

Rakennuksen ulkovaipan ääneneristykseen suunnittelu

Mikko Kylliäinen, tekniikan lisensiaatti
Vanhempi konsultti, Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy
mikko.kylliainen@helimaki.fi

Melualueille rakennettaessa merkittävä asumismukavuutta ja -terveyttä heikentävä tekijä on liikennemelun siirtyminen rakennuksen ulkovaipan kautta sisälle asuinhuoneeseen. Haitallisten terveysvaikutustensa vuoksi liikennemelu ei saa olla liian voimakasta myöskään potilas- ja majoitustiloissa. Opetus-, kokoontumis- ja toimistotiloissa melu haittaa tilojen tarkoituksenmukaista käyttöä. Meluhaittojen ehkäisemiseksi valtioneuvosto on antanut päätöksen melutason ohjearvoista erilaisten rakennusten sisätiloissa [1].

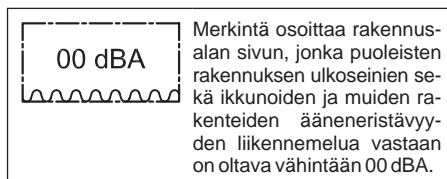
Liikenteen aiheuttama melutaso riippuu rakennuspaikasta. Rakennuksen ulkovaippaan kohdistuvaan melutasoon vaikuttavat liikennemäärä ja nopeusrajoitus, etäisyys liikenneväylään, melusteet, maastonmuodot ja maaperän kyky vaimentaa ääntä. Ulkovaipan rakennusosilta vaadittava ääneneristyskyky määräytyy siten rakennuksen sijainnin perusteella, joten yleistä vaatimusta rakennusten ääneneristävyydelle liikennemelua vastaan ei ole mahdollista määrätä. Sen sijaan rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskevat vaatimukset annetaan asemakaavassa kaavamääräyksinä.

Melualueille rakennettaessa ulkovaipan ääneneristävyyden toteutumista valvotaan tavallisesti suunnitelmien perusteella. Yleensä rakennuslupavaiheessa on esitettävä laskennallinen selvitys siitä, että rakennuksen ulkovaippa täyttää asemakaavassa esitetyn vaatimuksen. Rakennuksen sisätilaan muodostuva melutaso riippuu rakennuksen ulkovaipan kaikkien rakennusosien, kuten ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden, ikkunoiden ja ikkunaovien sekä korvausilmaventtiilien kyvystä eristää ääntä. Ulkovaipan ääneneristyskyvyn osoittamiseksi on tunnettava rakennusosien ominaisuuksien lisäksi ilmiöt, joiden mukaisesti melu käyttäytyy pyrkiessään ulkovaipan kautta sisätilaan sekä tiedettävä, miten kaavamääräys muodostuu.

Asemakaavamääräyksen muodostuminen

Asemakaavassa osoitetaan kaavamerkinnällä rakennusalan sivu, jolle on annettu rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskeva kaavamääräys (kuva 1). Ympäristöministeriön asemakaavamerkintäoppaan [2] mukaan kaavamääräyksen sanamuoto on: ”Merkintä osoittaa rakennusalan sivun, jonka puoleisen rakennuksen ulkoseinän sekä ikkunoiden ja muiden rakenteiden ääneneristävyyden liikennemelua vastaan on oltava vähintään XX dBA.” Kaavamääräyksessä myös määritellään, koskeeko vaatimus tie-, raide- vai lentoliikennemelua. Lentomelua koskeva asemakaavamääräys voidaan esittää myös seuraavasti: ”Kaava-alueelle sijoitettavan rakennuksen kattorakenteiden, ulkoseinien, ikkunoiden sekä muiden rakenteiden tulee olla sellaisia, että ulko- ja sisämelutasojen erotus on vähintään XX dBA.”

Ulkovaipan ääneneristystä koskevan kaavamääräyksen perustana ovat valtioneuvoston päätöksessä 993/1992 [1] annetut melutason ohjearvot eri tiloille (taulukko 1). Ohjearvot on määritelty suurimpina sallittuina A-painotettuina keskiäänitasoina päiväajalle (klo 7–22) ja yöajalle (klo 22–7). Kaikki akustiset ilmiöt ovat äänen taajuudesta riippuvia, niin myös ihmisen kuulon herkkyyden. A-painotuksella (kuva 2) otetaan huomioon se, että ihmisen kuulo aistii herkimmin ääniä, joiden taajuus on muutamia tuhansia hertsejä, mutta kuulon herkkyyden pieneneä äänen taajuuden ollessa pienempi tai suurempi.



Kuva 1. Rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskevan kaavamääräyksen merkintä asemakaavaan ympäristöministeriön asemakaavamerkintäoppaan mukaan [2].

Äänenpainetaso L_p [dB] on fysikaalinen suure, joka kuvaa äänen voimakkuutta tietyllä taajuudella. Äänenpainetasoon ei sisälly ihmisen kokemusta äänen voimakkuudesta eri taajuuksilla. Kuuloaistin herkkyys otetaan huomioon lisäämällä äänenpainetasoon L_p kuvan 2 mukainen A-painotuksen arvo kyseisellä taajuudella. Jos äänenpainetaso on esimerkiksi 250 Hz taajuudella $L_{p,250\text{ Hz}} = 70$ dB, A-painotettu äänenpainetaso $L_{p,A,250\text{ Hz}}$ on tällöin $70\text{ dB} - 8,6\text{ dB} = 61,4\text{ dB}$. Tarkka tapa äänen taajuusjakauman eli äänispektrin esittämiseen on kuvan 2 kaltainen käyrä, mutta käytännön suunnittelutyössä käyrien käyttäminen olisi hankalaa. Siksi eri keski- ja taajuuksilla vallitsevat A-painotetut äänenpainetasot $L_{p,A,i}$ lasketaan logaritmisesti yhteen. Tulos voidaan tällöin ilmoittaa yhdellä luvulla eli äänitasona L_A :

$$L_A = 10 \log_{10} \sum 10^{L_{p,A,i}/10} \quad (1)$$

Monet ääni-ilmiöt, kuten liikennemelu, ovat taajuuden lisäksi riippuvaisia myös ajasta. Keskiäänitaso $L_{A,eq}$ on jatkuva äänitaso, jonka arvo on yhtä suuri kuin tietyllä aikavälillä T vaihtelevan äänitason aikapainotettu keskiarvo:

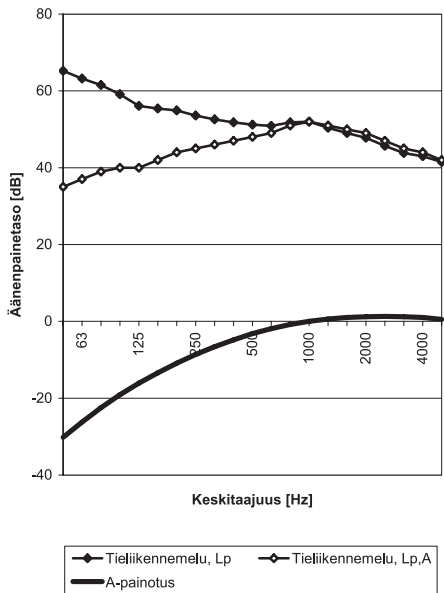
$$L_{A,eq,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum T_i \cdot 10^{L_{A,i}/10} \right) \quad (2)$$

Jos äänitaso huoneessa on 2 minuutin ajan 50 dB ja 58 minuutin ajan 20 dB, keskiäänitaso $L_{A,eq,1h}$ tunnin ajalta on tällöin 35 dB. Valtioneuvoston päätöksen mukaisten ohjearvojen saavuttaminen ei siten tarkoita sitä, että liikennemelu ei lainkaan kuuluisi rakennuksen sisätilaan.

Ulkovaipan ääneneristystä koskeva kaavamääräys voidaan määrittellä, kun tiedetään, millaisen keskiäänitason alueen liikenneväylät tai lentoliikenne aiheuttavat päivällä ja yöllä tulevan rakennuksen julkisivun kohdalla eri korkeuksilla maanpinnasta. Liikenteen aiheuttama

Taulukko 1. Valtioneuvoston päätöksen 993/1992 mukaiset melutason ohjearvot erilaisten rakennusten sisätiloissa.

Tila	Päiväohjearvo $L_{A,eq,07-22}$	Yöohjearvo $L_{A,eq,22-07}$
Asuinhuoneet	35 dB	30 dB
Potilashuoneet	35 dB	30 dB
Majoitus huoneet	35 dB	30 dB
Opetustilat	35 dB	–
Kokoontumistilat	35 dB	–
Liikehuoneet	45 dB	–
Toimistuhuoneet	45 dB	–



Kuva 2. Tieliikennemelun taajuusjakauma painottamattomana äänenpainetasona ($L_p = 65$ dB) ja A-painotettuina äänenpainetasoina ($L_A = 60$ dB).

keskiäänitaso ulkona $L_{A,eq,u}$ voidaan selvittää mittauksin, mutta tavallisesti se määritetään mallintamalla melun leviäminen kolmiulotteisessa maastomallissa liikennemäärien ja ajoneuvojen perusteella pohjoismaisilla laskentamenetelmillä. Mallintamisen etuna mittauksiin verrattuna on se, että tuloksena saadaan melukartta, josta voidaan lukea vallitseva äänitaso missä tahansa alueen kohdassa. Mittaus sitä vastoin tuottaa tietoa äänitasosta vain yhdessä pisteessä.

Kaavamääräys annetaan suurimman rakennuksen ulkovaipan kohdalla vallitsevan keskiäänitason $L_{A,eq,u}$ ja sisällä valtioneuvoston päätöksen mukaan sallittavan keskiäänitason $L_{A,eq,s}$ erotuksena. Kaavamääräyksen selvittämiseksi on tunnettava ulkona vallitsevat päivä- ja yöajan keskiäänitasot. Asemakaavassa rakennuksen ulkokuoren ääneneristystä koskeva kaavamääräys eli vaadittava äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$ [dB] on suurempi näistä kahdesta erotuksesta:

$$\Delta L_{A,vaad} = \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} L_{A,eq,07-22,u} - L_{A,eq,07-22,s} \\ L_{A,eq,22-07,u} - L_{A,eq,22-07,s} \end{array} \right. \quad (3)$$

Ulkona vallitseva äänitaso $L_{A,eq,u}$ tarkoittaa rakennuksen julkisivun tasossa vallitsevaa äänitasoa, johon ei sisälly julkisivusta tulevaa hei-

jastusta. Heijastus korottaa äänitasoa julkisivun pinnalla 3 dB. Koska heijastunut ääni on kulke- massa rakennuksesta pois päin, se ei vaikuta ra- kennuksen sisätiloihin muodostuvaan keski- äänitasoon. Jos melukartassa rakennuksen ulko- vaipan kohdalla keskiäänitaso on päivällä 68 dB, kaavamääräyksen äänitasoerovaatimukseksi $\Delta L_{A,vaad}$ tulee tällöin $68 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 35 \text{ dB} = 30 \text{ dB}$.

Tavallisesti kaavamääräysten äänitasoerot $\Delta L_{A,vaad}$ ovat 28 dB ja 40 dB välillä. Kaavamää- räystä ei yleensä erikseen anneta, jos ulkovaipan kohdalla vallitsevan ja sisällä sallittavan ääni- tason ero on vähemmän kuin 28 dB. Jos vaadi- tava äänitasoero olisi yli 40 dB, asuin-, potilas- ja majoitusuoneiden sekä opetus- ja kokoontu- mistilojen toteutus olisi erittäin vaikeaa, koska ikkunoilta vaadittava ääneneristyskyky tulisi niin suureksi, että vaatimuksen täyttävät ikkunat oli- si suunniteltava ja teetettävä erikoisratkaisuin.

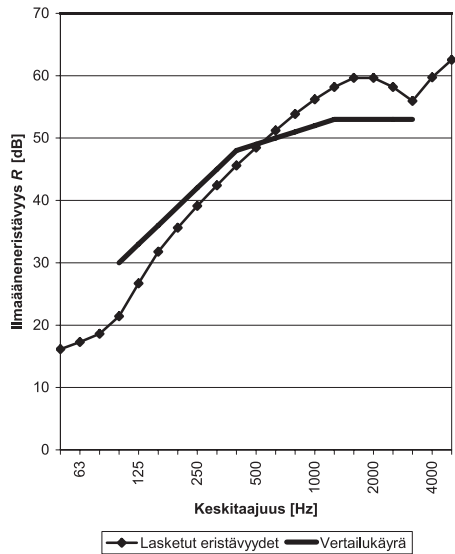
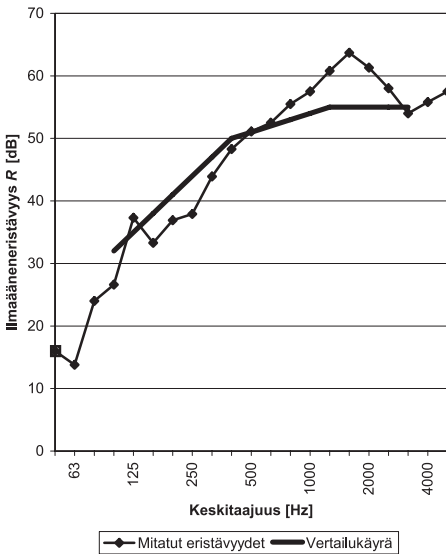
Rakennusosan ilmasteneristysluku liikennemelua vastaan

Ulkoseinärakenteiden, ikkunoiden ja ikkuna- ovien ääneneristyskyky ilmoitetaan ilmastener- istyslukuina tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$

tai raide- ja lentomelua vastaan $R_w + C$. Ulkovaip- an ääneneristyksen suunnittelussa lähtötietoi- na tarvittavat ilmasteneristysluvut määritetään laboratoriomittausten perusteella tai laskennalli- sesti. Yksilukuiset ilmasteneristysluvut ovat käytännön suunnittelutyötä varten tehtyjä yksin- kertaistuksia ilmasteneristävyydestä R [dB], joka riippuu taajuudesta (kuva 3). Ilmastener- istävyys mitataan tai lasketaan kolmannesok- taavikaistoittain taajuusalueella 100–3150 Hz.

Rakennusosan ilmasteneristävyys riippuu monesta tekijästä, kuten rakennekerrosten mas- sasta ja jäykkyydestä, rakennekerrosten välissä olevan ilmavälin paksuudesta ja sen täytöstä huokoisella materiaalilla, kuten lämmöneriste- mineraalivillalla. Rakenteiden ilmasteneristä- vyyteen vaikuttavista tekijöistä on kerrottu tar- kemmin lähteessä [3].

Ainoa tarkka tapa esittää rakennusosan käyt- täytyminen ilmasteneristävyys suhteen on kuvassa 3 esitetty käyrä. Vaatimusten tai suun- nitteluarvojen esittäminen käyrinä olisi kuiten- kin epäkäytännöllistä, joten yleensä tyydytään ilmoittamaan mittaus- tai laskentatuloks yksilu- kuksena arvona. Se saadaan taajuuskaistoittain määritetyistä ilmasteneristävyyksistä vertai- lukäyrämenettelyllä (kuva 3). Ilmasteneristä- vyydet ovat fyysikaalisia suureita, mutta vertailu- käyrän muoto perustuu kuuloaistin herkkyyteen



Kuva 3. Levyrakenteisen ulkoseinärakenteen mitatut ilmasteneristävyys R [dB] (vasemmalla) ja lasketut ilmasteneristävyys R_{lask} (oikealla). Tutkittu rakenne on ulkoseinä, jossa on kipsilevy TS 9 mm, joustava peltiranka 175 mm k600 (rankojen väli täytetty mineraalivillalla) ja sisäverhouk- selvy N 13 mm. Sekä mittaus- että laskentatuloksista saadaan ilmasteneristyslukuksi tieliikenne- melua vastaan $R_w + C_{tr} = 43 \text{ dB}$.

ja puheen taajuusjakaumaan. Alkujaan vertailukäyrä on määritetty kokeellisesti niin, että se esittää ilmaääneneristävyyden, jota yleisesti pidetään hyvänä. Ilmaääneneristysluku R_w saadaan selville siten, että vertailukäyrää liikuteaan samassa koordinaatistossa mittaustulosten kanssa 1 dB askelin samanmuotoisena ylös ja alas. Kun vertailukäyrän ja sen alapuolelle jäävien mittaustulosten erotusten summa on yhteensä 32 dB, ilmaääneneristysluku R_w luetaan vertailukäyrältä 500 Hz kohdalta. Ilmaääneneristävyyden mittausmenetelmä sekä ilmaääneneristysluvun laskenta on esitetty tarkemmin lähteissä [4, 5 ja 6].

Ilmaääneneristysluvun R_w avulla voidaan rakennusosien ääneneristyskykyä puhetta vastaan. Tielikenne-, raide- ja lentomelun äänispektrit poikkeavat merkittävästi puheesta, joten ilmaääneneristysluku ei kuvaa rakennusosien ääneneristyskykyä niitä vastaan kovinkaan hyvin. Siksi standardissa ISO 717-1 [6] on esitetty ns. spektripainotusermit, joiden avulla ilmaääneneristysluku R_w korjataan vastaamaan paremmin ihmisen kokemaa eristävyyttä eri liikennemelulajeja vastaan. Spektripainotusermin laskemiseksi valitaan taulukosta 2 tieliikennemelun tai raide- ja lentomelun äänispektri. Spektripainotusermi tiettyä liikennemelulajia j vastaan on

$$C_j = -10 \log_{10} \sum 10^{(L_u - R_i)/10} - R_w \quad (4)$$

Taulukko 2. Spektripainotusermin laskennassa tarvittavat tieliikenne- sekä raide- tai lentomelun äänispektrit L_u kolmannesoktaavikaistoittain [6].

Keskitaajuus	Tielikennemelu (Ctr)	Raide- ja lentomelu (C)
100 Hz	-20	-29
125 Hz	-20	-26
160 Hz	-18	-23
200 Hz	-16	-21
250 Hz	-15	-19
315 Hz	-14	-17
400 Hz	-13	-15
500 Hz	-12	-13
630 Hz	-11	-12
800 Hz	-9	-11
1000 Hz	-8	-10
1250 Hz	-9	-9
1600 Hz	-10	-9
2000 Hz	-11	-9
2500 Hz	-13	-9
3150 Hz	-15	-9

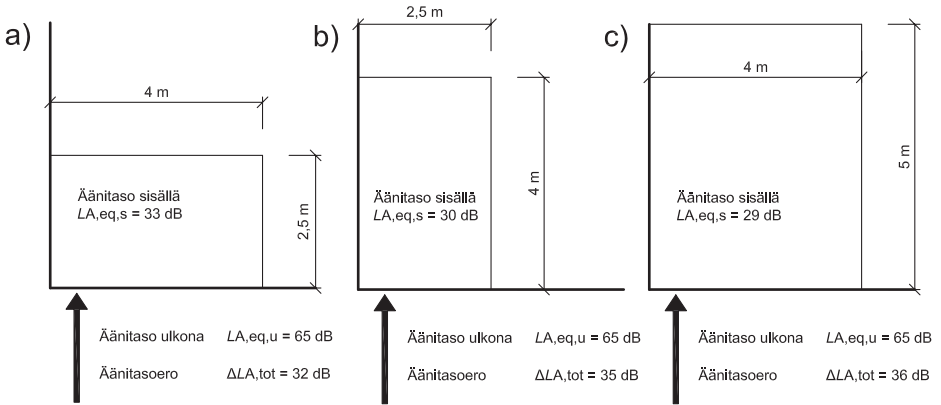
Kaavassa i viittaa kolmannesoktaavikaistan keskitaajuuteen (taulukko 2). Ilmaääneneristysluvat tieliikennemelua tai raide- ja lentomelua vastaan ilmoitetaan ilmaääneneristysluvun R_w ja spektripainotusermin summana. Ilmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan $R_w + C$ on tyypillisesti 0...5 dB pienempi kuin ilmaääneneristysluku R_w . Ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ on tavallisesti 1...10 dB pienempi kuin ilmaääneneristysluku R_w . Erot johtuvat siitä, että liikennemelun painottuu puhetta enemmän pienille taajuuksille, joilla rakenteiden ääneneristyskyky on aina heikompi kuin suurilla taajuuksilla.

Ulkovaipan ääneneristävyyden suunnittelumenetelmät

Ulkovaipan ääneneristävyyden muodostuminen

Äänitasoerona $\Delta L_{A,vaad}$ annettava kaavamääräyksen vaatimus rakennuksen ulkovaipan ääneneristyksestä ei ole sama kuin rakennusosan ääneneristyskyky, joka ilmoitetaan ilmaääneneristyslukuna $R_w + C$ tai $R_w + C_{tr}$. Kaavamääräyksen perustana ovat valtioneuvoston päätöksessä määritellyt suurimmat sallitut keskiäänitasot erilaisissa tiloissa. Rakennuksen sisätilaan muodostuva keskiäänitaso $L_{A,eq,s}$ riippuu paitsi kaikkien tilaa rajaavan ulkovaipan rakennusosien ääneneristyskyvystä, myös näiden rakennusosien pinta-aloista sekä äänen vaimenemisesta huonetilassa.

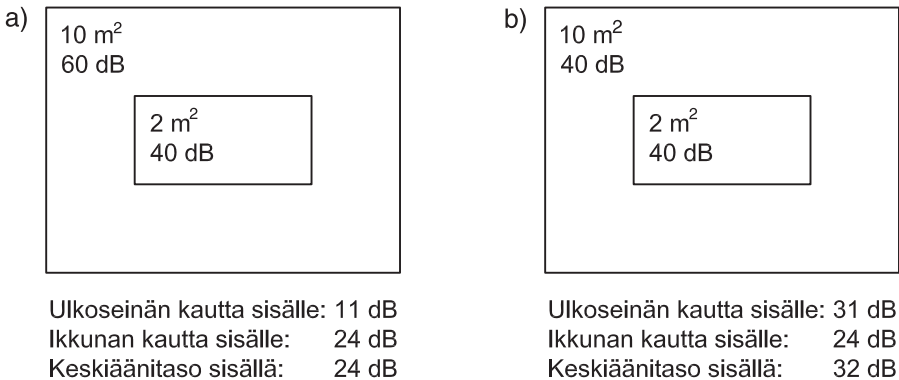
Rakennusosaa välittävä ulkoa sisään sitä enemmän ääntä, mitä suurempi sen pinta-ala on. Toisaalta pienessä huoneessa ääni vaimenee vähemmän kuin suuressa huoneessa. Kuvassa 4 on esimerkki rakennuksen päädyssä sijaitsevista erikokoisista ja erimuotoisista huoneista, joiden huonekorkeus on 2,5 m. Huoneiden ulkovaippa päädyssä muodostuu pelkästään ulkoseinära-kenteesta, jonka ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ on 40 dB. Päätyseinään kohdistuvan tieliikennemelun keskiäänitaso $L_{A,eq,u}$ on 65 dB. Tapauksissa a) ja b) huoneen lattiapinta-ala on 10 m², mutta huone sijaitsee eri päin julkisivuun nähden. Koska tapauksessa a) huoneen ulkovaipan pinta-ala on suurempi, huoneeseen muodostuu myös korkeampi keskiäänitaso. Tapauksessa c) ulkovaipan pinta-alan suhde lattiapinta-alaan on pienin, joten myös keskiäänitaso on pienin. Jos kaikkiin huoneisiin haluttaisiin sama keskiäänitaso, esimerkiksi 30 dB, pitäisi huoneessa a) ulkoseinän ilmaääneneristysluvun $R_w + C_{tr}$ olla 42 dB, huoneessa b) 40 dB ja huoneessa c) riittäisi 39 dB.



Kuva 4. Rakennuksen päätyhuoneen ulkovaippaan kohdistuu tieliikennemelu, jonka keskiäänitaso on 65 dB. Erimuotoisissa huoneissa on samanlainen ulkoseinärakenne ($R_w + C_{tr} = 40\text{ dB}$). Koska sisälle muodostuva keskiäänitaso riippuu sekä ääntä välittävän rakenteen pinta-alasta että huoneen koosta, suurin äänitaso syntyy huoneeseen a), jossa ulkovaipan pinta-ala on suurin huoneen lattiapinta-alaan nähden.

Eniten huoneeseen syntyvään keskiäänitasoon $L_{A,eq,s}$ vaikuttaa ulkovaipan rakennusosista se, jonka ilmajääneneristysluku liikennemelua vastaan on heikoin. Kun ikkunan ilmajääneneristysluku $R_w + C_{tr}$ on 40 dB, ikkunaan kohdistuvan tieliikennemelun äänitehosta siirtyy ikkunan kautta sisälle noin 1/10000. Betonisandwich-elementin ilmajääneneristysluku $R_w + C_{tr}$ on noin 60 dB. Tällaisessa ulkoseinärakenteeseen kohdistuneesta äänitehosta siirtyy huoneeseen noin yksi miljoonasosa. Ikkuna välittää pintaansa kohdistunutta ääntä huoneen siis satakertaisen määrän verrattuna ulkoseinärakenteeseen. Tällöin ulkoseinärakenne ei käytännössä juuri vai-

kuta huoneeseen syntyvään keskiäänitasoon $L_{A,eq,s}$ tai saavutettavaan äänitasoeroon $\Delta L_{A,tot}$. Jos ulkoseinärakenteen ja ikkunan ilmajääneneristysluvut ovat samat, ulkoseinärakenne on suuremman pinta-alansa vuoksi määräävin äänen kulkureitti. Kuvan 5 esimerkissä on tarkasteltu huonetta, jonka pinta-ala on 12 m². Julkisivuun kohdistuvan tieliikennemelun keskiäänitaso $L_{A,eq,u}$ on 65 dB. Ikkunan ilmajääneneristysluku on kummassakin huoneessa sama, mutta ulkoseinärakenteen ilmajääneneristysluvun vaihtaminen 60 dB:stä 40 dB:iin johtaa toisessa huoneessa 8 dB korkeampaan äänitasoon.



Kuva 5. Ulkoseinärakenteiden ilmajääneneristysluvut ovat usein niin korkeita, että ulkoseinä ei juuri vaikuta huoneen keskiäänitasoon (a). Ulkoseinästä voi kuitenkin tulla hallitseva äänen kulkureitti, jos sen ääneneristyskyky on alhainen (b).

Edellä olevan perusteella sisälle muodostuva keskiaänitaso on sitä suurempi, mitä pienempi tila on ja mitä suurempi tilaa rajaavan ulkovaipan pinta-ala on tilan kokoon nähden. Lisäksi on otettava huomioon ulkovaipan eri rakennusosien ilmajääneneristysluvat ja osuudet ulkovaipan pinta-alasta. Kaikkien näiden seikkojen tutkiminen tarkasti olisi suunnittelutyötä ajatellen turhan monimutkaista. Siksi ulkovaipan rakennusosien valintaan tarvitaan käytännöllinen suunnittelumenetelmä.

Määräyksiä menetelmästä, jolla ulkovaipan ääneneristystä koskevan kaavamääräyksen toteutuminen pitää osoittaa, ei ole. Vaihtoehtoisia menetelmiä on tällä hetkellä käytössä kaksi, jotka molemmat on selostettu esimerkiksi oppaassa RIL 243-1-2007 [3]. Toinen menetelmä on julkaistu alkujaan ympäristöministeriön ympäristöoppaassa 108 [7]. Menetelmä perustuu taulukkomitoitukseen, jossa kaavamääräyksen äänitasoerosta $\Delta L_{A,vaad}$ johdetaan rakennusosilta vaadittavat ilmajääneneristysluvat tieliikennemelua vastaan. Toinen, ns. äänitasoeromenetelmä perustuu vuonna 1975 julkaistuuun RT-korttiin [8]. Menetelmän periaatteena on, että rakennusosien ilmajääneneristysluvuista $R_w + C_{tr}$ tai $R_w + C$ johdetaan toteutuva äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$, jota voidaan verrata kaavamääräyksessä esitettyyn vaatimukseen $\Delta L_{A,vaad}$.

Menetelmät johtavat yleensä samaan lopputulokseen [9], joten kumpaakin menetelmää voidaan käyttää rakennuksen ulkovaipan ääneneristykseen laskennalliseen tarkasteluun. Kummallakin menetelmällä on etunsa. Ympäristöoppaan menetelmä on taulukkomitoituksena yksinkertainen ja sillä voidaan nopeasti tarkastaa, ovatko rakennusosien ilmajääneneristysluvat liikennemelua vastaan oikein valitut. Taulukkomitoituksen vuoksi menetelmällä ei kuitenkaan ole mahdollista tutkia, kuinka eri rakennusosien ääneneristyskyvyn muuttaminen vaikuttaa saavutettavaan äänitasoeroon $\Delta L_{A,tot}$. Esimerkiksi vaadittavan äänitasoeron $\Delta L_{A,vaad}$ ollessa suuri ympäristöoppaan menetelmä voi edellyttää ikkunoilta niin suuria ilmajääneneristyslukuja, että vaatimuksen täyttäviä ikkunoita ei ole mark-

kinoilla. Tällöin on joko pienennettävä ikkunoiden pinta-alaa tai parannettava ulkoseinärakenteen ääneneristyskykyä. Näitä seikkoja on mahdollista tutkia äänitasoeromenetelmällä.

Ympäristöoppaan 108 suunnittelumenetelmä

Menetelmän tausta on selitetty ympäristöoppaassa 108 [7], joten tässä selitetään vain laskelman kulku pääpiirteissään. Menetelmän mukaan yhden huoneen koko ulkovaippaa kokonaisuutena koskeva ilmajääneneristyslukuvaatimus saadaan kaavamääräyksessä annetun äänitasoeron $\Delta L_{A,vaad}$ perusteella:

$$R_{tr,vaad} = \Delta L_{A,vaad} + K_1 + 7 \text{ dB} \quad (5)$$

Tekijä K_1 saadaan taulukosta 3 ulkovaipan pinta-alan S [m²] ja huoneen lattiapinta-alan S_H [m²] suhteen perusteella. Tekijä ottaa huomioon muun muassa sen, kuinka paljon ääni vaimenee tilassa olevien ääntä absorboivien materiaalien vaikutuksesta.

Ympäristöoppaan mukaan rakennuksen ulkovaipan mitoituksessa käytetään pelkästään ilmajääneneristyslukuja tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ (ympäristöoppaassa tästä suureesta käytetään merkintää $R_{A,tr}$ riippumatta siitä, koskeeko kaavamääräys tieliikenne-, raide- vai lentomelua. Ulkoseinärakenteen ilmajääneneristysluvun tieliikennemelua vastaan tulee olla 3 dB suurempi kuin koko ulkovaipalta vaadittava ilmajääneneristysluku $R_{tr,vaad}$:

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

Lentomelualueilla yläpohjarakenteen ilmajääneneristysluvun tulee olla vähintään 5 dB korkeampi kuin koko ulkovaipalta vaadittava ilmajääneneristysluku:

$$R_{A,tr,yläpohja} \geq R_{tr,vaad} + 5 \text{ dB} \quad (7)$$

Taulukko 3. Tekijän K_1 [dB] arvot ulkovaipan pinta-alan S [m²] ja huoneen lattiapinta-alan S_H [m²] suhteen funktiona.

S/S_H	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
K_1	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

Taulukko 4. Tekijän K_2 [dB] arvot ulkovaipassa olevien ikkunoiden ja ikkunaovien yhteispinta-alan ΣS_i [m²] ja tarkasteltavan julkisivun pinta-alan S [m²] suhteen funktiona.

$\Sigma S_i/S$	≤ 0,10	0,13	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	≥ 0,50
K_2	-6	-5	-4	-3	-3	-2	-1	0

Ovilta ja ikkunoilta vaadittavaan ilmastäneristyslukuun tieliikennemelua vastaan vaikuttaa niiden pinta-ala, joka otetaan huomioon tekijälä K_2 (taulukko 4):

$$R_{A, \text{tr}} \geq R_{\text{tr}, \text{vaad}} + K_2 \quad (8)$$

Äänitasoeromenetelmä

RT-kortissa [8] esitetty suunnittelumenetelmä johtaa ikkunoilta vaadittavaan ilmastäneristyslukuun, mutta ääni siirtyy samalla tavalla minkä tahansa muun rakennusosan kautta. Menetelmän mukaan voidaan siten laskea kaikkien äänen kulkureittien erikseen tuottamat äänitasoerot, jotka yhdistetään lopuksi koko ulkovaipan tuottamaksi äänitasoeroksi.

Äänitasoero $\Delta L_{A,i}$ rakennuksen ulkovaipan yhden rakennusosan kautta saadaan lasketuksi rakennusosan pinta-alan S_i [m²], huoneen lattipinta-alan S_H [m²] ja rakennusosan ilmastäneristysluvun $R_w + C_{\text{tr}}$ tai $R_w + C$ perusteella:

$$\Delta L_{A,i} = R_w + C_{\text{tr}} - 7 - 10 \log_{10} \frac{S_i}{S_H} \quad (9)$$

Äänitasoero lasketaan kunkin rakennusosan kautta erikseen. Tämän jälkeen lasketaan rakennusosien yhdessä tuottama äänitasoero $\Delta L_{A,\text{tot}}$, jonka tulee olla vähintään yhtä suuri kuin kaavamääräyksen edellyttämä äänitasoero $\Delta L_{A,\text{vaad}}$:

$$\Delta L_{A,\text{tot}} = -10 \log_{10} \sum 10^{-\Delta L_{A,i}/10} \geq \Delta L_{A,\text{vaad}} \quad (10)$$

Ulkovaipan rakennusosien valinta

Suunnittelun lähtötiedot

Huoneen keskiäänitaso $L_{A,\text{eq,s}}$ on tilakohtainen ilmiö, joten varmuus kaavamääräyksessä määritellyn äänitasoeron $\Delta L_{A,\text{vaad}}$ saavuttamisesta edellyttää toteutuvan äänitasoeron $\Delta L_{A,\text{tot}}$ laskentaa kaikissa rakennuksen meluherkissä tiloissa. Mahdollista on myös valita rakennuksen ulkokuoren rakennusosat koko rakennuksessa samanlaisiksi, jolloin rakennuksesta on löydettävä melun kannalta epäedullisin tila. Tämä ei kuitenkaan ole aina taloudellisesti järkevää, varsinkin jos kaavamääräyksessä vaadittu äänitasoero on suuri.

Tavallisesti ulkovaipan ääneneristyslaskelma tehdään ikkunoilta ja ikkunaovilta liikennemelua vastaan vaadittavien ilmastäneristyslukujen selvittämiseksi. Ulkovaipan muut rakennusosat on yleensä laskelmaa tehtäessä jo valittu ja ne ovat osa suunnittelun lähtötietoja. Aina näin ei kuitenkaan ole, ja ulkoseinä- ja joskus yläpoh-

jarakenteita on parannettava kaavamääräyksen äänitasoeron saavuttamiseksi. Harvinaista ei ole myöskään se, että ikkunoiden pinta-alaa joudutaan pienentämään, jotta rakennus pystyttäisiin toteuttamaan markkinoilla olevilla ikkunarakenteilla. Jos kaavamääräys edellyttää erittäin suurta äänitasoeroa $\Delta L_{A,\text{vaad}}$ (38...40 dB), on suositeltavaa selvittää jo selvästi ennen rakennuslupavaihetta, millaiset ulkoseinäraakenteet ja ikkunakoot ovat mahdollisia ja millaista ääneneristyskykyä ikkunoilta vaaditaan.

Kun kaavamääräyksen edellyttämä äänitasoero $\Delta L_{A,\text{vaad}}$ on tavanomainen (28...35 dB), ulkovaipan ääneneristyssevlytys voidaan tavallisesti tehdä rakennuslupavaiheessa. Selvitystä laadittaessa on tunnettava asemakaavan vaatimukset, rakennuksen tilojen ja ulkovaipan rakennusosien pinta-alat sekä ulkovaipan rakennetyyppien ilmastäneristysluvut liikennemelua vastaan. Suunnittelun lähtötiedoiksi tarvitaan siten rakennuspaikan asemakaavaote tai rakennuksen asemapiirustus, pohjapiirustukset, julkisivupiirustukset, leikkaukset sekä rakennetyypit.

Ulkoseinä

Ulkoseinäraakenteen vaikutus rakennuksen sisäpuolelle muodostuvaan keskiäänitasoon $L_{A,\text{eq,s}}$ on sitä merkittävämpi, mitä suurempi kaavamääräyksen äänitasoero $\Delta L_{A,\text{vaad}}$ on. Jos vaadittava äänitasoero on pieni, ikkuna on tavallisesti ratkaisevin ulkovaipan rakennusosa. Vaatimuksen ollessa suuri alkaa ulkoseinäraakenteen ääneneristyskyky vaikuttaa suuremman pinta-alansa vuoksi. Mitä suurempi vaadittava äänitasoero on, sitä enemmän huomiota pitää kiinnittää myös ulkoseinäraakenteen valintaan:

- äänitasoero $\Delta L_{A,\text{vaad}} = 40$ dB: kevytrakenteisten ulkoseinien (puu- ja teräsrankaseinät, kevytbetoni, kevytsoraharkot ja vastaavat) käyttö edellyttää rakenteen huolellista suunnittelua, valintaa ja toteutusta. Massiiviset kivirakenteiset ulkoseinät (betonisanwich, tiilikuori-lämmöneriste-sisäkuori) johtavat suuremman massansa ansiosta parempaan eristävyyteen ja lievempiin vaatimuksiin ikkunoille. Ulkoseinäraakenteen valitsemiseksi ulkovaipan ääneneristyssevlytys tulisi tehdä riittävän ajoissa ennen rakennuslupan hakemista, mahdollisesti jo hankkeen luonnosvaiheessa.
- äänitasoero $\Delta L_{A,\text{vaad}} = 35$ dB: kevytrakenteisten ulkoseinien käyttö on yleensä mahdollista, mutta rankarakenteisen seinän tuulensuojalelynä tulee olla tiivis rakennusluvun, jonka massa on vähintään 5 kg/m². Sisäverhoulevyyden määrää voidaan joutua lisäämään riittävän ääneneristävyuden saavuttamiseksi.
- äänitasoero $\Delta L_{A,\text{vaad}} = 30$ dB: useimmat tavanomaiset ulkoseinäraakenteet täyttävät kaa-

vamääräyksen vaatimukset. Tavallisesti rakenteisen seinän tuulensuojalevynä tulee kuitenkin olla tiivis rakennuslevy, jonka massa on vähintään 5 kg/m². Koska kaavamääräyksen toteutuminen riippuu myös ikkunoista, ulkovaipan ääneneristys selvitys on kuitenkin tehtävä viimeistään rakennuslupaa haettaessa.

Erilaisia vaihtoehtoja rakennusten ulkoseinära- kenteiksi on tarjolla satoja, kun otetaan huomioon erilaiset lämmöneristepaksuudet ja esimerkiksi sisäverhouslevyjen tyypit. Ulkoseinära- kenteen ilmääneneristysluku liikennemelua vastaan on yksi rakennuksen ulkovaipan äänen- eristävyuden suunnittelun lähtökohdista. Ra- kennusalan kirjallisuudesta [esim. 10] on löy- dettävässä muutamaa kymmenen ulkoseinära- kenteen ilmääneneristysluvat $R_w + C_{tr}$ ja $R_w + C$. Myös rakennustuoteollisuus on mittautta- nut valmistamiensa ulkoseinära- kenteiden ilma- ääneneristyslukuja laboratorioissa. Kaikkien ul-

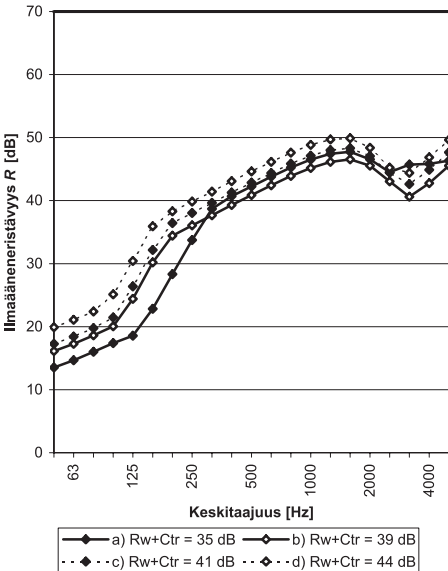
koseinära- kenteiden ilmääneneristyslukuja ei kuitenkaan tunneta.

Laboratoriomittaus yksittäisen rakennetyy- pin ominaisuuksien selvittämiseksi ei ole kus- tannuksiltaan kovin edullista. Mittauksen tilaa- jan on varattava aikaa tutkittavan rakennusosan rakentamiseksi ja kuljettamiseksi laboratorioon, jossa mittauksen tekemiseen voi lisäksi olla pit- kä jonotusaika. Edullisempaa onkin selvittää ul- koseinära- kenteiden ilmääneneristysluvat las- kemalla. Nykyisin ilmääneneristysluvat voida- an määrittää laskennallisesti varsin tarkasti (kuva 3). Laskennallisin tarkasteluin voidaan myös nopeasti tutkia erilaisten muutosten vai- kutuksia rakenteella saavutettavaan ilmäänen- eristyslukuun. Kuvassa 6 on esimerkki puurun- koisen ulkoseinära- kenteen lasketuista ilmää- neristävyyksistä taajuuskaistoittain ja ilmää- neristysluvuista tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$. Käytetty laskentamalli on Insinöörtoi- misto Heikki Helimäki Oy:n kehittämä excel- pohjainen ohjelma, joka perustuu pääasiassa lähteissä [3] ja [11] esitettyihin teorioihin ilma- ääneneristävyteen vaikuttavista tekijöistä.

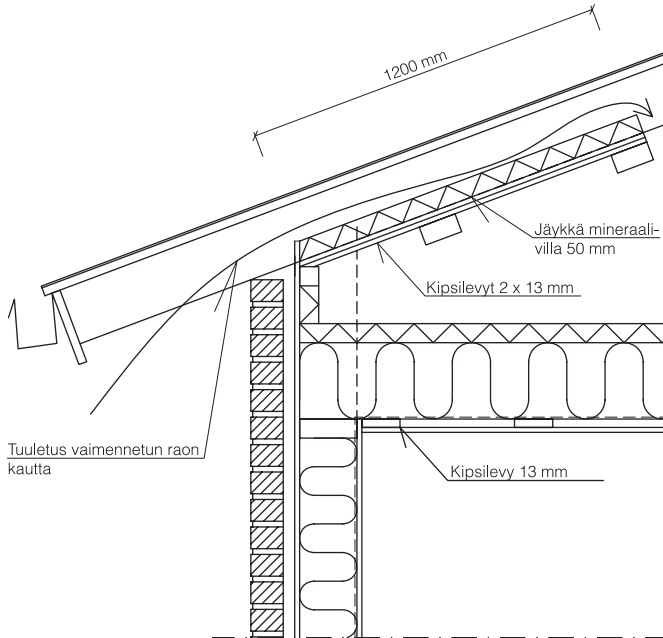
Yläpohja

Yläpohjan ääneneristyskyky on huoneeseen muodostuvan äänitason kannalta merkittävä te- kijä lähinnä lentomelualueilla. Asuinkerrosta- loissa, oppilaitoksissa ja toimistorakennuksissa yläpohjassa on usein kantavana rakenteena on- telolaatasto tai paikalla valettu betonilaatta. Täi- laisen rakenteen ääneneristyskyky on varsin hyvä, ilmääneneristysluku tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ on tavallisesti yli 50 dB. Tällöin yläpohjarakenne ei juuri vaikuta huoneeseen syntyvään keskiäänitasoon, joka määräytyy pääasiassa julkisivun rakennusosien ääneneris- tyskyvyn perusteella.

Ulkoseinära- kenteiden tavoin yläpohjaraken- teiden ilmääneneristyslukuja liikennemelua vastaan on annettu rakennusalan kirjallisuude- sa [10] ja rakennustuoteollisuuden omassa suunnitteluohjeissa. Yläpohjarakenteiden ilma- ääneneristysluvat voidaan selvittää myös las- kennallisesti. Kun yläpohja on kevytrakentei- nen, on huomattava, että kirjallisuudessa esitet- tävien ääneneristysarvojen käyttö edellyttää, että äänen kulku räystäiden kautta yläpohjan tuuletustilaan estetään (kuva 7) järjestämällä tuuletus vaimennetun tuuletuskanavan kautta [3, 10]. Jos ääni pääsee kulkemaan räystään kautta ullakkotilaan vaimenematta, sen etene- mistä huoneeseen on estämässä vain lämmön- eristekerros ja yläpohjan sisäverhouslevy, joi- den ääneneristyskyky on vähäinen. Lentomelu- alueilla sisäverhouslevyn tulee aina olla tiivis rakennuslevy (massa vähintään 5 kg/m²). Pelk- kä panelointi ei ole riittävä tarvittavan äänen- eristävyuden saavuttamiseksi.



Kuva 6. Ulkoseinära- kenteen laskettuja ilmää- neristävyyksiä ja ilmääneneristyslukuja tie- liikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$. Perusrakenne on tuulensuojalevy, puurunko 150 mm k600 (vä- lissä mineraalivilla), sisäverhouslevy. Lasketut vaihtoehdot: a) tuulensuojakuitulevy, sisäver- houslevynä kipsilevy N13 mm, b) tuulensuoja- kipsilevy TS 9 mm, sisäverhouslevy N 13 mm, c) tuulensuojakipsilevy TS 9 mm, sisäverhouslevy EK 13 mm, d) tuulensuojakipsilevy TS 9 mm, si- säverhouslevy 2 x EK 13 mm.



Kuva 7. Lentomelualueille rakennettaessa äänen kulku kevyen yläpohjan tuuletustilaan estetään ohjaamalla tuuletusilma ullakkotilaan vaimennetun tuuletuskanavan kautta.

Ikkunat ja ikkunaovet

Ikkunoiden ääneneristyskyky riippuu lasikerrosten paksuudesta ja niiden välissä olevien ilmapääläisten suuruudesta. Ääntä eristävät ikkunarakenteet ovat tavallisesti kolminkertaisia siten, että ulommainen lasi on omassa puitteessaan ja kaksi muuta sisäpuiteessa. Lasien paksuudet ovat tavallisesti 3...8 mm. Yli 8 mm paksuja lasseja ei yleensä kannata käyttää, koska lasituksen ääneneristävyys ei massan kasvusta huolimatta silloin enää parane ääneneristystä heikentävän koinsidenssi-ilmiön vuoksi. Kun ääneneristysvaatimukset ovat suuret, onkin edullisempää käyttää ohuemmista kerroksista koostuvia laminoituja lasikerroksia paksujen lasikerrosten sijasta. Ikkunan ilmajäneneristysluvusta saadaan hyvää, kun lasikerrosten paksuudet ovat erilaiset ja karmisyyvyys on mahdollisimman suuri [3].

Markkinoilla olevien ikkunoiden suurimmat ilmajäneneristysluvat tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ ovat yleensä enintään 46...48 dB. Vaikka lasitusten paksuuksia ja ilmapääläjiä säätämällä voitaisiin periaatteessa saavuttaa paljon suurempiakin ilmajäneneristyslukuja, ikkunoiden ääneneristyskykyä rajoittavat muut seikat. Mahdollisuudet kasvattaa karmisyyvyttä ovat rajal-

liset jo ulkoseinän paksuuden takia. Metall- tai puukarmi toisaalta kytkee lasiosat toisiinsa ja välittää ääntä lasituksen ohi sivutiesiirtymänä. Ääneneristyksen kannalta tiiviys on oleellista, käytännössä ikkunoiden tiivistyksiä on varsin vaikeaa saada täysin tiiviiksi. Lähinnä tiivisteiden vuoksi ikkunaovien ilmajäneneristysluvat ovat yleensä jonkin verran alhaisemmat kuin lasituskeltaan samanlaisten ikkunoiden. Yksilehdisten ikkunaovien ilmajäneneristysluvat $R_w + C_{tr}$ ovat yleensä alle 35 dB, kaksilehtisillä ikkunaovilla voidaan saavuttaa yli 40 dB ilmajäneneristysluku. Melualueilla on yleensä käytettävä kaksilehtisiä ikkunaovia.

Ikkunavalmistajat ilmoittavat tuotteistaan laboratoriomittauksissa saadut ilmajäneneristysluvat $R_w + C$ ja $R_w + C_{tr}$. Ikkunoita tilattaessa on varmistuttava siitä, että ikkunavalmistajalla on ikkunoistaan laboratoriomittausten tulokset. Ikkunoita asennettaessa on tärkeää noudattaa valmistajan asennusohjeita. Asennuksessa oleellista on ikkunan ja ulkoseinän välisen liitoksen tiiviys. Ääneneristävyuden kannalta paras tulos saavutetaan, kun liitos tiivistetään mineraalivillalla ja elastisella kitillä. Tätä asennustapaa on noudatettava silloin, kun kaavamääräyksen edellyttämä äänitasoero on suuri. Äänitasoero-

vaatimuksen ollessa pieni liitos voidaan tiivistää myös polyuretaanilla, jonka ääneneristävyys varmistetaan elastisella kitillä vähintään toisella puolella ikkunaa.

Laboratorio-olosuhteet poikkeavat tilanteesta, jossa ikkuna on asennettu työmaalla rakennukseen. Laboratoriossa mitattu ilmajääneneristysluku esimerkiksi sisältää pelkästään ikkunan kautta kulkeneen äänen. Rakennuksessa ääni kulkee lukemattomia muitakin reittejä kuin suoraan ikkunan kautta. Näitä muita reittejä kutsutaan äänen sivutiiesiirtymäksi. Rakennuksessa ikkunarakenne ja tiivisteet kuluvat ja vanhenevat. Kun ulkovaipan ääneneristys selvitys tehdään äänitasoeromenetelmän mukaan, nämä seikat otetaan huomioon vähentämällä ikkunoiden laboratoriossa mitatuista ilmajääneneristysluvuista 3 dB käyttökorjaus. Ympäristöoppaan menetelmään käyttökorjaus sisältyy, joten sitä ei tarvitse ottaa erikseen huomioon.

Rakennuksen ulkovaipan ääneneristyskyky vaikuttaa asumismukavuuteen myös muilla kuin melualueilla. Mitä paremmin ulkovaipan rakennusosat eristävät ääntä, sitä vähemmän esimerkiksi puhe asuinrakennusten piha-alueilla tai kulkuväyliltä kantautuu sisätiloihin. Vaikka rakennuspaikan asemakaavassa ei olisikaan ulkovaipan ääneneristystä koskevaa kaavamääräystä, rakennetussa ympäristössä asuinrakennusten ikkunoiksi on asumismukavuuden takamiseksi suositeltavaa valita aina ikkunat, joiden ilmajääneneristysluku tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ on vähintään 37 dB.

Ilmanvaihtokanavat

Voimassa olevat lämmöneristysmääräykset ovat johtaneet siihen, että uudisrakentamisessa korvausilmaventtiileitä ei juuri enää käytetä. Uudistuotannossa ilmanvaihto toteutetaan joko huoneistokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla tai yhteiskanavajärjestelmällä. Liikennemelua voi periaatteessa siirtyä ulkoa sisään myös ilmanvaihdon jäte- ja raitisilmakanavien kautta. Jos ilmanvaihto on suunniteltu niin, että se täyttää rakennuksen LVIS-laitteiden aiheuttamaa äänitasoa koskevat määräykset, kanavistossa on yleensä äänenvaimentimet vähintään puhallinäänen vaimentamiseksi. Ulkoa sisään siirtyvä ääntä vaimentavat myös päätelaitteet sekä ilmanvaihtokoneiden suodattimet ja muut ilmapääsittelyosat.

Tavallisesti ilmanvaihtojärjestelmä ei vaikuta liikennemelun siirtymiseen ulkoa sisään. Huoneistokohtaisia ilmanvaihtokoneita käytettäessä on kuitenkin huolehdittava siitä, että kanavien läpiviennit ulkoseinärakenteissa ovat tiiviitä. Huonosti tiivistetty läpivienni voi johtaa ulkoseinän ääneneristävyiden heikkenemiseen.

Korjausrakentaminen

Rakennuksen ulkovaipan ääneneristys on otettava huomioon sekä ikkunaremontteja että julkisivuremontteja suunniteltaessa ja toteutettaessa. Jos olemassa olevan rakennuksen asemakaavassa on ulkovaipan ääneneristystä koskeva kaavamääräys, ulkovaipan ääneneristys on yksi korjaushankkeen lähtökohta samalla tavalla kuin uudisrakentamisessa. Jos asemakaava on vanha, kaavamääräystä ei välttämättä ole, vaikka rakennuspaikkaa sivuavien liikenneylien tuottama melu sitä nykykäsitteiden mukaan edellyttäisikin. Ikkuna- ja julkisivukorjausten yhteydessä voidaan usein varsin vähäisin kustannuksin parantaa rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä. Vanhoissa rakennuksissa esimerkiksi korvausilmaventtiilit ovat usein täysin vaimentamattomia aukkoja ulkoseinissä ja ikkunoiden ääneneristyskyky on alhainen heikon tiiviyden ja ohuiden lasien vuoksi.

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan rakennuksen käyttäjien terveydelliset olot eivät saa heikentyä korjaus- ja muutostyössä. Rakennuksen ääniolosuhteet eivät siten saa korjauksen seurauksena huonontua korjausta edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna [3]. Tämä on otettava huomioon muutettaessa ulkoseinän rakennetta, esimerkiksi purettaessa vanhan betonisandwich-elementin ulkokuori ja rakennettaessa uusi rakenne tilalle. Jos uusi rakenne on vanhaa kevyempi, ulkoseinärakenteen ääneneristyskyky voi heikentyä, mikä voi johtaa liikenteen aiheuttaman keskiäänitason kohoamiseen sisätiloissa.

Ikkunoita uusittaessa parannetaan usein vanhan asuinrakennuksen ilmanvaihtoa sijoittamalla ikkunoiden yhteyteen korvausilmaventtiilit. Nekään eivät saisi johtaa rakennuksen asukkaiden ääniolosuhteiden heikkenemiseen eli liikenteen aiheuttaman keskiäänitason nousuun. Korvausilmaventtiilien ääneneristyskyky ilmoitetaan yksikköääneneristyslukuina liikennemelua vastaan $D_{n,e,w} + C$ tai $D_{n,e,w} + C_{tr}$. Ilmajääneneristyslukuina korvausilmaventtiilien eristävyttä ei voida ilmoittaa, koska sen määrittämiseksi pitäisi tietää venttiilin pinta-ala. Näin pienen rakennusosan pinta-alan mittaaminen on hankalaa, joten mittauksessa pinta-alksi oletetaan 10 m². Tämän määrittelyn johdosta melualueilla käytettäväksi sopivien korvausilmaventtiilien yksikköääneneristysluvut tieliikennemelua vastaan ovat tavallisesti välillä 40...53 dB. Verrattaessa venttiilien ääneneristyskykyä muihin rakennusosiin on huomattava, että mitaustavan johdosta venttiiliä on ääneneristyslaskelemissa pidettävä rakennusosana, jonka pinta-ala on 10 m². Siten se välittää ääntä ulkoa sisään usein enemmän kuin ikkuna ja on mittalukujen suuruudesta huolimatta tavallisesti äänen-

eristävyydeltään ulkovaipan heikoin rakennusosa.

Jos ulkovaipan äänitasoerovaatimus $\Delta L_{A,vaad}$ tunnetaan, korvausilmaventtiilille saadaan ympäristöoppaan suunnittelumenetelmän [7] mukaan vaatimus lisäämällä 5 dB ulkovaippaa kokonaisuutena koskevaan ilmaääneneristyslukuvaatimukseen $R_{tr,vaad}$ (kaava 5):

$$D_{n,e,w} + C_{tr} \geq R_{tr,vaad} + 5 \text{ dB} \quad (11)$$

Kun suunnitellaan korjattavan rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä äänitasoeromenetelmän mukaan, korvausilmaventtiili on yksi äänen kulkureitti, jonka tuottama äänitasoero lasketaan kaavan 9 mukaan ja edelleen kaikkien rakennusosien tuottamat äänitasoerot summataan kaavalla 10. Kaavassa 9 on muistettava sijoittaa rakennusosan pinta-alki S_i [m²] korvausilmaventtiilin mittauksissa käytettävä pinta-ala 10 m². Jos kuvan 5 esimerkissä a) julkisivulle lisätään korvausilmaventtiili, jonka yksikköääneneristysluku $D_{n,e,w} + C_{tr}$ on 45 dB, liikennemelun aiheuttama keskiäänitaso sisällä kohoaa 4 dB.

Korjattavan rakennuksen ulkovaipan ääneneristykseen heikkenemisen välttämiseksi on tiedettävä ulkovaipan tuottama äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$ ennen korjausta. Se voidaan selvittää laskennallisesti olemassa olevien rakennuksen ulkovaipan rakennetyyppien ja ikkunoiden perusteella. Jos rakenteita ei tunneta tarkkaan, äänitasoero voidaan myös mitata seuraavassa kappaleessa esitetyllä tavalla. Korjattavat ja uusittavat rakenteet on suunniteltava ja toteutettava siten, että korjausten jälkeen saavutetaan vähintään ennen korjausta määritetty äänitasoero.

Ulkovaipan ääneneristävyyden mittaaminen

Ympäristöministeriön ympäristöoppaan 108 [7] mukaan siinä esitetyn rakennuksen ulkovaipan suunnittelumenetelmän tarkoituksena on, että yleensä ei ole tarpeellista tehdä ääneneristysmittauksia ulkovaipan ääneneristystä koskevan kaavamääräyksen toteutumisen valvomiseksi. Käytännössä on kuitenkin varsin tavallista, että mittauksin on tutkittava, saavutetaanko kaavamääräyksessä määritelty äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$ vai ei. Vaaditun tasoeron saavuttaminenhan ei riipu pelkästään rakennusosien valinnasta, vaan myös niiden asentamisesta työmaalla. Esimerkiksi monet yleishyödylliset rakennuttajat määrittelevät urakkaohjelman tarkistusmittaukset osaksi normaalia rakennuksen vastaanotto- ja tarkastuskäytäntöä. Kaavamääräyksen toteutumista on tutkittava mittauksin myös silloin, kun

epäillä, että kaavamääräys ei täyty suunnitellu- tai rakennusvirheen vuoksi. Joissakin tilanteissa myös rakennusvalvontaviranomaiset voivat edellyttää mittauksia.

Ympäristöoppaassa tai missään muussakaan viranomaisasiakirjassa ei ole ohjeita siitä, miten valmiin rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä tulisi mitata. Sitä vastoin ohjeessa RIL 243-1-2007 [3] on esitetty suositeltava menetelmä mittauskäytäntöjen yhtenäistämiseksi. Menetelmän perusteet on esitetty tarkemmin lähteessä [12]. Menetelmän lähtökohdanta on standardissa ISO 140-5 esitetty julkisivun normalisoidun äänitasoeron $D_{ls,2m,n}$ mittaustapa [13]. Kaiuttimen sijoittelua ja muita yksityiskohtia ei tässä esitetä, vaan niiltä osin noudatetaan standardia ISO 140-5.

Äänilähteenä mittauksissa käytetään vaaleanpunaista kohinaa tuottavaa kaiutinta, joka sijoitetaan 45° kulmaan rakennuksen ulkovaippaan nähden. Rakennuksen ulkopuolella 2 m etäisyydellä ulkovaipasta mitataan kolmannesoktaavikaistoittain äänenpainetasot $L_{1,2m}$. Rakennuksen sisällä tutkittavassa huoneessa mitataan äänenpainetasot L_2 . Jälkikäiunta-aikamittauksen perusteella lasketaan huoneen absorptioala A [m²]. Mitattavat taajuuskaistat ovat välillä 100–3150 Hz. Mitattujen arvojen sekä tavallisen asuinhuoneen absorptioalaa vastaavan 10 m² vertailuabsorptioalan A_0 perusteella voidaan laskea normalisoitu äänitasoero:

$$D_{ls,2m,n} = L_{1,2m} - L_2 - 10 \log_{10} \frac{A}{A_0} \quad (12)$$

Taajuuskaistoittain mitatuista normalisoiduista äänitasoeroista $D_{ls,2m,n}$ voidaan laskea vertailukäyrämenettelyllä yksilukuinen mittaluku, normalisoitu äänitasoeroluku $D_{ls,2m,n,w}$ standardin ISO 717-1 [6] mukaisesti. Spektripainotustermi tieliikennemelua vastaan on nyt

$$C_{tr} = -10 \log_{10} \sum_{i=1}^n (L_u - D_{ls,2m,n})^{10} - D_{ls,2m,n,w} \quad (13)$$

Kun kaavamääräys on annettu raide- tai lentomelua vastaan, käytetään spektripainotustermin laskemiseen näille melulajeille taulukossa 2 annettuja äänispektrejä.

Äänitasoeroluku $D_{ls,2m,n,w}$ ja spektrisovitus-termi C_{tr} sisältävät äänen heijastuksen rakennuksen ulkovaipasta. Koska rakennusten ulkovaipat yleensä ovat kopapintaisia, ne heijastavat äänen lähes täydellisesti takaisin. Rakennuksen julkisivun edustalla 2 m päässä julkisivusta tämä heijastus korottaa äänenpainetasoja noin 3 dB. Mittauksin pyritään selvittämään äänen kulkeutumista rakennuksen sisään. Julkisivusta heijastunut ääni on kulkeutunut rakennuksesta pois päin, mikä on otettava huomioon vähentämällä mittaustuloksesta 3 dB.

Voidaan osoittaa, että äänitasoeroluvun $D_{ls,2m,n,w}$ ja spektripainotustermien summa vastaa kaavamääräyksen tarkoittamaa äänitasoeroa $\Delta L_{A,vaad}$, kun summasta vähennetään 3 dB. Mitatun äänitasoeron $\Delta L_{A,mit}$ tulee siten olla vähintään yhtä suuri kuin kaavamääräyksessä vaadittu äänitasoeron $\Delta L_{A,vaad}$:

Tieliikennemelu:

$$\Delta L_{A,mit} = D_{ls,2m,n,w} + C_{tr} - 3 \text{ dB} \geq \Delta L_{A,vaad} \quad (14)$$

Raide- ja lentomelu:

$$\Delta L_{A,mit} = D_{ls,2m,n,w} + C - 3 \text{ dB} \geq \Delta L_{A,vaad}$$

Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden mittaamenetelmässä käytetään pelkästään standardien ISO 140-5 [13] ja ISO 717-1 [6] 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 $\Delta L_{A,vaad}$.

Kaikki mittaustulokset samoin kuin erilaisia ilmiöitä mallintavat teorit ovat aina enemmän tai vähemmän epätarkkoja kuvauksia todellisista ilmiöistä. Siksi niihin sisältyy aina epävarmuutta. Mittausmenetelmään liittyvät epävarmuustekijät on selvitetty lähteessä [12]. Jos rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä mitattaessa käy niin, että mittaustulos $\Delta L_{A,mit}$ jää hieman pienemmäksi (esim. 1 dB) kuin kaavamääräyksen edellyttämä äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$, on suositeltavaa toistaa mittaus mittaustapaan sisältyvän epävarmuuden vähentämiseksi.

Lähteet

- [1] Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista.
- [2] Asemakaavamerkinnot ja -määräykset. 2003. Helsinki, ympäristöministeriö, opas 12.
- [3] Kylliäinen, M. & Hongisto, V. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu: akustikan perusteet. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL 243-1-2007.
- [4] 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.
- [5] ISO 140-4: 1998. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.

- [6] ISO 717-1: 1996. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.
- [7] Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen. 2003. Helsinki, ympäristöministeriö, ympäristöopas 108.
- [8] RT 084.30 Ikkuna, ääneneristävyys. 1975.
- [9] Kylliäinen, M. 2005. Rakennuksen ulkokuoren rakennusosilta vaadittava ääneneristävyys. Akustiikkapäivät 2005. Kuopio, 26.–27.9., Akustinen Seura ry, s. 78–83.
- [10] RIL 129-2003, Ääneneristykseen toteuttaminen.
- [11] Kristensen, J. & Rindel, H. 1989. Bygningssakustik -teori og praksis. Glostrup, Statens Byggeforskningsinstitut, SBI-anvisning 166.
- [12] Kylliäinen, M. & Hongisto, V. 2007. Rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskevan asemakaavamääräyksen toteutumisen valvonta mittauksin. Akustiikkapäivät 2007. Espoo, 27.–28.9., Akustinen Seura ry, s. 106–111.
- [13] ISO 140-5: 1998. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Measurement of sound insulation of façade elements and façades.