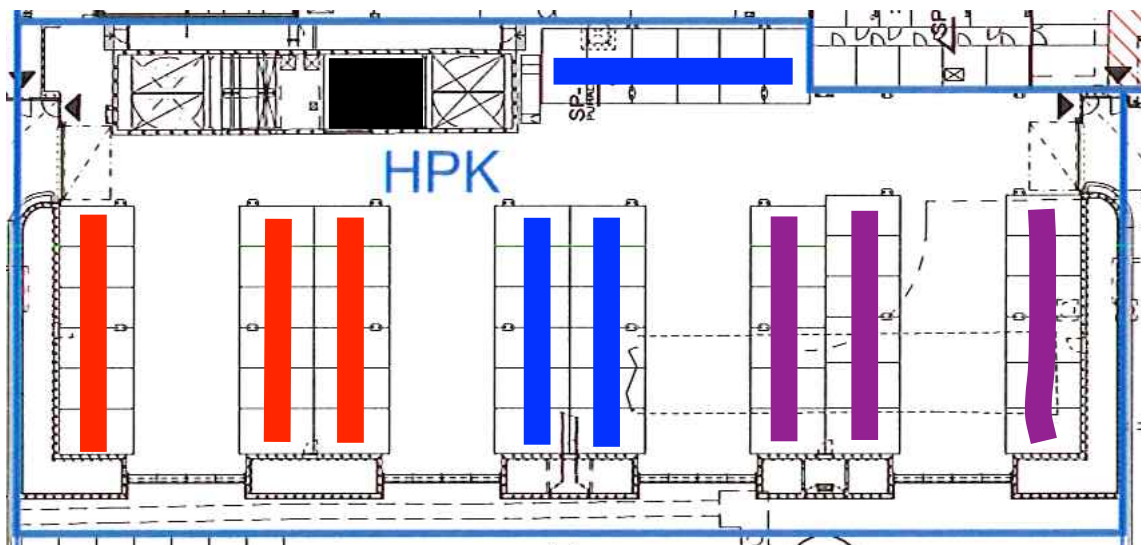
Mikäli latauspisteille halutaan oma sähkökeskus, niin järkevää on vetää sähkö ”latauskeskukseen” kiinteistökeskuksen kautta. Näin lataukselle ei tarvitse erillistä sähköverkoyhtiön mittaria verrattuna, jos nousukaapeli vedetään latauskeskukselle suoraan pääkeskuksesta.

Sähkökeskusten mitoittaminen on helppoa. Ensin, kun on ajateltu sulakeryhmien määrä, joka tässä mitoitusohjeessa kannattaa tehdä 3 x 63 A:n ryhmillä silloin ryhmien määrä kerrotaan 63 A:lla ja valitaan siitä seuraava standardi keskuskoko.

Vaihtoehtoisesti voi latauspisteiden sulakeryhmät sijoittaa suoraan kiinteistökeskukseen. Tämä on optimaalisin vaihtoehto kustannusten ja yksinkertaisuuden kannalta.

5.5 Esimerkitapaus

Uudiskohteessa on 54 parkkiruutua (kuva 5), ja jokaiseen halutaan normaalilla pistorsialla varustetut älykkäät latauslaitteet, jotka kykenevät kommunikoimaan keskenään.



Kuva 5. Esimerkkihalli, johon halutaan latauslaitteita. Sähköpääkeskus sijaitsee mustalla alueella ja kolme eri väriä kuuvavat sulakeryhmiä.

Jokaiseen ryhmään tulee tasan 18 ruutua $4 \times 16 + 16 \text{ mm}^2$ MCMK-kaapelilla. Sulakeryhmät ovat kokoa 3 x 63 A johdonsuojakatkaisijoilla. Kiinteistökeskuksen kautta tulee

uusi nousukeskus lataukselle. Koska ryhmiä on kolme, tulee niiden yhteenlasketuksi nimellisvirraksi 189 A, jolloin valitaan sähkökeskuksen kooksi 200 A.

Kiinteistö- ja pääkeskus varataan lataukselle tarkoitetun nousukeskuksen verran tehoa. Mainittakoon, että keskukseen ei tarvitse ohjauksia, koska älykkäissä latauslaitteissa on ohjaus valmiina, joka estäisi ylikuormituksen.

6 Olemassa oleva sähköinfrastruktuuri kiinteistössä

Virtapiirissä käsittelemme latausjärjestelmää vain liittymiskaapelista eteenpäin. Asiat, jotka täytyy ottaa huomioon, ovat liittymiskaapelit, nousukaapelit, ryhmäkaapelit, keskukset, sulakkeet ja oikosulkuvirrat.

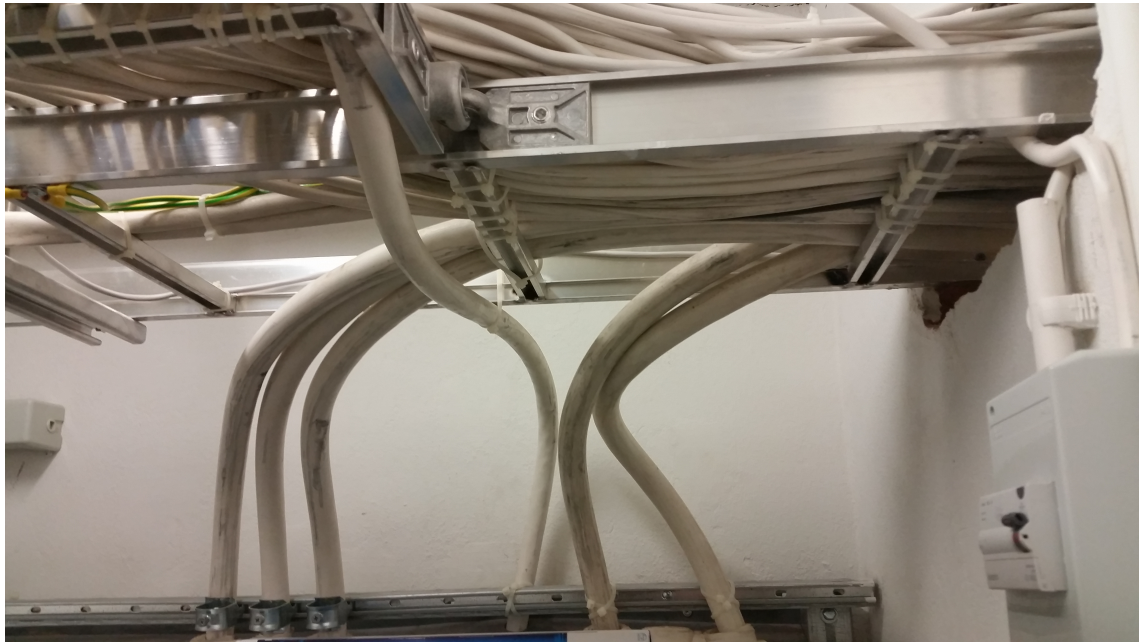
Mikäli kyseessä on olemassa oleva kohde, selvitetään, kuinka monen sähköauton latauksen infra kestää ilman merkittäviä rakenteellisia muutoksia.

Uudiskohteissa sähkösuunnittelu tehdään perinteiseen tapaan, sillä latauslaitteet ovat itsessään älykkäitä, jolloin ei tarvitse esimerkiksi erillisiä ohjauksia keskukseen. Kunnan pidetään huoli riittävästä tehon mitoituksesta huomioon ottaen, onko kyseessä esim. asuinkiinteistö tai ravintola.

Kaapelit

Kaapelien määrittäminen on itsessään yksinkertaista joko merkinnöistä tai piirustuksista. Huomioon pitää ottaa asennustapa (taulukot 5 ja 6) ja muut mahdolliset tekijät, jotka laskevat virrankestoisuutta.

Jos kertoimia, jotka laskevat virrankestoisuutta on vaikea määrittää, niin hyvänä nyrkkisääntönä on käyttää kertoimena 0,7:ää mikäli kaapeleita on nipussa tai lähellä toisiaan (kuva 6). Eri maalajien, kaapelihyllyjen rei'ityksien, lämpötilan, jne. merkitykset ovat pieniä.



Kuva 6. Esimerkkikuva, kun paljon kaapeleita on nipussa.

Taulukko 5. PVC-eristeisten kuparijohtimien virrankestoisuus eri asennustavoilla (A, B, C, D). [14, s. 6.]

| Koko / mm ² | A / A | B / A | C / A | D / A |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 2,5 | 19 | 21 | 25 | 35 |
| 4 | 24 | 29 | 34 | 46 |
| 6 | 31 | 36 | 43 | 57 |
| 10 | 41 | 49 | 60 | 77 |
| 16 | 55 | 66 | 80 | 100 |
| 25 | 72 | 85 | 102 | 130 |

Taulukko 6. PVC-eristeisten alumiinijohtimien virrankestoisuus eri asennustavoilla (A, B, C, D). [14, s. 6.]

| Koko / mm ² | A / A | B / A | C / A | D / A | Koko / mm ² |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------|
| 35 | 74 | 91 | 96 | 121 | 35 |
| 50 | 89 | 111 | 116 | 142 | 50 |
| 70 | 113 | 140 | 148 | 176 | 70 |
| 95 | 136 | 170 | 180 | 208 | 95 |
| 120 | 157 | 197 | 208 | 237 | 120 |
| 150 | 180 | | 240 | 269 | 150 |
| 185 | 205 | | 274 | 304 | 185 |
| 240 | 240 | | 323 | 349 | 240 |

Sulakkeet

Sulakkeiden valitseminen on suoraviivaista. Taulukon 7 noudattamisen lisäksi pitää ottaa huomioon vaadittujen oikosulkuvirtojen arvojen toteutuminen (taulukot 8 ja 9).

Taulukko 7. Kaapelien kuormitusten minimiarvot eri gG-sulakkeille. [15, s. 2.]

| Sulake / A | Kaapelin kuormituksen minimiarvo / A |
|------------|--------------------------------------|
| 6 | 8 |
| 10 | 13,5 |
| 16 | 18 |
| 20 | 22 |
| 25 | 28 |
| 32 | 35 |
| 35 | 39 |
| 40 | 44 |
| 50 | 55 |
| 63 | 70 |
| 80 | 88 |
| 100 | 110 |
| 125 | 138 |
| 160 | 177 |
| 200 | 221 |
| 250 | 276 |
| 315 | 348 |
| 400 | 441 |
| 500 | 552 |
| 630 | 695 |
| 800 | 883 |

Oikosulkuvirrat

Oikosulkusuojauksessa suojaudutaan oikosulkuvirran aiheuttamalta johtimien lämpenemiseltä ja siten palovaaralta. Poiskytkentäaika pistorasioissa on 0,4 s enintään 32 A:n sulakkeella ja 5 s sitä suuremmalla.

Yksivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla 5.

$$I_k = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z} \quad (5)$$

c on 0,95

U on 400 V

Z on virtapiirin kokonaisimpedanssi

Oikosulkuvirran mittaus suoritetaan latauslaitteiden ketjun päädyssä. Mikäli oikosulkuvirta ei riitä, voidaan ryhmän lähtöön asettaa vikavirtasuoja standardin SFS-6000 mukaisesti [16, s. 270.], mutta tämä ei ole suositeltavaa, sillä vikavirtasuoja laukeaa liian helposti, silloin kun sen ei pitäisi.

Taulukko 8. Vaaditut oikosulun minimiarvot automaattisulakkeille. [17.]

| I_n / A | B-tyyppi / A | Mitattu / A | C-tyyppi / A | Mitattu / A |
|-----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 6 | 30 | 37,5 | 60 | 75 |
| 10 | 50 | 62,5 | 100 | 125 |
| 16 | 80 | 100 | 160 | 200 |
| 20 | 100 | 125 | 200 | 250 |
| 25 | 125 | 156,3 | 250 | 312,5 |
| 32 | 160 | 200 | 320 | 400 |
| 50 | 250 | 312,5 | 500 | 625 |
| 63 | 315 | 393,8 | 630 | 787,5 |
| 80 | 400 | 500 | 800 | 1000 |
| 125 | 625 | 781,3 | 1250 | 1562,5 |

Taulukko 9. Vaaditut minimiarvot gG-sulakkeille. [17.]

| I_n / A | 0,4 s / A | Mitattu / A | 5,0 s / A | Mitattu / A |
|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 2 | 16 | 20 | 9 | 11,3 |
| 4 | 32 | 40 | 18 | 22,5 |
| 6 | 46,5 | 58,2 | 28 | 35 |
| 10 | 82 | 102,5 | 46,5 | 58,2 |
| 16 | 110 | 137,5 | 65 | 81,3 |
| 20 | 145 | 181,3 | 85 | 106,3 |
| 25 | 180 | 225 | 110 | 137,5 |
| 32 | 270 | 337,5 | 150 | 187,5 |
| 35 | | | 165 | 206,3 |
| 40 | 315 | 393,8 | 190 | 237,5 |
| 50 | 470 | 587,5 | 250 | 312,5 |
| 63 | 550 | 687,5 | 320 | 400 |
| 80 | 840 | 1050 | 425 | 531,3 |
| 100 | 1000 | 1250 | 580 | 725 |
| 125 | 1450 | 1812,5 | 715 | 893,8 |
| 160 | 1600 | 2000 | 950 | 1187,5 |
| 200 | 2100 | 2625 | 1250 | 1562,5 |
| 250 | 2800 | 3500 | 1650 | 2062,5 |
| 315 | 3700 | 4625 | 2200 | 2750 |
| 400 | 4800 | 6000 | 2840 | 3550 |
| 500 | 6400 | 8 000 | 3800 | 4750 |

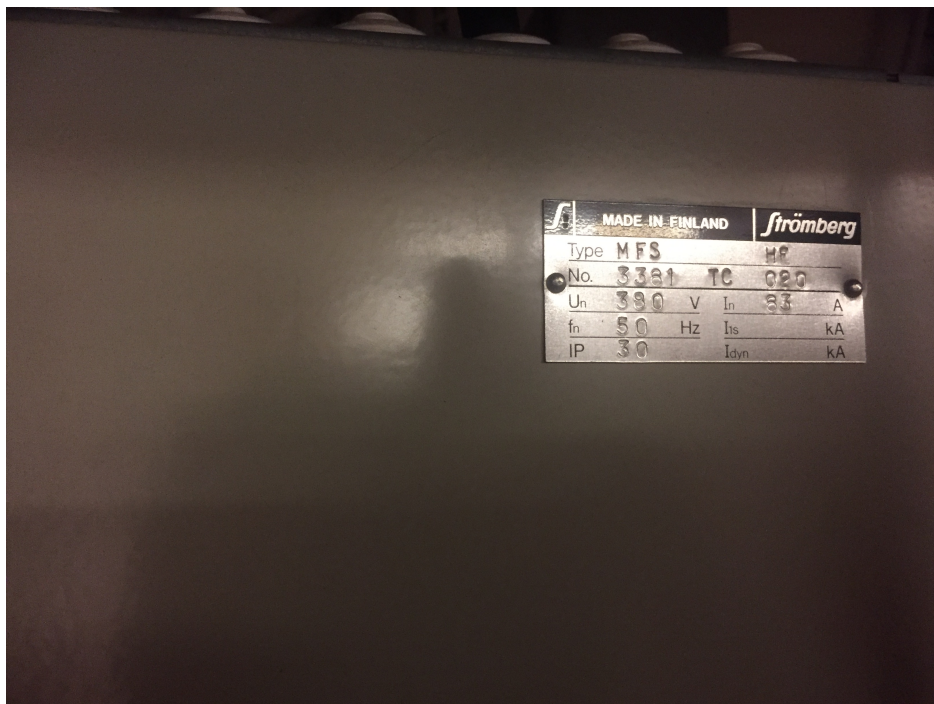
Sähkökeskukset

Kun tarkastellaan sähkökeskuksia, kannattaa aloittaa keskuksen nimellisvirrasta, joka on kerrottu keskuksen nimelliskilvessä (kuva 7), josta voi laskea nimellistehon kaavalla 6.

$$P = 3 \times U_v \times I \quad (6)$$

U_v on vaihejännite

I on nimellisvirta



Kuva 7. Esimerkkikuva sähkökeskuksen nimelliskilvestä. Nimellisvirta 63 A.

Sähköverkkoyhtiöltä voi kysyä tuntikohtaista huippuenergiaa, joka yleensä sijoittuu joulukuusta maaliskuulle johtuen, koska ihmiset ovat enemmän sisällä, asuntoja ja autoja lämmitetään enemmän ja saunotaan useammin. Koska sähköverkkoyhtiö ei mittaa tarkemmin kuin tunnin keskiarvoa, tarkkaa huipputehoa ei voi saada. Huippulukema kannattaa varmuuden vuoksi kertoa kertoimella 1,5, jotta ollaan turvallisilla vesillä. Nyt voi nimellistehosta vähentää ”arvioidun huipputehon”, jolloin saadaan selville, kuinka paljon keskuksessa on vapaata kapasiteettia.

Esimerkiksikohteessa, jossa kiinteistökeskuksen nimellisteho on 86 kW. Helen Sähköverkko Oy on ilmoittanut kohteen kiinteistökeskuksen huippulukemaksi 30 kWh. Kerrotaan tämä turvakertoimella 1,5, jolloin arvioitu huipputeho on 45 kW. Näin saadaan vapaaksi kapasiteetiksi $86 \text{ kW} - 45 \text{ kW} = 41 \text{ kW}$.

On tärkeää huomioida myös keskusten pääsulakkeet, sillä vaikka keskuksen nimellisvirta on tiedossa, voi olla, että liittymisjohdot ovat alimitoitettu, jolloin sähköverkkoyhtiö on määrittänyt suurimman pääsulakkeen, jota saa käyttää, vaikka keskus kestäisi enemmänkin. Toki on mahdollista sähköverkkoyhtiöltä tilata uusi tai järeämpi liittymiskaapeli, mutta tämä on erittäin kallista. Olemassa olevissa kohteissa nimenomaan laetuslaitteiden kannattaa olla järkeviä, silloin pystytään hyödyntämään sähköinfra, niin että käyttöön otetaan kaikki mitä on saatavilla.

Kun vapaat kapasiteetit kaikissa sähkökeskuksissa, jotka ovat samassa sarjassa määritetty, niin mikäli pääsulakkeita pystyy ja halutaan nostaa jostakin keskuksista, pitää myös sitä ylemmät sähkökeskusten vapaat kapasiteetit ottaa huomioon. Näin vältytään keskuksien ylikuormittumisesta.

Yhteenveto

Kun kaikki eri tekijät on kartoitettu, jäljelle jää määritellä sähköinfran ”pullonkaula”, joka voi olla esimerkiksi sähkökeskuksen heikko nimellisteho, vähäinen vapaa kapasiteetti, pieni oikosulkuvirta, pienet pääsulakkeet, pienet ryhmäsulakkeet tai ohuet kaapelit.

Riippuen siitä, mitkä tekijät ovat heikot, osaan ongelmista on helppo tai edullinen ratkaisu. Jos ryhmä- tai kiinteistösulakkeet ovat pienet, niitä nostamalla saadaan lisää kapasiteettia, mikäli muu tekijä ei muodostu esteeksi. Jos taas joku sähkökeskuksista on heikko, eikä salli kestä enempää kuormitusta, vaihtoehdoksi voi jäädä koko keskuksen purkamisen ja uuden vahvemman asentaminen tilalle.

7 Dynaaminen kuormanhallinta

Kuten käytiin luvussa 5.2 läpi, ST-kortti antoi asuinkiinteistössä, jossa on 100 ruutua mitoitustehoksi 0,6 kW ruutua kohden. Piharasiat on varustettu ”tyhmillä” kellokytkimillä ja lämmitystä käytetään eniten talvella. Keskimääräinen teho vuoden kylmimpiin aikoihin autonlämmityksessä on siis 0,6 kW/ruutu ilman, että sulakkeet laukeavat.

Taulukon 2 mukaisesti vastaava teho sekä lataukseen että lämmitykseen on vain kaksinkertainen (1,2 kW/ruutu). Tämä on nimenomaan mahdollista, kun latauslaitteet ovat ”älykkäitä”.

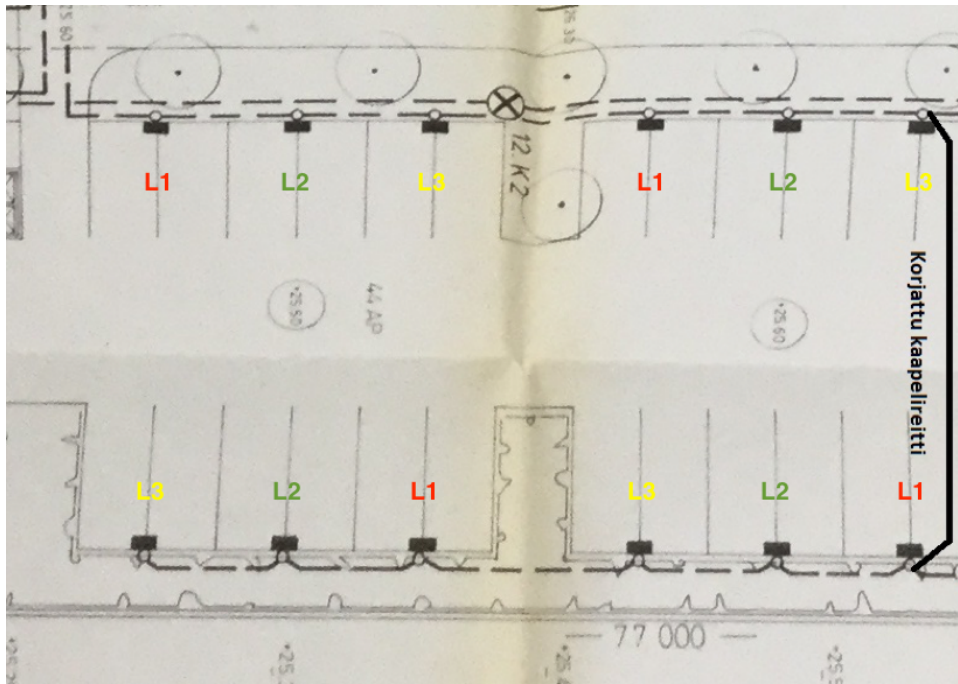
Jonottaminen

Älykkään järjestelmän yksi etu on sähköautojen (sekä myös autot, jotka vain lämmittävät) jonoon laittaminen. Kun sulakkeet ”ahtautuvat” täyteen, niin seuraava sähköauto, joka kiinnittää latauskaapelin latauslaitteeseen, siirtyy jonoon, kunnes joku on ladannut tarpeeksi tai kytkeytyy pois. Jonotusparametrit voidaan ja kannattaakin myös asettaa niin, että kaikki saavat latausta mahdollisimman oikeudenmukaisesti, jolloin vuorottelua on, vaikka joku ei olisi ehtinyt ladata täyteen.

Vaiheiden valinta

Kun puhutaan ”hitaasta latauksesta”, joka käytännössä on normaalista kotitalouspistorasiasta lataamista, niin ryhmäkaapeli on kolmivaiheinen, mutta lataus tapahtuu yksivaiheisena.

Kun ruutuja on vaikka 24, se tarkoittaa, että jokaisessa vaiheessa on neljä latauslaitetta. Koska yksi latauslaite palvelee kahta ruutua, niin yhdessä vaiheessa on kahdeksan ruutua kiinni (kuva 8).



Kuva 8. Perinteisesti "lämpötolpat" parkkialueella ketjutetaan näin. Samaa periaatetta kannattaa käyttää latauksessa, jolloin vaiheet "kiertävät".

Jos vaikka vaihe L1 on täynnä ja seuraava auto kytkeytyy latauslaitteeseen, joka on kiinni samassa vaiheessa, latauslaitteen kannattaa tajuta tämä ja siirtää tulleen auton esimerkiksi vaiheeseen L2, jossa on vielä tilaa. Jokaiseen laitteeseen tulee kolme vaihetta, mutta "äly" mahdollistaa vaiheen valinnan, joka kuten jonottaminen mahdollistaa sähköinfran optimaalisen käytön.

8 Sähkön ja polttoaineen kustannusvertailu

Polttomoottori- ja sähköautojen käyttökustannukset eroavat merkittävästi toisistaan, ja sähkösuunnittelijan on hyvä olla perillä hintaeroista ja mistä ne muodostuvat.

Sähkön hinta on laskettu niin, että se sisältää energia- ja siirtomaksun sekä verot. Tyypikäyttäjäksi valittiin "kerrostalo 2000 kWh/v ja hinta on koko maan keskiarvo kalenterivuodelta. Hinnaksi muodostui n. 0,17 €/kWh [18]. Yksi kWh vastaa viittä kilometriä.

Bensiinin (95E) hinta on laskettu koko maan keskiarvona sisältäen arvonlisäveron. Hinnaksi muodostui 1,42 €/l [19]. Asetetaan keskimääräiseksi auton bensiini kulutukseksi 6 l/100km.

Dieselin hinta on laskettu koko maan keskiarvona sisältäen arvonlisäveron. Hinnaksi muodostui 1,26 €/l (anna se diesellähde tupla yo). Dieselissä on bensiinin verrattuna n. 10 % enemmän energiaa litraa kohden [19], jolloin asetetaan keskimääräiseksi auton dieselkulutukseksi 5,5 l/100km.

Tulokseksi saadaan sähkön olevan noin kolme kertaa halvempaa kuin bensiini ja kaksi kertaa halvempi kuin diesel, mutta huomioitukoot, että dieselkoneissa täytyy maksaa dieselveroa, joka tekee taas siitä melkein yhtä kallista kuin bensiini.

Taulukko 10. Sähkön, bensiinin ja dieselin hintavertailu.

| | 5 km | 100 km |
|---------------|-------------|---------------|
| Sähkö | 0,17 € | 3,40 € |
| 95E | 0,43 € | 8,52 € |
| Diesel | 0,35 € | 6,93 € |

9 Latausvalmius

Latausmahdollisuus mielletään paikaksi tai laitteeksi, josta voi ladata sähköautoa. Latausvalmius taas voidaan tässä opinnäytetyössä määritellä paikaksi tai laitteeksi, johon on mahdollista tuoda latausmahdollisuus helposti ilman remontteja. Käytännössä se tarkoittaa, että kaapelit on vedetty valmiiksi ruutuihin.

Latausvalmiuden tuomisen etu on suuri, verrattuna siihen, että latauslaitteita tuoda yksitellen tai osina kohteeseen. Jos kaapelit vedetään valmiiksi haluttuihin ruutuihin, niin, että kahta ruutua palvelisi aluksi vain liitin, joka on nimensä mukaisesti pelkkä liitin, joka on jännitteinen. Itse liittimellä ei voi ladata, mutta sitä mukaan, kun sähköautot lisääntyvät tai latauslaitteita muuten halutaan lisää, liittimiin voi liittää suoraan latauslaitteen. Tällöin investointikustannukset ovat suhteessa minimaaliset ja kertaluontoiset.

Tällä hetkellä tämänlaisia laitteita tekee ainakin Parkkisähkö Oy, ja markkinanimeltään laitetta kutsutaan ”pikaliittimeksi” (kuva 9). Pikaliittimen etuna on myös, että tilaaja voi päättää, minkälaisen latauslaitteen haluaa pikaliittimen vastakappaleeksi, esim. Type 2:n tai normaalin pistorasian.



Kuva 9. Parkkisähkön pikaliitin. Pikaliittimen hattu poistetaan, kun siihen liitetään latauslaite.

Tällainen liitin pitäisi olla paljon halvempi kuin perinteinen piharasia tai ”lämpötolppa”, sillä piharasia sisältää ainakin kaksi mekaanista kellokytkintä ja suojalaitteita, kuten sulakkeet ja vikavirtasuojat. Liitin konseptina tarkoittaa, että kaapelit ovat kiinnitetty sähköä johtavaan metalliin ja liitin sitten suojattu sormisuojusta tai esimerkiksi muovisella ”hatulla”. Suoja poistetaan, kun liittimeen liitetään latauslaite.

Latausvalmius on ylivoimainen verrattuna esimerkiksi alueeseen, johon muuten tulisi perinteisiä lämpötolppia. Tässä ovat vielä tärkeimmät edut verrattuna lämpötolppiin:

- huoltovapaat
- investointikustannukset pienemmät
- nopeampi kytkentä ja asennus
- asukkaat saavat itse valita latauslaitteen, lämmityslaitteen tai ei mitään
- asunto-osakeyhtiöissä ja vuokrapaikoissa kukaan ei käytä sähköä toisen ”piikkiin”. Jolloin yhdenmukaisuus toteutuu paremmin.
- vastike tai ruudun vuokra on pienempi
- kiinteistön tai/ja vuokra on pienempi
- sähköautojen tulemiseen on valmistauduttu

10 Yhteenveto

Sähköautot lisääntyvät Suomessa, ja sitä mukaa latauspisteiden kysyntä kasvaa liikekiinteistöissä ja asuinkiinteistöissä. Latauslaitteet ovat ehdottomasti sijoittamisen arvoisen kohde. Suomessa on hyvin yleistä rakentaa ”lämpötolppia” autoille, jolloin jos alusta alkaen mitoituksen tekee oikein, voidaan niillä ladata sähköautojakin. Olemassa oleva sähköinfra voidaan tapauskohtaisesti käyttää hyväksi. Sähköautojen latausongelmat ovat epäsuorasti ja osittain ratkaistavissa lisäämällä latauslaitteita tiheästi ympäri Suomea varsinkin asuinkiinteistöille.

Ryhmäkaapelina kannattaa melkein aina käyttää kaapelia MCMK 4 x 16 + 16 mm², sulakkeina max 63 A ja ruutuja pitkä- ja lyhytaikaisessa pysäköinnissä ketjuttaa tämän insinööriyön taulukkojen mukaan. Älykkyys latauslaitteissa estää sulakkeitten, kaapeleitten ja sähkökeskusten ylikuormituksen. Älykkyys näkyy mm. dynaamisella kuormanhallinnalla, näin mitoitusta ei tarvitse tehdä ”pahimman tilanteen” varalle vuoden pahimpaan aikaan. Dynaaminen kuormanhallinta käytännössä tarkoittaa sähköautojen jonottamista ja vaiheiden valitsemista. Tämä mahdollistaa sähköinfran optimaalisen käytön.

Kohteisiin, johon autoja pysäköidään asuinkiinteistöissä, työ- ja asiointipaikoilla, kannattaa rakentaa latausvalmius. Latausvalmius tarkoittaa mitoituksen tekemistä heti alusta lähtien kunnolla ja pikaliittimistä ketjuttamista sarjaan. Valmius mahdollistaa latauslaitteiden asentamisen sitä mukaa, kun sähköautoja tulee lisää kohteeseen. Näin latauslaitteita ei tarvitse erikseen rakentaa jokaisella sähköautolle ja jokainen saa päätää, mitä haluaa pikaliittimen vastakappaleeksi.

Lähteet

- 1 Sähköajoneuvojen lataaminen kiinteistöjen sähköverkoissa. Verkkodokumentti. Sesko.
<http://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat/lataussuositus_2014>. Luettu 1.8.2017.
- 2 Verkkodokumentti. STARTECH LTD.
<https://sgcdn.startech.com/005329/media/products/gallery_large/PXTNB3SEUXM.B.jpg>. Luettu 1.8.2017
- 3 Verkkodokumentti. Kärkkäinen.
<<https://www.karkkainen.com/tuotekuva/ISO/6410024403611.jpg>>. Luettu 1.8.2017.
- 4 Verkkodokumentti. Zap-map. <<https://www.zap-map.com/engine/wp-content/uploads/2014/03/Tesla-Type-2-Connector-c9a19853.jpg>>. Luettu 1.8.2017.
- 5 Verkkodokumentti. Image of the week.
<<http://image.ofweek.com/uploadfile/comimg/big/2013-02/Chademo-Plug-250amp-Chademo-Connectors-539410.jpg>>. Luettu 1.8.2017.
- 6 Ajokilometrit verotuksen perusteena. Verkkodokumentti. Verohallinto.
<https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/auto/autoverotus/autoveron_maara/ajokilometrit_verotuksen_perusteen/>. Luettu 1.8.2017.
- 7 Sähköauton ostajan ABC. Verkkodokumentti. Motiva.
<https://motiva.fi/files/127738/Sahkoauton_ostajan_ABC.pdf>. Luettu 1.8.2017.
- 8 Sähköauton akkujen latausteho on suurempi kuin autolämmittimen. Verkkodokumentti. Sähköala. <http://www.sahkoala.fi/koti/sahkoautot/fi_FI/sahkoauto2/>. Luettu 1.8.2017.

- 9 Sähköautot taloyhtiössä. Verkkodokumentti. Parkkisähkö Oy.
<<http://www.parkkisahko.fi/wp-content/uploads/2016/04/opas.pdf>>. Luettu 3.8.2017.
- 10 Sähköjohto. Verkkodokumentti. Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Sähköjohto>>. Luettu 10.8.2017.
- 11 D1-2012 käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2012. Sähkö- ja teleurakoitsija-liitto STUL ry. 522.5. Luettu 15.8.2017.
- 12 Asennus ja käyttöönotto. Verkkodokumentti. Tukes.
<<https://tukes.fi/fi.Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteistot/Asennus-ja-kayttoonotto/>>. Luettu 16.8.2017.
- 13 Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen. Verkkodokumentti. MAMK.
<http://cna.mamk.fi/public/HHon/Sähköasennukset/st_1331.pdf>. Luettu 20.8.2017.
- 14 Sähköjohtojen mitoittaminen. Verkkodokumentti. OAMK.
<http://oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/19_1_S%84hk%94johtojen%20mitoittaminen.pdf>. Luettu 1.9.2017.
- 15 Sähkötaulukoita. Verkkodokumentti. OAMK.
<http://www.oamk.fi/~pekkar/kevat_2016_aineisto/Kiinteiston_sahkoverkko/Sahkotaulukoita.pdf>. Luettu 20.9.2017.
- 16 SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. 2012. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. SFS 6000-5-53 531.2.3.4.1. Luettu 22.9.2017.
- 17 Suunnittelutoimisto Hakala Oy SFS 6000 mukainen mittausten ja laskelmien vaatimustaulukot 1.1.2008 alkaen Liite 2. Verkkodokumentti. NSSOY.
<<http://nssoy.fi/uploads/nss/Vaaditut%20oikosulkuvirrat.pdf>>. Luettu 1.10.2017
- 18 Hintatilastot. Verkkodokumentti. Energiavirasto.
<<http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgrapgs>>. Luettu 15.10.2017.

- 19 Kaikki asemat. Verkkodokumentti. Webmoon Oy.
<<https://polttoaine.net/index.php?cmd=kaikki>>. Luettu 20.10.2017.