

ÄÄNEN KÄYTTÄYTYMINEN JA LIKENNEMELU: DIESEL- JA SÄHKÖREKAN VERTAILU

Antti-Ville Heikkinen, Heikki Olkku, Jyrki Kymäläinen

Jatkuva häiritsevä melu on merkittävä ympäristöhaitta, joka vaikuttaa ihmisten elämänlaatuun ja terveyteen. Tässä artikkelissa tarkastellaan liikennemelun syntymistä, sen mittaamista ja melun vaikutuksia. Erityisesti artikkelissa keskitytään EU:n JTF-rahoitteisen AkKuLOG-hankkeen tuottamiin mittaustuloksiin, joissa vertailtiin diesel- ja sähkökäyttöisen puoliperävaunuyhdistelmän meluntuottoa. Tulokset tarjoavat arvokasta tietoa melunhallinnan ja logistiikan suunnittelun tueksi.

Ääni käyttäytyy hyvin laskennallisten kaavojen mukaan. Tämä tarkoittaa, että melun syntyminen ja sen vaikutukset voidaan ennustaa ja mallintaa riittävän tarkasti. Akkuteollisuuden logistiikassa melunmittauksilla on erityinen merkitys, sillä ne auttavat optimoimaan kuljetusreittejä ja aikatauluja meluhaittojen minimoimiseksi. Kun tiedetään esimerkiksi se, milloin ja missä reiteillä melutaso on korkeimmillaan, voidaan suunnitella kuljetukset siten, että ne aiheuttavat mahdollisimman vähän häiriötä asuinalueilla.

EEA:n raportin mukaan vuonna 2017 Suomessa reilu 10 prosenttia väestöstä altistui yli $L_{den} > 55$ dB:n melulle (EEA, 2020). 55 dB:n äänenvoimakkuus vastaa tavallista puhetta tai kovaa keskustelua (Korpinen, 2005). Pitkäaikaisella altistumisella liikennemelulle on todettu olevan terveydelle haitallisia vaikutuksia. Siksi EU-maat joutuvat ympäristömeludirektiivin (END) mukaisesti raportoimaan 55 dB:n tasosta päivä-ilta-yöjaksolta ja 50 dB:n tasosta yöajalta (EEA, 2025). Melun syntyamiseen vaikuttavat

Heikkinen, A-V., Olkku, H., Kymäläinen, J. 2025. Äänen käyttäytyminen ja liikennemelu: diesel- ja sähkörekan vertailu. Teoksessa Altarriba, E. & Henttu, V. (toim.) Sähköistymistä, datanhallintaa ja testattuja menetelmiä. Logistiikan ja merenkulun tutkimus- ja kehitystoiminnan syyskatsaus 2025. Kotka: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 29–38.
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-639-7>

monet asiat. AkKuLOG-hankkeessa toteutettiin melumittauksia kahden eri käyttövoimalla toimivan puoliperävaunuyhdistelmän välillä ja tutkittiin käyttövoimien vaikutusta liikennemelun syntymiseen. Alustavia tuloksia on avattu tässä artikkelissa enemmän.

Lisäksi melunmittaukset voivat auttaa tunnistamaan ja korjaamaan logistiikkaketjun pullonkauloja, joissa melutaso ylittää sallitut raja-arvot. Tämä voi johtaa parannuksiin ajoneuvojen suunnittelussa, huollossa ja kunnossapidossa, mikä puolestaan vähentää melupäästöjä ja parantaa kuljetusten tehokkuutta.

Ääni käsitteenä ja raja-arvot tieliikennemelulle

Ääni on mekaanista värähtelyä, joka etenee aaltomaisesti väliaineissa (kaasu, neste tai kiinteä aine). Tämä värähtely saa aikaan kuuloaistimuksen. Äänen taajuuden mittayksikkö on hertsi (Hz), joka kertoo äänen aaltoliikkeiden lukumäärän sekunnissa. Ihmisen normaali kuuloalue on noin 20 Hz–20 kHz:n taajuuksien väliltä. Kun äänentaajuus on < 20 Hz (infraääni) tai > 20 kHz (ultraääni), aikuiset eivät välttämättä pysty kuulemaan näitä taajuuksia iän tuoman kuulon alenemisen vuoksi. Kuitenkin lapsi voi kuulla äänen, joka on hieman yli 20 kHz:n taajuudella. (Sinauer Assosiation 2001.)

Melu on ei-toivottua ääntä, jonka ihminen voi kokea häiritseväksi ja epämiellyttäväksi, ja se voi olla kuulolle jopa haitallista. Lisäksi sillä on useita terveyteen liittyviä haittoja. Kaikki äänet eivät ole melua, ja äänen kokemisessa meluksi onkin paljon yksilöllisiä eroja. Esimerkiksi joku voi kokea rock-konsertin miellyttäväksi, kun taas toiselle se on korvia särkevää haitallista melua.

Valtioneuvoston päätöstä melutason ohjearvoista sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyvyyden turvaamiseksi. Päätöksessä muun muassa ohjeistetaan erilaisia meluarvoja ulkona ja sisätiloissa. Ulkona päiväsaikaan asumiseen käytettävillä alueilla ei A-painotettu ekvivalenttitaso (L_{Aeq}) saa ylittää päiväohjearvoa (klo 7–22) 55 dB(A) eikä yö-ohjearvoa (klo 22–7) 50 dB(A). Uusilla asuinalueilla yö-ohjearvoa on kiristetty, ja se on 45 dB. Päätöstä tulee noudattaa maankäytön suunnittelussa, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa ja rakentamisen lupamenettelyssä. (Valtioneuvosto 1992.)

A-painotettu ekvivalenttitaso on keskimääräinen äänenpainetaso, joka on painotettu ihmisen kuulon herkkyyden mukaan. Tämä mittaustapa on erityisen hyödyllinen ympäristömelun arvioinnissa, koska se ottaa huomioon sekä äänen voimakkuuden että sen vaikutuksen ihmiseen. Ympäristöministeriön ohjeen 1/1995 mukaan L_{Aeq} -tason mittauksessa käytetään standardoituja menetelmiä, jotka varmistavat tulosten luotettavuuden ja vertailukelpoisuuden. Ohjeessa korostetaan, että mittaustulosten epävarmuus on otettava huomioon ja mittausjärjestelyjä on tarvittaessa tarkennettava luotettavuuden parantamiseksi. (Ympäristöministeriö 1995.)

Melun vaikutus vähenee, mitä kauemmas äänilähteestä siirrytään

Äänen aallot etenevät väliaineessa pallomaisesti, jossa äänenpaine puolittuu etäisyyden kaksinkertaistuessa, ja tätä ilmiötä (fenoomeeni) kutsutaan äänen leviämisvaimennukseksi. Vapaassa kentässä eli tilassa, jossa äänen tiellä ei ole esteitä, kuten heijastavia pintoja, muotoja tai kasvillisuutta, pistelähteen (paikallaan oleva) äänenpaine puolittuu (-6 dB), kun etäisyys melulähteeseen kaksinkertaistuu ja viivalähteen (liikkeessä oleva ja/tai useasta pistelähteestä muodostuva melu, esimerkiksi moottoritie) äänenpaine puolittuu (-3 dB) etäisyyden kaksinkertaistuessa. (Ympäristöministeriö 1995). Esimerkiksi ihmisen puhe yhden metrin etäisyydellä on noin 60 dB, ja kun kuulija siirtyy kahden metrin etäisyydelle puhujasta, äänenpaine leviämisvaimennuksen vaikutuksesta kuulijan kohdalla on puolittunut ja on enää 54 dB. Tällä yksinkertaisella laskennalla voidaan tarkastella, miten etäisyys vaikuttaa äänenpaineeseen vapaassa kentässä, jossa ei ole muita heijastavia pintoja kuin maanpinta.

AkKuLOG-hankkeen käyttövoimien melun tuottamisen vertailu puoliperävaunuyhdistelmillä ohiajomenetelmällä Ylivieskan lentokentällä

AkKuLOG-hankkeessa toteutettiin yhteistyössä KymiLabsin, Oulun yliopiston, Koulutuskuntayhtymä JEDUn ja Centria-ammattikorkeakoulun kanssa käyttövoimien meluntuottamisvertailu Ylivieskan lentokentällä 26.8.2025. Vertailtavana oli dieselmoottorilla varustettu Volvon Aero-mallinen puoliperävaunun vetäjä, joka on esitetty kuvassa 1, ja kuvassa 2 oleva FH5-mallin ohjaamolla varustettu Volvon sähkörekka. Testi suoritettiin tekemällä ohiajoaja eri nopeuksilla 60 metrin mittaisella

testialueella. Risteysajosta syntyvää melua mitattiin kahdella tavalla: pysähtymällä mittauspisteen kohdalle ja 30 metriä ennen mittauspistettä. Pysähtymisen jälkeen auto kiihdytti mahdollisimman nopeasti 30 metrin matkan pois mittausalueelta.

Testiautojen välillä oli merkittäviä rakenteellisia eroja, joiden vaikutusta tuloksiin voi olla vaikea todentaa. Aero-mallin autossa esimerkiksi oli kiinteiden peilien sijasta kameraviikset, jotka välittivät peilin kuvan auton A-pilareissa oleviin näyttöihin. Aerosta puuttui myös verrokiajoneuvossa oleva aurinkolippa. Myös autojen renkaat olivat erilaiset ja sähkörekan renkaiden urasyvyys oli huomattavasti suurempi kuin verrokkina olleen dieselin. Renkaiden erilaisuutta on avattu enemmän mittauksista julkaisutavassa raportissa.

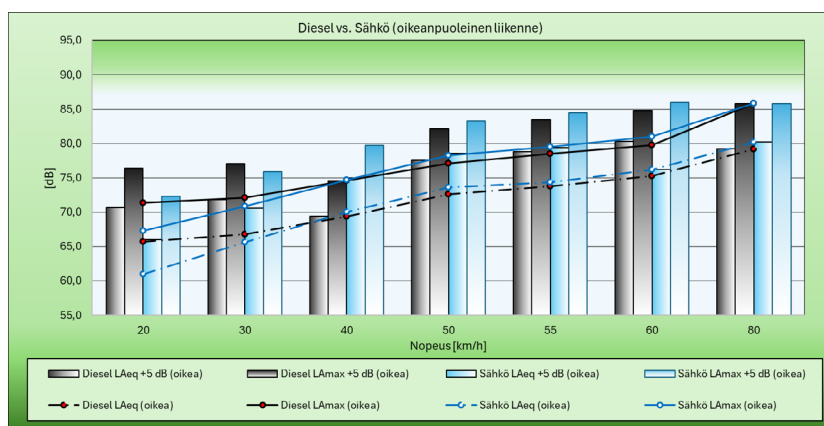


Kuva 1. Volvo FH Aero Diesel. Käyttövoima: Diesel. Antti-Ville Heikkinen 2025.

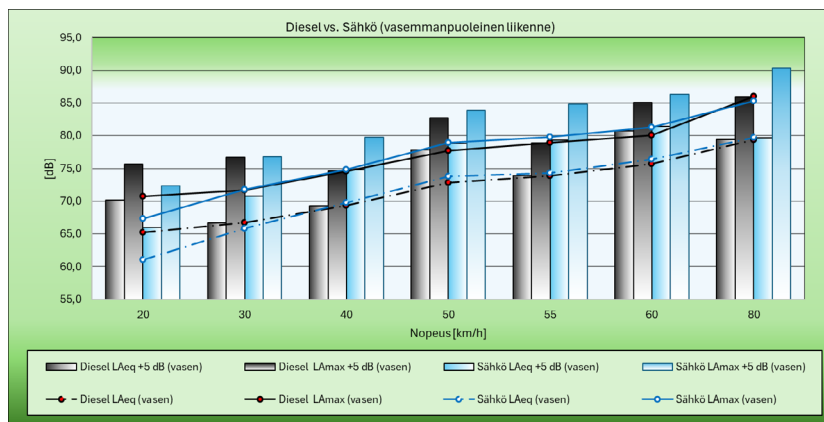
sieltä kiihdytettäessä läpi testiradan keskiäänitasot nousivat molemmilla noin 4 dB (diesel 73 dB vs. sähkö 70 dB). Testien perusteella sähkökäyttöinen oli hiljaisempi alhaisilla nopeuksilla (≤ 35 km/h) ja äänekkäämpi nopeuksilla 35–75 km/h, ja molempien keskiäänitasot ($L_{Aeq} \approx 79,5$ dB) sekä maksimitasot ($L_{Amax} \approx 85,8$ dB) olivat samaa luokkaa.

Raskaiden ajoneuvojen melutasoja eri nopeuksilla

Kuvassa 3 on esitetty kuvaajat raskaiden ajoneuvojen A-painotetuista keskiäänitasoista (L_{Aeq}) ja maksimiäänitasoista (L_{Amax}) eri nopeuksilla oikeanpuoleisessa liikenteessä sekä kapeakaistaisuudesta johtuva +5 dB:n lisäys mittaustuloksiin. Kuvassa 4 on vastaavasti tilanne vasemmanpuoleisessa liikenteessä.

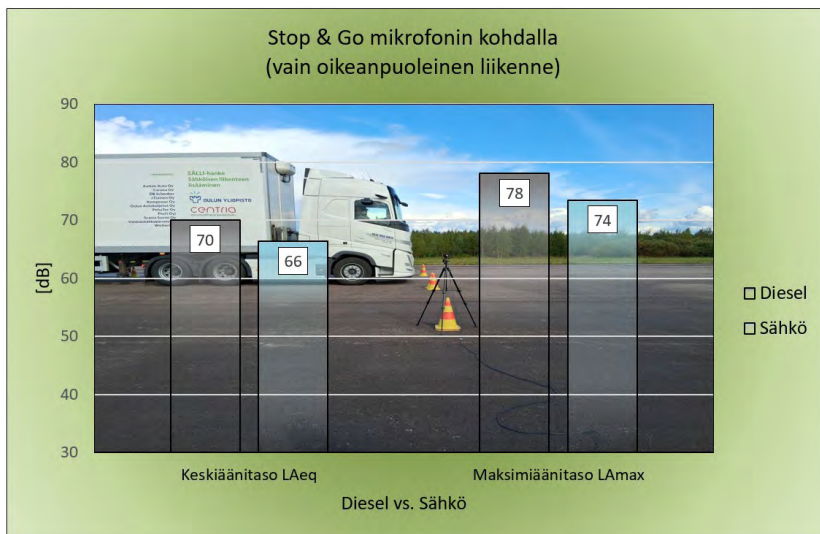


Kuva 3. L_{Aeq} ja L_{Amax} eri nopeuksilla oikeanpuoleisessa liikenteessä sekä +5 dB:n lisäys mittaustuloksiin.

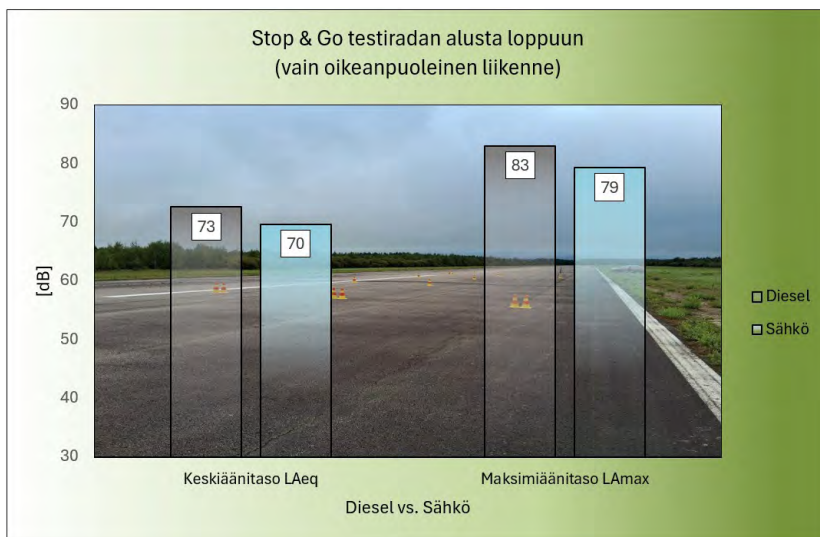


Kuva 4. L_{Aeq} ja L_{Amax} eri nopeuksilla vasemmanpuoleisessa liikenteessä sekä +5 dB:n lisäys mittaustuloksiin.

Kuvissa 5 ja 6 on esitetty Stop & Go (risteysalueen simulointi) -tulokset, joissa simuloitiin risteysalueelle lähestymistä ja siitä poistumista. Stop & Go -simuloinnissa ajettiin vain oikeanpuoleisen liikenteen mukaisesti.



Kuva 5. Stop & Go mikrofonin kohdalla.



Kuva 6. Stop & Go testiradan alusta loppuun.

Mittauksissa havaittiin kapeakaistaista ääntä kuuloaistein ja tätä on myös tarkasteltu Z-painotetusta terssikaistoista. Keskiäänitasoon tehdään +5 dB:n lisäys, etenkin kun mittaustuloksia vertaillaan valtioneuvoston päätöksessä (VNp 993/1992) oleviin melutasojen ohjearvoihin.

Kapeakaistaiset äänet havaittiin ja todennettiin 1/3-oktaavin taajuusanalyysistä, mutta niitä ei käsitellä tässä artikkelissa, vaan ne on huomioitu tulosten analysoinnissa ja lisätty mittaustuloksiin (kuvat 3 ja 4). Normaalisti liikennemelun L_{Amax} -tasoon ei tehdä +5 dB:n korjausta, ellei kyseessä ole erityistilanne tai äänen tonaalinen, impulssimainen tai häiritsevä luonne tätä korjausta edellyttä. Näissä tuloksissa tämä otettiin huomioon, kun kyseessä oli yksittäinen ajoneuvo ja ajotilanne.

Matalat eli pitkät ääniaallot kulkevat helposti kovien pintojen läpi. Vastavasti korkeataajuiset äänet eivät pääse niin helposti läpi kovista materiaaleista (Connaghan, 2025). Mittaustuloksista havaittiin, että dieselauton tuottama kapeakaistainen melu painottui matalampiin taajuuksiin, kun taas sähkörekan kapeakaistainen melu oli korkeataajuisempaa.

Ajatuksia ja kokemuksia datankäsittelijältä

Jyrki Kymäläinen

Dataa käsitellessä ei juurikaan tule ajateltua prosessia, joka tuo numerot ja taulukot työpöydälleni. Oma tietämykseni äänen, melun ja erilaisten taajuuksien vaikutuksista ihmisiin rajoittui lähinnä nuoruusvuosien autostereoharrastukseen ja peruskoulun fysiikan tunteihin. Kolme päivää, yli tuhat kilometriä matkoihin ja kaksi yötä hotellissa. Useampikin, jollei mittauksia saada suoritettua yhtenä päivänä.

Mittauksen laatu varmistetaan seuraamalla asiaan liittyvää standardia ja kirjaamalla kaikki vaadittavat tiedot mittausraporttiin. Standardi sisältää useita muuttujia ja niihin liittyviä raja-arvoja ja muita parametreja, joista osasta voi poiketa, kunhan se kirjataan mittausraporttiin. Joihinkin muuttujiin ei voi vaikuttaa, esimerkiksi tuulen aiheuttamaan taustameluun tai muuhun vastaavaan häiriöön.

12 tuntia myöhemmin meillä on standardien mukaista äänidataa 59 851 solullista kahden erilaisen ajoneuvon eri nopeuksilla ja eri suuntiin suoritetuista ohiajoista mitattuna lähes täydellisissä olosuhteissa. Varsinaiseen mittausprosessin suunnittelutyöhön meni huomattavasti pidempään. Järjestettäviä asioita oli useita, ja aikataulujen kanssakin oli sovittamista. Hyvällä yhteistyöllä ja suunnittelulla suoritettu mittaus-tapahtuma onnistui hienosti, ja jatkossa dataa käsitellessäni lausun hiljaisen kiitoksen datan tuottajalle.

Johtopäätökset

AkKuLOG-hankkeen tuottamat tulokset osoittavat, että liikennemelun hallinta on monimutkainen ja monivaiheinen prosessi, joka vaatii tarkkaa mittaamista ja analysointia. Diesel- ja sähkökäyttöisten ajoneuvojen meluntuotoissa eri nopeuksilla ja olosuhteissa havaittiin eroja. Varsinkin pienemmällä nopeuksilla ja risteysajon simulaatioissa sähkö käyttövoimana oli selkeästi hiljaisempi kuin verrokkina toiminut diesel. Vaikka nopeuden kasvaessa äänenvoimakkuuden erot kapenivat, oli äänen taajuuksissa eroja. Dieselauton matalampi äänentaajuus on vaikeampi eristettävä matalataajuisien äänten läpäisykyvyn takia. Myös muita kuin käyttövoimasta johtuvia meluntuottamiseroja on syytä tutkia lisää, jotta liikenteen meluhaittoja voidaan ehkäistä entistä paremmin tulevaisuudessa. Nyt saadut tulokset ovat hyvin pieni otos, mutta näidenkin tulosten perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä erilaisten logistiikkaratkaisuiden vaikutuksista melupäästöihin tietyillä alueilla.

Tulokset korostavat myös äänen leviämisaikutuksen merkitystä melun hallinnassa. Äänenpaine puolittuu etäisyyden kaksinkertaistuessa, mikä tarkoittaa, että melun vaikutus pienenee merkittävästi, mitä kauemmas äänilähteestä siirrytään. Tämä ilmiö on tärkeä huomioida, kun suunnitellaan kuljetusreittejä ja aikatauluja meluhaittojen vähentämiseksi. Mittaustulosten perusteella voidaan esimerkiksi suoraan laskea nopeusrajoitusten vaikutus alueella syntyvään meluun.

Yhteenvetona voidaan todeta, että AkKuLOG-hankkeen tulokset tarjoavat arvokasta tietoa liikennemelun hallintaan ja logistiikan optimointiin. Jatkotutkimukset ja -analyysi voivat edelleen parantaa ymmärrystämme melun vaikutuksista ja auttaa kehittämään tehokkaampia ratkaisuja meluhaittojen vähentämiseksi. Tämän tutkimuksen tuloksia ja koeasetelmaa on tarkasteltu enemmän melunmittaustapahtumasta julkaistavassa raportissa.

Artikkeli on kirjoitettu osana AkKuLOG – Akkuteollisuuden kestävä kuljetuslogistiikka -hanketta, joka on käynnissä 1.2.2024–30.6.2026. Hanke on Euroopan unionin osarahoittama.



LÄHTEET

Connaghan, Tyler. 2025. Korkea vs. matalataajuinen ääni: Äänet: Miten ne eroavat toisistaan. Saatavissa: <https://emastered.com/fi/blog/high-vs-low-frequency> [Viitattu 14.11.2025]

European Environment Agency. 2020. Environmental noise in Europe – 2020. Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe> [Viitattu 9.9.2025]

European Environment Agency. 2025. Health impacts of exposure to noise from transport in Europe. Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/health-impacts-of-exposure-to-1?activeAccordion=546a7c35-9188-4d23-94ee-005d97c26f2b> [Viitattu 13.11.2025]

Korpinen, Pertti. 2005. Äänipää. Saatavissa: https://webpages.tuni.fi/aa-nipaa/voima_1.htm [Viitattu 13.11.2025]

Sinauer Assosiation. 2001. Neuroscience. 2nd edition. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D. Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10924/> [Viitattu 10.9.2025]

SFS-EN ISO 11819-1:2023. Acoustics. Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise. Part 1: Statistical Pass-By method. Saatavilla: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/1251050.html.stx>

Valtioneuvosto. VNp 993/1992. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/1992/993>

YM-ohje 1/1995. Ympäristöministeriö. 1995. Ympäristömelun mittaaminen. Saatavissa: https://eduskunnankirjasto.finna.fi/Record/valto.11111_12991 [Viitattu 10.9.2025]

Ympäristöministeriön ympäristöopas 15/1996. Tieliikennemelun mittaaminen. https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/Tieliikennemelun_mittaaminen_YM15-1996.pdf