

## **PIENTALOJEN ÄÄNENERISTÄVYYS YMPÄRISTÖMELUA VASTAAN TAAJUUKSILLA 5 – 5000 HZ – INFRAÄÄNITUTKIMUS**

**Jukka Keränen, Jarkko Hakala, Valtteri Hongisto**

Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä  
Lemminkäisenkatu 14-18 B  
20520 TURKU  
etunimi.sukunimi@turkuamk.fi

### **Tiivistelmä**

Tavoite oli mitata erilaisten julkisivurakenteiden ääneneristävyys taajuusalueella 50 – 5000 Hz ja julkisivurakenteen tuottama äänitasoero taajuusalueella 5 – 200 Hz. Mittauksia tehtiin 10 rakennuksessa yhteensä 20 eri julkisivurakenteelle. Ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan oli 31 – 51 dB  $R'_{45,w}+C_{tr}$ . Julkisivurakenteiden tuottama äänitasoero vaihteli 3 – 40 dB välillä pienillä taajuuksilla 20 – 200 Hz. Infraäänialueella 5 – 16 Hz vaihteluväli oli -3 – 30 dB. Ilmaääneneristävyys ja äänitasoero riippuivat taajuudesta, rakennusmateriaaleista, rakenteista, ikkunoiden pinta-alasta ja mitauspisteen sijainnista. Tuloksista johdettiin tilastollinen estimaatti ilmaääneneristyskyvystä, joka ylittyy suomalaisten pientalojen tapauksessa 90 % todennäköisyydellä. Estimaattia voidaan hyödyntää pientalojen sisätilaan kulkeutuvan ympäristömelun laskelmissa.

## **1 JOHDANTO**

Pientalojen julkisivurakenteiden ilmaääneneristävydestä ei ole juurikaan julkaistua tutkimustietoa. Tietoa kuitenkin tarvitaan, kun arvioidaan ympäristömelun äänenpainetasoa sisätiloissa. Julkisivurakenteen ilmaääneneristävyys mitataan nykyään ISO 16283-3 standardin mukaan taajuusalueella 50 – 5000 Hz [1]. Menetelmä on pääpiirteittäin samanlainen kuin aiemmin käytetty ISO 140-5 standardin menetelmä [2]. Alle 50 Hz taajuusalueella ilmaääneneristävyttä ei ole yleensä mitattu, koska standardi ei tue mittauksia eikä äänilähteinä käytetyt kaiuttimet yleensä kykene tuottamaan riittävää äänenpainetasoa. Ympäristömelua kuitenkin esiintyy myös alle 50 Hz taajuuksilla. Viime aikoina on pohdittu myös sitä, miten infraäänit (<20 Hz) kantautuvat sisätiloihin. Tutkimuksen tavoite oli mitata erilaisten julkisivurakenteiden tuottama äänitasoero pientaajuusalueella 5 – 200 Hz. Lisäksi tavoitteena oli mitata standardin ISO 16283-3 mukainen julkisivurakenteen ääneneristävyys taajuusalueella 50 – 5000 Hz.

## **2 MITTAUSKOHTEET**

Mittauskohteet olivat asuttuja pientaloja Suomessa. Kohteet valittiin niin, että mukana oli puurakennuksia, kuten hirsitalot, ja kivirakenteisia pientaloja, kuten tiili- ja betonitalot.

Jokaisessa kohteessa mitattiin ikkunallinen julkisivuseinä ja mahdollisuuksien mukaan myös ikkunaton seinä.

### 3 MENETELMÄT

Mittauksessa käytettiin kolmea äänilähdettä. Jokaisella äänilähteellä toistettiin toisiinsa nähden korreloimatonta laajakaistaista vaaleanpunaista kohinaa. Äänilähteet ja niiden toistamat taajuusalueet olivat seuraavat:

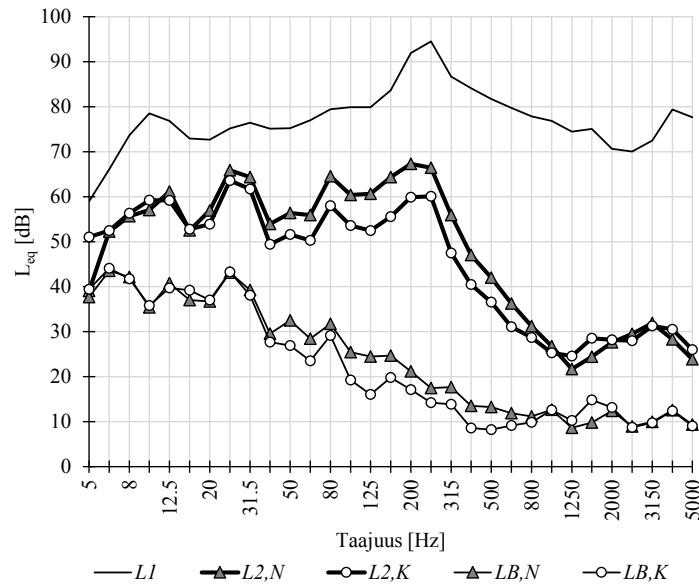
1. pallokaiutin (Norsonic Nor276) ja signaaligeneraattorilla 1 varustettu vahvistin (Norsonic Nor280), 80 – 5000 Hz,
2. pientaajuusalueen aktiivikaiutin (Genelec 7050B) ja signaaligeneraattori 2 (Neutrik MR1), 25 – 80 Hz,
3. infraäänikaiutin (Persub), päätevahvistin (Behringer EP4000), taajuussuodin (Behringer Super X-Pro) ja signaaligeneraattori 3 (NTI Audio MR-Pro), 5 – 25 Hz.

Mittauksissa noudatettiin ISO 16283-3 mukaisia ohjeita. Äänilähteet sijoitettiin lähekkäin noin 5 metrin etäisyydelle mitattavasta julkisivusta vaakasuunnassa 45 asteen kulmaan.

Äänenpainetasot mitattiin terssikaistoittain taajuusalueella 5 – 5000 Hz äänianalysaattorilla (Norsonic NOR150) ja kondensaattorimikrofonilla (Norsonic NOR1225). Äänitasomittari kalibroitiin ennen ja jälkeen mittausten. Ulkona äänenpainetaso mitattiin hyvin lähellä julkisivupintaa (alle 20 mm) äänilähteiden 1 – 3 käydessä 5 pisteen keskiarvona. Sisällä äänenpainetaso mitattiin äänilähteiden 1 – 3 käydessä 4 nurkkapisteessä ja 5 pisteessä huoneen keskialueella. Nurkkapisteissä etäisyys rajapinnoista oli noin 30 cm (nurkkapisteestä 50 cm) ja keskialueen pisteissä vähintään 50 cm ja yleensä yli 100 cm huonepinnoista ja kalusteista. Kun äänilähteet oli kytketty pois päältä, mitattiin taustamelutaso sisällä samoissa 9 pisteessä, jotta voitiin tehdä taustamelukorjaus. Jokaisen mitauksen kesto oli 30 sekuntia. Esimerkki ulkona ja sisällä mitatuista äänenpainetasoista esitetään kuvassa 1.

Äänenpainetasomittausten jälkeen mitattiin huoneessa jälkikaiunta-aika käyttäen äänilähteitä 1 ja 2. Kohinasignaali tuotettiin signaaligeneraattorilla (NTI-Audio MR-Pro). Äänilähteen paikkoja oli yksi ja mittauspisteitä kolme. Jokaisessa pisteessä tehtiin kaksi mitausta. Jälkikaiunta-aika  $T$  [s] määritettiin äänitason 20 dB vaimenemiseen kuluvan ajan perusteella taajuusvälillä 50 – 5000 Hz. Huoneen absorptioala  $A$  [m<sup>2</sup>] määritettiin jälkikaiunta-ajan  $T$  ja huoneen tilavuuden  $V$  [m<sup>3</sup>] avulla:

$$A = 0,16V/T. \quad (1)$$



**Kuva 1.** Esimerkkitilanteen julkisivupinnalla (1) mitattu äänenpainetaso  $L_1$ , rakennuksen sisällä (2) huoneen nurkissa (N) ja keskialueella (K) mitatut äänenpainetasot  $L_{2,N}$  ja  $L_{2,K}$  kohinasignaali päällä ja taustamelutasot  $L_{B,N}$  ja  $L_{B,K}$  kohinasignaali sammutettuina.

Tuloksia  $L_1$ ,  $L_{2,K}$ ,  $L_{2,N}$ , ja  $A$  käytettiin standardin ISO 16283-3 mukaiseen ilmäeneristävyyden määrittämiseen:

$$R'_{45^\circ} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log_{10}(S/A) - 1,5 \text{ dB}, \quad (2)$$

missä  $S$  on huoneen julkisivupinta-ala [ $\text{m}^2$ ],  $A$  huoneen absorptioala [ $\text{m}^2$ ], ja

$$L_2 = L_{2,K} \quad \text{kaistoilla } 100 - 5000 \text{ Hz ja} \\ L_2 = 10 \cdot \log_{10}\{(10^{0,1 \cdot L_{2,N}} + 2 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{2,K}})/3\} \quad \text{kaistoilla } 50 - 80 \text{ Hz} \quad (3)$$

Ilmäeneristysluku tieliikennemelua vastaan  $R'_{45,w} + C_{tr}$  määritettiin ISO 717-1 standardin vertailukäyrämenetelmällä [3].

Äänitasoerot  $DL$  määritettiin terssikaistoilla 5 – 200 Hz ulkona mitatun äänenpainetason (5 pisteen energiakeskiarvo)  $L_1$  ja sisällä mitatun taustamelukorjatun äänenpainetason  $L_2$  erotuksena jokaisessa 9 pisteessä:

$$DL = L_1 - L_2 - 6 \text{ dB} \quad (4)$$

Yhtälössä (4) on valmiiksi huomioituna ympäristöministeriön ohjeiden mukainen korjaus -6 dB, jolla julkisivun pinnalla mitattu äänenpainetaso korjataan oletettua vapaassa ken-

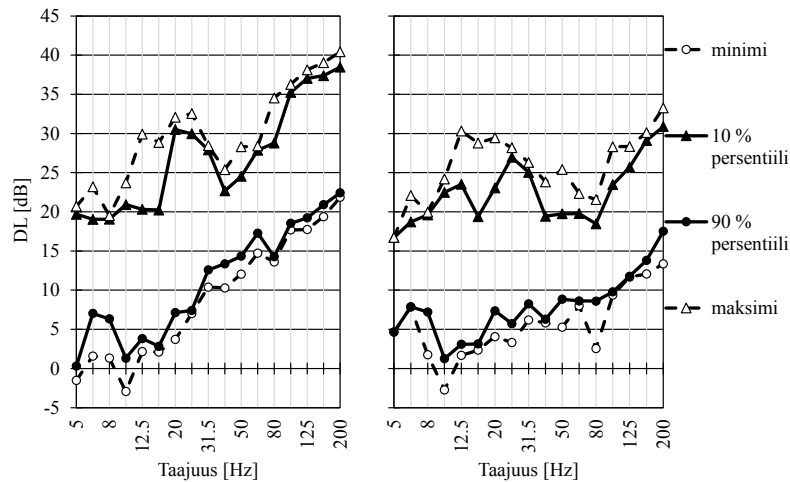
tässä mitattua arvoa vastaavaksi. Korjaus tehdään jo tässä vaiheessa, jotta mittaustuloksia  $DL$  voidaan sellaisenaan soveltaa sisätilojen äänenpainetasolaskelmissa (Taulukko 1).

Tulokset ryhmiteltiin nurkkapisteissä ja keskialueen pisteissä mitattuihin. Jokaisessa kohteessa nurkkapisteiden ja keskialueen pisteiden arvoista laskettiin erilliset arvot  $DL_N$  ja  $DL_K$  kullekin mitatulle julkisivulle. Mitatuista äänitasoeroista  $DL_N$  ja  $DL_K$  johdettiin tilastolliset estimaatit ilmaääneneristyskyvystä 10 % ja 90 % persentiileinä siten, että kaikista kohteista saadut terssikaista-arvot oli yhdistetty. Tuloksissa esitetyt käyrät eivät siis edusta yksittäisen rakennuksen mittaustulosta, toisin kuin kuvan 1 esimerkki.

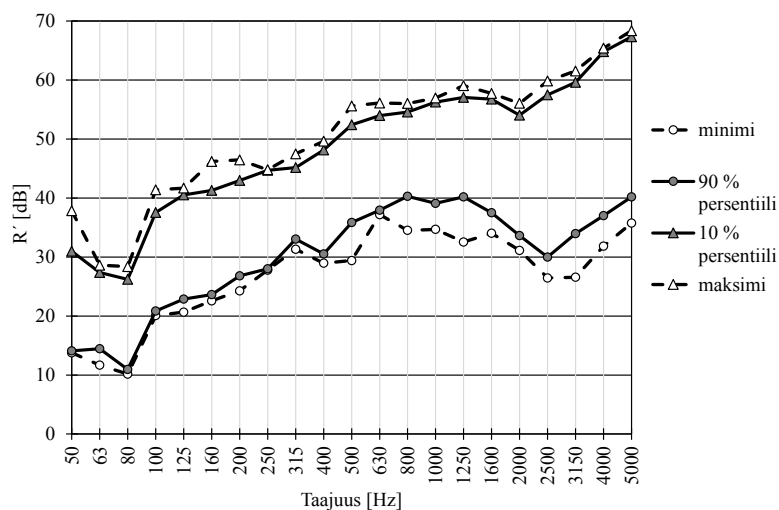
#### 4 TULOKSET

Ilmaääneneristävyys ja äänitasoero riippuivat taajuudesta, rakennusmateriaaleista, rakenteista, ikkunoiden pinta-alasta ja mittauspisteen sijainnista. Kuvan 1 tulos edustaa tavanomaista tulosta: nurkissa äänenpainetasot olivat seisovien aaltojen vuoksi jopa 10 dB suurempia kuin huoneen keskialueella 20 – 500 Hz (Kuva 1). Infraäänialueella mittauspisteen sijainnin vaikutus väheni, koska huoneet toimivat vakiopainekammiona.

Huoneen keskialueella ja nurkissa mitattu julkisivurakenteen tuottama äänitasoeron vaihteluväli esitetään kuvassa 2. Äänitasoero vaihteli 3 – 40 dB välillä taajuuksilla 20 – 200 Hz. Infraäänitaajuuksilla 5 – 16 Hz vaihteluväli oli -3 – 30 dB. Ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan oli 31 – 51 dB  $R'_{45,w} + C_{tr}$ . (Kuva 3).



**Kuva 2.** Huoneen keskialueella (vasen,  $DL_K$ ) ja nurkissa (oikea,  $DL_N$ ) mitattujen äänitasoerojen tuloksista määritetyt minimi- ja maksimiarvot sekä 10 % ja 90 % persentiiliarvot.



**Kuva 3.** Ilmaääneneristävyyden tuloksista määritetyt minimi- ja maksimi-arvot sekä 10 % ja 90 % persenttiarvot.

## 5 SOVELLUSOHJE

Tuloksia on mielekästä hyödyntää Suomessa sisätilojen äänenpainetaso laskelmissa pientaajuuksilla. Tällöin kyetään arvioimaan, ylittävätkö STM:n mukaiset ympäristömelun toimenpidearvot pientaajuuksilla [4].

Ympäristömelun äänenpainetaso  $L_{eq,U}$  [dB] mallinnetaan pihamaalle 1/3-oktaaveittain tai se selvitetään mittauksin. Sisätilaan kuuluva äänenpainetaso  $L_{eq,S}$  [dB] saadaan 1/3-oktaaveittain yhtälöllä

$$L_{eq,S} = L_{eq,U} - DL_{90} \quad (5)$$

missä  $DL_{90}$  [dB] edustaa tutkimuksessa määritettyä äänitasoeroa, joka ylittyy 90 % tapauksista suomalaisilla julkisivurakenteilla. Arvot on esitetty taulukossa 1. Ne perustuvat kuvan 2 mukaisten 90 % persenttiarvoihin sovitettuun eksponentiaalifunktioon. Aineiston perusteella on mahdollista johtaa myös muita äänitasoeroja käytettäväksi yhtälössä (5) kuin tässä ehdotettu  $DL_{90}$ .

**Taulukko 1.** Julkisivurakenteiden tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti,  $DL_{90}$  pientaajuuksilla 5 - 200 Hz.

f, Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
$DL_{90}$ , dB	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14

## KIITOKSET

Tutkimus tapahtuu ANOJANSSI –projektissa, jota rahoittavat mm. Tekes, Turun ammatikorkeakoulu, Ympäristöministeriö, Sosiaali- ja terveysministeriö, Ympäristöpooli, Infra ry ja Suomen Tuulivoimayhdistys ry.

## VIITTEET

- [1] ISO 16283-3:2016. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 3: Façade sound insulation, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [2] ISO 140-5:1998. Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [3] ISO 717-1:2013. Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [4] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 545-2015 asunnon ja muun oleskelutilan olosuhteista. 23.4.2015, Helsinki. (<http://www.edilex.fi/saaduskokoelma/20150545.pdf>)