

ÄÄNEN VAIMENEMINEN METSÄMAASTOSSA

Erkki Björk, Tero Toivonen

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

1 JOHDANTO

Täysikasvuisella metsällä voi olla kolmenlaisia vaikutuksia sen läpi tunkeutuvaan ääneen [1,2].

Jos metsämaassa on runsaasti osittain maatumatonta kariketta ja paksu turvekerros, muodostaa se paksun hyvin huokoisen kerroksen, jolla on suhteellisen alhainen virtausvastus. Tästä seuraa, että maavaimennuskuoppa on matalammalla taajuudella kuin tavanomaisella nurmikolla. Myös maanpinnan lumella on samanlainen vaikutus. Maavaimennus selittää melko hyvin metsämaan vaimennuksen alle 1 kHz:n taajuuksilla.

Yhtä kilohertsiä korkeammilla taajuuksilla äänen vaimeneminen on seurausta runkojen ja oksien ääntä sirottavasta vaikutuksesta ja lehvästön absorptiosta. Runkojen ja oksien sironta on tärkeä tekijä [2]. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta aiheutuva vaimennus näyttäisi olevan lineaarisessa suhteessa taajuuden logaritmiin [1]. Lehvästön äänenvaimennusominaisuuksia ei tunneta kovin hyvin.

Useat tutkijat ovat esittäneet, että lehdissä ja oksissa indusoituvat resonanssi vaikuttaisivat äänen etenemiseen. Tämän ilmiön merkittävyydestä sironnan ja lehvästön absorption rinnalla on vähän kokeellista näyttöä.

ISO 9613-2 standardissa [3] on annettu kasvillisuuden vaimennukselle arvot. Niiden mukaista lehvästön vaimennusta on kritisoitu liian pieneksi [1].

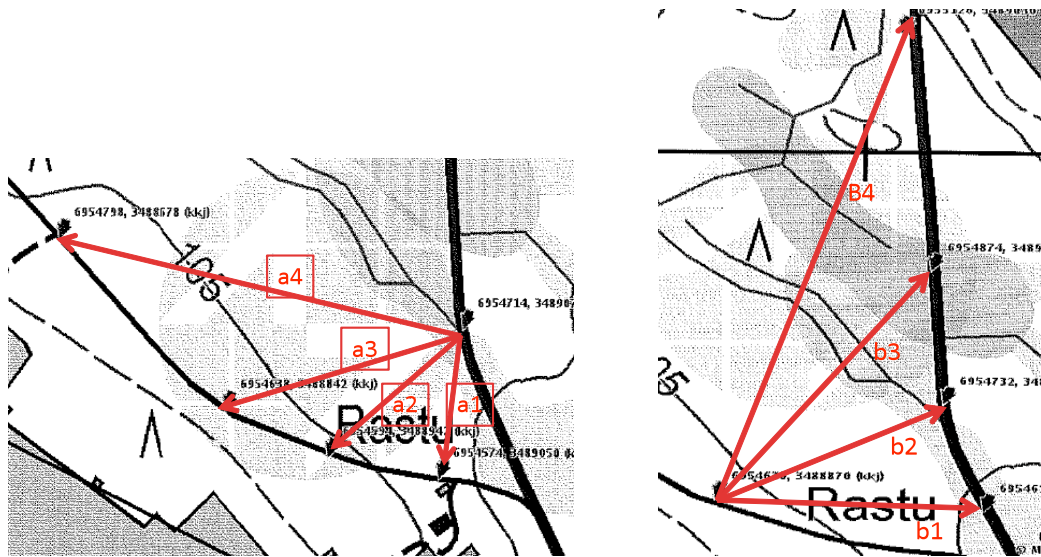
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli mitata äänen vaimenemista tyypillisessä suomalaisessa metsämaastossa eri vuodenaikoina ja arvioida kuinka hyvin standardin ISO 9613-2 laskentamenetelmä ennakoii metsän lisävaimennuksen.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Tutkittu metsä ja mittausolosuhteet

Valkoisen kohinan vaimenemista metsässä mitattiin Rautalammin Rastunsuon alueella. Mittauksia tehtiin 21.2.2007 – 17.12.2007 välisenä aikana. Vakiomittauslinjoja, joiden pituus vaihteli 140 – 520 m oli yhteensä kahdeksan (kuva 1.) Metsä alueella oli Pohjois-Savon metsäkeskuksen tietojen perusteella etupäässä korpea tai tuoretta kangasta ja varttunutta kasvatusemetsää puulajeina kuusi (80%), mänty (10%) ja koivu (20%). Puiden halkaisija oli keskimäärin 18 cm, puiden korkeus keskimäärin 16 m ja tiheys 1000 runkoa/ha.

Mittausten aikaiset sääolosuhteet (lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilmanpaine) mitattiin sääasemalla (Integrated Sensory Suite with Fan-Aspirated Radiation Shield, Davis Instruments Corp.) 5 metrin korkeudelta metsän sisällä. Tuulen suunta ja nopeus, pilvisuus sekä lumitilanne päätettiin paikan päällä tehtyjen havaintojen ja Kuopion sääasemien tietojen perusteella.

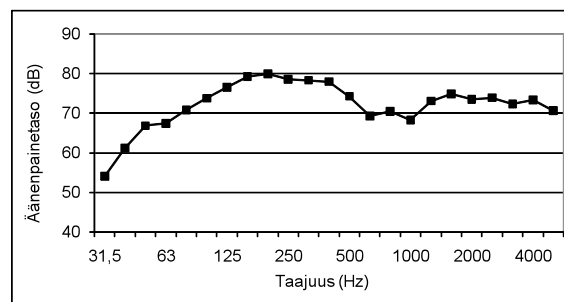


Kuva 1. Vakoimittaulinjat

2.2 Äänilähde ja mittaukset

Äänisignaalina käytettiin valkoista kohinaa. Äänilähteenä käytettiin ympärisäteilevää kaiutinta (Nor-270H, Norsonic AS, Norway). Sen äänitehosta, joka oli mitattu Kuopion aluetyöterveyslaitoksen toimesta standardin ISO 3744 mukaisesti, laskettu vapaan kentän äänenpainetaso 10 metrin ($L_{10m,source}$) etäisyydellä taajuuden funktiona on esitetty kuvassa 2.

Äänilähdettä soitettiin jalustalta 0,5 ja 2 metrin korkeudelta viisi kertaa kymmenen sekunnin jaksoissa kymmenen sekunnin välein kullakin mittauskerralla. Mittauksia tehtiin samanaikaisesti 1,5 ja 6 metrin korkeudelta kaksikanavaisella ympäristömeluanalysointilaitteella (nor 121, Norsonic AS) käyttäen tuulisuojalla varustettuja ½-tuuman kondensaattorimikrofoneja. Keskiäänitasoa mitattiin 2 sekunnin aikajaksoissa. Mittaussysteemi kalibroitiin numeerisesti ennen ja jälkeen mittauksen vakioäänilähteellä (Wärtsilä model 5274) tehtyjen mittauksen perusteella.



Kuva 2. Äänilähteen äänenpainetaso 10 metrin etäisyydellä.

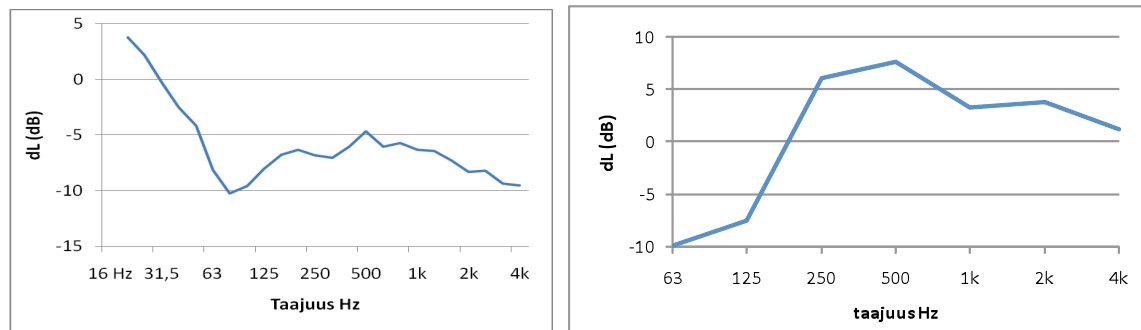
Mitatuista signaalien keskivaiheen keskiäänitasosta kahdesta 2 sekunnin keskiäänitasosta lasketusta keskiäänitasosta $L_{eq,signaali,4s}$ vähennettiin energiaperiaatteella vastaava signaalien seurauksen tauon aikaisen taustamelun keskiäänitaso $L_{eq,tausta,4s}$ kullakin taajuuskaistalla. Lopulliseksi signaalien äänenpainetasoksi otettiin viidestä signaalijaksosta näin laskettujen keskiäänitasojen mediaani.

Signaalin äänenpainetasoista mittauskohdeessa laskettiin taaksepäin äänenpainetaso 10 metrisä ($L_{10m,seversed}$) huomioiden hajaantumisvaimennus vapaan kentän vaimenemisen mukaan ja ilman absorptio vallinneissa sääoloissa ISO-standardin [4] mukaan. Lasketusta signaalin äänenpainetasosta 10 metrisä ($L_{10m,seversed}$) laskettiin olosuhdetekijä dL vähentämällä siitä laboratoriossa tehdyn äänitehomittauksen perusteella laskettu vapaan kentän äänenpainetaso 10 metrisä ($L_{10m,source}$): $dL = (L_{10m,seversed}) - (L_{10m,source})$, joka kuvaa metsän lisävaimennusta.

Terssikaistakohtaisista lisävaimennuksista laskettiin lisäksi oktaavikaistakohtaiset lisävaimennuksen erot ISO-standardin [3] mukaiseen pehmeän maanpinnan ja tiheän kasvillisuuden lisävaimennukseen nähden.

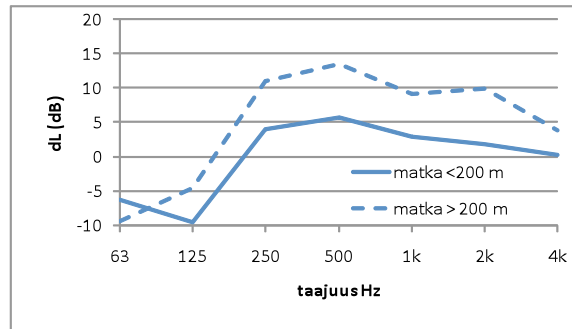
3 TULOKSET

Kuvassa 3. on esitetty kaikkien mittausten keskimääräinen metsän lisävaimennus. Kuvassa on esitetty myös lisävaimennuksen erot ISO-standardin mukaiseen lisävaimennukseen nähden oktaavikaistoin. Kuvasta nähdään, että matalimmilla taajuuksilla (alle 40 Hz) äänet ovat jopa vahvistuneet palloaaltomalliin verrattuna, mikä selittyy pinta-aallon ominaisuuksilla. Taajuusalueella 40 Hz – 500 Hz on metsän lisävaimennuksessa kuoppa, mikä selittyy maavaimennuksella. Maavaimennuskuoppa on matalammalla taajuudella, kuin mitä ISO-standardi olettaa. Taajuuden 500 Hz yläpuolella metsän lisävaimennus kasvaa taajuuden kasvaessa, mikä selittyy lehvästön ääntä vaimentavilla ominaisuuksilla. Lehvästön vaimennus on keskimäärin vähäisempää ISO-standardiin verrattuna.



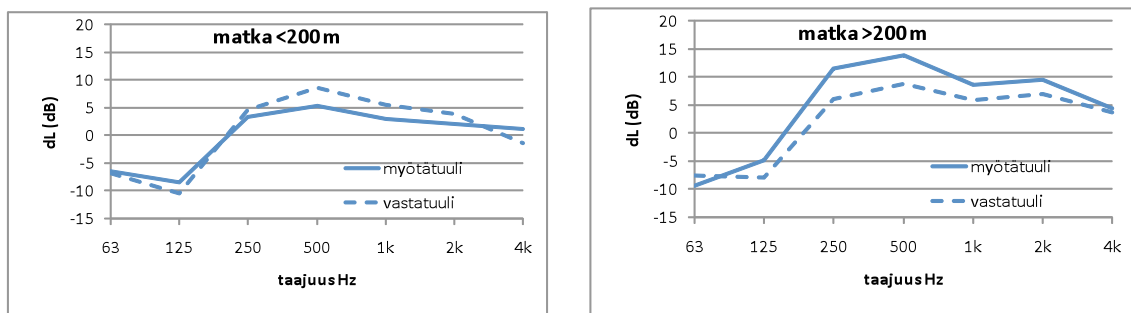
Kuva 3. Metsän lisävaimennusterssikaistoin (vasen). Metsän lisävaimennus ero ISO-standardiin nähden (oikea). Kaikkien mittausten keskiarvo.

Kuvassa 4. on esitetty metsän lisävaimennuksen ero ISO-standardin mukaiseen lisävaimennukseen nähden 200 m lyhyemmillä ja pidemmällä matkoilla puiden ollessa lumettomia. Kuvasta nähdään, että 200 metriä lyhyemmillä matkoilla ISO-standardi ennustaa melko hyvin yli 500 Hz:n taajuuksilla, eli lehvästön vaikutusalueella, metsän vaimennuksen. Sen sijaan yli 200 metrin matkoilla ISO-standardin mukainen vaimennus yliarvioi metsän vaimennuksen.



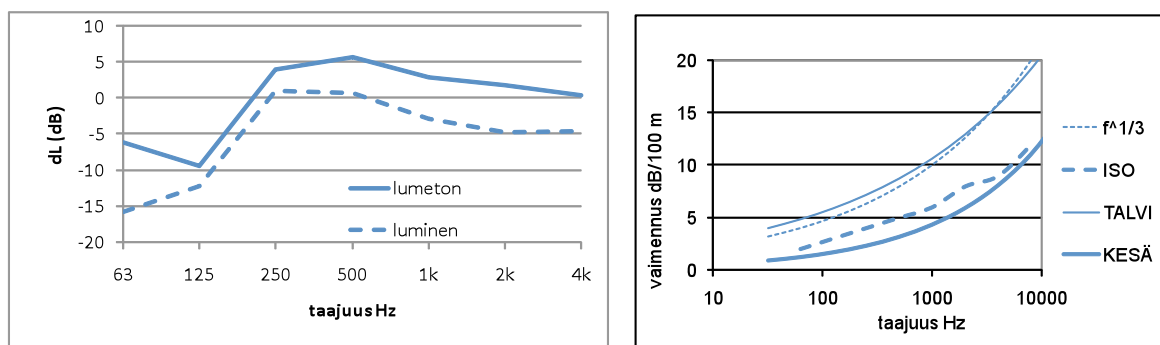
Kuva 4. Metsän lisävaimennus ero ISO-standardiin nähden 200 m lyhyemmillä ja pidemmillä matkoilla.

Kuvassa 5. on esitetty metsän lisävaimennuksen ero ISO- standardin mukaiseen lisävaimennukseen nähden 200 m lyhyemmillä ja pidemmillä matkoilla myötä ja vastatuuleen mitattaessa puiden ollessa lumettomia. Kuvasta nähdään, että erityisesti 200 metriä pidemmällä matkoilla vaimeneminen on vähäisempää, kuin mitä ISO-standardi ennustaa. Sen sijaan alle 200 metrin matkoilla myötä- ja vastatuulen välinen ero on vähäinen.



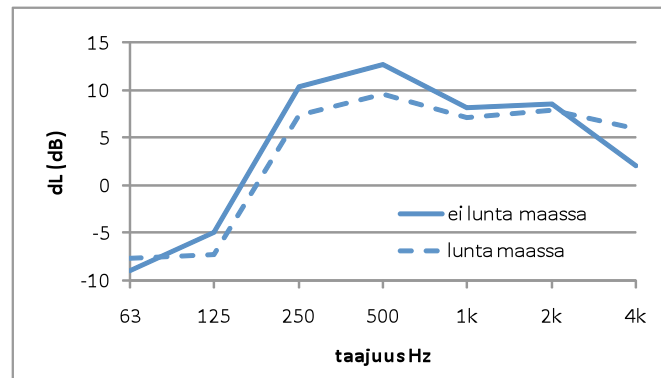
Kuva 5. Metsän lisävaimennus ero ISO-standardiin nähden 200 m lyhyemmillä ja pidemmillä matkoilla myötä- ja vastatuulella.

Kuvissa 6. on esitetty metsän lisävaimennuksen ero ISO- standardin mukaiseen lisävaimennukseen nähden 200 m lyhyemmillä matkoilla, kun puissa on lunta tai puut ovat lumettomia. Lisäksi on esitetty eri lähteissä esitettyjä lehvästön vaimennuksia (dB/100 m) taajuuden funktiona: $1,0(f)^{1/3}$ [5], ISO-standardi [3], TALVI lumiset puut tässä tutkimuksessa ja KESÄ lumettomat puut tässä tutkimuksessa. Kuvasta nähdään, että ISO-standardi aliarvioi lumisten puiden vaimennuskyvyn ja yliarvioi lumettomien puiden vaimennuskyvyn.



Kuva 6. Metsän lisävaimennus ero ISO-standardiin nähden 200 m lyhyemmillä matkoilla lumisilla ja lumettomilla puilla (vasen). Lehvästön vaimennus eri lähteistä (oikea).

Kuvassa 7. on esitetty metsän lisävaimennuksen ero ISO-standardin mukaiseen lisävaimennukseen nähden, kun puut ovat lumettomia ja maassa on lunta tai maa on lumeton. Kuvasta nähdään, että maan lumipeitteisyydellä ei ole suurta merkitystä äänen vaimenemiselle.



Kuva 7. Metsän lisävaimennus ero ISO-standardiin nähden maan ollessa luminen tai lunta ei ollut maassa. Kaikki mittaukset ilman lunta puissa.

4 POHDINTA

ISO-standardin [3] mukainen pehmeän maanpinnan maavaimennus ei vastaa tutkitun metsän maavaimennusta. Yleisesti tunnettua on, että mitä huokoisempi maan pinta on, sitä matalammalle taajuudelle maavaimennuskuoppa asettuu. Tyypillisessä suomalaisessa tuoreessa kangasmetsässä, jossa on huomattava sammalien ja varpujen kattama kenttäkerros, maavaimennuskuopan maksimi asettuu noin 63 - 125 Hz:n taajuudelle, kun se keskieuropalaisissa metsissä ja ISO-standardin mukaan on 200 – 500 Hz:n välillä. Tästä syystä esimerkiksi liikennemelun vaimeneminen voi jäädä vähäisemmäksi suomalaisessa metsässä kuin keskieuropalaisessa metsässä.

Lehvästön aiheuttama äänen vaimeneminen suomalaisessa kuusivaltaisessa sekametsässä on jonkin verran vähäisempää kuin ISO-standardin mukaisessa tiheässä lehvästössä. Tämä selityneen sillä, että metsän tiheys meidän pohjoisilla leveysasteilla ei ole välttämättä sitä luokkaa kuin Keski- Euroopassa.

ISO-standardin mukainen metsän vaimennus on tarkoitettu sovellettavaksi vain alle 200 metrin matkoille. Tämänkin tutkimuksen mukaan pidemmillä matkoilla metsän vaimennus jää vähäisemmäksi pituusyksikköä kohti etenkin myötätuuliolosuhteissa.

Lehvästön vaimentavasta vaikutuksesta äänen etenemiseen näyttää olevan hyvin erilaisia käsityksiä [1]. Yksi on varmaan tutkittujen metsien erilaisissa ominaisuuksissa. Toinen selitys voi olla tutkimusmenetelmissä. Esimerkiksi Terrero ym. ovat tutkimuksissaan käyttäneet suuntaavaa kaiutinta [2], jolloin takaisinsironnan väheneminen korostaa sironnan vaikutusta vaimenemiseen ja vaimennus saa suuremman arvon kuin, jos tutkimuksessa olisi käytetty ympärisäteilevää kaiutinta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että suomalaisen metsän äänenvaimennus olennaisesti poikkeaa keskieuropalaisen metsän vaimennuksesta. Siksi olisi tärkeää kansallisesti tutkia laajemminkin suomalaisen metsän vaimennusta.

VIITTEET

1. ATTENBOROUGH K, LI K M AND HOROSHENKOV K, Propagation through trees and tall vegetation In *Predicting Outdoor Sound*, Taylor & Francis 2007, Oxon, 290 – 296.
2. TERRERO A I YM., Sound propagation in forest: A comparison of experimental results and values predicted by the Nord 2000 model. *Applied Acoustics* **69**(2008), 662–671.
3. ISO 9613-2:1996 Acoustics, Attenuation of sound during propagation outdoor, Part 2: General method of calculation.
4. ISO 9613-1:1993 Acoustics, Attenuation of sound during propagation outdoor, Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.
5. BERANEK L L, Noise and Vibration Control, McGraw-Hill 1988, Washington, p. 183.