

## Mittausmenetelmä rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskevan asemakaavamääräyksen toteutumisen valvomiseksi

Mikko Kylliäinen ja Valtteri Hongisto

**Tiivistelmä.** Liikennemelu- tai muille melualueille rakennettaessa rakennuspaikan asemakaavassa voidaan antaa rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskeva kaavamääräys rakennuksen ulkovaipan kohdalla ilman ulkovaipasta tulevia heijastuksia vallitsevan keskiäänitason  $L_{A,eq}$  ja sisällä valtioneuvoston päätöksen 993/1992 perusteella sallittavan keskiäänitason  $L_{A,eq}$  erotuksena. Kaavamääräyksessä annetun äänitasoeron toteutumista on usein selvitettävä mittauksin rakennuksen valmistuttua. Koska viranomaisohjeita mittauksista ei ole, alalle ei ole syntynyt yhtenäistä mittauskäytäntöä. Tässä artikkelissa esitetään ehdotus rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskevan asemakaavamääräyksen mittausmenetelmäksi. Ehdotus perustuu standardeissa ISO 140-5 ja ISO 717-1 esitettyyn rakennuksen ulkovaipan normalisoidun äänitasoeroluvun  $D_{ls,2m,n,w}$  mittausmenetelmään ja standardissa ISO 717-1 esitettyyn spektrisovitustermien  $C_{tr}$  ja  $C$  laskentamenetelmään.

*Avainsanat:* liikennemelu, ääneneristys, ulkovaipan ääneneristys

### Johdanto

Liikennemelu- tai muille melualueille rakennettaessa rakennuspaikan asemakaavassa voidaan antaa rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskeva kaavamääräys rakennuksen ulkovaipan kohdalla ilman ulkovaipasta tulevia heijastuksia vallitsevan keskiäänitason  $L_{A,eq}$  ja sisällä valtioneuvoston päätöksen 993/1992 [1] perusteella sallittavan keskiäänitason  $L_{A,eq}$  erotuksena. Äänitasoerosta käytetään tässä merkintää  $\Delta L_{A,vaad}$ . Rakennuksen ulkovaipan rakennusosien ääneneristyskyky ilmoitetaan laboratoriomittauksen perusteella ilmaääneneristyslukuina tieliikennemelua vastaan  $R_w + C_{tr}$  tai muuta melua vastaan  $R_w + C$ . Rakennusosien ilmaääneneristysluvuista ei voida suoraan päätellä, onko rakennusosien ääneneristyskyky riittävä asemakaavamääräyksen vaatiman äänitasoeron saavuttamiseksi. Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2003 ympäristöoppaassa 108 menetelmän, jolla kaavamääräyksen äänitasoerosta voidaan johtaa vaatimus rakennusosien ilmaääneneristysluvuille [2]. Pitkään käytössä ollut vaihtoehtoinen menetelmä on esitetty esimerkiksi käsikirjassa RIL 129 [3]. Menetelmät johtavat yleensä suunnittelussa samaan lopputulokseen [4].

Ympäristöoppaan mukaan suunnittelumenetelmän tarkoituksena on, että akustisia mittauksia kaavamääräyksen toteutumisen valvomiseksi ei yleensä tarvitse tehdä [2]. Oppaassa ei siten esitetä ohjeita siitä, miten mittaukset tulisi suorittaa. Käytännössä on

kuitenkin varsin yleistä, että mittauksin on tutkittava, saavutetaanko kaavamääräyksessä määritelty äänitasoero vai ei. Esimerkiksi monet yleishyödylliset rakennuttajat määrittelevät urakkaohjelmaan tarkistusmittaukset osana normaalia rakennuksen vastaanotto- ja tarkastuskäytäntöä. Kaavamääräyksen toteutumista on tutkittava mittauksin myös silloin, kun epäillään, että kaavamääräys ei täyty rakennus- tai suunnitteluvirheen vuoksi. Joissakin tilanteissa rakennusvalvontaviranomaisetkin edellyttävät mittauksia.

Ulkovaipan ääneneristysmittauksia koskevien viranomaisohjeiden puuttuessa alalle ei ole muodostunut yhtenäistä mittauskäytäntöä. Yhtenäisen käytännön muodostumista haittaa lisäksi se, että rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskevassa standardissa ISO 140-5 [5] tarjotaan useita mittausvaihtoehtoja. Niistä mikään ei kuitenkaan tuota mittaustulosta, jota voitaisiin verrata suoraan suomalaisen kaavoituskäytännön mukaiseen äänitasoeroon  $\Delta L_{A,vaad}$ .

Tässä artikkelissa esitetään ehdotus rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskevan asemakaavamääräyksen mittausmenetelmäksi. Lähtökohtana menetelmälle asetetaan kaksi vaatimusta:

- menetelmän pitää perustua johonkin standardissa ISO 140-5 esitetystä menetelmästä
- mittaustuloksen tulee olla suoraan verrattavissa kaavamääräykseen, toisin sanoen mittausmenetelmän antaman tuloksen pitää olla yksilukuinen arvo, joka ilmoittaa äänitasoeron

## Äänitasoerojen määrittäminen taajuuksittain

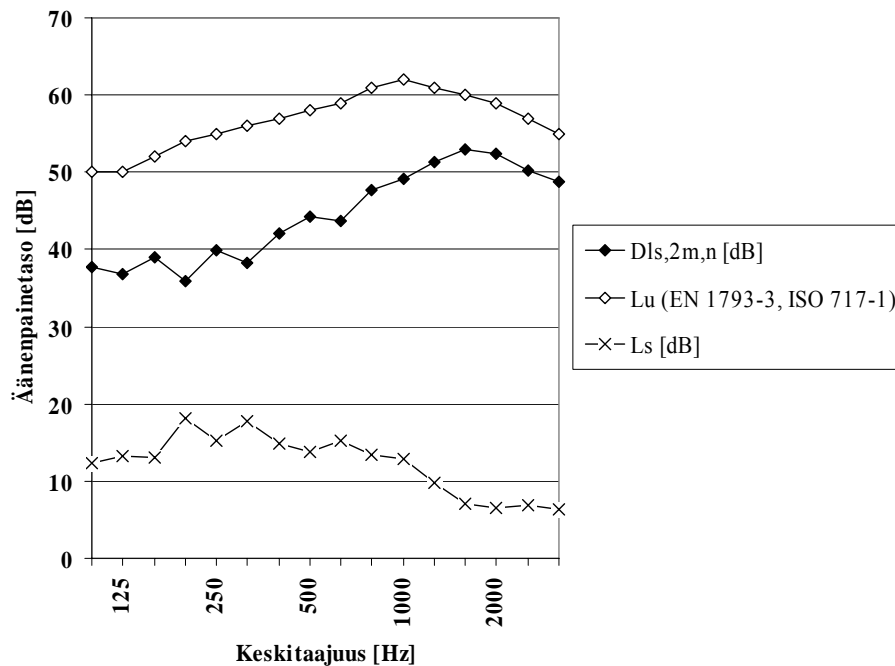
Lähteessä [6] on verrattu ulkovaipan suunnittelumenetelmiä mittaustuloksiin. Vertailu perustuu standardin ISO 140-5 [5] mukaiseen normalisoituun äänitasoeroon. Se saadaan käyttämällä äänilähteenä kaiutinta, joka sijoitetaan  $45^\circ$  kulmaan rakennuksen ulkovaippaan nähden. Mittausmenetelmästä esitetään tässä vain pääperiaatteet. Rakennuksen ulkopuolella 2 m etäisyydellä ulkovaipasta mitataan kolmannesoktaavikaistoittain äänenpainetasot  $L_{1,2m}$ . Rakennuksen sisällä tutkittavassa huoneessa mitataan äänenpainetasot  $L_2$ . Jälkikaiunta-aikamittauksen perusteella lasketaan absorptioala  $A$  [ $m^2$ ]. Mitattavat taajuuskaistat ovat välillä 100–3150 Hz. Mitattujen arvojen sekä tavallisen asuinhuoneen absorptioalaa vastaavan  $10 m^2$  vertailuabsorptioalan  $A_0$  perusteella voidaan laskea normalisoitu äänitasoero [5]:

$$D_{1s,2m,n} = L_{1,2m} - L_2 - 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (1)$$

Kuvassa 1 on esimerkki taajuuskaistoittain mitatuista normalisoiduista äänitasoeroista. Kaavan 1 mukaiset normalisoidut äänitasoerot eivät ota huomioon kaavamääräykseen sisältyvää liikennemelun äänispektriä tai A-painotusta. Kun äänitasoerot tiedetään, niiden perusteella voidaan kuitenkin määrittää minkä tahansa äänispektrin rakennuksen sisälle tuottamat äänenpainetasot tai A-painotetut äänitasot kolmannesoktaavikaistoittain. Jos ulkona vallitsee äänenpainetaso  $L_u$ , sisällä vallitseva äänenpainetaso on

$$L_s = L_u - D_{ls,2m,n} \quad (2)$$

Todellisessa tilanteessa liikennemelun äänitaso sekä äänispektri vaihtelevat jatkuvasti. Kaavamääräykset puolestaan perustuvat yleensä laskentamallien mukaiseen mallinnukseen liikennemäärien ja nopeusrajoitusten perusteella. Mallinnuksen tuloksena on keskiäänitaso  $L_{A,eq}$  eikä äänispektriä tällöinkään tunneta. Tällöin on tyydyttävä siihen, että valitaan keskimääräistä tilannetta vastaava äänispektri. Tällainen äänispektri on esitetty standardeissa ISO 717-1 [7] ja EN 1793-3 [8]. Kuvassa 1 on esitetty standardien mukainen äänispektri, jonka A-painotettu kokonaisäänitaso on asetettu 70 desibeliin.



Kuva 1. Esimerkki mitatuista normalisoiduista äänitasoeroista. Kaavioon on piirretty myös standardien ISO 717-1 ja EN 1793-3 mukainen liikennemelun A-painotettu äänispektri ( $L_u$ ) sekä edellisten perusteella kaavan 2 mukaan lasketut A-painotetut äänenpainetasot rakennuksen sisällä ( $L_s$ ).

Kun ulkona vallitsevan äänen äänispektri  $L_u$  tunnetaan A-painotettuna ja kaavan 2 mukaan on laskettu sisällä vallitseva äänitaso, voidaan laskea äänitasoero  $\Delta L_{A,mit}$ . Rakennuksen ulkovaipasta 2 m päässä mitatut äänenpainetasot  $L_{1,2m}$  sisältävät ulkovaipasta tulleen heijastuksen, joka korottaa äänenpainetasoja. Rakennuksesta heijastunut ääni ei ole pyrkimässä rakennuksen sisään, joten sen vaikutus on vähennettävä, muuten tuloksena saatava äänitasoero on liian suuri. Rakennusten ulkovaipan rakenteet ovat yleensä lähes täydellisesti heijastavia. Yleisesti otaksutaan, että rakennuksen ulkovaipan pinnassa heijastumisesta seuraava äänenpainetaso kasvu on korkeintaan 3 dB, jolloin äänitasoeroksi saadaan

$$\Delta L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{L_u/10} - 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{L_s/10} - 3 \quad (3)$$

Sijoittamalla kaava 2 kaavaan 3 saadaan mitattu äänitasoero

$$\Delta L_{A,\text{mit}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{L_u/10} - 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_u - D_{\text{ls},2\text{m},n})/10} - 3 \quad (4)$$

Kaavan 4 lopputulos on riippumaton siitä, mille tasolle ulkomelun äänispektri asetetaan. Jos äänispektri asetetaan niin, että kaavan ensimmäinen termi on nolla, kaavan jälkimmäisessä termissä äänispektri muodon määräävät tekijät  $L_u$  ovat nolasta poikkeavia. Tällöin kaava supistuu muotoon

$$\Delta L_{A,\text{mit}} = -10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_u - D_{\text{ls},2\text{m},n})/10} - 3 \quad (5)$$

Tuloksena saatu kaavan 5 mukainen laskentatapa ei ole lähtökohtaansa ja käytettävää äänispektriä lukuun ottamatta standardin mukainen, sillä standardit ISO 140-5 tai ISO 717-1 eivät tunne kaavan 5 mukaista suuretta. Tarvitaan lisää johdattelua, jotta lähtökohtana oleva vaatimus menetelmän standardinmukaisuudesta toteutuisi.

### Kaavamääräykseen verrattavan äänitasoeron määrittäminen

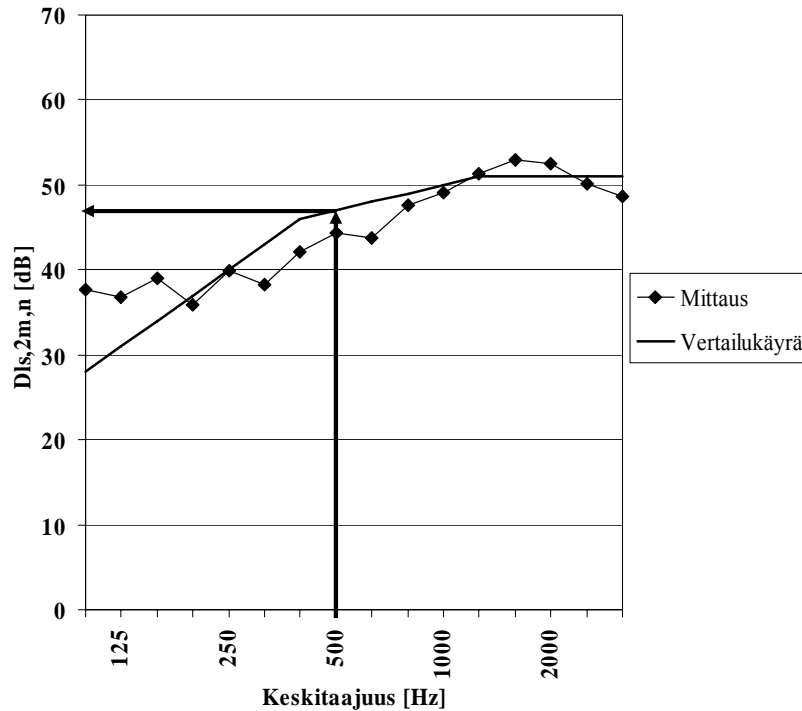
Standardin ISO 717-1 mukaan mitatuista normalisoiduista äänitasoeroista  $D_{\text{ls},2\text{m},n}$  voidaan laskea vertailukäyrämenettelyllä yksilukuinen mittaluku, normalisoitu äänitasoeroluku  $D_{\text{ls},2\text{m},n,w}$  (kuva 2).

Vertailukäyrän muoto ja yksilukuisen arvon määrittäminen perustuu hyväksi koettuun ilmääneneristävyyteen, kun äänilähteenä on puhe. Jotta yksilukuinen arvo vastaisi liikennemelun äänispektriä, standardissa on esitetty laskentamenetelmä ns. spektripainotusterman laskemiseksi. Spektripainotustermi ottaa huomioon kuvan 1 mukaisen liikennemelun äänispektrin [7]. Spektripainotustermi liikennemelua vastaan on

$$C_{\text{tr}} = -10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_u - D_{\text{ls},2\text{m},n})/10} - D_{\text{ls},2\text{m},n,w} \quad (6)$$

Standardin mukainen mittaustulos ilmoitetaan yleensä summana  $D_{\text{ls},2\text{m},n,w} + C_{\text{tr}}$ , joka on siten yksilukuinen arvo painotettuna liikennemelua vastaan. Kun tähän summaan sijoitetaan kaava 6, tulokseksi saadaan

$$D_{\text{ls},2\text{m},n,w} + C_{\text{tr}} = D_{\text{ls},2\text{m},n,w} - 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_u - D_{\text{ls},2\text{m},n})/10} - D_{\text{ls},2\text{m},n,w} \quad (7)$$



Kuva 2. Yksilukuisen normalisoidun äänitasoeroluvun määrittäminen vertailukäyrämenettelyllä kuvassa 1 esitetyistä mitatuista normalisoiduista äänitasoeroista. Normalisoitu äänitasoeroluku on 47 dB.

Vertailukäyrämenettelyllä määritetyt yksilukuiset mittaluvut supistuvat pois ja kaava sievenee lopulta muotoon

$$D_{ls,2m,n,w} + C_{tr} = -10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_u - D_{ls,2m,n})/10} \quad (8)$$

Kaavat 5 ja 8 yhdistämällä saadaan lopulta määritellyksi mitattu äänitasoero, joka on

$$\Delta L_{A,mit} = D_{ls,2m,n,w} + C_{tr} - 3 \quad (9)$$

Mitattua äänitasoeroa  $\Delta L_{A,mit}$  verrataan asemakaavamääräyksessä vaadittuun äänitasoeroon seuraavasti:

$$\Delta L_{A,mit} \geq \Delta L_{A,vaad} \quad (10)$$

Mitattaessa äänitasoeroa esimerkiksi raideliikennemelua tai lentomelua vastaan käytetään mittauksessa liikennemeluspektrin sijasta raideliikenne- ja lentomeluspektriä ja lasketaan sen perusteella spektripainotusermi  $C$ . Muilta osin menetelmä on samanlainen kuin edellä on esitetty.

## Pohdintaa

Edellä johdetussa mittausmenetelmässä käytetään pelkästään standardien ISO 140-5 ja ISO 717-1 mukaisia yksilukuisia mittalukuja. Siten mittaustulos on yksikäsitteinen ja toistettavissa. Tulosten esittämistä mittauksen teettäjälle tai viranomaisille helpottaa se, että mittauksen tuloksena saatava yksilukuinen äänitasoero  $\Delta L_{A,mit}$  on suoraan verrattavissa asemakaavamääräyksessä vaadittuun äänitasoeroon  $\Delta L_{A,vaad}$ . Standardissa määriteltyjen epävarmuustekijöiden lisäksi menetelmään sisältyy epävarmuutta, joka muodostuu seuraavista seikoista:

- rakennuksen ulkovaipasta tuleva heijastus otetaan huomioon vähentämällä mitaustuloksesta 3 dB. Tämä pätee tarkkaan ottaen vain rakennuksen ulkovaipan pinnalla. Kahden metrin päässä heijastavasta pinnasta heijastuksen vaikutus on pienempi kuin 3 dB, mikä voi johtaa äänitasoeron aliarviointiin. Mittausmenetelmän tulee kuitenkin olla riittävän yksinkertainen, jotta se olisi käyttökelpoinen. Kaikkia kenttäolosuhteissa esiintyviä heijastustilanteita ei voida ottaa huomioon.
- kaavamääräykset perustuvat mallinnuksen tuloksena saatuihin äänitasoihin, joihin vaikuttavat ajonopeus, liikennemäärä ja raskaan liikenteen osuus sekä raide-liikennettä tarkasteltaessa liikennöivä kalusto. Niiden tuottama äänispektri on kaikissa tapauksissa hieman erilainen eikä se välttämättä vastaa standardien mukaista keskimääräistä spektriä. Koska kaavamääräyksen pohjalla olevassa mallinnuksessa laskettuja spektrejä ei tunneta, on kuitenkin tyydyttävä keskimääräiseen spektriin.
- mitattavat äänitasoerot  $D_{ls,2m,n}$  on normalisoitu  $10 \text{ m}^2$  absorptioalaan. Se vastaa tavallista kalustettua makuuhuonetta, jonka tilavuus on  $30 \text{ m}^3$  ja jälkikaiunt aika 0,5 s. Rakennuksissa huoneiden tilavuudet ja absorptioalat voivat olla suurempia tai pienempiä kuin  $10 \text{ m}^2$ . Todellisen absorptioalan ottaminen huomioon kuitenkin johtaisi suunnittelussa mahdollisesti tilanteisiin, koska suunnittelijat eivät voi määrätä, millainen sisustus ja kalustus huoneistossa on. Toisaalta rakennuksen ulkovaipan ääneneristykseen suunnittelu tyhjän huoneen äänitasoihin perustuen johtaisi ulkovaipan rakennusosilta vaadittavan ääneneristyskyvyn kohuttomaan kasvuun. Siksi mittausmenetelmän pitää tältäkin osin perustua keskimääräiseen tilanteeseen.

## Lähteet

1. *Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista*, Suomen säädöskokoelma, nro 993/1992.
2. *Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen*, Ympäristöministeriö, ympäristöopas 108, Helsinki 2003.
3. *RIL 129, Ääneneristyksen toteuttaminen*, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki 2003.
4. Kylliäinen, M., *Rakennuksen ulkokuoren rakennusosilta vaadittava ääneneristävyys*. Akustiikkapäivät 2005, 26.–27.9.2005, Kuopio, s. 78–83.
5. *ISO 140-5, Acoustics – Measurement of sound insulation of facade element and facades*, International Organization for Standardization, Genève 1998.
6. Laine, P., Kankare, J. & Viljanen, V., *Correlation of sound insulation determination and field measurements*, Euronoise 2006, 30.5.–1.6.2006, Tampere.
7. *ISO 717-1, Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation*, International Organization for Standardization, Genève 1996.
8. *EN 1793-3, Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 3: Normalized traffic noise spectrum*, European Committee for Standardization, Brussels 1997.

Mikko Kylliäinen  
Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy  
Pinninkatu 58 A  
33100 Tampere

Valtteri Hongisto  
Työterveyslaitos  
Ilmastointi- ja akustiikkalaboratorio  
Lemminkäisenkatu 14-18 B  
20520 Turku