

SUURITEHOISEN SÄHKÖAUTOLATAUKSEN ÄÄNILÄHTEET JA ÄÄNENHALLINTAMENETELMÄT

Marko Antila¹ ja Ville Naumanen²

¹Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
PL 1300
33101 Tampere
etunimi.sukunimi@vtt.fi

²Kempower Electric Mobility Research Center
Mukkulankatu 19
15210 Lahti
etunimi.sukunimi@kempower.com

Tiivistelmä

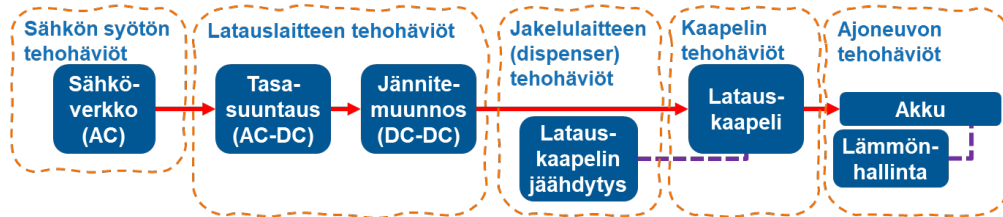
Sähkökuorma-autojen sekä sähkörekkojen määrä liikenteessä lisääntyy voimakkaasti lähivuosina. Raskas sähköinen ajoneuvokalusto vaatii suuritehoista latausta. Nykyinen CCS-standardi rajoittaa lataustehon tyypillisesti 350 kW:iin, mutta uusi megawattilatauksen (MCS) standardi nostaa tehorajaa jopa useisiin megawatteihin, ja mahdollistaa isojenkin ajoneuvojen nopean latauksen. Vaikka latauksen hyötysuhde on hyvä, suurilla tehoilla sekä ajoneuvo että latauslaitteisto tuottavat lataustehoon verrannollista ääntä. Latauselektronikan sekä ajoneuvoakkujen jäähdytys on merkittävin äänilähde, erityisesti lämpimissä ympäristöolosuhteissa. Olemme mitanneet ja arvioineet syntyvää ääntä ESCALATE-projektissa, ja todenneet sen muodostuvan joissain tapauksissa merkittäväksi erityisesti latauskentillä, joissa voidaan ladata useaa raskasta ajoneuvoa yhtäaikaisesti. Vähämeluinen ympäristö on tärkeää erityisesti ajoneuvojen kuljettajille, mutta myös muille latausalueiden ympäristössä oleville ja asuville. Olemme löytäneet menetelmiä hallita syntyvää ääntä mm. latausjärjestelmien sijoittelulla ja kehittyneillä jäähdytysratkaisuilla, jolloin voidaan hyödyntää myös syntyvää hukkalämpöä. Lisäksi ajoneuvosuunnittelussa tulee huomioida kuljettajan mukavuus ja ääniolosuhteet latauksen aikana. Latausmelu on tunnistettu haasteeksi myös määräystasolla, ja siihen liittyvä ja lopulta mahdollisesti standardointiin johtava työ on parhaillaan käynnissä.

1 JOHDANTO JA TAVOITE

Sähkökuorma-autojen sekä sähkörekkojen määrä liikenteessä lisääntyy voimakkaasti lähivuosina ja se vaatii suuritehoista latausta. Nykyinen CCS-standardi [1] rajoittaa lataustehon tyypillisesti 350 kW:iin, mutta tuleva megawattilatauksen (MCS) [2] standardi nostaa tehorajaa useisiin megawatteihin joka mahdollistaa raskaiden ajoneuvojen nopean latauksen. Vaikka latauksen hyötysuhde on hyvä, suurilla tehoilla sekä ajoneuvo että latauslaitteisto tuottavat lataustehoon verrannollista ääntä, lähinnä tehohäviöiden ja niistä syntyvän hukkalämmön poistamisen takia. ESCALATE-projektin latausinfraan keskittyvässä työpaketissa kehitettiin MCS-latausjärjestelmiä ja arvioitiin sekä mallinnettiin niiden ominaisuuksia [3].



© 2025 Marko Antila ja Ville Naumanen. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa *Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen* -lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kun tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.



Kuva 1. DC-latauksen tyypilliset komponentit ja niissä syntyvät tehohäviöt.



Kuva 2. Megawattilatauksen teholähde vasemmalla, yksi avattu teholähdekaappi keskellä ja jakelulaite (satelliitti, dispenser) oikealla.

2 TEHOHÄVIÖT DC-LATAUKSESSA

Tehohäviöiden lähteinä ovat DC-latauksessa sähkön syöttö sähköverkosta latauslaitteelle, latauslaite, mahdollinen erillinen jakelulaite (dispenser), latauskaapeli sekä ajoneuvon akku. Kaavio tehohäviöistä on kuvassa 1, ja kuvassa 2 on projektissa käytettävä MCS-latauslaitteisto. Sähköverkon häviöillä ei ole merkitystä melun kannalta, ja latauskaapelin tehohäviöillä on merkitystä vain silloin, jos kaapeli on aktiivisesti nestejäähdytetty. Tehohäviöt tarkoittavat käytännössä lämmön syntymistä.

Latauslaitteen häviöt ovat parhaimmillaan vain 4 % [4] mutta tyypillisesti noin 5 % - 7 %. Kaapelihäviöt aiheutuvat johtimien sähkövastuksesta, ja ne ovat suhteessa johtimien poikkipinta-alaan, kaapelien pituuteen sekä johtimessa kulkevaan virtaan, kuten on esitetty taulukossa 1. CCS-latauksessa tyypillisesti kaapelihäviöt jäävät alle 2 %, mutta MCS-latauksessa ne voivat olla 5 % luokkaa, ja siksi suurilla tehoilla pyritään minimoimaan kaapelien pituudet. Häviöitä syntyy myös ajoneuvojen akuissa niitä ladattaessa. Häviöitä aiheuttavat sekä akkujen lämmitys että jäähdytys, ja akkujen kemialliset ominaisuudet.

Henkilöautojen latauksessa käytetään tyypillisesti enintään 200 kW tehoa, jolloin kokonaishäviöt ovat 10 kW luokkaa. Raskailla ajoneuvoilla voidaan käyttää 1 MW ja sen yli olevia lataustehoja, jolloin kokonaishäviöt ovat jo useita kymmeniä kilowatteja.

Taulukko 1. Häviöiden osuus kaapeleissa ja kahdella eri latausteholla 800 V latauksessa.

Kaapeli(mm ²)	Kaapelin pituus (m)			Latausteho
	3	5	7	
50	1,1 %	1,8 %	2,6 %	200 kW
70	0,8 %	1,3 %	1,8 %	200 kW
95	0,6 %	1,0 %	1,3 %	200 kW
50	5,5 %	9,1 %	12,8 %	1 MW
70	3,9 %	6,5 %	9,1 %	1 MW
95	2,9 %	4,8 %	6,7 %	1 MW

Taulukko 2. Latausmelun lähteitä [3].

Tärkeys	Lähde	Alkuperä
1	Ajoneuvo, kuorma-auto	Puhaltimet, pumput, ja kompressorit
1	Latauslaitteen satelliitit	Puhaltimet ja pumput
2	Teholähde	Puhaltimet, pumput, tehoelektronikan aiheuttama ääni
3	Muut	Tiemelu, muut latauksessa olevat ajoneuvot ja niiden latauslaitteet, muu ympäristömelu.

3 LATAUSMELUN LÄHTEET

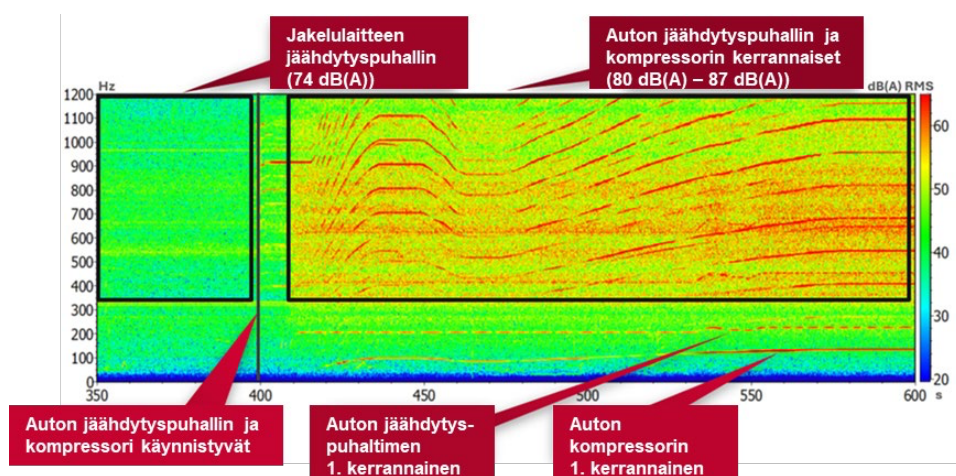
Lämmön kuljettamiseksi pois tarvitaan joko ilma- tai nestejäähdytystä. Ilmajäähdytys on merkittävä melunlähde, ja ajoneuvojen nestejäähdytys on myös lopulta ilmajäähdytystä. Erityisesti suurilla tehoilla ladatessa sekä ympäristölämpötilan ollessa korkea ajoneuvojen akut ovat merkittävä lämmön lähde, ja se tuo ajoneuvojen suunnitteluun uusia haasteita.

Latausmeluun on kiinnitetty huomiota mm. CharIN-organisaation [5] työryhmässä, joka on julkaissut asiasta julkisesti saatavilla olevat raportin [6]. Latausmelun lähteenä voivat olla sekä latauslaitteisto että ladattava ajoneuvo. Se, kumpi niistä on dominoiva, johtuu useasta tekijästä. Taulukossa 2 on listattu tyypillisiä melulähteitä, ja melua synnyttäviä komponentteja, sekä lähteiden tärkeysjärjestys.

ESCALATE EU-projektissa [7] tehtiin mittauksia, jossa pyrittiin selvittämään kuorma-auton todellista latausmelua. Mittaukset tehtiin esituotantosarjan kuorma-autolla kuumissa kesäolosuhteissa (yli +30°C) CCS-latausta käyttäen 200 kW tehoa. Kuvassa 3 on äänenpaineen mittauksista tehty spektrogrammi. Mittauspiste oli latauslaitteen ja auton välissä, 1 m etäisyydellä kummastakin. Taustamelutaso oli 55 dB(A). Tässä mittaustilanteessa auton aiheuttama melu dominoi.

Autoa tarkastellessamme todettiin monia, melua aiheuttavia suunnitteluvirheitä, kuten esimerkiksi alimitoitettu kompressorin auton nestekierron jäähdyttämiseksi, sekä sen vääränlainen kiinnitys auton runkoon, aiheuttaen voimakkaita kapeakaistaisia kerrannaisia. On todennäköistä, että tämän tyypisiä suunnitteluvirheitä pystytään välttämään tulevaisuudessa, kun sähkörekkojen määrät ja mallit lisääntyvät.

Toinen ongelmallinen asia, joka johtaa usein tarpeettoman suureen jatkuvaan latausmeluun on vääränlaisen säädön käyttö sekä latauslaitteissa että ajoneuvoissa. Usein käytössä on yksinkertainen päälle-pois säädin, kun parempi tapa olisi käyttää proportionaalisäätöä, joka minimoisi melun tuoton.



Kuva 3. Spektrogrammi CCS-latauksen käynnistymisestä. Muokattu lähteestä [8].

Taulukko 3. Menetelmiä latauksen melunhallintaan.

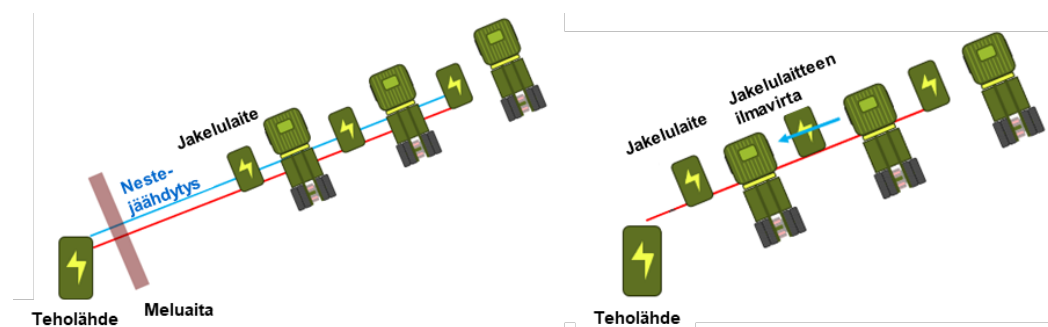
Kohde	Menetelmä
Ajoneuvo (kuorma- auto)	Lämmönhallinnan komponenttien oikea valinta
	Komponenttien kiinnitys ajoneuvoon
	Komponenttien ohjauslogiikan optimointi (proportionaalisäättö)
Lataus- laitteisto	Teholähteen rakenteen suunnittelu, ilmanvaihtoaukot ja suodattimet
	Jakelulaitteen jäähdytyksen optimointi: vesijäähdytys, puhaltimien ja pumppujen valinta sekä ohjauslogiikan optimointi
	Erilaiset lataustilat lataustehon mukaan, esim. hiljainen tila yöpymistä varten ja suuritehoinen lataustila
Siirtotie	Ympäristön optimointi: yöpymis- ja pikalatauspaikkojen erottelu
	Autopaikkojen sijoittelu, riittävä etäisyys melua tuottaviin laitteisiin ja meluesteet
	Jäähdytyspuhalluksen suunnan oikea valinta, ei puhaltimia kohti meluherkkiä kohteita
	Ohjaamon lisä-ääneneristys

4 LATAUSMELUN ÄÄNENHALLINTAMENETELMÄT

Ensisijainen äänenhallintamenetelmä on vähentää lähteen melua. Nykyisten ajoneuvojen ja latausasemien melu syntyy pääosin jäähdytyksessä. Joissain tapauksissa kuorma-auto voi olla suurin melunlähde suuritehoisessa latauksessa. Siksi on tärkeää saada kuorma-auton jäähdytyskomponenttien aiheuttama melu hyväksyttävälle tasolle. Samalla on kiinnitettävä huomiota myös latauslaitteiston tuottamaan meluun. Kun nämä on minimoitu, puututaan melun siirtotiehen. Menetelmiä on esitetty taulukossa 3.

Arvioimme myös projektissa melun kannalta parasta ja huonointa skenaariota suuritehoiselle latausasemalle. Kuvassa 4 on vasemmalla paras skenaario ja oikealla heikoin. Parhaassa skenaariossa ei ole erillisiä jäähdytyspuhaltimia jakelulaitteissa ja muissa latauskomponenteissa, vaan jäähdytys tapahtuu keskitetysti nestejäähdytyksellä. Teholähde on sijoitettu hieman etämmälle, ja tarvittaessa sen ja latausalueen välillä on melueste. Teholähteen lämmön poistaminen tapahtuu ajoneuvoista pois päin suunnatuilla hiljaisilla puhaltimilla. Huonossa tapauksessa sen sijaan jokaisessa jakelulaitteessa on oma jäähdytyspuhaltimensa, joka on vielä suunnattu siten, että ilmavirta ja sen mukana melu suuntautuu suoraan ajoneuvoja kohden. Teholähde voi myös sisältyä jakelulaitteeseen, jolloin jäähdytystarpeen aiheuttama melu ajoneuvon vieressä on suurin mahdollinen. Hajautetun latausjärjestelmän tapauksessa teholähde on tuotu tarpeettoman lähelle ajoneuvoja, ja sen ja ajoneuvojen välissä ei ole meluesteitä.

Esitetyn parhaan tapauksen keskitetty nestejäähdytys on teknisesti ja taloudellisesti haasteellinen toteuttaa. Käytännössä latauslaitteiden jäähdytysratkaisuihin tulee ensisijaisesti minimoida jäähdytystarve ajoneuvon vieressä. Latauslaitteiston jäähdytysjärjestelmän puhaltimien, nestejäähdytyksen pumppujen ja kompressoreiden sijoituksella ja rakenteellisella suunnittelulla vaikutetaan laitteiston meluun merkittävästi.



Kuva 4. MCS-latausaseman laitteiden sijoittelu. Paras vasemmalla, ja huonoin oikealla.

5 YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUS

Raskaiden sähköajoneuvojen megawattilataus aiheuttaa jäädytyksen takia melua. ESCALATE-projektissa on mitattu ja mallinnettu latausmelua sekä kehitetty melunhallintamenetelmiä, kuten laitteistojen optimointia ja latausasemien sijoittelua. Melunhallinta on tärkeää sekä kuljettajille että ympäristölle.

Projektin pilottiajoneuvolla tehdään mittauksia todellisissa olosuhteissa vuoden 2026 aikana, ja mittausten avulla validoidaan tehtyä mallinnusta sekä kehitetään sekä ajoneuvoja että latauslaitteistoja.

KIITOKSET

Tämä työ on tehty ESCALATE-projektissa, joka on saanut rahoitusta Euroopan unionin Horisontti Eurooppa -ohjelmasta, sopimusnumero 101096598. Esitetyt näkemykset ja mielipiteet ovat kirjoittajien omia, eivätkä välttämättä heijasta Euroopan unionin tai Euroopan ilmasto-, infrastruktuuri- ja ympäristöviraston (CINEA) näkemyksiä. Euroopan unioni tai rahoittava viranomais ei ole niistä vastuussa.

VIITTEET

- [1] EN IEC 61851-23, “Electric vehicle conductive charging system - Part 23: DC electric vehicle charging station,” CENELEC, Standard EN IEC 61851-23:2014, 2014.
- [2] CharIN, “CharIN Whitepaper Megawatt Charging System (MCS) Recommendations and requirements for MCS related standards bodies and solution suppliers (2.0),” CharIN, Position paper MCS 2025-05-08 v 2.0, 2025. Accessed: Oct. 16, 2025. [Online]. Available: https://www.charin.global/media/pages/technology/knowledge-base/0c2cc2c8da-1747654352/250508_whitepaper_megawatt_charging_system_2.0.pdf
- [3] V. Naumanen and M. Antila, “ESCALATE D4.3 deliverable. Grid-friendly charging solutions and protocols,” Deliverable D4.3, 2024.
- [4] Kempower, “Kempower Power Unit C800 Power Cabinet Version 3 Power Module Version 2 Datasheet.” 2025.
- [5] CharIN, “CharIN – Charging Interface Initiative e. V.” Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.charin.global/>
- [6] CharIN, “Charging acoustic function,” CharIN, Berlin, Position paper, May 2024. [Online]. Available: https://www.charin.global/media/pages/technology/knowledge-base/cf47e92885-1716816156/charin_positionpaper_acoustic_function_v1.1.pdf
- [7] ESCALATE homepage, “ESCALATE EU: homepage.” Accessed: Oct. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.escalate-eu.com/>
- [8] M. Antila, V. Naumanen, A. Mladek, C. Kollik, and M. Häußler, “ESCALATE project: megawatt charging and its impacts on waste heat recovery and noise,” presented at the 38th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS38), Gothenburg, Sweden, 2025. Accessed: Oct. 14, 2025. [Online]. Available: https://evs38-program.org/images/Proceedings/D%20Charging%20Infrastructure%20and%20grid%20integration/435_ESCALATE%20project%20megawatt%20charging%20and%20its%20impacts%20on%20waste%20heat%20recovery%20and%20noise.pdf