

KATSAUS RAKENNUSTEN JULKISIVUÄÄNIERISTÄVYYDEN LASKENTAAN JA MITOITUKSEEN

Timo Peltonen, Tapio Lahti

Insinööritoimisto Akukon Oy
Kornetintie 4 A, 00380 HELSINKI
timo.peltonen@akukon.fi

1 JOHDANTO

Rakennusten julkisivuille asetetaan yhä useammin äänieristysvaatimuksia. Yhtenä osatekijänä on tiheän kaavoituksen ja liikenteen myötä lisääntynyt ulkomelun taso. Toisaalta myös julkisivujen rakenteet ovat muuttumassa. Julkisivuissa pyritään usein käyttämään uusia aiempaa kevyempiä rakennusmateriaaleja ja rakennetyyppejä, ja monissa asuinrakennuksissa ilmanvaihto hoidetaan julkisivuun sijoitettavilla raitisilmaventtiileillä. Lentomelualueilla äänieristysvaatimukset kohdistuvat usein myös rakennuksen katto- ja yläpohjarakenteisiin.

Melualueille rakennettavien asuin- ja liikerakennusten julkisivun äänieristysvaatimukset annetaan useimmiten kaavoitusvaiheessa. Vaatimuksilla pyritään varmistamaan, ettei ulkomelun aiheuttama äänitaso rakennuksen sisällä ylitä asuin- ja toimistotilojen ohjearvoja. Kaavoituksessa julkisivun äänieristävyden vaatimukset annetaan yksinkertaisina A-äänitasoerotuksina, käyttäen lähtötietoina rakennuksen ulkopuolella arvioitua melutasoa ja sisäpuolella sallittua melutason ohjearvoa.

Rakennuskohteiden suunnittelussa julkisivurakenteiden äänieristys mitoitetaan tai tarkistetaan laskennallisesti käyttäen rakennosille mitattuja ilmaäänieristyslukuja. Lisäksi on huomioitava rakenteen pinta-alan ja huonevaimennuksen vaikutukset, jotta yksittäiseen huonetilaan aiheutuvaa todellista melutasoa voidaan arvioida. Käytössä on ollut useita laskentamenetelmiä, jotka tuottavat keskenään jonkin verran eriäviä tuloksia. Julkisivuäänieristävyden laskentaa pyritään nyt yhtenäistämään käyttäen uutta Ympäristöministeriön laatimaa mitoitushjettä.

2 TAVOITTEET JA VAATIMUKSET

2.1 Rakennuksen sisäpuolinen melu

Rakentamismääräyskokoelman osassa C1 [1] esitetty ns. olennainen vaatimus ottaa selvästi kantaa pyrkimyksessä parempiin ääniolosuhteisiin rakennuksissa: ”... rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että melu jolle rakennuksessa tai sen lähellä olevat altistuvat, pysyy niin alhaisena ettei se vaaranna terveyttä ja että se antaa mahdollisuuden nukkua, levätä ja työskennellä riittävän hyvissä olosuhteissa.”

Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjearvoista [2] ja STM:n Asumisterveysohjeessa [3] esitetään yleisesti hyväksytyt ohjearvot sisätiloissa päivä- ja yöaikaan vallitseville melutasoille, mm.

$$\begin{array}{ll} L_{Aeq,7-22} \leq 35 \text{ dB}; L_{Aeq,22-7} \leq 30 \text{ dB} & \text{asuin-, potilas- ja majoitushuoneissa;} \\ L_{Aeq,7-22} \leq 45 \text{ dB} & \text{toimistohuoneissa} \end{array}$$

2.2 Kaavassa esitetyt vaatimukset

Rakennusten ulkovaipan äänieristysvaatimus annetaan useimmiten kaavamerkintänä. Asema-kaavoissa käytettävistä merkinnöistä [4] kaksi kohdistuu rakennuksen julkisivuäänieristykseen: merkintä 131 (ikkunaton ulkoseinä) ja merkintä 132 (julkisivun ääneneristävyyden liikennemelua vastaan): ”Merkintä osoittaa rakennusalan sivun, jonka puoleisten rakennuksen ulkoseinien sekä ikkunoiden ja muiden rakenteiden ääneneristävyyden liikennemelua vastaan on oltava vähintään 00 dBA.”

Kaavan merkinnässä 132 ääneneristävyydellä tarkoitetaan ulkomelutason ja vaadittavan sisämelutason erotusta:

$$\Delta L = L_{Aeq,u} - L_{Aeq,s} \quad (1)$$

Ulkomelutaso tarkoittaa laskettua tai mitattua liikennemelun keskiäänitasoa L_{Aeq} seinän ulkopinnan tasossa ilman seinän heijastusvaikutusta. Sisämelutaso on liikenteen sisällä aiheuttaman melun keskiäänitason ohjearvo $L_{Aeq,s}$, joka siis on kaavoituksessa vaadittavan julkisivuäänieristyksen mitoituksen lähtökohtana.

Mitoitus tehdään useimmiten päivätasojen, päivän ohjearvon $L_{Aeq,s,7-22}$, ja päivällä esiintyvän ulkomelun perusteella, koska päivämelu on yleensä mitoituksellisesti määräävä. On myös esiintynyt mainintoja, että mitoituksessa voitaisiin joissakin tapauksissa perustaa muuhunkin sisämelun äänitasoon, kuten enimmäisäänitasoon L_{AFmax} . Tämä ei kuitenkaan ole tällä hetkellä mahdollista, koska enimmäistasoille ei ole ohjearvoja.

3 MITOITUKSEEN KÄYTETTÄVÄT LASKENTAMENETELMÄT

3.1 Ilmaäänieristävyyden laskenta

Julkisivun äänieristyksen mitoituksessa lähtee liikkeelle rakenteen ilmaäänieristävyyden laskennasta. Kaavassa esitettyä tasoerotusta ei voida suoraan käyttää rakenteiden mitoituksessa, koska sisä- ja ulkomelutason väliseen erotukseen vaikuttavia tekijöitä ovat paitsi julkisivurakenteen ilmaäänieristävyys, myös useat rakenteen akustiseen ympäristöön vaikuttavat tekijät. Näitä ovat mm. julkisivun pinta-ala, huonetilan absorptioala, ulkomelun taajuusjakauma, melun tulo- ja ulko- ja sisäpuolisiin äänikenttiin liittyvät epäideaalisuudet.

Ilmaäänieristävyyden yleisin tasoyhtälö on

$$R = L_u - L_s + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (2)$$

jossa L_u ja L_s ovat rakenteen eri puolilla diffuusissa kentässä vallitsevat keskiäänitasot, S on rakenteen pinta-ala ja A on vastaanottohuoneen absorptioala.

Koska diffuusien kentän oletus ei täyty julkisivun ulkopuolella, yhtälö ei päde sellaisenaan julkisivun äänieristykselle. Julkisivun äänieristyksen tapauksessa yhtälö muuttuu ulkopuolella vallitsevasta äänikentästä riippuen esimerkiksi muotoihin

$$R'_{tr} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{2S}{A} \quad (3)$$

$$R'_f = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{4S}{A} \cos f \quad (4)$$

Edellinen pätee satunnaisesta suunnasta tulevalle melulle (liikennelähde) ja jälkimmäinen yhdestä suunnasta tulevalle ääniaallolle (yksittäinen lähde). Molemmissa L_1 on vain tulevan, seinään kohdistuvan ääniaallon taso.

Ulkopuolinen äänikenttä voi vaikuttaa merkittävästikin rakenteella saavutettavaan tasoerotukseen. Diffuusissa kentässä (mm. ilmaäänieristävyiden laboratoriomittaukset), diffuusissa muistuttavassa kentässä (liikenteen melulla) ja yhdellä tasoalla (kaiuttimella) tehdyissä mittauksissa voidaan saada useiden desibelien keskinäisiä eroja. Erot johtuvat osaltaan myös koinsidenssi-ilmiön vaihteluista äänen eri tulosuunnilla.

3.2 Rakennekokonaisuuden eristävyiden laskenta

Julkisivuäänieristykseen mitoitukseen annetaan ohjeita Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 [6]: ”*Ulkovaipan ääneneristys suunnitellaan kokonaisuutena ottaen huomioon kaikki ääneneristykseen vaikuttavat rakennusosat kuten esimerkiksi seinät, ikkunat ja ilmanvaihdon ulko- ja jäteilmalaitteet. Kokonaisuuden on täytettävä asetettu ääneneristysvaatimus.*” Kaavamääräyksellä rakennuksen julkisivulle tai vaipalle annetulla vaatimuksella tarkoitetaan rakennekokonaisuudella saavutettavaa A-äänitasoerotusta. Vaatimus ei siten koske yksittäistä ikkunaa tai rakenneosaa [7].

Julkisivun ilmaäänieristävyys lasketaan yksittäisten rakennusosien ilmaäänieristävyyksistä (ilmaäänieristävyys R [8] tai yksikköeristävyys D_{ne} [9]). Rakennusosien tulevan CE-merkinnän myötä mm. ikkunoille ilmoitetaan myös tuotteen äänieristysarvot. Nämä perustuvat laboratoriossa mitattuun ilmaäänieristyslukuun R_w tai yksikköäänieristyslukuun D_{new} , joka on painotettu tieliikennemelun spektrisovitustermillä C_{tr} [10].

Julkisivuäänieristävyiden mitoituksessa on ollut käytössä useita eri laskentamenetelmiä (ns. Halmeen menetelmä [11], VTT:n menetelmä [12], ruotsalainen standardi [13] ja saksalainen standardi [14]), jotka tuottavat keskenään jonkin verran erilaisia tuloksia. Menetelmien keskinäiset erot liittyvät mitoituksen reunaehtojen ja varmuusvarojen tulkintaan. Tietyillä huone- ja julkisivugeometrioilla laskentamenetelmät tuottavat jopa yli 6 dB eroja julkisivun yksittäisille rakenneosille (esim. ikkunalle) lasketuissa eristävyysvaatimuksissa.

Julkisivuäänieristykseen laskentaan on julkaistu myös eurooppalainen standardi EN 12354-3 [15], jossa laskenta tehdään tyypillisesti käyttäen lähtötietoina yksittäisten rakenneosien varsinaisia terssikaistoittain mitattuja äänieristävyksiä R . EN-standardi soveltuu tarkkuutensa johdosta asiantuntija-arvioiden tekoon, mutta valitettavasti ei suoraan julkisivujen mitoitukseen. Standardin mukaisesti laskettuihin tuloksiin on käytännön mitoitusta varten syytä lisätä riittävät varmuusvarat, sillä standardissa ei ole esitetty menetelmän tarkkuutta.

3.3 Ympäristöministeriön mitoitushje

Ympäristöministeriössä on valmisteilla VTT:n valmisteleva menetelmä julkisivuäänieristävyiden arviointiin [7]. Menetelmä pohjautuu standardiin EN12354-3, mutta lähtee käänteisesti liikkeelle mitoituksen lähtökohdista [16] ja huomioi myös käytännön mitoitukseen tarvittavat varmuusvarat.

Menetelmässä on esitetty rakennuksen ulkovaipan tai julkisivun äänieristävyuden kaavamääräyksen muodostaminen sekä ulkovaipan rakenteiden ja rakennusosien äänieristävyuden yksinkertainen mitoitusmenetelmä lähtien äänieristykseen kaavamääräyksestä. Menetelmä on tarkoitettu kaavoittajien, rakennuslupaviranomaisten, rakentajien ja suunnittelijoiden tarpeisiin [17]. Mitoitusmenetelmän pääkohdat on esitelty alla.

3.3.1 Julkisivua koskeva äänieristävyysvaatimus

Rakennuksen ulkovaipan yhteisäänieristävyuden $R_{A,tr, vaippa}$ tulee olla

$$R_{A,tr,vaippa} \geq R_{A,tr,vaatimus} = \Delta L + 7 + K_1 \quad (5)$$

jossa $R_{A,tr,vaatimus}$ on äänitasoerotuksen ja absorptioon perusteella ulkovaipan yhteisäänieristykseen asetettu vaatimus varmuusvaroineen, ΔL on asemakaavamerkinnän mukainen ulkomelutason ja sallittavan sisämelutason erotus, 7 dB on varmuusvara ja K_1 on ulkoseinän ja huoneen lattiapinta-alan suhteesta riippuva korjaustermi.

Esitetty 7 dB varmuusvara koostuu kahdesta osasta: 3 dB ulkomelun diffuusin kentän korjauksesta ja 4 dB käytännön kohteisiin asennetuille rakenneosille annetusta heikennyksestä (tiivistysten laatu, rakenteiden ikääntyminen ym.). Korjaustermi K_1 on taulukoitu, mutta määrittyy periaatteessa samoin kuin ilmaäänieristävyuden perusyhtälössä 2.

3.3.2 Rakennusosien mitoitus

Mitoitusmenetelmässä käytetään vaipan rakenteille ja rakennusosille vain äänieristyslukuja $R_w + C_{tr}$ ja $D_{new} + C_{tr}$, jotka on saatu tieliikennemelun spektrisovitustermin (100–3150 Hz) avulla. Menetelmä ei sellaisenaan salli muiden äänieristysarvojen käyttöä.

Ulkoseinän pääasiallisen rakenteellisen osan (mukaanlukien mahdolliset kattorakenteet) tulee täyttää vaipparakenteelle asetettu äänieristykseen vaatimus lisättyinä 3 desibelillä:

$$R_{A,tr,seinä} \geq R_{A,tr,vaatimus} + 3 \quad (6)$$

Ikkunoina ja ovina käytetään tuotteita, joiden äänieristävyys täyttää ehdon

$$R_{A,tr,i} \geq R_{A,tr,vaatimus} + K_2 \quad (7)$$

jossa $R_{A,tr,i}$ on yksittäiseltä rakennusosalta laboratoriomittauksella saatu äänieristysluku $R_{A,tr}$, ja K_2 on ulkoseinässä olevien rakennusosien kokonaispinta-alan ΣS_i ja ulkovaipan pinta-alan S suhteesta riippuva korjaustermi (taulukoitu).

Pienet rakennusosat valitaan siten, että niiden yksikköäänieristysluku $D_{n,e,A,tr}$ täyttää ehdon

$$R_{n,e,A,tr,i} \geq R_{A,tr,vaatimus} + 5 \quad (8)$$

jossa $R_{n,e,A,tr,i}$ on kyseiseltä rakennusosalta vaadittava laboratoriossa mitattu äänieristysluku.

4 MITTAUSMENETELMÄT

Julkisivurakenteiden äänieristävyys voidaan mitata standardin ISO 140-5 mukaan [18]. Julkisivuäänieristykseen mittaukset ovat ilmaäänieristysmittausten erikoistapaus, jossa äänilähde on

puolivapaassa kentässä rakennuksen ulkopuolella. Äänilähteenä on mahdollista käyttää tavanomaisen kaiutintratkaisun sijaan myös rakennuksen ulkopuolella esiintyvää raide-, lento- tai tie-liikennemelua. Julkisivuääniieristysten mittaukset ovat aina kenttämittauksia.

Standardissa ISO 140-5 esitetään edellä mainittuja äänilähteitä käyttävät menetelmät sekä julkisivun ilmaäänieristysten mittaamiseen kokonaisuutena (yleismenetelmä) että yksittäisten rakenneosien mittaamiseen erikseen (elementtimenetelmä).

Yleismenetelmässä rakennuksen ulkopuoliset mikrofonipisteet sijoitetaan 2 metrin etäisyydelle mitattavasta julkisivusta. Standardissa esitetään yleismenetelmällä laskettaviksi tuloksiksi vain tasoerotuksia D' , joten menetelmällä saadut tulokset eivät ole vertailukelpoisia kokonaisrakenteen laskennallisen tai laboratoriossa mitatun äänieristävyuden R_w kanssa. Menetelmä on pienillä taajuuksilla epätarkka interferenssistä aiheutuvista systemaattisista virheistä johtuen.

Elementtimenetelmällä mitatuista tuloksista voidaan esittää äänieristävyysarvoja R' yksittäisille mitatuille rakenneosille. Menetelmässä ulkopuoliset mikrofonipisteet sijoitetaan noin 3–10 mm etäisyydelle mitattavan rakenneosan pinnasta. Mittaus toistetaan useissa pisteissä rakenteen pinnassa.

Kaiutinta äänilähteenä käyttävissä menetelmissä voimakasta kohinaherätettä tuottava äänilähde sijoitetaan julkisivun normaalin suuntaiselle linjalle 45° kulmassa alaviistoon julkisivuun nähden. Äänilähde suunnataan osoittamaan mitattavan rakenteen keskiosaa, jolloin se kohdistaa rakenteeseen likimain yhden tasoallon.

Taulukko 1. Yleis- ja elementtimenetelmällä saatavat tasoerotukset ja eristävyudet.

menetelmä	yleismenetelmä	elementtimenetelmä
liikennemeluberäte	$D'_{ir,2m} = L_{1,2m} - L_2$	$R'_{ir,s} = L_{1,s} - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} - 3$
kaiutinheräte	$D'_{is,2m} = L_{1,2m} - L_2$	$R'_{45^\circ} = L_{1,s} - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} - 1,5$

Mittauksen luotettavuuden varmistamiseksi melulähteen tulisi kyetä tuottamaan huonetilaan kaikilla mittauskaisoilla äänipainetasoja, jotka ovat laboratoriomittauksissa 15 dB ja kenttämittauksissa 10 dB tilan taustamelun tasoa suurempia.

Liikennemelua herätteenä käytävillä menetelmillä taustamelutason mittaaminen ja tulosten taustamelukorjaus ei kuitenkaan yleensä ole mahdollista, koska melulähdettä ei voi sammuttaa taustamelumittausten ajaksi. Tämä lisää mittausepävarmuutta ja rajoittaa mitattavissa olevaa eristävyttä tapauksissa, joissa rakenteeseen kohdistuva liikennemelu ei ole kovin voimakasta, rakenne tuottaa hyvän eristävyuden tai rakennuksen sisäpuolella on havaittavissa määrin muita lähteistä aiheutuvaa taustamelua.

5 YHTEENVETO

Julkisivuääniieristysten laskennallista mitoitusta pyritään yhtenäistämään uudella Ympäristöministeriön mitoitushjeella. Menetelmä on periaatteessa yhteensopiva standardin EN 12354-3 kanssa, mutta huomioi myös käytännön rakenteiden eristävyudessa esiintyvät toleranssit.

Uusi mitoitusohje pyrkii tiukentamaan rakenneosille kuten ikkunoille, parvekeoville ja venttiileille asetettavia eristävyysvaatimuksia. Tämä voi tietyissä tapauksissa nostaa melualueille rakentamisen kustannuksia merkittävästi.

Valmistuneen julkisivun äänieristys voidaan tarkistaa standardimittauksin. Mittaukset tehdään käytännössä yleismenetelmällä, jolla saadaan selville koko rakennekokonaisuuden eristävyys, mutta ei tietoa yksittäisten rakenneosien kuten ikkunoiden tai ovien eristävyyksistä. Mittaustulosten ja mitoituksen vertailu vaatii edelleen asiantuntemusta, sillä mittausten menetelmä ei tuota kaavavaatimuksen kanssa yhteneväistä tulosta, vaan rakenteen tehollisen eristävyuden R tai tasoerotuksen D , joka riippuu mm. meluherätteen spektristä ja suuntaavuudesta.

LÄHTEET

1. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Osa C1. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet 1998.
2. Valtioneuvoston päätös melutason ohjeista (993/1992).
3. Asumisterveysohje. Sosiaaliministeriön oppaita 2002.
4. Asetus maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa kaavoissa käytettävistä merkinnöistä (342/2000). Ympäristöministeriö.
5. HALME A, Ulkoa tulevan melun ja värinän eristäminen. Hiljainen talo –seminaari. Ääneneristys ja -vaimennus sekä meluntorjunta. Rakennustieto Oy 22.3.2001.
6. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2003.
7. Ulkomelun torjunta. Opas ääneneristävyyden kaavamääräysten antamiseksi ja ulkovaipan ääneneristävyyden mitoittamiseksi. (Valmisteilla oleva ehdotus YM oppaaksi julkisivun ilmajärjestävyyden arviointiin.) VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, tammikuu 2003.
8. ISO 140-3:1995. Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements.
9. ISO 140-10:1991. Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements Part 10: Laboratory measurement of airborne sound insulation of small building elements.
10. ISO 717-1:1996. Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements Part 1: Airborne sound insulation.
11. HALME A, Rakennus- ja huoneakustiikka, meluntorjunta. Otakustantamo 378, Espoo 1977.
12. PARMANEN J, SAARINEN A, Ulkoseinän ääneneristävyys kaavoituksessa. Ohje ääneneristävyyden mitoittamiseksi. Tutkimusraportti ja ohje. VTT Rakennustekniikka 1996 (Ympäristöministeriö 1996).
13. SS 025267 Byggakustik — Ljudklassning av utrymmen i byggnader — Bostäder.
14. DIN 4109 Schallschutz im Hochbau. Anforderungen und Nachweise. 1989.
15. EN 12354-3:1997. Building Acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound.
16. Julkisivun ääneneristävyyden mitoitus/Lähtökohta ja perusteet mitoitukselle. VTT:n selvitys.
17. SAARINEN A, Rakennuksen ilmajärjestävyys. Ympäristömelun torjunta ja rakennuksen äänitekniikka, AEL-seminaari 5.-6.5.2003.
18. 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.