

## Voiko eristävyden esittää yhdellä luvulla ?

Juhani Parmanen, Pauli Sysiö

### TIIVISTELMÄ

Rakenteiden Mekaniikka, Vol. 24  
No 1 1991, ss. 13 - 20

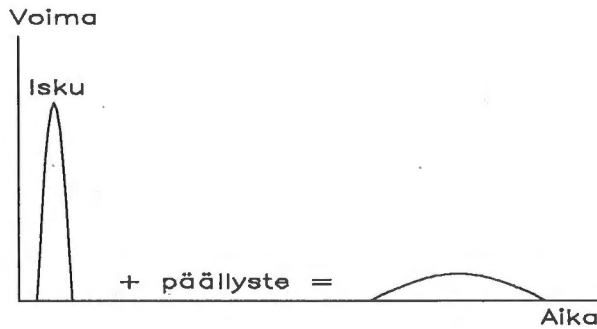
Ääneneristävydellä tarkoitetaan yleisimmässä mielessä rakennusosan kuten ikkunan, oven tai seinän äänitehon läpäisysuhdetta (sen käänteisarvoa desibeleinä). Askelääneneristävyys puolestaan tarkoittaa välipohjarakenteen kykyä modifioida siihen kohdistuvaa iskua siten, että alapuoliseen tai viereiseen tilaan saapuva ääniteho on mahdollisimman pieni. Läpäisy/vaimennuskyky riippuu taajuudesta, joten eristävydet mitataan Suomen rakentamismääräysten menetelmissä 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 100...3150 Hz ja eristävyden määrittelee 16 luvun lukusarja. Käytännön sovellutuksissa tarvitaan kuitenkin yksinkertaisempaa yhdellä luvulla ilmaistua mitta. Taajuussidonnaisuus on tällöin valittava sen mukaan, millaisia äänen spektrejä tavallisimmin esiintyy, ottaen huomioon myös korvan erilainen herkkyys eritaajuisille äänille. Ääneneristävyys tulee siis määritellyksi tietynlaiselle spektrille ja sisältämään myös tuon taajuusmäärittelyn (tai sen approksimoinnin). Esityksessä tarkastellaan eräitä määrittelyvaihtoehtoja ja niiden kehitysnäkymiä.

### 1. Yleistä

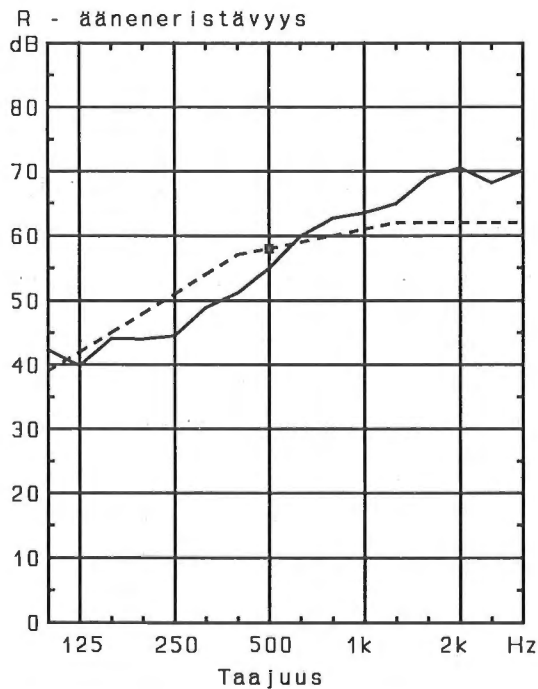
Ääneneristävydellä tarkoitetaan yleisimmässä mielessä tietyn selvästi rajatun rakennusosan kuten ikkunan, oven tai seinän äänitehon läpäisysuhdetta (desibeleinä). Toinen samansukuinen yleinen muun muassa rakentamismääräyksissä esiintyvä suure on askelääneneristävyys, jolla tarkoitetaan välipohjarakenteen (kaikkine päällysteineen) kykyä modifioida siihen kohdistuvaa iskua siten (ks. kuva 1), että alapuoliseen tai viereiseen tilaan saapuva ääniteho on mahdollisimman pieni. Askelääneneristävyden mittana käytetään standardisoidun melulähteen, askeläänikojeen vastaanottotilaan (tietyillä taajuksilla) aiheuttamaa äänenpainetta vastaavaa ( $10 \text{ m}^2$  absorptioon normalisoitua) äänen tehotasoa.

Koska ääneneristävyys riippuu sekä fysikaalisena ilmiönä että käytännön mitaustuloksissa taajuudesta, tulee sen yhteydessä aina ilmoittaa taajuus, jolla se on mitattu tai jolla se tahdotaan ilmoittaa. Rakentamismääräysten sisältämissä

menetelmissä äänen- ja askelääneneristävyyks mitataan 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 100...3150 Hz, joten eristävyyden määrittelee näissä tapauksissa 16 luvun lukusarja (ks. kuva 2).



Kuva 1. Pehmeän päällysteen vaikutus lattiaan kohdistuvaan voimaimpulssiin.



Kuva 2. Tyypillinen 180 mm paksun betonisen väliseinän ääneneristävyydkäyrä ja vertailukäyrä (- - -) siirrettynä kohdalleen:  $R_w = 58$  dB (■).

## 2. Ilmaääneneristävyys "yhellä luvulla"

Kuten esimerkiksi kuvasta 2 nähdään, ääneneristävyys voisi olla mikä tahansa luku pienimmän ja suurimman ääneneristävyyden välillä, jos taajuutta ei mainita. Muun muassa rakentamismääräysten soveltamisessa tarvitaan kuitenkin helppoa ja yksikäsitteisesti määriteltyä mittaa, joten ääneneristävyyden ilmoittaminen "yksilukuarvona" on lähes käytännöllinen välttämättömyys. "Taajuus" tulee tällöin valita sen mukaan, millaisia äänen spektrejä tavanomaisimmin esiintyy; lisäksi tulee ottaa huomioon korvan erilainen herkkyys eritaajuisille äänille. Tämä johtaa siihen, että ääneneristävyys määritellään tietynlaiselle spektrille. Seuraavassa osoitetaan, että ääneneristävyys tulee tällöin sisältämään myös tietyn taajuusmäärittelyn.

Tarkasteltaessa taajuuksittain ääneneristävyyttä se voidaan esittää "yhellä" taajuudella muodossa

$$R_i = 10 \log \frac{10^{L_i/10}}{10^{(L_i - R_i)/10}} = 10 \log \frac{1}{10^{-R_i/10}} \quad (1)$$

missä  $L_i$  esittää rakenteeseen kohdistuvaa ja  $L_i - R_i$  läpi tullutta ääntä. Kaava (1) voidaan tulkita siten, että rakenteeseen kohdistuvaa spektriä tarkasteltaessa on otettu huomioon pelkästään yksi 1/3-oktaavikaista  $i$ , jolle on annettu painokerroin 1 ja muille painokerroin 0. Tätä ajattelutapaa soveltaen kaava (1) voitaisiin esittää myös muodossa

$$R_i = 10 \log \frac{1}{0 \cdot 10^{-R_1/10} + \dots + 1 \cdot 10^{-R_i/10} + \dots + 0 \cdot 10^{-R_n/10}} \quad (2)$$

Kaavan (2) nimittäjän kerroinesityksestä nähdään, miten ääneneristävyys voidaan helposti laajentaa koskemaan kokonaista spektriä. Tämä tapahtuu antamalla kutakin taajuutta vastaavalle painokertoimelle lukuarvo, joka vastaa ko. taajuuden (taajuuskaistan) osuutta spektrin koko äänienergiasta.

Esimerkiksi spektri, jossa kaistoja on  $n$  ja kaikkien äänitaso eli taajuuksien paino on sama ( $= 1/n$ , missä  $n$  on esimerkiksi 16) antaa ääneneristävyydelle lausekkeen

$$R_n = 10 \log \frac{1}{\sum_i \frac{1}{n} 10^{-R_i/10}} = -10 \log \sum_i 10^{-R_i/10} + 10 \log(n) \quad (3)$$

Kaavassa (3) esitetty menettely ääneneristävyden ilmaisemiseksi yhdellä luvulla voisi jo olla käyttökelpoinen, koska se joka tapauksessa ottaa huomioon ääneneristävyden kaikilla taajuuksilla. Saadulla luvulla on muutenkin kiinnostava sisältö, koska yhtälössä (3) jakoviivalla osoitettu osamäärä määrittelee lukujen  $10^{+R_i/10}$  ns. harmonisen keskiarvon.

Vertailukohteeksi sopii ääneneristävyksien  $R_i$  (aritmeettinen) keskiarvo  $\bar{R}$ , jota käytetään vieläkin useissa eri yhteyksissä kuvaamaan ääneneristävyttä. Tällöin kysymyksessä on lukujen  $10^{+R_i/10}$  geometrisen keskiarvon (keskiverron) logaritmi kerrottuna kymmenellä. Kun geometrisen keskiarvo on aina suurempi tai vähintään yhtä suuri kuin samojen lukujen harmoninen keskiarvo, on luvulla  $\bar{R}$  kuvattu ääneneristävyys yleensä selvästi "parempi" kuin mitä kaavasta (3) saataisiin, mikä osaltaan selittää jälkimmäisen puuttumisen eristävyysvalikoimasta. Käytössä oleva lukujen  $R_i$  keskiarvo  $\bar{R}$  on lisäksi varsin lähellä eräitä "hyvin määriteltyjä" eristävyden yksilukuarvoja. Se on kuitenkin huono ääneneristävyden mitta, koska siihen ei liity mitään määrättyä spektri- tai taajuusinformaatiota, jonka pitäisi edellä esitetyn mukaan aina olla tiedossa.

Eräs todella käytössä oleva ääneneristävyden yksilukuarvo voidaan kehittää kaavasta (3), kun siinä määriteltyyn spektriin lisätään äänen tai melun häiritsevyyttä esittävä A-painotus. Muun muassa Ranskassa on jo useita vuosia käytetty standardisoitua ääneneristyslukua, joka lasketaan kaavasta

$$R_A = 10 \log \frac{\sum_i 10^{(L_{oi}+A_i)/10}}{\sum_i 10^{(L_{oi}+A_i-R_i)/10}} \quad (4)$$

missä lukusarja  $\{L_{oi}\}$  määrittelee terssin  $i$  tason ja  $L_{oi}$  on sama vakioarvo kaikilla tersseillä; ilman lukuja  $A_i$  saataisiin kaavan (3) ääneneristävyyden. A-taajuuspainotuksen  $\{A_i\}$  arvot tersseittäin määrittelee taulukossa 1 esitetty lukusarja.

Taulukko 1. A-taajuuspainotuksen painoluvut (dB) terssialueella 100...3150 Hz.

Terssi	100	125	160	200	250	315	400	500
Paino	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2
Terssi	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Paino	-1,9	-0,8	0,0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2

Jos kaava (4) kirjoitetaan kaavan (2) mukaiseen muotoon (4'), nähdään, että alimmat taajuudet saavat tavattoman pienen painon lähes kaiken painon ollessa suurilla taajuuksilla:

$$R_A = 10 \log \frac{1}{0,0012 \cdot 10^{-R_1/10} + 0,0024 \cdot 10^{-R_2/10} + \dots + 0,132 \cdot 10^{-R_{15}/10} + 0,129 \cdot 10^{R_{16}/10}} \quad (4')$$

Suomessakin käytössä olevan ilmaääneneristysluvun  $R_w$  kannalta erityisen merkittävää on, että  $R_A$ :n ja  $R_w$ :n välillä on läheinen yhteys, esimerkiksi kuvan 1 betoniseinällä  $R_w = 58$  ja  $R_A = 56,6$  (dB). Itse asiassa edellistä voidaan pitää jälkimmäisen luokiteltuna likiarvona [1]. Esimerkiksi seinille, joiden ilmaääneneristysluku on välillä 45...60 dB, voidaan esittää [2] likiarvokaava

$$R_w = R_A + 1,1 \quad (5)$$

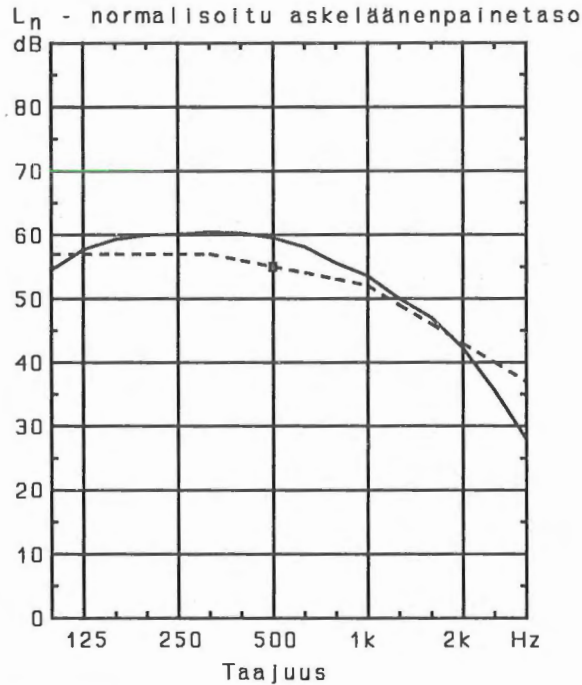
missä oikea puoli pyöristetään täysiksi desibeileiksi. Kaavan (5) sisältämä yhteys on merkittävä muun muassa siksi, että  $R_w$  määritetään ns. vertailukäyrämenetelmällä käyttäen tiettyä siirtoalgoritmia (ks. kuva 2) eikä kaavan (5) suureitten yhteys ole siis mitenkään triviaali.

$R_w$ :n määrittämisstandardi ISO 717 on parhaillaan kansainvälisen työryhmän uudelleenarvioitavana, ja menetelmään tultaneen esittämään joitakin muutoksia. Kuitenkin vaikuttaa edelleenkin siltä, että vallitsevaksi jää vanha käsitys, jonka mukaan  $R_w$  sisältää suuremman totuuden kuin jokin yhdellä luvulla esitetty täsmällisesti spektrisdonnainen  $R_A$ :n kaltainen ääneneristävyyys.  $R_w$  tulee siksi jatkossakin säilymään rakennusosien ääneneristävyyden mittana, vaikka se kokonaislukuarvoin määriteltynä on esimerkiksi  $R_A$ :ta karkeampi.  $R_w$  ei myöskään sisällä tarvittavaa spektrimäärittelyä samassa mielessä kuin kaavoin (3) ja (4) on esitetty. Toisaalta  $R_w$  on käytännön kokemusten mukaan kuitenkin ollut sopiva ilmaääneneristävyyden mitta, erityisesti suuren ääneneristävyyden omaavilla rakennusosilla, vaikka  $R_w$ :n informaatioarvo on selvästi pienempi kuin esimerkiksi  $R_A$ :n.

Ääneneristävyydeltään kriittisten rakennusosien kuten ulkoseinässä olevien ikkunoiden osalta kokemukset  $R_w$ :n toimivuudesta ovat heikkommat ja toisaalta yksikäsitteinen spektrisdonnaisuus esimerkiksi liikennemeluun välttämätön, tällaiseen käyttöön sopisi hyvin kaavoihin (3) ja (4) perustuva yksilukumitta.

### 3. Askelääneneristävyyys

Askelääneneristävyydskin määritetään tersseittäin välillä 100...3150 Hz, siitä muodostuu tällöin 16 askeläänitason lukusarja  $L_{ni}$ . Arvot ovat nyt äänenpainetasoja, kun edellä ilmaääneneristävyyden yhteydessä tarkasteltiin painetasojen erotusta. Äänilähteenä on standardisoitu askeläänikoje, joka "koputtelee" esimerkiksi tutkittavan yläpohjan päällä. Askeläänitasojen  $L_{ni}$  käsittelyssäkin on pulmana tuloksen esittäminen yhdellä luvulla (ns. askeläänitasoluvulla  $L_{n,w}$ ; alaindeksit n ja w tarkoittavat, että äänenpainetaso on normalisoitu tiettyyn absorptioon,  $10 \text{ m}^2$ , ja taajuuspainotettu tietyllä tavalla). Standardisoitu määrittämenettely (ISO 717) sisältää nytkin vertailukäyräalgoritmin (kuva 3), mutta ei mitään selvitystä taajuuspainotuksesta. Kuitenkin yksilukumitan tulisi tässä tapauksessa esittää yksittäisillä taajuuksilla mitattujen äänenpainetasojen koko-



Kuva 3. Askeläänitasoluvun määrittäminen; välipohjana on 190 mm massiivilaatta, joka on päällystetty pehmeäpohjaisella muovimatolla.

naissummaa painotettuna sopivalla taajuuspainotuksella. Laskemalla tällainen luku ilman painotusta (tai kertoimin 1) saataisiin

$$L = 10 \log \sum_i 10^{L_{ni}/10} \quad (6)$$

joka on huomattavan suuri luku, kuvan 3 tapauksessa esimerkiksi 69 dB, kun  $L_{n,w}$  on 55 dB. Periaatteessa olisi mahdollista käyttää aiemmin esitettyyn tapaan A-painotusta, jolloin päästäisiin lähemmäs "oikeaa" askeläänitasolukua. Näin ei kuitenkaan voida menetellä siksi, että mittausmenettely sisältää em. "koputuskojeen". Sen synnyttämä spektri ei nimittäin vastaa niitä lattiaan kohdistuvia herätteitä, joita esimerkiksi kävely tai muu asumiseen liittyvä toiminta saa aikaan. Ongelma voidaan selvittää käyttämällä tiettyä painotusta, taulukossa 2 tersseittäin esitetty lukusarja  $G_i$  on osoitettu [3] tällaiseksi painotukseksi.

Taulukko 2. Askeläänitasoluvun määrittämissä painot  $G_i$  (dB) tersseillä 100...3150 Hz.

Terssi	100	125	160	200	250	315	400	500
Paino	-15.7	-15.7	-15.7	-15.7	-15.7	-15.7	-14.7	-13.7
Terssi	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Paino	-12.7	-11.7	-10.7	-7.7	-4.7	-1.7	+1.3	+4.3

Edellä määriteltyjä painotustermejä  $G_i$  käyttäen askeläänitasoluvulle saadaan lauseke

$$L_{n,w} = 10 \log \sum_i 10^{(L_{ni} + G_i)/10} \quad (7)$$

ja kuvan 3 esimerkkitapauksessa 55,2 dB eli pyöristettynä 55 dB. Sopivalla (sovitulla) taajuuspainotuksella  $G_i$  saadaan siis oikea askeläänitasoluku.

Myös askeläänitasoluku  $L_{n,w}$  on tällä hetkellä kansainvälisesti uudelleentarkastelun kohteena. Näyttää muun muassa siltä, että pieniä taajuuksia ei jatkossa ainakaan kaikissa tapauksissa tulla painottamaan samassa määrin alaspäin kuin painotuksessa  $\{G_i\}$ . Varsinkin kevytrakenteisilla välipohjilla muutos merkitsisi sitä, että sataisiin selvästi nykyistä lukuarvoa suurempi askeläänitasoluku eikä rakenne tulevaisuudessa "menisi läpi" (ilman ohjearvojen muutoksia).

#### VIITTEET

1. Parmanen, J., Tuominen, H.T. Airborne sound insulation and graphical indices. *Journal of Sound and Vibration* (82)1982, ss. 235-245.
2. Parmanen, J. Comments on "The dependence of  $R_w$  on the shape of the transmission loss curve. Towards a definitive understanding of the correlation between  $R_w$  and  $R_A$ ". *Journal of Sound and Vibration* 124(1988), ss. 390-393.
3. Parmanen, J. Principles of constructing a short test method for impact sound insulation measurements. *Journal of Sound and Vibration* 128(1989), ss. 181-194.

Juhani Parmanen, VTT/LVI-tekniikan laboratorio