

ÄÄNTÄ VAHVISTAVAT OLOSUHDETEKIJÄT

Erkki Björk

Kuopion yliopisto
PL 1627, 70211 Kuopion
erkki.bjork@uku.fi

1 JOHDANTO

Melun vaimeneminen ulkoympäristössä riippuu sää- ja ympäristöolosuhteista. Tärkein ääntä vaimentava tekijä on äänienergian hajaantuminen etäisyyden äänilähteestä kasvaessa yhä suuremmalla pinta-alalle, josta seuraa äänen intensiteetin pieneneminen. Toinen väistämätön ääntä vaimentava tekijä on ilmassa tapahtuva äänienergian absorboituminen. Näiden lisäksi äänen vaimenemista seuraa kasvillisuuden ja maastoesteiden vaikutuksesta. Maasta ja rakennuksista tapahtuvat heijastukset voivat lisäksi vaimentaa tai vahvistaa ääntä paikallisesti.

Äänen hajaantuminen vapaassa äänikentässä tapahtuu pistemäisen äänilähteen kyseessä ollen etäisyyden mukana kasvavalle pallopinnalle. Tästä seuraava äänenpainetason lasku on 6 dB aina matkan kaksinkertaistuessa. Kaavan muodossa vaimeneminen dL on siirryttäessä etäisyydeltä r_1 etäisyydelle r_2 :

$$dL = 20 \log(r_2/r_1) \quad (1)$$

Ilman absorptio aiheuttama vaimennus riippuu äänen ilmassa kulkeman matkan pituudesta, äänen taajuudesta sekä ilman lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja ilmanpaineesta. Vaimennuksen riippuvuus edellä mainituista tekijöistä on perusteellisesti selvitetty ja sen vaikutus voidaan laskea [1].

Kasvillisuuden ja maastoesteiden vaimennus kuten myös maa- ja muiden heijastusten vaikutus riippuu siitä, kuinka ääniaallot joutuvat niiden vaikutuksen piiriin. Ilmassa esiintyvät lämpötila- ja tuulennopeusgradientit aiheuttavat äänisäteiden taipumista, joka taas voi suuresti vaikuttaa siihen, kuinka ääni joutuu vuorovaikutukseen maasto-olosuhteiden kanssa. Tätä maasto- ja sääolosuhteiden yhteisvaikutusta äänen vaimenemiseen kutsutaan tässä olosuhdetekijäksi.

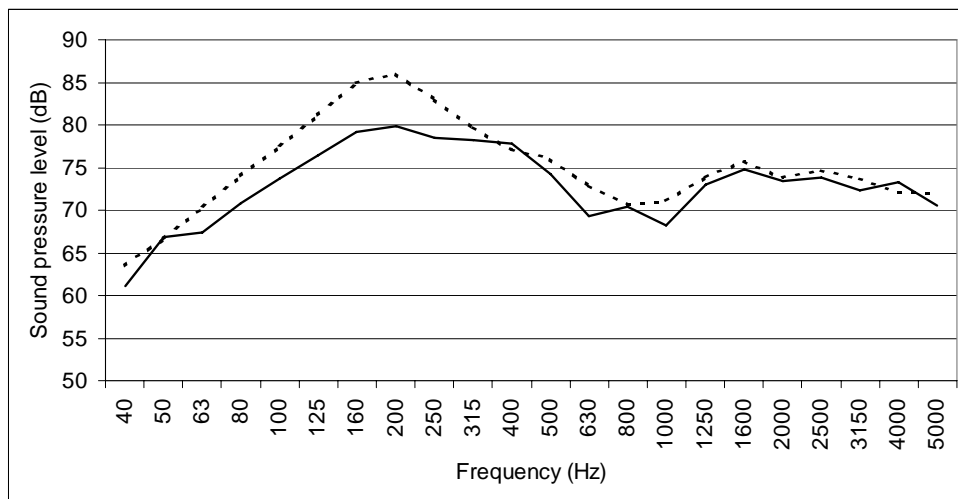
Tämän tutkimuksen tarkoituksena on testata alaspäin kaareutuvien äänisäteiden ja maanpinnasta tapahtuvien perättäisten heijastusten ääntä vahvistavaan vaikutukseen perustuvaa melun leviämismallia [2]. Mallin mukaan alaspäin kaareutuvien äänisäteiden ja ääntä suuntaheijastavan maanpinnan vaikutuksesta kohteeseen tulevien äänisäteiden määrä kasvaa etäisyyden kasvaessa, mistä seuraa, että äänen vahvistumista verrattuna vapaan äänikentän vaimennukseen. Selvimmin tämä äänen vahvistuminen on maallikonkin havaittavissa tyynen veden pinnan ollessa heijastavana pintana ja lämpötilainversion aiheuttaessa äänisäteiden alaspäin kaareutumisen.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Leviämismallia testattiin Siilinjärvellä Rissalan lentokentällä lähes pilvettöminä kesäöinä heikossa myötätuulella mittaamalla tasasuuntaavalla kaiuttimella tuotetun valkoisen kohinan vaimenemista akustisesti kovalla asfaltoidulla kiitotiellä ja kiitotien vieressä olevalla nurmikentällä.

2.1 Äänilähde ja mittaukset

Kaiuttimen (Nor-270H, Norsonic AS, Norway) äänitehosta, joka oli mitattu Kuopion aluetyöterveyslaitoksen toimesta standardin ISO 3744 mukaisesti, laskettu vapaan kentän äänenpainetaso taajuuden funktiona on esitetty kuvassa 1. Kuvassa 1. on esitetty myös kaikkien 10 metrin etäisyydellä tehtyjen kenttämittausten äänenpainetasojen energiakeskiarvot. A-painotettu äänenpainetaso 10 metrissä oli äänitehosta vapaassa kentässä laskettuna 84,4 dBA ja kenttämittausten perusteella 85,8 dBA.



Kuva 1. Kaiuttimen äänenpainetaso 10 metrin etäisyydellä äänitehosta vapaassa kentässä laskettuna (yhtenäinen viiva) ja kenttämittausten perusteella (katkoviiva)

Äänilähdettä soitettiin jalustalta 0,5 ja 2 metrin korkeudelta viisi kertaa kymmenen sekunnin jaksoissa kymmenen sekunnin välein. Mittauksia tehtiin 0,5, ja 3 sekä 1,5 ja 6 metrin korkeudelta kaksikanavaisella ympäristömeluanalysointilaitteella (nor 121, Norsonic AS) käyttäen tuulisuojuksella varustettuja 1/2-tuuman kondensaattorimikrofoneja. Keskiäänitasot mitattiin 2 sekunnin jaksoissa. Mittausjärjestelmä kalibroitiin ennen ja jälkeen mittausten vakioäänilähteellä (Wärtsilä model 5274). Mittausetäisyydet olivat 10, 100, 200, 400, 800 ja 1500 metriä.

Mittausdatasta lasketusta signaalin keskivaiheen keskiäänitasosta $L_{Aeq,signaali,4s}$ vähennettiin energiaperiaatteella signaalia seuranneen taustamelun keskivaiheen keskiäänitaso $L_{Aeq,tausta,4s}$. Jos vähintään kolme kymmenestä signaalista ylitti taustatason yli 5 dB otettiin näiden mittaustulosten mediaani lopulliseksi mittaustulokseksi. Mittaustuloksista laskettiin taaksepäin äänenpainetaso 10 metrissä ($L_{10m, reversed}$) huomioiden hajaantumisvaimennus vapaan kentän vaimenemisen mukaan ja ilman absorptio valliinissa sääoloissa ISO-standardin [1] mukaan. Lasketusta äänenpainetasosta 10 metrissä ($L_{10m, reversed}$) laskettiin olosuhdetekijä dL vähentämällä

siitä laboratoriossa tehdyn äänitehomittauksen perusteella laskettu vapaan kentän äänenpainetaso 10 metrissä ($L_{10m, source}$): $dL = (L_{10m, reversed}) - (L_{10m, source})$.

2.2 Sääolosuhteet

Mittausten aikaiset sääolosuhteet (lämpötila, suhteellinen kosteus, tuulen suunta ja nopeus ja ilmanpaine) mitattiin kahdella sääasemalla (Integrated Sensory Suite with Fan-Aspirated Radiation Shield, Davis Instruments Corp.) 0,5 ja 5 metrin korkeuksilta. Mitatuista sääolosuhteista laskettiin kunkin mittauksen aikainen äänisäteen kaareutumissäde kaavalla:

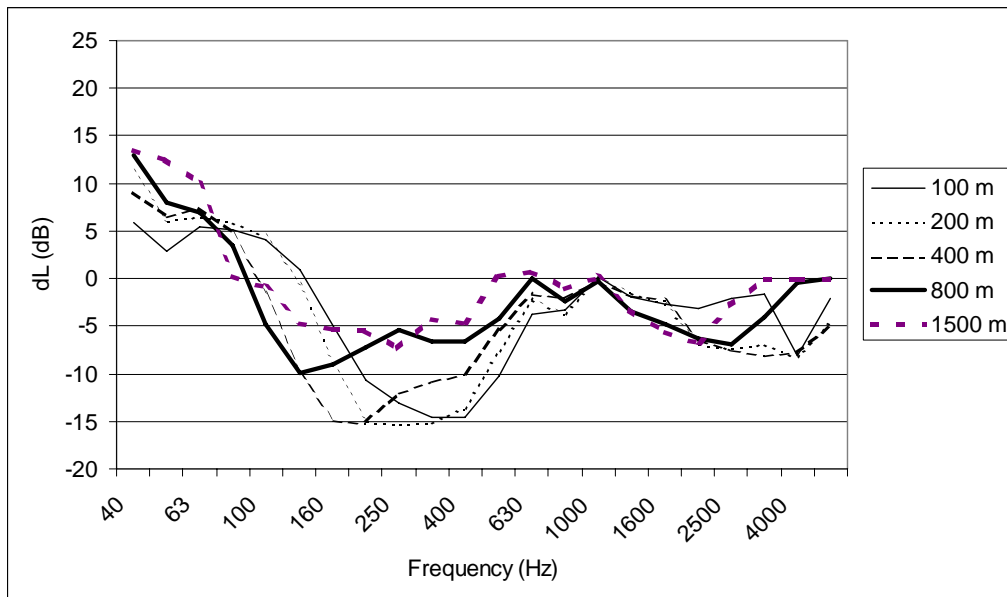
$$R = c(1+u/c)^2 / [(10/T^{1/2})dT/dz + du/dz], \quad (2)$$

missä c on äänen etenemisnopeus (m/s), u tuulen nopeuden äänen etenemissuuntainen komponentti (m/s), T ilman lämpötila (K) ja z korkeusparametri (m). Kaareutumissäde oli ensimmäisenä yönä keskimäärin 1100 m (min 900 m/max 1600 m) ja toisena yönä 2000 m (min 1300 m /max 3100 m).

3 TULOKSET

3.1 Maanpinnan vaikutus

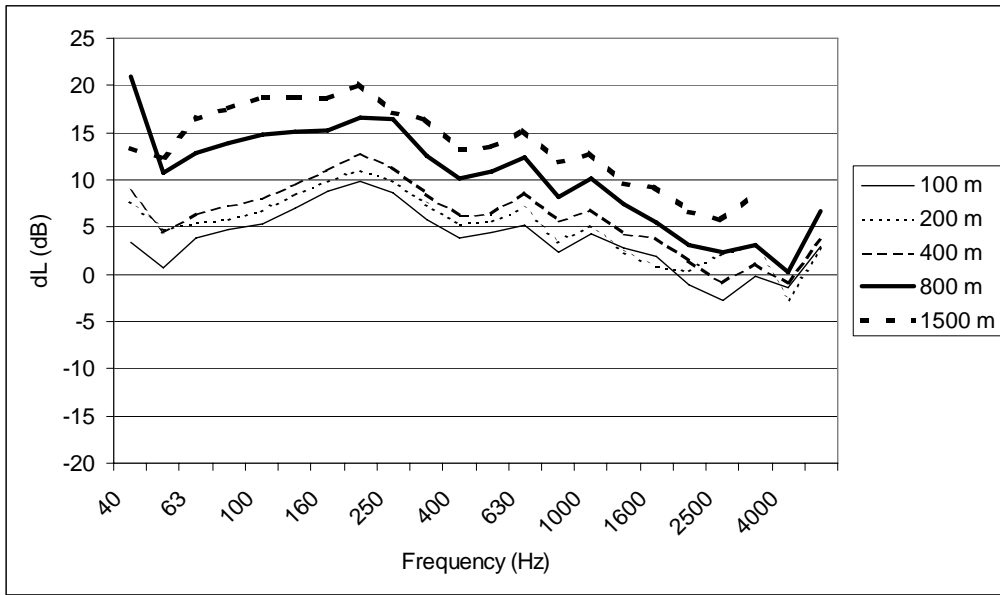
Kuvissa 2. ja 3. on esitetty keskimääräiset olosuhdetekijät nurmella ja asfaltilla eri mittausetäisyyksillä.



Kuva 2. Olosuhdetekijä nurmella eri etäisyyksillä mitattuna.

Kuvassa 2. havaitaan maavaimennuksen vaikutus etenkin 160 – 500 Hz välillä. Eli maan pinnasta heijastunut ja suoraan äänilähteestä tullut ääniaalto ovat vastakkaisvaiheisia kumonneet toisiaan. Maavaimennuksen vaikutus nurmella on suurempaa alle 500 metrin etäisyyksillä kuin yli 500 metrin etäisyyksillä. Hyvin matalilla taajuuksilla nurmenkin olosuhdetekijä on tässä alaspäin

kaareutuvien äänisäteiden tapauksessa positiivinen eli ääntä vahvistava sitä enemmän, mitä kauempana mitataan.

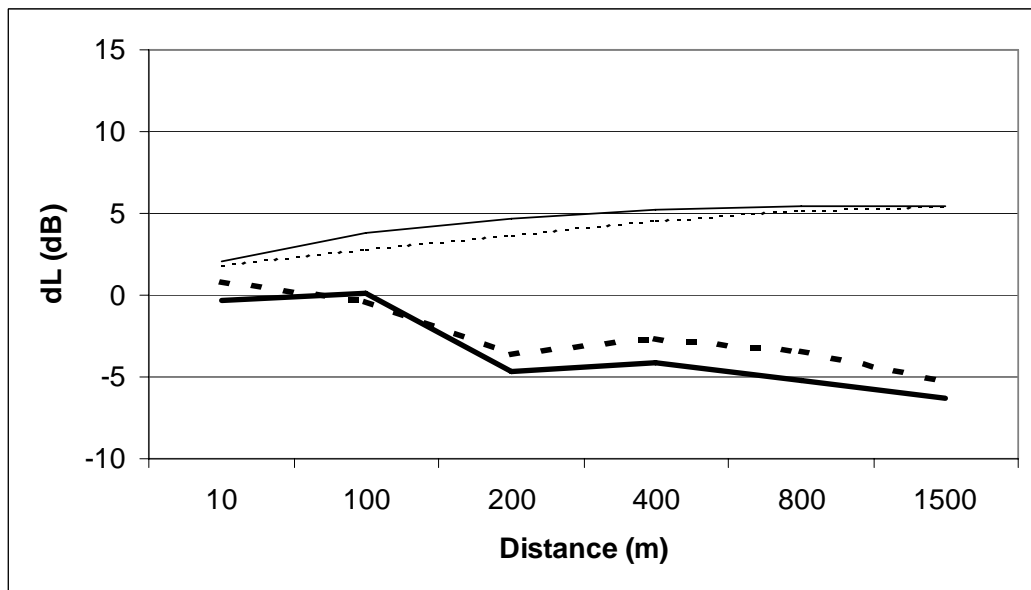


Kuva 3. Olosuhdetekijä asfaltilla eri etäisyyksillä.

Kuvasta 3. nähdään, että asfaltilla maavaimennusta ei esiinny, vaan olosuhdetekijä on positiivinen kaikilla taajuuksilla ja sitä suuremmassa määrin, mitä kauempana mitataan.

3.2 Mittausten ja mallin vastaavuus

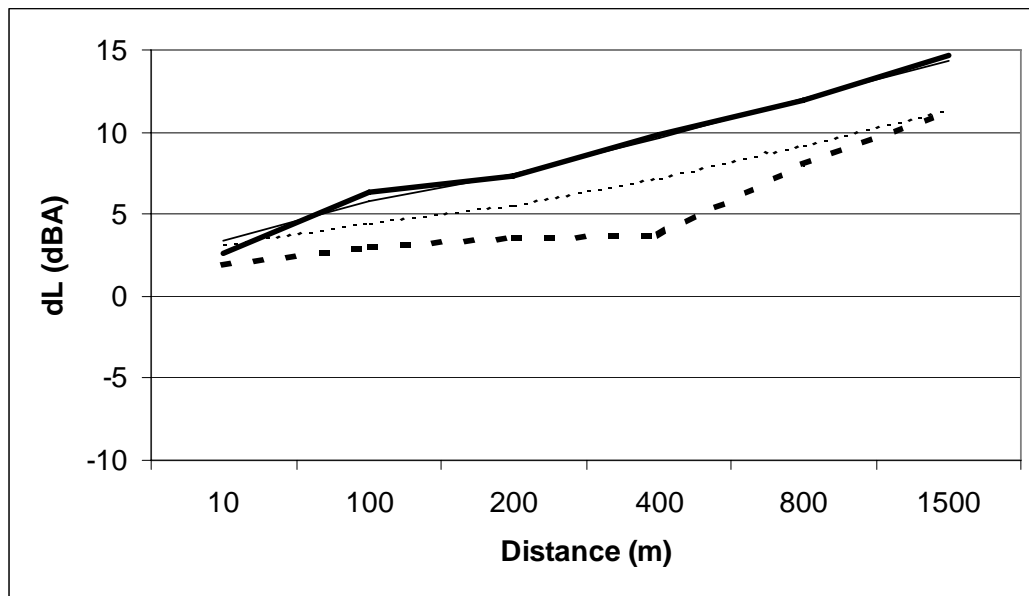
A-painotettujen olosuhdetekijöiden aritmeettinen keskiarvo mittausetäisyyden funktiona on esitetty kuvissa 4. ja 5. nurmella ja asfaltilla. Mittauskorkeudet 0,5 ja 1,5 sekä mittauskorkeudet 3 ja 6



Kuva 4. A-painotettu olosuhdetekijä nurmella etäisyyden funktiona. Yhtenäinen viiva vastaa alempia mittauskorkeuksia (0,5 ja 1,5 m) ja katkoviiva ylempiä mittauskorkeuksia (3 ja 6 m).

metriä on yhdistetty, koska niillä ei ollut merkittävää eroa. Vastaavat testattavan mallin [2] mukaiset olosuhdetekijät laskettiin kaareutumissäteellä 1500 m, korkeuksilla 1 ja 5 metriä sekä oletetuilla absorptiokertoimella 0,5 nurmella ja 0,01 asfaltilla.

Kuvasta 4. nähdään, että mitattu tulos poikkeaa olennaisesti mallin mukaisesta tuloksesta, mikä selittyy maavaimennuksen vaikutuksesta, jota mallissa ei ole huomioitu.



Kuva 5. A-painotettu olosuhdetekijä asfaltilla etäisyyden funktiona. Yhtenäinen viiva vastaa alempia mittauskorkeuksia (0,5 ja 1,5 m) ja katkoviiva ylempiä mittauskorkeuksia (3 ja 6 m).

Kuvasta 5. havaitaan, että mittaustulos vastaa lähes täydellisesti mallin antamaa tulosta alemmilla mittauskorkeuksilla. Sen sijaan ylempillä mittauskorkeuksilla mitattu olosuhdeiden vahvistus on pienempää kuin mallilla laskettu.

A-painotetut olosuhdetekijät analysoitiin myös varianssianalyysillä: mittausetäisyys 6 kpl, äänilähteen korkeus 2 kpl, mittauskorkeus 4 kpl ja kaareutumissäde 2 kpl (alle ja yli 1500 m). Analyysi tehtiin erikseen nurmelle ja asfaltille.

Taulukko 1. Varianssianalyysillä saadut eri tekijöiden olosuhdetekijään vaikutuksen merkitsevyydet.

	etäisyys	lähteen h	kohteen h	kaareutumissäde
nurmi	0,02	0,03	ei merk.	ei merk.
asfaltti	<0,001	<0,001	<0,001	0,005

Varianssianalyysin tuloksista nähdään, että kaikki ne tekijät, jotka testattavan mallin mukaan olennaisesti vaikuttavat olosuhdetekijään, erittäin merkitsevästi vaikuttavat olosuhdetekijään myös mittausten mukaan äänen edetessä akustisesti kovan ja tasaisen asfaltin yli. Sen sijaan nurmella tutkittujen tekijöiden vaikutus oli vähemmän merkitsevää.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suomi on hyvin vesistörikas. Meluavaa teollisuutta sijoittuu runsaasti vesistöjen varsille. Vapaa-ajanasunnot sijoitetaan myös pääsääntöisesti vesistöjen varsille. Etenkin yöllä äänen alaspäin kaareutumista aiheuttavat sääolot ovat yleisiä. Veden pinta on akustisesti kovaa ja myös usein tasaista. Matalilla taajuuksilla lähes kaikenlainen maan pinta on akustisesti kovaa ja aallonpituuteen nähden tasaista. Näin ollen ääntä vahvistavia olosuhdetekijöitä ei useinkaan voida jättää huomiotta meluselvityksissä.

Erityisesti ääntä vahvistavien olosuhdetekijöiden vaikutus melun vaimenemiseen, joka voi olla yli 10 dB, tulee huomioida äänen edetessä pitkiä matkoja esimerkiksi veden tai asfalttipinnan yli tai melun koostuessa hyvin matalista taajuuksista.

Ääntä vahvistavilla olosuhdetekijöillä on kasvava merkitys äänen etenemismatkan kasvaessa. Niinpä hiljaisten alueiden kartoituksessa ja erilaisten äänien kuuluvuusmatkojen arvioinnissa ne tulee erityisesti huomioida.

LÄHTEET

1. ISO 9613-1:1993 Acoustics, Attenuation of sound during propagation outdoor, Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.
2. BJÖRK E.A. Simple Statistical Curved Ray Model for Noise Under Downward Refracting Conditions. Acta Acustica united with Acustica. Vol. 91 (2005) 389 –391.