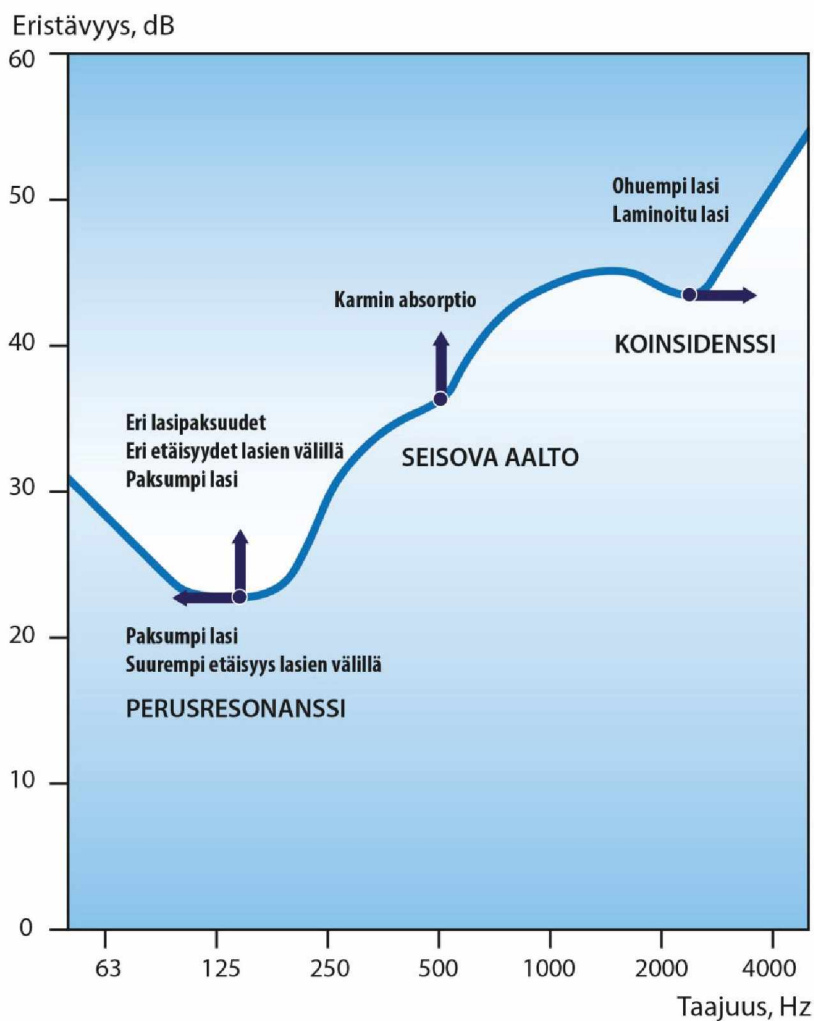


PETTERI LAINE
VELI-MATTI YLI-KÄTKÄ
JARI HOSIOKANGAS

Ikkunoiden ääneneristävyysominaisuudet ja niiden vaikutus julkisivujen ääneneristävyyteen

KIRJALLISUUSSELVITYS



Petteri Laine, Veli-Matti Yli-Kätkä,
Jari Hosiokangas

Ikkunoiden ääneneristävyyso- minaisuudet ja niiden vaikutus julkisivujen ääneneristävyyteen

Kirjallisuusselvitys

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 52/2014

Kannen kuva: Ikkunan ääneneristävyyteen vaikuttavat tekijät

ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6656
ISBN 978-952-317-066-7

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6664
ISBN 978-952-317-030-8

Grano
Kuopio 2014

Liikennevirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 0295 34 3000

Petteri Laine, Veli-Matti Yli-Kätkä, Jari Hosiokangas: Ikkunoiden ääneneristävyysominaisuudet ja niiden vaikutus julkisivujen ääneneristävyyteen - Kirjallisuusselvitys. Liikennevirasto, infra ja ympäristö -osasto. Helsinki 2014. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 52/2014. 43 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-030-8.

Avainsanat: melu, meluntorjunta, äänieristys, ikkunat

Tiivistelmä

Tässä selvityksessä on koottu kirjallisuustietoa julkisivun ääneneristävyyteen liittyvistä tekijöistä ja ääneneristävyysuunnittelun eri vaiheista. Pääpaino julkaisussa on ikkunat, joiden rooli julkisivujen ääneneristämisessä on keskeinen.

Ikkunan ääneneristävyyttä on käsitelty fysikaalisena ilmiönä, minkä lisäksi on kerätty tietoa markkinoilla olevilta ikkunavalmistajilta valmiiden tuotteiden ääneneristävyysominaisuuksista. Näiden tietojen pohjalta on pyritty selkeyttämään ääneneristysuunnittelua, ja antamaan ohjeistusta riittävän ääneneristävyyden saavuttamiseksi.

Petteri Laine, Veli-Matti Yli-Kätkä, Jari Hosiokangas: Fönstrens ljudisoleringsegenskaper och deras inverkan på fasadernas ljudisolering – Litteraturstudie. Trafikverket, infrastruktur och miljö. Helsingfors 2014. Trafikverkets undersökningar och utredningar 52/2014. 43 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-030-8.

Sammanfattning

I den här utredningen finns en sammanställning av litteraturuppgifter om faktorer som påverkar fasadernas ljudisolering samt olika faser i ljudisoleringsplaneringen. Huvudvikten har lagts på fönstren eftersom de spelar en central roll i fasadernas ljudisolering.

Fönstrens ljudisoleringsförmåga har behandlats som ett fysikaliskt fenomen och dessutom har man samlat in uppgifter om färdiga produkters ljudisoleringsegenskaper från olika fönstertillverkare som finns på marknaderna. På basis av dessa uppgifter har man försökt göra ljudisoleringsplaneringen tydligare samt ge anvisningar om hur man kan åstadkomma en tillräcklig ljudisolering.

Petteri Laine, Veli-Matti Yli-Kätkä, Jari Hosiokangas: Sound insulation properties of windows and their impact on façade sound insulation: A literature review. Finnish Transport Agency, Infrastructure and Environment. Helsinki 2014. Research reports of the Finnish Transport Agency 52/2014. 43 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-030-8.

Summary

This literature review gives an overview of the factors related to façade sound insulation and the different phases involved in sound insulation planning. The emphasis lies on windows, which play a significant role in façade sound insulation.

The sound insulation of windows was discussed as a physical phenomenon. In addition, information was gathered from window manufacturers about the sound insulation properties of the final products on the market. This information helped clarify the sound insulation planning process and provided instructions for achieving sufficient sound insulation.

Esipuhe

Tämä julkaisu sai alkunsa tarpeesta yhdistää julkisivun ääneneristävyyteen ja ikkunoiden ääneneristävyysominaisuuksiin liittyvää tietoa yhdeksi kokonaisuudeksi, joka auttaisi ymmärtämään ääneneristävyysmitoituksessa käytettäviä erilaisia menetelmiä, ja antaisi kuvan siitä mikä ylipäätään on mahdollista ääneneristyksessä nykyrakenteilla.

Julkisivun ääneneristävyyttä voidaan mitoittaa monella tapaa, ja ikkunoilla on erittäin suuri merkitys kokonaisääneneristävyyden muodostumisessa. Tämän vuoksi on nähty tarpeelliseksi koota perustiedot mitoitusmenetelmistä, ikkunarakenteista ja meluntorjunnan lupa- ja suunnitteluprosessista tiivistetyksi kokonaisuudeksi yksiin kansiin.

Raportin ovat laatineet Petteri Laine, Veli-Matti Yli-Kätkä ja Jari Hosiokangas Ramboll Oy:stä. Kommentteja raporttiin antoivat myös ympäristöneuvos Ari Saarinen ympäristöministeriöstä ja ympäristötarkastaja Anu Haahla Helsingin kaupungin ympäristökeskuksesta. Työtä ohjasi Liikennevirastosta Erkki Poikolainen.

Helsingissä joulukuussa 2014

Liikennevirasto
Infra ja ympäristö -osasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO.....	8
2	ÄÄNENERISTÄVYYDEN PERUSTEET	9
2.1	Massalaki	9
2.2	Muut eristävyteen vaikuttavat tekijät	10
2.2.1	Resonanssi	10
2.2.2	Koinsidenssi.....	10
2.2.3	Sivutiesiirtymät	11
2.3	Ääneneristysluvut ja sovitustermit	12
2.3.1	Ääneneristysluvut R_w ja R'_w	12
2.3.2	Äänitasoeroluvut D_{nT} ja D_n	13
2.3.3	Spektrisovitustermit C ja C_{tr}	14
2.3.4	Ääneneristävyysvaatimusten ilmoittaminen	14
3	ÄÄNENERISTÄVYYDEN MITOITUS KAAVASSA JA RAKENNUSLUPAVAIHEESSA	16
3.1	Kaupunkien ja väylien meluselvitykset	16
3.2	Yleiskaavan meluselvitykset	16
3.3	Asemakaavan meluselvitykset.....	17
3.4	Rakennuslupien meluselvitykset.....	17
4	IKKUNATYYPIT	19
4.1	Kiinteät ikkunat.....	19
4.1.1	MEK	19
4.2	Avattavat ikkunat.....	20
4.2.1	MSE	20
4.2.2	Muut avattavat ikkunatyytit	20
4.3	Ikkunarakenteiden merkintätavat	22
5	IKKUNOIDEN ÄÄNENERISTÄVYYDEN MUODOSTUMINEN.....	23
5.1	Yksinkertaisen lasin ääneneristävyys.....	23
5.2	Monikerroksisen ikkunan ääneneristävyys.....	24
5.2.1	Kiinteät monikerroslasit (MEK)	25
5.2.2	Lasipaksuudet MSE-ikkunoissa.....	26
5.2.3	Karmisyvyys MSE-ikkunoissa	28
5.3	Markkinakatsaus ikkunoiden eristävyteen	29
5.4	Ikkunan tiivistämisen vaikutus ääneneristävyteen.....	31
6	JULKISIVUN ILMAÄÄNENERISTÄVYYDEN MITOITUS JA MITTAUKSET	33
6.1	Julkisivun ilmaääneneristävyden muodostuminen rakennusosien summana.....	33
6.2	Julkisivun ääneneristävyden mitoitusmenetelmät	35
6.2.1	Ympäristöopas 108 mitoitusmenetelmä.....	35
6.2.2	Äänitasoeromenetelmä, RIL 129	36
6.2.3	EN 12354-3 standardimenetelmä.....	36
6.3	Ääneneristävyden mittausmenetelmät	37
7	IKKUNOIDEN ÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANTAMINEN	39
8	YHTEENVETO JA SUOSITUKSET	43
	LÄHTEET	44

1 Johdanto

Suomessa ehdoton edellytys ikkunoille on riittävä lämmöneristys, mutta lisääntyvä tarve sijoittaa rakennuksia yhä lähemmäs liikenneväyliä asettaa ikkunoille usein myös vaatimuksia ilmaääneneristävyydelle. Suomen kylmät talvet ovat vieneet ikkunoiden kehitystä useampikerroksisten ikkunoiden suuntaan, mikä on tuonut merkittävää hyötyä myös ilmaääneneristävyyden suhteen. Aina lämmöneristykseen parantuminen ei kuitenkaan takaa parempaa ilmaääneneristävyyttä. Nykyään ikkunavalmistajilla on kuitenkin laajat valikoimat ikkuna- ja ovirakenteita sekä lämmöneristävyyden että ilmaääneneristävyyden vaihteleviin tarpeisiin.

Tässä selvityksessä perehdytään ikkunoiden ääneneristävyydelliseen puoleen ja esitellään periaatteet hyvän ääneneristävyyden muodostumiselle. Julkisivurakenteissa ikkunat ja epätiivit rakennusosat ovat usein rakenteiden heikoiten ääntä eristäviä osia, ja ääneneristävyys määräytyy usein juuri niiden eristävyyden perusteella.

Kappaleessa 2 käydään läpi ääneneristävyyden perusteita ja eristävyyteen vaikuttavia fysikaalisia ilmiöitä.

Kappaleessa 3 kerrotaan lyhyesti kaavoitukseen ja rakennuslupiin liittyvistä selvitystarpeista ja viranomaisvaatimuksista.

Kappaleessa 4 tarkastellaan erilaisia ikkunatyyppejä ja niiden ominaisuuksia.

Kappaleessa 5 on selvitetty ikkunoiden ääneneristävyyteen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi perehdytään markkinoilla olevien tuotteiden eristävyysominaisuuksiin ja siihen, miten ikkuna ja muut rakennusosat muodostavat koko seinärakenteen eristävyyden ja millaisilla menetelmillä eristävyyttä mitoitetaan tai mitataan.

Kappaleessa 6 tarkastellaan tapoja parantaa jo olemassa olevien rakennusten ilmaääneneristävyyksiä.

2 Ääneneristävyyden perusteet

Ääneneristämällä tarkoitetaan äänen kulun estämistä tiettyyn tilaan tai tietystä tilasta pois. Eristämisen ehdoton edellytys on tilan tiiveys, ja eristämismateriaalin paras ominaisuus on suuri massa. Ääneneristävyyttä ei pidä sekoittaa äänenvaimennukseen, jossa äänienergia muuttuu, yleensä huokoisen materiaalin läpäistessään, muuksi energiaksi kuten lämmöksi. Ääntä vaimentavat materiaalit ovat usein huokoisia ja melko kevyitä, joten ne eivät ole hyviä materiaaleja äänen eristämiseen.

Ääni on paineen vaihtelua ilmassa ja se etenee pitkittäisenä aaltoliikkeenä. Kuultavan äänen aallot liikkuvat ilmassa noin 340 m/s nopeudella ja kuultavan äänen taajuudet ovat välillä 20–20 000 Hz.

Äänenvoimakkuutta kuvataan yleensä yksiköllä desibeli (dB), joka on logaritminen suure äänipaineen vaihtelulle. Logaritmisella asteikolla voidaan paremmin havainnollistaa kuuloaistin havaitsemia äänitasoja. Esimerkiksi äänipaineen nousu 100 μPa (mikropascal) \rightarrow 1000 μPa tai 1000 μPa \rightarrow 10 000 μPa vastaa dB-asteikolla äänipainetasoa 10 dB, mikä aistitaan kumpikin noin äänitasoa kaksinkertaistumisena.

Ääneneristävyyden kannalta 10 dB ääneneristys tarkoittaa sitä, että rakenne päästää läpi 1/10 äänienergiasta, 20 dB eristys 1/100 äänienergiasta ja 30 dB eristys 1/1000 äänienergiasta.

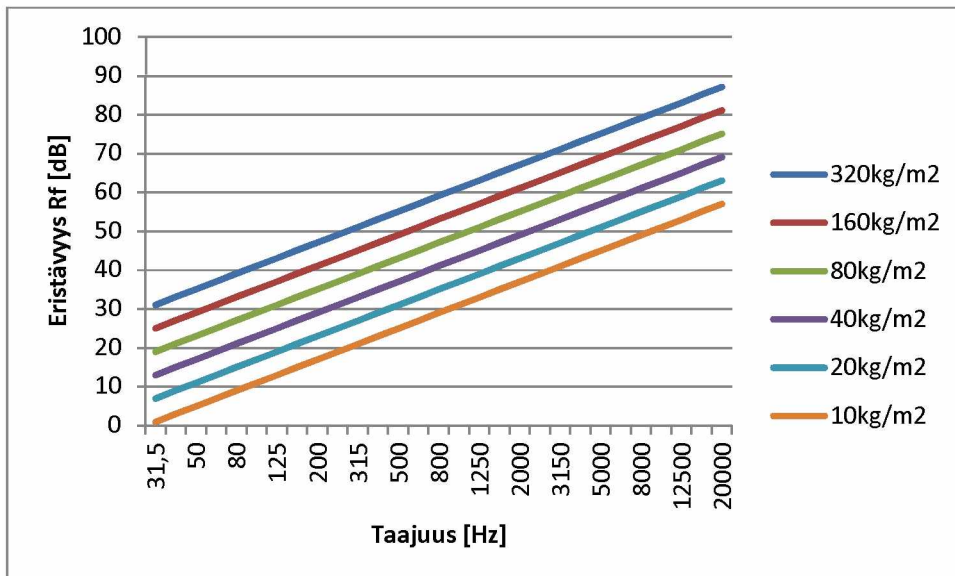
2.1 Massalaki

Yksinkertaisen rakenteen eristävyyden teoreettinen maksimi voidaan määrittää suoraan rakenteen massasta, joten lähtökohtaisesti on fysikaalinen mahdottomuus tehdä keveitä ja hyvin ääntä eristäviä materiaaleja.

Massalain mukainen ääneneristävyys voidaan laskea kaavalla

$$R_f = 20 \log(mf) - 49$$

jossa m on rakenteen pintamassa kg/m^2 , f on taajuus ja R_f on taajuuskohtainen eristävyys. Massalain mukaiset eristävyysarvot on laskettu erimassaisille rakenteille kuvajassassa 2.1.1.



Kuva 2.1.1 Massalain mukaiset ääneneristävyydet erimassaisille rakenteille.

Kuvaajasta voidaan nähdä, että massan kaksinkertaistuminen vastaa aina 6 dB parannusta ääneneristävyyteen. Todellisuudessa rakenteen eristävyyteen vaikuttaa vielä muitakin heikentäviä tekijöitä, jotka ovat myös taajuusriippuvaisia. Näistä tekijöistä on kerrottu tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

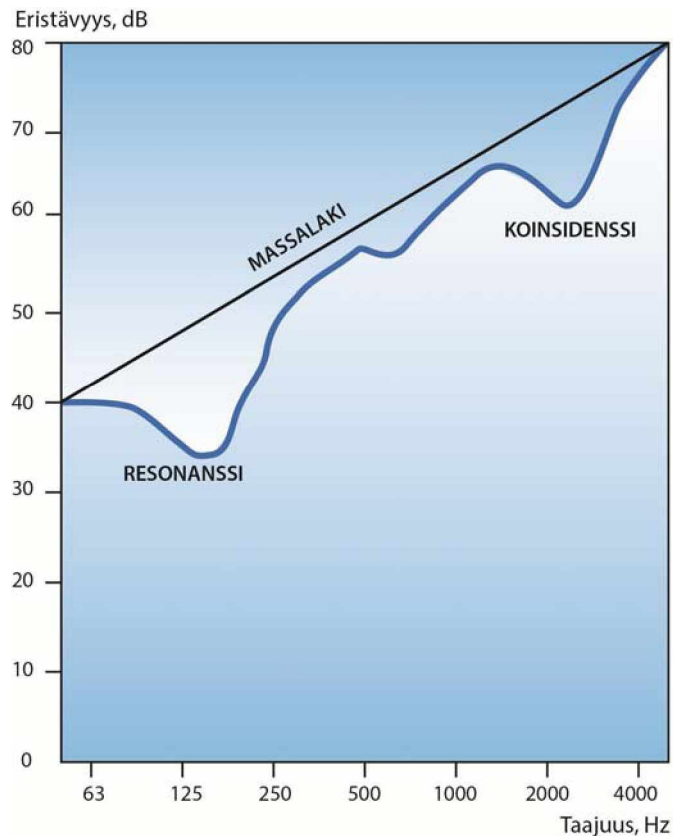
2.2 Muut eristävyyteen vaikuttavat tekijät

2.2.1 Resonanssi

Kuultavien taajuuksien pienitaajuisessa päässä massalain mukaista ideaalieristävyyttä heikentää rakenteen resonanssi. Resonanssi levyrakenteissa johtuu rakenteen ominaisista taivutusvärähtelyistä, ja resonanssitaajuuksiin vaikuttaa merkittävästi materiaalin taivutusjäykkyyden lisäksi rakenteen mitat. Resonanssille ominainen eristävyyttä heikentävä vaikutus eräälle rakenteelle on havainnollistettu kuvassa 2.2.1.

2.2.2 Koinsidenssi

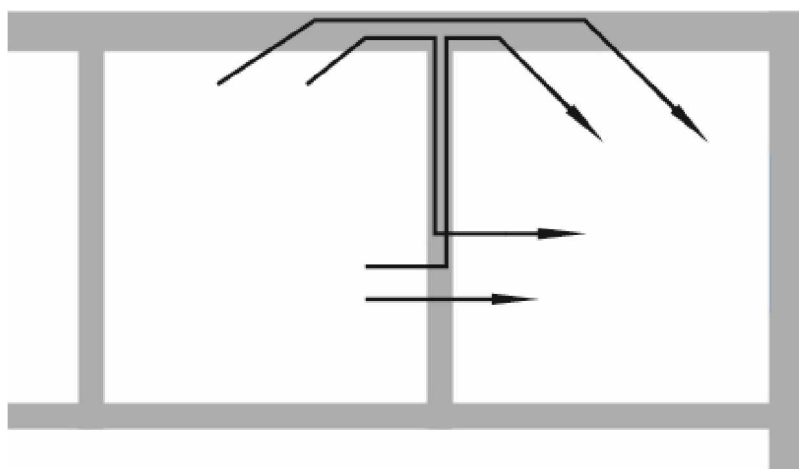
Koinsidenssi aiheuttaa eristävyyden heikentymää ikkunoissa ja muissa ohuissa rakenteissa yleensä melko korkeilla taajuuksilla. Koinsidenssi määräytyy rakenteen kimmomoduulin ja Poisson vakion perusteella [RIL 243-1]. Lisäksi koinsidenssiin vaikuttaa rakenteen pintamassa ja paksuus. Esimerkiksi paksuissa betonirakenteissa koinsidenssi voi sijoittua melko matalille taajuuksille. Koinsidenssi-ilmiön heikentävä vaikutus massalain mukaiseen eristävyyteen eräälle rakenteelle on havainnollistettu kuvassa 2.2.1.



Kuva 2.2.1 Resonanssin ja koinsidenssin vaikutukset ideaalieristävyyteen

2.2.3 Sivutiesiirtymät

Sivutiesiirtymät kuvaavat kaikkea sitä ääntä, joka kiertää varsinaisen tiloja erottavan rakenteen (esim. ulkoseinä), ja kantautuu eristettyyn tilaan sivuavien rakenteiden kautta. Esimerkiksi liikennemelun tapauksessa sivutiesiirtymä on ulkoseinästä välipohjiin ja väliseiniin siirtyvän runkoäänien säteily huonetilaan äänenä. Äänen siirtymäreitit on havainnollistettu kuvassa 2.2.2.



Kuva 2.2.2 Äänen siirtymäreitit huoneesta toiseen (suora ääni ja sivutiesiirtymät)

Sivutiesiirtymillä voi joissain tapauksissa olla suuri merkitys ääneneristävyyteen etenkin jos tavoitellaan suuria ääneneristävyyksiä.

2.3 Ääneneristysluvut ja sovitustermit

Vaikka rakenteiden ääneneristävyysominaisuudet vaihtelevat taajuudesta riippuen yleensä nousevana käyränä taajuuden suurentuessa, ilmoitetaan ääneneristävyys käytännön syistä usein yksittäisenä lukuarvona. On ymmärrettävämpää ilmoittaa että tietty materiaali eristää 30 dB kuin kuvata koko eristävyyskäyrä taajuuskaistoittain.

Eristävyyttä voidaan mitata laboratorio-olosuhteissa, jolloin pyritään eliminoimaan sivutiesiirtymien vaikutus, tai kenttäolosuhteissa, jolloin eristävyys on mm. sivutiesiirtymistä johtuen hieman laboratoriomittauksia heikompi. Seuraavassa esitellään yleisimmät eristävyden yksiarvomittaluvut sekä melun taajuusisällön korjaustermit.

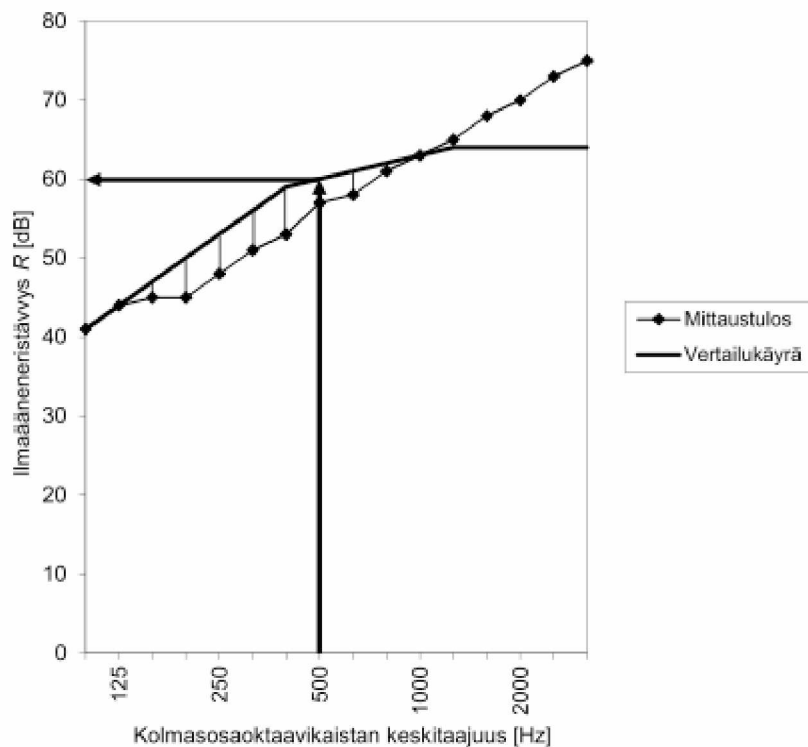
2.3.1 Ääneneristysluvut R_w ja R'_w

Ääneneristysluvulla kuvataan rakenteen läpäisevän äänitehon määrää. Kun kuvataan laboratoriossa mitattua tulosta tai laskennallista eristävyyttä käytetään termiä R_w . Kun taas halutaan ilmoittaa kenttämittauksissa saatu tulos, johon vaikuttaa myös sivutiesiirtymät, käytetään termiä R'_w .

Mitattaessa eristävyyslukuja joko laboratoriossa tai todellisissa rakennuskohteissa, mitataan äänilähteen (kaiutin tai todellinen liikennemelu) aiheuttama melu lähtöhuoneessa/tilassa (ulkoseinän ulkopuolelle tai toisessa huoneessa) sekä vastaanottohuoneessa, ja lisäksi mitataan vastaanottohuoneen jälkikaiunta sekä fyysiset mitat. Tämän jälkeen jälkikaiunnan vaikutus eliminoidaan mittaustuloksista eli esimerkiksi huoneen kalustuksen akustisilla ominaisuuksilla ei ole vaikutusta tulokseen.

Ääneneristyslukua käytetään yleensä kuvaamaan yksittäisen rakennusosan tai rakenteen eristävyyttä. Yleensä julkisivurakenteen, joka koostuu useista eri rakennusosista, eristävyyttä kuvataan äänitasoeroluvulla.

Ilmaääneneristysluku määritetään standardin ISO 717-1 mukaisesti taajuusvälillä 63–4000 Hz tehdyistä 1/3 oktaavikaistoittaisista mittauksista vertaamalla tulosta standardin mukaiseen vertailukäyrään.



Kuva 2.3.1 Ilmaääneneristysluvun määrittäminen [BET-opas].

2.3.2 Äänitasoeroluvut D_{nT} ja D_n

Äänitasoeroluvut kuvaavat mikä todellinen ero ulkopuolen ja sisäpuolen äänitasojen välillä on. Tämänkin mittaluvun määrittämiseksi mitataan sekä äänitaso ulkopuolella tai lähetyshuoneessa että vastaanottuhuoneessa ja lisäksi vastaanottuhuoneen jälkikaiunta. Äänitasoerolukuja määritettäessä jälkikaiunnan vaikutusta ei kuitenkaan eliminoida laskennallisesti, vaan jälkikaiunta suhteutetaan eli normalisoidaan ennalta sovittuun ns. normaalihuoneen jälkikaiuntaa tai absorptioalaan.

Suomessa ääneneristävyysvaatimukset perustuvat Valtioneuvoston päätöksessä 993/92 määriteltyihin sisätilojen keskiäänitason ohjearvoihin (rakennuksen ulkopuolella sijaitsevista äänilähteistä aiheutuva äänitaso sisällä), jolloin julkisivun äänen-eristävyttä parhaiten kuvaava termi on äänitasoeroluku.

Suomessa on yleisesti käytössä normalisoitu äänitasoeroluku D_n , jossa äänitaso normalisoidaan 10 m^2 absorptioalaan (oletetaan että normaalihuoneessa on noin 10 m^2 täysin absorboivaa pintaa). Normalisoidun äänitasoeroluvun käyttö perustuu Rakentamismääräyskokoelmassa C1 [RakMK C1] kohtaan, jonka liitteessä Opastavat tiedot todetaan: ”Rakennuksessa äänitaso mitataan keskellä tavanomaisesti kalustettua huonetta 1,2...1,5 metrin korkeudella lattiasta. Mittaustulokset korjataan tarvittaessa 10 m^2 äänenabsorptiota vastaaviksi.”

Monissa muissa Euroopan maissa käytössä standardisoitu äänitasoeroluku D_{nT} , jossa jälkikaiunnan vaikutus normalisoidaan jälkikaiunta-ajan 0,5 sekuntia mukaan. Standardisoidun äänitasoeroluvun D_{nT} on todettu antavan hieman paremmin kuulohavaintoja vastaavia tuloksia erityisesti suuremmissa yhtenäisissä tiloissa (olohuone-keittiö-yhdistelmät), joten Suomessakin ollaan keskusteltu siirtymisestä standardisoidun termin käyttöön. Normalisoituja ja standardisoituja lukuja käytetään sen vuoksi, että huoneen sisustuksen absorptio ei vaikuttaisi mittaustuloksiin.

Äänitasoeroa ei pidä sekoittaa yksikköääneneristävyyssluvuun, jota käytetään pienille rakennusosille kuten korvausilmaventtiilit. Yksikköääneneristävyyssluvu ilmoitetaan termillä $D_{n,e,w}$, johon lisätään tarvittaessa korjaustermi.

2.3.3 Spektrisovitustermit C ja C_{tr}

Ääneneristyslukujen ja äänitasoerolukujen arvot perustuvat niille määritettyyn vertailukäyrään (standardi [ISO 717-1]), joka mukailee massalain mukaista nousevaa eristävyysskäyrää. Sellaisenaan lukuarvot soveltuvat parhaiten puheäänen (+ radio, TV ja musiikki) eristävyyttä kuvaamaan. Tie-, juna- ja lentoliikenteestä aiheutuu kuitenkin taajuusjakaumaltaan eri tavalla painottuvaa melua, jolloin eristävyyssluvu sinällään vastaa huonosti eristävyyttä liikennemelua vastaan.

Yleisimmät spektrisovitustermit ovat C ja C_{tr} , joilla mittaustulos korjataan vastaamaan yleisimpiä liikennemelulähteitä. Termi C painottaa korjauksessa keskitaajuuksia sekä suuria taajuuksia ja C_{tr} painottaa keskitaajuuksia ja pieniä taajuuksia. Lähtökohtaisesti termi C on käytetty yleensä laskettaessa eristävyyttä lentomelua vastaan ja termi C_{tr} on käytetty laskennoissa tie- ja junaliikennemelua vastaan.

Näistä lähtöasetuksista kuitenkin saatetaan toisinaan poiketa, koska toisaalta C-termi soveltuu parhaiten suurinopeuksista juna- tai tieliikennettä sekä suihkumoottorilentoliikennettä vastaan, ja C_{tr} taas vastaavasti parhaiten pieninopeuksista maa-liikennettä ja potkurikoneliikennettä vastaan. Esimerkiksi Vantaan rakentamisohjeessa on viitattu C_{tr} termin käyttöön myös lentomelualueiden eristävyyden mitoituksessa.

Korjaustermejä käytetään yhdessä eristävyyssluvun kanssa merkitsemällä joko suoraan korjaustermillä korjattu eristävyyssluvu $R'_w + C_{tr} = xx$ dB tai siten, että korjaustermit on ilmoitettu erillisinä $R'_w (C/C_{tr}) = 40 (-2/-4)$ dB.

2.3.4 Ääneneristävyyksvaatimusten ilmoittaminen

Mitoitusmenetelmissä ja kaavamääräyksissä on käytetty usein edellisistä poikkeavia merkintöjä. Kaavamääräyksissä on rakennuksen julkisivun eristävyyden vaatimuksena useimmiten ΔL , jolla tarkoitetaan koko rakennekokonaisuuden äänitasoeroa. Se vastaa käytännössä Suomen tapauksessa normalisoitua äänitasoeroa D_n , johon on laskettu mukaan melutyypin mukainen korjaustermi C tai C_{tr} .

Ympäristöoppaan 108 mitoitusmenetelmän ([YO 108] ks. kpl 5.5.1) myötä seinille ja ikkuna/parvekeovirakenteille ovat yleistyneet termit $R_{A,tr,seinä}$ ja $R_{A,tr}$, jotka vastaavat termiä $R_w + C_{tr}$. Lisäksi pienille rakennusosille on yleistynyt termi $D_{n,e,A,tr}$, joka vastaa termiä $D_{n,e,w} + C_{tr}$.

Toisiaan vastaavat termit:

ΔL vastaa $D_n + C/C_{tr}$ kaavamääräys äänen-
eristävyydelle

$R_{A,tr,seinä}$ vastaa $R_w + C_{tr}$ YO 108 vaatimisarvo
seinän eristävyydelle. Seinän $R_w + C_{tr}$ tulee olla
suurempi kuin $R_{A,tr,seinä}$

$R_{A,tr}$ vastaa $R_w + C_{tr}$ YO 108 vaatimisarvo ik-
kunoiden ja parvekeovi-
en eristävyydelle. Ra-
kennusosat tulee valita
siten että $R_w + C_{tr}$ on
suurempi kuin $R_{A,tr}$

3 Ääneneristävyyden mitoitus kaavassa ja rakennuslupavaiheessa

Meluntorjuntaa ja ääneneristävyyteen kiinnitetään huomiota monessa kaupunki- ja kaavasuunnittelun vaiheessa. Lähtökohtaisesti uusille ja parannettaville liikenneväylille meluntorjunta suunnitellaan väylän yhteyteen, mutta rakennettaessa liikenneväylien varrelle esimerkiksi asuintaloja, toteutetaan meluntorjunta lähes poikkeuksetta rakennusten julkisivuilla, ja osittain pienimuotoisilla tontille sijoitettavilla meluaidoilla.

Suunniteltaessa meluntorjuntaa rakennuksissa, keskeisimmäksi asiaksi nousevat usein ikkunat ja parvekeovet. Niiden eristävyys on seinärakenteisiin verrattuna keskimäärin heikompi, ja suuria ääneneristyslukuja on haasteellista saavuttaa etenkin jos ikkunoiden pinta-ala suhteessa huoneen lattian pinta-alaan on suuri.

Vielä haastavampi tilanne on julkisivurakenteiden läpivienneissä (ulkoilmaventtiilit, karmiventtiilit), joissa ilman tulee voida kulkea rakenteen läpi, mutta melun ei. Nykyään rakentamisessa ilmaläpivientejä ei usein ole kuitenkaan välttämätöntä toteuttaa rakennuksen meluisille julkisivuille, joten ikkunoiden eristävyys on saanut keskeisimmän roolin kokonaiseristävyyden muodostamisessa. Valtaosassa uusia kerrostaloja ilmanvaihto toteutetaan nykyisin koneellisella ilmanvaihdolla, jossa tuloilma otetaan katolta tai hiljaisilta julkisivuilta, ja johdetaan ulos katolta.

Seuraavissa kappaleissa esitellään lyhyesti meluntorjuntasuunnittelun eri vaiheet rakentamisessa.

3.1 Kaupunkien ja väylien meluselvitykset

Kaupunkien ja valtaväylien meluselvityksissä mallinnetaan suuria alueita melko karkealla mallinnustarkkuudella. Näiden selvitysten tavoitteena on yleensä selvittää melulle altistuvien asukkaiden lukumääriä tai määritellä melualueita, joille rakennettaessa vaaditaan melun lisäselvityksiä.

3.2 Yleiskaavan meluselvitykset

Yleiskaavan meluselvityksessä ratkaistaan toimintojen sijoittelu. Yleiskaavan kaavamääräyksillä tulee turvata edellytykset meluntorjunnan toteuttamiseksi, myös merkittävimpien melualueiden laajuudet on arvioitava.

Rakennusten ääneneristävyyden lukuarvoa ei ratkaista yleiskaavassa, mutta sen suuruudesta voidaan esittää arvio, etenkin jos sen epäillään olevan tavanomaista korkeampi.

3.3 Asemakaavan meluselvitykset

Asemakaavoja tai asemakaavamuutoksia varten laadittavissa meluselvityksissä laaditaan yleensä yleiskaavaselvityksiä ja liikenneväyläselvityksiä tarkemmat melumallit. Tässä vaiheessa on yleensä tiedossa rakennusmassojen sijainnit sekä rakennuskorkeudet.

Asemakaavavaiheessa laaditaan periaatteet melusuojauksille, ja tarvittaessa suunnitellaan arkkitehdin kanssa rakennusten sijaintien hienosäätö ja mahdolliset tontti-kohtaiset melusuojaukset siten, että rakennettavan alueen ulko-oleskelualueet saadaan sijoitettua ohjearvot täyttäviin paikkoihin.

Tarvittaessa annetaan kaavoittajalle suositukset kaavamääräyksen antamisesta esimerkiksi julkisivujen ääneneristävyysvaatimukselle tai parvekkeiden lasittamistarpeelle. Kaavamääräyksiä laatiessaan kaavoittaja voi käyttää kaupunkien yleisohjeistusta esimerkiksi ääneneristävyysvaatimusten porrastamisesta (esim. käytetään arvoja 30 dB, 32 dB ja 35 dB, ei väliarvoja, jolloin vaatimus 31 dB korotetaan suoraan arvoon 32 dB ja 33-34 dB arvoon 35 dB).

Jos asemakaavaa laadittaessa ei tehdä erillistä meluselvitystä tai rakennusprojektin alkaessa ei haeta asemakaavamuutosta, on asemakaavaan voitu kaavoittajan toimesta asetettua varmuuden vuoksi huomattavan korkeat vaatimukset meluntorjunnalle ja ääneneristävyyksille. Tämä saattaa hankaloittaa rakenteiden eristävyden mitoittamista rakennuslupavaiheessa, vaikka rakennuslupavaiheessa tehty melumallinnus osoittaisi meluhaitan tulevan torjutuksi kevyemmälläkin meluntorjuntaratkaisulla.

Kaavamääräyksen ääneneristävyysvaatimus ei ole sama asia kuin ikkunoilta ja parvekeoilta vaadittava ääneneristävyysluku. Ääneneristävyysluvut on mitoitettava erikseen huomioiden rakenteiden pinta-alasuhteet.

3.4 Rakennuslupien meluselvitykset

Rakennuslupavaiheessa olisi hyvä olla ulko-oleskelualueiden meluntorjunta suunniteltuna, koska melun torjuminen tässä vaiheessa saattaa johtaa ylikorkeiden tonttimitoitusten rakentamiseen. Rakennuslupavaiheessa melumallinnus tarkennetaan viimeisimpien arkkitehtikuvien perusteella ja lähinnä tarkastetaan, että asemakaavavaiheessa tehdyt suunnitelmat toimivat lopullisilla suunnitelmillä.

Rakennuslupaselvityksen päätavoite onkin löytää rakenteet, joilla mahdolliset asemakaavassa esitetyt meluntorjuntavaatimukset ja yleiset melutason ohjearvot saadaan täytettyä. Yleisillä ohjearvoilla tarkoitetaan Valtioneuvoston päätöksessä VNp 993/92 esitettyjä ohjearvoja sekä ulkoalueiden että sisätilojen suurimmille sallituille äänitasoille yö- ja päiväaikaan.

Jotta voidaan arvioida millainen äänitaso liikenteestä kantautuu sisätiloihin, tulee tietää julkisivuun kohdistuva melutaso ulkona sekä julkisivun rakennusosien kokonaisääneneristävyys. Äänitasoeron muodostumiseen vaikuttavat kaikki julkisivuissa käytettävät rakennusosat sekä huoneiden muodot, jolloin äänitasoero muodostuu huonekohtaisesti ja on kaikissa huoneissa hieman erisuuruinen.

Kokonaiseristävyyden muodostumisessa merkittävin yksittäinen tekijä on heikoimmin ääntä eristävän rakenteen eristävyysluku. Jos yksikin rakennusosa on heikko, ei kokonaiseristävyyttä voida nostaa merkittävästi muita rakennusosia parantamalla. Siksi ikkunat nousevat usein ääneneristävyyden kannalta kaikkein oleellisimmaksi tekijäksi.

Vaatimukset ikkunoiden ja muiden rakennusosien ääneneristävyyksiluvuista mitoitetaan huonekohtaisesti rakennuslupavaiheessa.

Seuraavissa kappaleissa käsitellään ikkunoiden eristävyysluvun muodostumista ja julkisivujen kokonaiseristävyyden mitoittamista.

4 Ikkunatyypit

Ikkunatyypit voidaan jakaa karkeimmillaan avattaviin ja kiinteisiin ikkunoihin. Käytännössä molemmissa ikkunatyypeissä on ainakin ulkoikkunoiden osalta aina useampi lasikerros pelkäästään lämmöneristävyyden takaamiseksi.

Avattavien ikkunoiden suurin etu on tuuletettavuus, eli ikkunat voidaan avata tuuletamista varten. Lisäksi lasien ulkopinnat voidaan helposti pestä.

Kiinteitä ikkunoita käytetään usein tiloissa, joissa ei ole tarvetta avattaville ikkunoille kuten esimerkiksi toimistoissa. Avattavia ikkunoita käytetään yleensä asuinrakennuksissa. Ikkunan valintaan vaikuttavat myös esimerkiksi ulkolasin puhdistustarve ja mahdolliset varauuskäyntiin liittyvät näkökohdat.

Avattavuuden lisäksi karmien materiaalit, lasien paksuudet ja karmisyydydet vaihtelevat kohdekohtaisten vaatimusten mukaan.

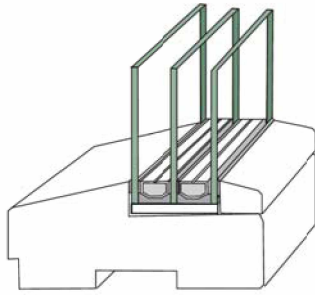
Avattavien ikkunoiden kanssa samankaltaisia rakennusosia ovat parveke- tai terasiovvet, jotka yleensä ääneneristävyyksimitoituksessa rinnastetaan ikkunoihin. Parvekeovissa on usein myös lasitus, joten ne ovat rakenteeltaan hyvin samankaltaisia ikkunoiden kanssa. Poikkeuksena yksilehtiset parvekeovet, jotka ovat ääneneristävyydeltään kiinteiden lasien kaltaisia, mutta joissa on avattavien ikkunoiden tapaan reuna- tiivisteet, jotka saattavat vanhetessaan heikentää eristävyyssominaisuuksia.

4.1 Kiinteät ikkunat

4.1.1 MEK

Merkinnän lyhenne tarkoittaa moduulimitoitettu eristyslasi kiinteä -ikkunaa. Kiinteissä ikkunoissa on yleensä 2 tai 3 kerrosta laseja. Lasit ovat yleensä kiinnitettynä verrattain pienien rakojen päähän toisistaan, ja lasien välitila on usein täytetty suoja- kaasulla. Lasit ovat erittäin hyvin tiivistettyjä karmiin, koska lasien väliin ei saisi jäädä mitään mikä voisi ajan kuluessa likaannuttaa ikkunoita sisältä päin.

Kiinteitä ikkunoita käytetään usein tapauksissa, joissa ikkunoiden avaaminen on hankalaa. Tällaisia ovat toimistot, joissa käytetään paljon lasirakenteita ja asuntojen suuret lattiasta kattoon ulottuvat ikkunat. Kiinteiden ikkunoiden etuna on niiden yleensä avattavia hieman parempi U-arvo, mutta usein ääneneristävyydessä ne jäävät avattavien ikkunoiden eristävyyksistä, koska ikkunoiden välisellä ilmavälillä on erittäin suuri merkitys ikkunan ääneneristysluvun muodostumisessa. Toisaalta avattavissa ikkunoissa karmien sisään jäävillä sälekaihtimilla saadaan jo tasattua erot kiinteän ja avattavan ikkunan lämmöneristävyydessä.

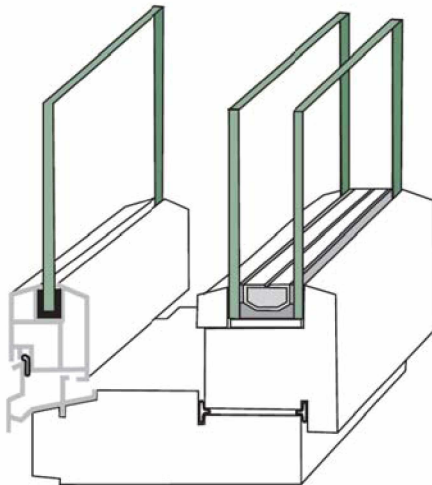


Kuva 4.1.1 MEK-kolmikerosikkunan poikkileikkaus (lähde, RT 38-10941)

4.2 Avattavat ikkunat

4.2.1 MSE

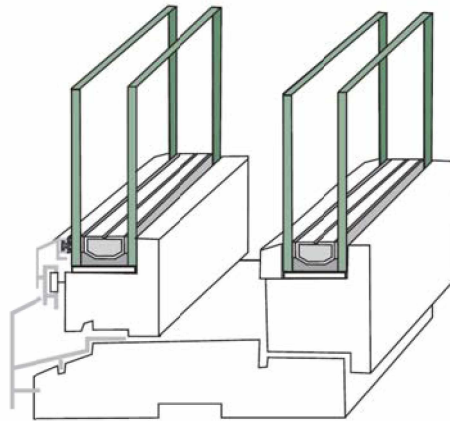
MSE-ikkunat ovat tyypillisin avattavien ikkunoiden Suomessa käytetty tyyppi. Niissä on kaksi ikkunapuitetta, joista sisemmässä on kaksinkertainen lasitus ja ulommassa yksinkertainen. Merkinnän lyhenne tarkoittaa moduulimitoitettu sisäänaukeava eristyslasi -ikkunaa. Sisempi puite on hyvin tiivistetty kaikilta sivuilta ja ulommassa puitteessa on usein ainakin joku reuna jätetty tiivistämättä, jolloin kylmällä ilmalla ikkunan ilmarako pysyy viileänä, mikä estää lasien huurtumista.



Kuva 4.2.1 MSE-ikkunan poikkileikkaus (lähde, RT 38-10941)

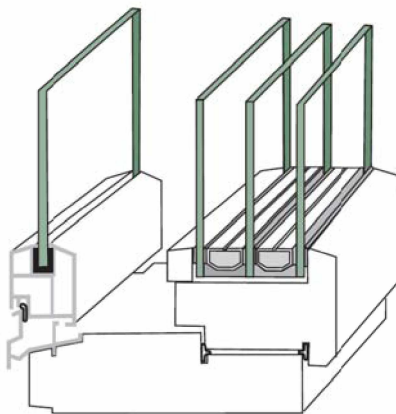
4.2.2 Muut avattavat ikkunatyypit

Jotkut ikkunavalmistaja tekevät MSE-ikkunoiden ohella muitakin avattavia ikkunoita, joissa on tavanomaista enemmän lasikerroksia. Tyypillisimpiä näistä ovat MS2E, jossa sekä ulko- että sisäkarmissa on molemmissa kaksinkertaiset lasit. Tällainen ikkunatyyppi on suunniteltu oletettavasti lämmöneristävyyden näkökulmasta, koska lisäkerros ulkopuitteessa ei yleensä tuo parempaa ääneneristävyyttä vaan pikemminkin heikentää sitä.



Kuva 4.2.2 MS2E-ikkunan poikkileikkaus (lähde, RT 38-10941)

Toinen ajoittain käytetty ikkunatyyppejä on MS3E tai MSE3, jossa MSE-ikkunasta poiketen sisäpuolteissa onkin 3-kertainen lasitus. Myöskään kolmannen sisälasin ei yleensä paranna muttei myöskään huononna ääneneristävyyttä, mutta sillä parannetaan ikkunoiden lämmöneristävyyttä ja vähennetään ikkunoiden sisäpuolelle syntyviä konvektiovirtauksia.



Kuva 4.2.3 MS3E-ikkunan poikkileikkaus (lähde, RT 38-10941)

Lisäksi avattavia standardoituja ikkunatyyppejä ovat MS (sisäänaukeava kaksipuitteinen kaksilasinen ikkuna), MSU (sisään/ulosaukeava kaksipuitteinen kaksilasinen ikkuna), MSK (sisäänaukeava kolmepuitteinen kolmilasinen ikkuna) ja SE (sisäänaukeava yksipuitteinen kaksi- tai kolmelasinen ikkuna). Näistä MS ja MSU löytyy usein erittäin vanhoista taloista, MSK on yleinen 1970–1980-luvun taloissa ja SE:tä käytetään enemmän Keski-Euroopassa, jossa lämmöneristämiskaavat eivät ole niinkään kovia kuin Suomessa.

4.3 Ikkunarakenteiden merkintätavat

Ikkunarakenteissa on oma merkintätapansa, jolla pyritään ilmoittamaan mahdollisimman tarkasti ja yksiselitteisesti ikkunan käsittämät lasikerrokset. Yleensä merkintätavat on selitetty ikkunavalmistajien esitteissä.

Tavanomaisin merkintä on luetella lasit ulkoa sisälle järjestyksessä niin että + merkillä erotetaan ulko- ja sisäpuite, -merkki ilmoittaa lasien välisen ilma/suojakaasuvälin ja k-kirjain vastaa kertomerkkiä. Alla muutama esimerkki selityksineen:

MSE170 4+2k4-16	Sisään aukeava kaksipuitteinen, karmisyvyydeltään 170 mm ikkuna, jossa ulkolasin paksuus 4 mm, ja sisäpuitteessa kaksinkertainen 4 mm lasitus, joiden välissä 16 mm ilmatila.
MSE210 6+2k4/6-18	Sisään aukeava kaksipuitteinen, karmisyvyydeltään 210 mm ikkuna, jossa ulkolasin paksuus 6 mm, ja sisäpuitteessa kaksinkertainen lasitus paksuuksilla 4 ja 6 mm, joiden välissä 18 mm ilmatila.
MEK 3k6/4/6-16/18	Kiinteä kolmikerrosikkuna, jossa lasipaksuudet 6mm, 4 mm ja 6 mm, jossa uloimpien lasien ilmapäli 16 mm ja sisempien lasien väli 18 mm.

Lisäksi ikkunoissa voi olla laminointia tarkoittavia lisämerkintöjä (esim. Phon) tai lasien välisen suojakaasun tarkentava merkintä (esim. Argon).



Kuva 4.3.1 MSE 210 mm ikkunoissa lasien välinen ilmapäli parantaa ääneneristävyyttä

5 Ikkunoiden ääneneristävyyden muodostuminen

5.1 Yksinkertaisen lasin ääneneristävyys

Yksinkertaisen lasin eristävyys perustuu hyvin pitkälti massalakiin. Massalain mukainen ääneneristävyys on käytännössä eristävyden ideaalilinja, jolla eristävyys kasvaa suoraviivaisesti taajuuden kasvaessa.

Massalain ideaalieristävyttä heikentää lasin jäykkyydestä ja koosta riippuva resonanssi sekä lasin paksuudesta, jäykkyydestä ja kimmoisuudesta riippuva koinsidenssi (kuva 5.1.1).

Resonanssitaajuuksia esiintyy eristävyyskäyrän pienimmillä taajuuksilla, joilla resonansseilla voi olla tietyillä taajuuksilla heikentävä ja tietyillä taajuuksilla eristävyttä parantava vaikutus.

Koinsidenssi ilmenee melko korkeilla taajuuksilla ja aiheuttaa eristävyyskäyrään selvän heikentymän.

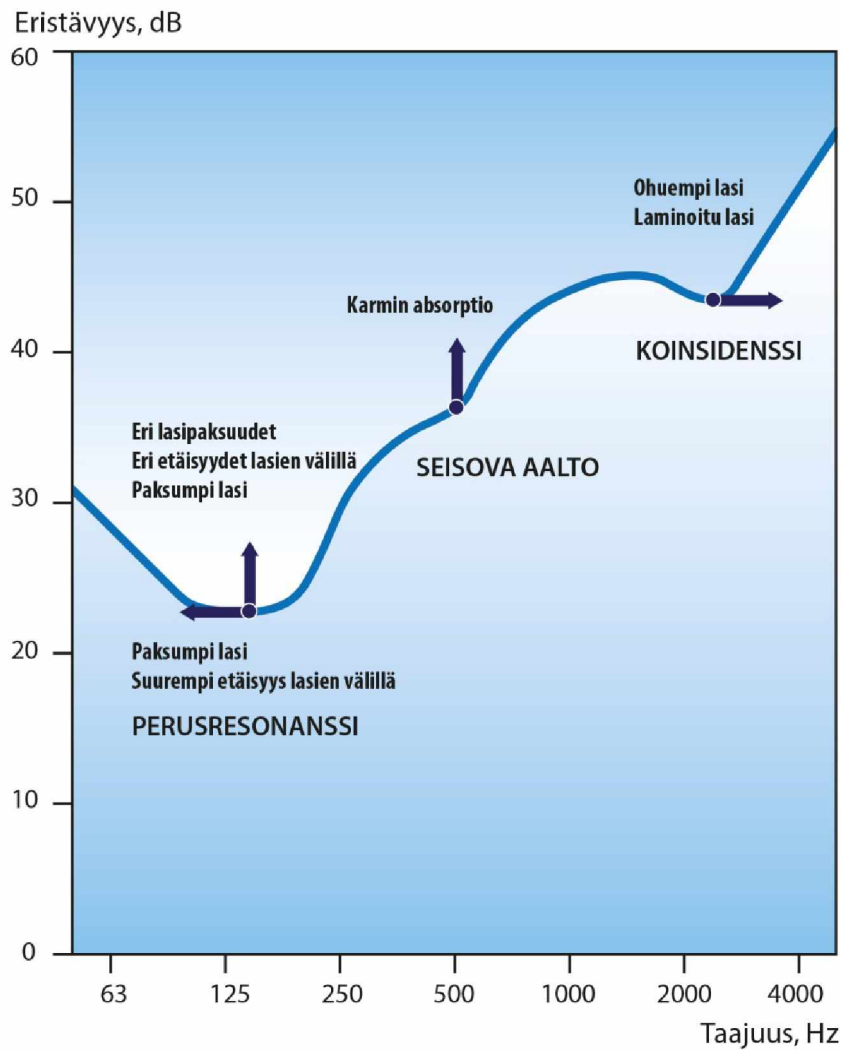
Yksinkertaisen lasin koinsidenssitaajuus voidaan karkeasti laskea kaavalla:

$$f_g = \frac{12000\text{Hz}}{d}$$

jossa d on lasin paksuus millimetreinä.

Näin ollen 4 mm lasin koinsidenssitaajuus on noin 3000 Hz, ja 3 mm lasin 4000 Hz. Laminoinnilla voidaan parantaa yksinkertaisen lasituksen eristävyttä. Esimerkiksi 10 mm lasin korvaaminen laminoituilla 4mm ja 6mm lasilla jakaa 10mm lasin koinsidenssikuopan (1200 Hz) taajuuksille 3000Hz ja 2000Hz, millä taajuuksilla lasin massan tuoma eristävyys on parempi ja lisäksi koinsidenssin jakautuminen pienentää yksittäisen suuren eristävyyskuopan kahdeksi pienemmäksi.

Ikkunoita ei juurikaan tehdä yksilasisina lukuun ottamatta joitakin sisäikkunoita, joten yksilasisisten ikkunoiden mittaustuloksia, joista esimerkiksi koinsidenssin vaikutusta voisi tarkastella, ei ollut saatavissa. Ilmiön vaikutuksia tarkastellaan kuitenkin monilasisisten ikkunoiden tapauksissa seuraavissa kappaleissa.

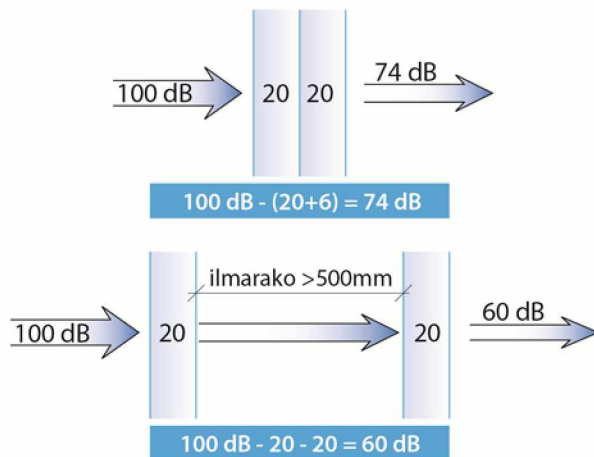


Kuva 5.1.1 Ikkunan ääneneristävyyteen vaikuttavat tekijät.

5.2 Monikerroksisen ikkunan ääneneristävyys

Kun ikkuna muodostetaan useita laseja yhdistämällä, tulee eristävyysominaisuuksiin vaikuttavia muuttujia huomattavasti lisää. Heikoimmillaan kahden lasikerroksen eristävyys vastaa lähestulkoon massalain mukaista 6dB parannusta yksikerroksiseen ja ideaalitilanteessa ikkunoiden eristävyysluvut voi suoraan summata toisiinsa (kuva 5.2.1). Siinä välillä lasien välissä oleva ilma vaikuttaa jousen tavoin muodostamalla etäisyydestä ja tiiveydestä riippuvia resonansseja lasien välille. Seuraavissa kappaleissa on eritelty monikerrosikkunoiden eristävyysominaisuuksiin vaikuttavia ominaisuuksia ja havainnollistettu niiden vaikutusta eristävyysominaisuuksiin.

IKKUNAN LASIEN ERISTÄVYYS



Kuva 5.2.1 Ikkunan monikerrosrakenteen ääritilanteet eristävyyden kannalta.

5.2.1 Kiinteät monikerroslasit (MEK)

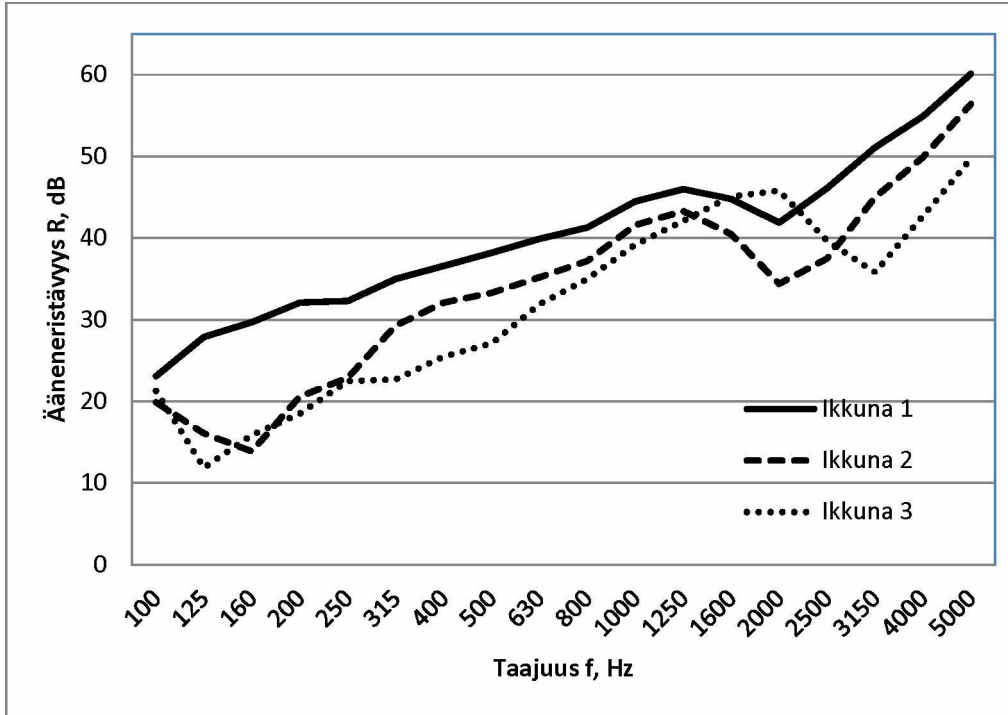
Kiinteissä ikkunoissa on yleensä 2-3 kerrosta lasia, joiden väleissä on yleensä 10–20 mm välilista. Kapea ilmaväli (usein myös argonilla täytetty) korostaa resonanssin aiheuttamaa kuoppaa, ja usein myös koinsidenssin aiheuttamat kuopat näkyvät selkeästi.

Kuvassa 5.2.1.1 on kuvattu kolmen erilaisen kiinteän ikkunan ääneneristävyyksiä. Ikkunassa 1 on 8, 4 ja 6 mm lasit 14 mm ja 12 mm väleillä. Ikkunassa 2 on 6, 4 ja 6 mm lasit kaikki 16mm argontäytteisellä välillä. Ikkunassa 3 on kolme 4mm lasia kaikki 18 mm argontäytteisillä väleillä.

Ensimmäisen ikkunan vaihteleva 12/14 ilmaväli rikkoo resonanssikuopat hyvin, ja kun lisäksi kaikki lasit ovat eripaksuisia (8, 4 ja 6 mm), ilmenee koinsidenssinkin vaikutus vain pienenä kuoppana 2 kHz kohdalla (6mm lasin koinsidenssi).

Ikkunassa numero 2 tasainen 16 mm argon-täyttö lasien välissä aiheuttaa selvän resonanssikuopan pienille taajuuksille ja lisäksi 2 kpl 6 mm lasia aiheuttaa edellistä ikkunaa suuremman koinsidenssikuopan 2 kHz taajuudelle.

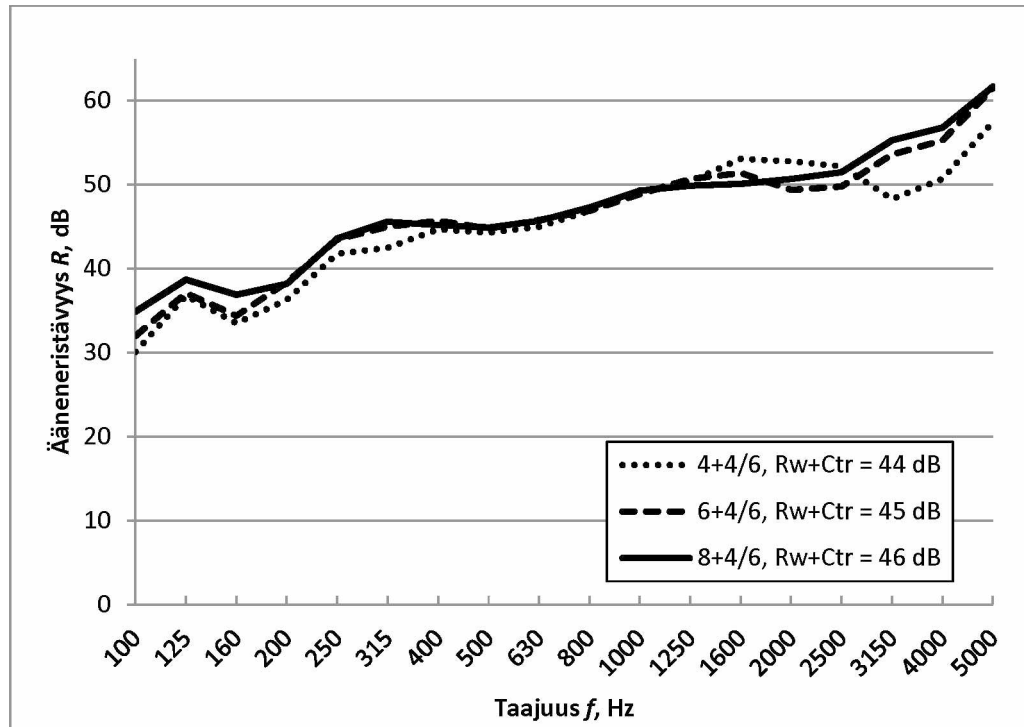
Ikkunassa 3 myös tasavälinen 18 mm aiheuttaa selkeän resonanssikuopan pienille taajuuksille, ja lisäksi kaikki kolme ikkunakerriosta ova 4mm paksuisia ja aiheuttavat melko selvän koinsidenssikuopan 3 kHz taajuudelle.



Kuva 5.2.1.1 Kiinteiden ikkunoiden ääneneristävyys taajuuskaistoittain

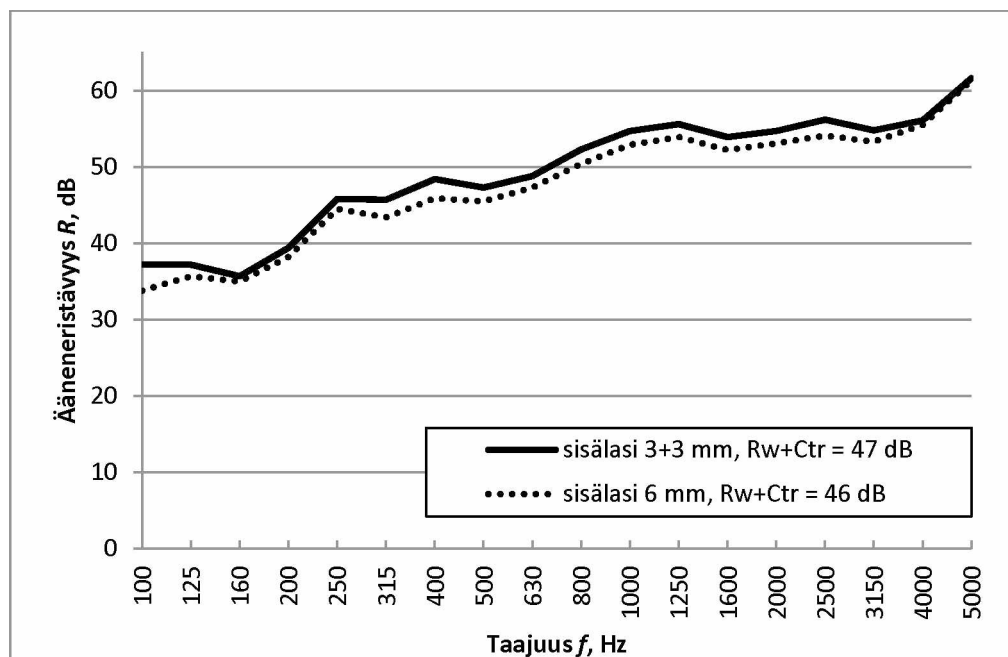
5.2.2 Lasipaksuudet MSE-ikkunoissa

Lasipaksuuksilla voisi massalakiin perustuen luulla olevan enemmän vaikutusta eristävyteen, mutta näin ei kuitenkaan ole. Ulkolasin paksuuden muutoksella on kuitenkin suurempi merkitys kuin sisälasin paksuuden muutoksella. Kuvassa 5.2.2.1 on esitetty 170 mm karmilla ulkolasin muutoksen (4, 6, ja 8 mm laseilla) vaikutus ääneneristävyyskäyrään. Muutoksesta huomataan, että merkittävin vaikutus on 4 mm lasien koinsidenssikuopan tasoittumisella. Lisäksi paksumpi ulkolasi tuo hieman paremman eristävyden taajuuksilla 200-400Hz.



5.2.2.1 Ulkolasin paksuuden vaikutus MSE-ikkunoissa

Lasien paksuntamisen lisäksi eristävyttä voidaan parantaa myös laminoinnilla. Se ei kasvata lasipaksuutta, vaan muuttaa hieman lasin resonanssiominaisuuksia sekä siirtää koinsidenssia suuremmille taajuuksille, joilla eristävyys on parempi massalain vuoksi. Lisäksi laminointi toimii kokonaisvaltaisena vaimentimena lasien välissä, jolloin eristävyys paranee laminoinnin ansiosta melko tasaisesti kaikilla taajuuksilla (kuva 5.2.2.2).



Kuva 5.2.2.2 Laminoinnin vaikutus 3k kiinteässä ikkunassa (3/3+4+4mm ja 6+4+4mm)

5.2.3 Karmisyyvyys MSE-ikkunoissa

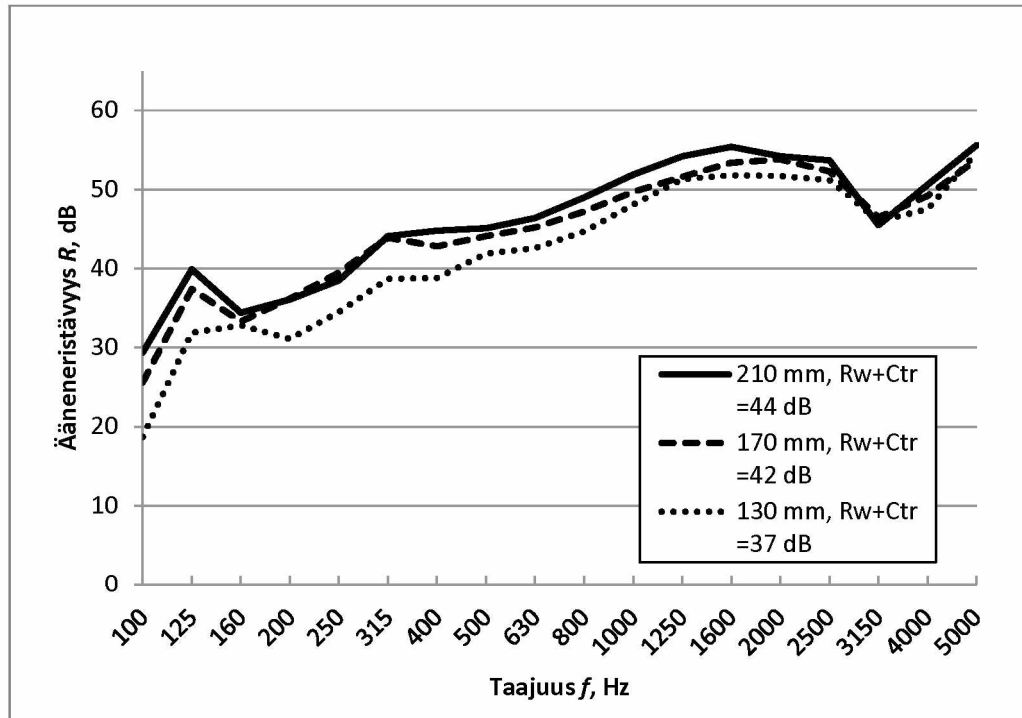
Kiinteissä ikkunoissa karmisyyvyydellä ei yleensä ole vaikutusta, koska lasit asennetaan lähekkäin toisiaan. Avattavissa ikkunoissa karmisyyvyys mahdollistaa suuremman ilmavälin ulko- ja sisäpuutteisiin kiinnitettyjen lasien välille, mikä on erittäin merkittävä ääneneristävyyteen vaikuttava ominaisuus.



Kuva 5.2.3.1 Vasemmalla karmisyyvydeltään 170mm ikkuna ja oikealla 210 mm ikkuna

Kuvassa 5.2.3.2 on esitetty tavanomaisen MSE-ikkunan (4+2k4) eristävyys tyypillisimmillä karmisyyvyksillä 130 mm, 170 mm ja 210 mm. Merkittävä muutos tapahtuu kasvatettaessa karmisyyvyttä 130 mm:stä 170 mm:iin. Muutos 170 mm:stä 210 mm:iin ei kuvaajassa näytä kovinkaan suurelta, mutta vaikuttaa ääneneristävyyteen yhtä paljon, kuin kappaleen 5.2.2 ulkolasin paksuuden parannus 4 mm:stä 8 mm:iin.

Karmisyyvyden kustannusvaikutus ikkunan hintaan on yleensä pienempi kuin paksujen lasien asentaminen, joten hyvää ääneneristävyyttä haettaessa kannattaa suosia leveitä karmeja.



Kuva 5.2.3.2 Karmisyvyyden vaikutus ikkunan eristävyyteen (kaikissa samat lasipaksuudet)

5.3 Markkinakatsaus ikkunoiden eristävyyteen

Tässä kappaleessa on kootusti taulukoitu erilaisten markkinoilla olevien ikkunatyypin ääneneristävyyksiä. Tiedot on saatu ikkunavalmistajien Domus, Eskopuu, Fenestra, Pihla, Skaala ja Tiivi edustajilta tai verkkosivuilta.

Alla on taulukoitu tyypillisimpiä MSE-ikkunoiden tyyppisiä eri karmisyvyyksillä. Lisäksi on kustakin ikkunatyypistä ja karmisyvyydestä annettu perustuotteista löytyvä parhaiten ääntä eristävän tuotteen eristävyyshuutot, jotta voidaan hahmottaa ikkunaeristävyyden paras äänilaita. Parhaimmin äänieristettyjen ikkunoiden lasituksissa käytetään yleensä erityislaseja, jotka nostavat viimeisen taulukon tuotteiden hintoja verrattuna kolmen ensimmäisen taulukon yleisimpiin tuotteisiin.

Ikkunatyypin merkintätapa on selitetty kappaleessa 4.3.

MSE 130mm karmien yleisimpien ikkunamallien ääneneristävyyshuutujen pienimmät ja suurimmat arvot on esitetty taulukossa 5.3.1.

Taulukko 5.3.1 MSE 130 ikkunoiden ääneneristävyyshuutujen hajonta

Ikkunatyyppi	Rw (min-max)	Rw+C (min-max)	Rw+Ctr (min-max)
MSE 130 4+2k4	43–44	40–43	34–37
6+2k4	42–47	40–45	35–42
6+2k4/6	43–47	41–46	36–43

MSE 170–175 mm karmin yleisimpien ikkunamallien ääneneristävyysslukujen pienimmät ja suurimmat arvot on esitetty taulukossa 5.3.2.

Taulukko 5.3.2: MSE 170-175 ikkunoiden ääneneristävyysslukujen hajonta

Ikkinatyypin	Rw (min-max)	Rw+C (min-max)	Rw+Ctr (min-max)
MSE 170/175 4+2k4	45–48	43–46	37–42
6+2k4	47–49	45–48	41–45
6+2k4/6	47–49	45–48	40–45

MSE 210 mm karmin yleisimpien ikkunamallien ääneneristävyysslukujen pienimmät ja suurimmat arvot on esitetty taulukossa 5.3.3.

Taulukko 5.3.3 MSE 210 ikkunoiden ääneneristävyysslukujen hajonta

Ikkinatyypin	Rw (min-max)	Rw+C (min-max)	Rw+Ctr (min-max)
MSE 210 4+2k4	46–49	45–47	42–44
6+2k4	47–50	46–49	42–46
6+2k4/6	47–50	46–49	44–46

Eristävyydeltään parhaat ikkunavalmistajien vakiotuotteiden joukosta löytyvät ikkunat tyypeittäin on esitetty taulukossa 5.3.4. Näissä ikkunatyypeissä on käytetty tavanomaisimmista lasikombinaatioista poikkeavia yhdistelmiä, ja niiden kustannus voi olla tyypillisimpiä ikkunoita huomattavasti korkeampi.

Taulukko 5.3.4 Suurimmat ääneneristysluvut ikkunatyypeittäin (saatu aineisto)

Ikkinatyypin	Rw	Rw+C	Rw+Ctr
Paras MEK	45	43	40
MSE 130	50	48	47
MSE 170/175	49	48	46
MSE 210	51	50	47

Erikoistilauksesta voi olla mahdollista saavuttaa suurempiakin eristävyksiä, mutta käytännössä lasipaksuudet kasvavat suuriksi, ja ikkunoista tulee raskaita avata ja/tai asentaa.

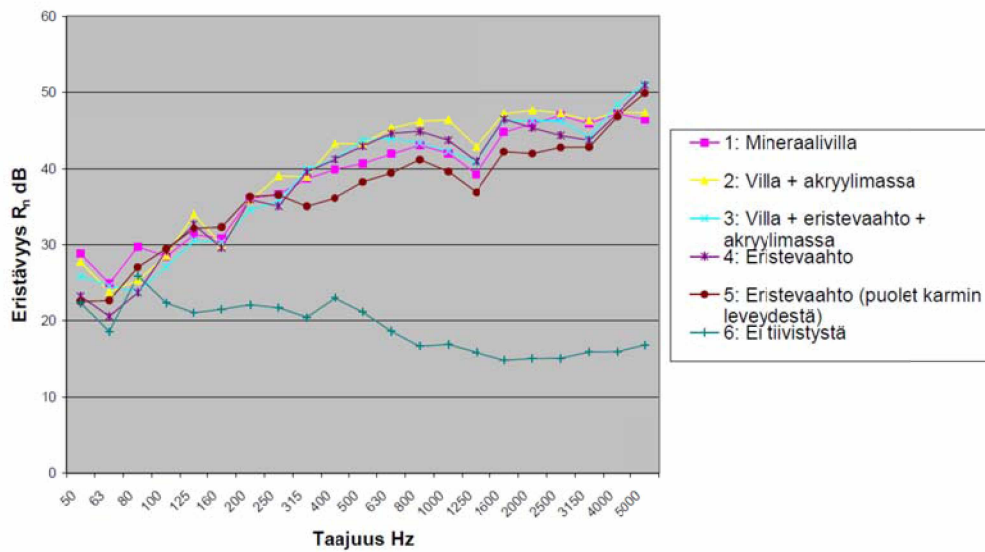
Ikkunan valinnassa huomioitavia asioita

- Karmisyvyydellä on usein suurin merkitys eristävyyteen, ja vaikutus ikkunan hintaan on pieni
- Laseista ulomman kerroksen paksuudella on suurin merkitys eristävyyteen
- Kannattaa valita ikkunoita, joissa on eripaksuisia laseja (koinssidenssikuoppa jakautuu useille taajuuksille)
- 4-lasisissa ikkunoissa ääneneristävyys ei parane merkittävästi verrattuna 3-lasisiin, ainoastaan lämmöneristys

5.4 Ikkunan tiivistämisen vaikutus ääneneristävyyteen

Ikkunakarmin huono tiivistys ikkuna-aukkoon voi heikentää oleellisesti koko julkisivukokonaisuuden ääneneristävyyttä. Pienikin reikä tiivistyksessä heikentää huomattavasti eristävyysominaisuuksia. Nykyään ikkunoiden asennuksessa käytetään useimmin uretaanivaahtoa, joka mahdollistaa nopean asennuksen. Vaahdon lisäksi sisäsauma yleensä kitataan ja ulkopuolella tiivisteiden suojana on suojapelti.

Aiemmin käytettiin ikkunan tiivistämiseen usein myös villaa, mutta uretaanin vaivatompampi asennus on tehnyt siitä yleisimmän tiivistämistavan. Karmitiivisteiden vaikutusta on tutkittu laboratoriomittauksin diplomityössä Julkisivun ääneneristävyyden mitoitustietojen vastaavuus kenttämittauksiin, Petteri Laine, 2006. Työssä mitattiin MSE 210 mm ikkunaa eri tiivistevaihtoehdoilla. Eristävyysmittausten tulokset on esitetty kuvassa 5.4.1.



Kuva 5.4.1 Ikkunan eristävyysluvut taajuuskaistoittain erilaisilla karmittiivisteillä [DI-Laine]

Eri tiivisteillä saavutetut eristävyysluvut näyttävät noudattelevan samankaltaista käyrää, mutta joillakin taajuuksilla ilmenee jopa noin 5 dB eroja eri tiivistysten välillä. Tiivistevaihtoehdossa 5 oli käytetty uretaanieristystä vain puolen karmin syvyydeltä, minkä oli tarkoitus vastata vähän huolimattomammin ruiskutettua uretaania, joten sitä ei voi laskea varsinaiseksi tiivistystavaksi vaan se kuvaa käytännössä useimmin tapahtuvaa rakennusvirhettä ureaanitiivistämisessä.

Eri tiivistystavoilla oli liikennemelua vastaan vain 1 dB hajonta ja muilla eristävyysluvuilla 2 dB hajonta, joten tiivistystavalla ei ole suurta merkitystä. Uretaania käytettäessä voi tiiveys kuitenkin helposti jäädä heikommaksi, jolloin eristävyysluvut saattavat nopeasti pudota 4–5 dB (tai jopa enemmän) ikkunavalmistajan ilmoittamaa eristyslukua heikommaksi.


Nykyään markkinoilla on tavallista uretaanivaahtoa hieman raskaampaa ja elastisempaa vaahtoa, jolla tiivistyksen eristävyys paranee entisestään.

6 Julkisivun ilmaääneneristävyyden mitoitus ja mittaukset

6.1 Julkisivun ilmaääneneristävyyden muodostuminen rakennusosien summana

Yleisesti puhuttaessa julkisivun ääneneristävyydestä, tarkoitetaan täsmällisesti äänitasoeroa (normalisoitua), johon siis vaikuttaa kaikkien eri rakennusosien eristävydet ja pinta alat sekä julkisivun takana olevan huoneen mitat.

Usein kaavamääräyksissä ilmoitetaan lukuarvo julkisivun vaadittavalle eristävyydelle seuraavasti [A-kaavamerkinntät]:

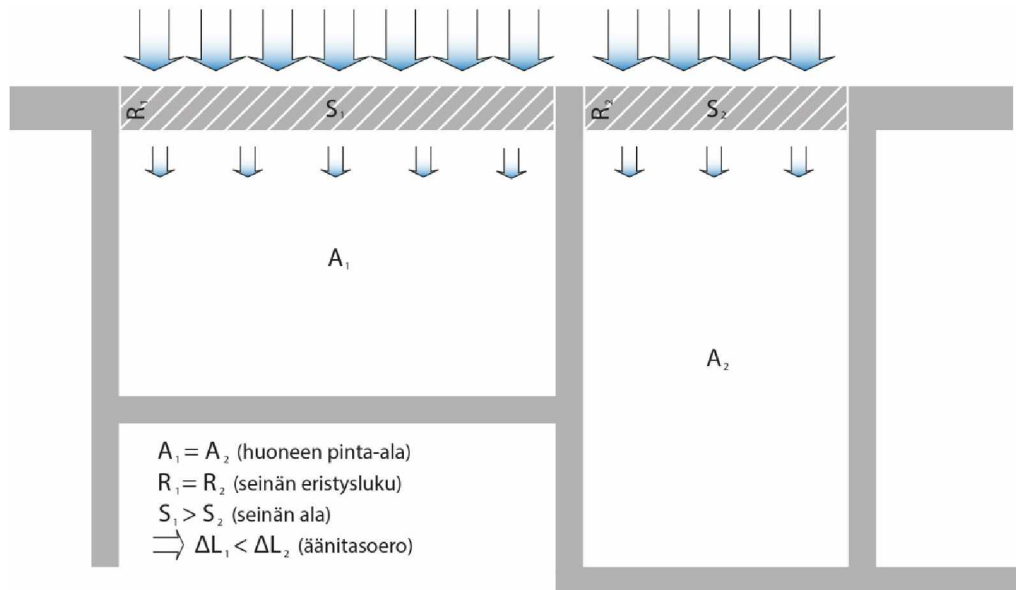
132  Merkintä osoittaa rakennusalan sivun, jonka puoleisten rakennuksen ulkoseinien sekä ikkunoiden ja muiden rakenteiden ääneneristävyyden liikennemelua vastaan on oltava vähintään 00 dBA.

Kuva 6.1.1 Julkisivun ääneneristävyyksivaatimuksen kaavamerkintä, Maankäyttö- ja rakennuslaki, Asemakaavamerkinntät ja -määräykset, YM 2000

Merkintä saattaa johtaa harhaan, koska siinä ei puhuta rakenteiden muodostamasta kokonaisääneneristyksestä saati äänitasoeroluvusta, vaikka tarkalleen ottaen kyseessä on normalisoitu äänitasoeroluku liikennemelua vastaan $D_n + C_{tr}$ (tai ΔL).

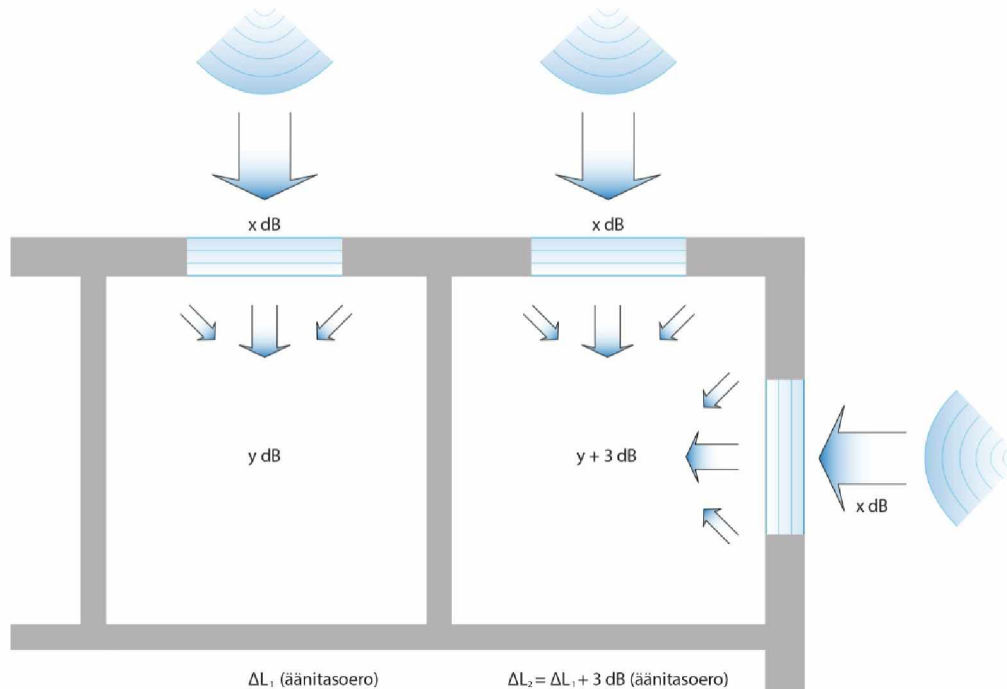
Koska määräyksellä tarkoitetaan äänitasoeroa, vaikuttaa määräyksen toteutumiseen kaikkien rakennusosien eristävyyslukujen lisäksi huoneiden mitat ja rakennusosien pinta-alasuhteet. Mitoitusmenetelmästä riippuen pinta-alasuhteet huomioidaan hie-man eri tavalla.

Mikäli seinärakenteen eristävyysluku sama kaikissa huoneissa, on äänitasoero heikoin siinä huoneessa, jossa on suurin ulkoseinäala huoneen pinta-alaan nähden (kuva 6.1.2).



Kuva 6.1.2 Huoneen pitkittäinen ja poikittainen sijoitus äänitasoeron kannalta.

Yleensä kulmahuoneissa rakenteilta vaadittavat eristävyysvaatimukset ovat suurempia, ja seinä- ja ikkunarakenteita voidaan joutua vahvistamaan rakennuksen kulmissa. Myös tässä tilanteessa kulmahuoneessa on huomattavasti enemmän ulkoseinää, josta melu kantautuu huoneeseen. Kuvan 6.1.3 neliön muotoisessa huoneessa voivat rakenteiden vaatimukset olla jopa 3 dB korkeampia, kuin vain yhden ulkoseinän huoneissa.



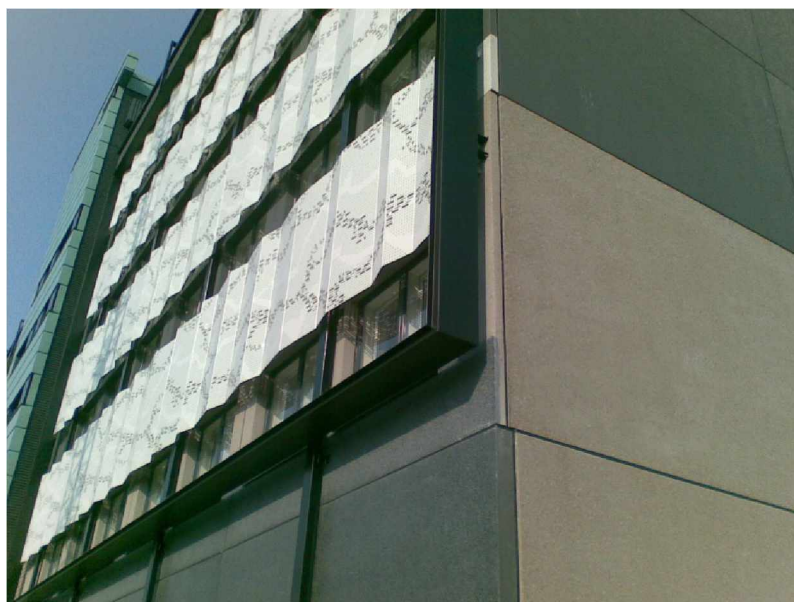
Kuva 6.1.3 Kulmahuoneiden kovemmat eristävyysvaatimukset johtuvat myös suuremmasta seinäalasta suhteessa huoneen pohjapinta-alaan.

Ikkunan eristävyysvaatimukset korostuvat erityisesti kevytrakenteisissa seinissä (sisäkuori kipsiä, ulkokuori laudoitus tai kevytrappaus) sekä lämpörapatuissa betoneisissa.

Ainoa luotettava tapa todeta valmiin julkisivun ääneneristävyys on standardin mukainen mittaaminen [ISO 140-5]. Riittävään eristävyteen pääsemiseksi on kuitenkin pystyttävä arvioimaan eristävyyttä jo suunnitteluvaiheessa. Eristävyyden suunnitteluun on käytettävissä lukuisia erilaisia mitoitusmenetelmiä, joista tässä esitetään kolme Suomessa yleisimmin käytettyä.

Oikeanlaisesta mitoituksesta huolimatta voi rakennusvaiheessa tapahtua asennusvirheitä tai väliseinien, välipohjien, alapohjien tai yläpohjien kautta ilmetä tavallista herkempiä sivutiesiirtymiä, jotka mitoitusmenetelmissä huomioidaan usein vakio-suuruusella dB heikentymällä. Myös poikkeavan äänilähteen taajuusjakauma voi olla seinälle epäedullinen, tai seinän rakennusosien resonanssit ja koinsidenssit voivat sattua lähelle toisiaan, jolloin yksilukuarvoilla ($R_w + \text{korjaustermi}$) mitoitettu rakenne voi osoittautua ennakoitua huonommaksi.

6.2 Julkisivun ääneneristävyden mitoitusmenetelmät



6.2.1 Ympäristöopas 108 mitoitusmenetelmä

Yleisimmin Suomessa käytetty mitoitusmenetelmä on Ympäristöoppaassa 108 (Rakennuksen julkisivun ääneneristävyden mitoittaminen 2003) esitelty menetelmä. Muista menetelmistä poiketen tämä menetelmä ei anna seinän kokonaiseristävyyttä lukuarvona, vaan antaa rakennusosille minimiarvot, joilla haluttu eristävyys voidaan saavuttaa. Menetelmä etu on sen yksiselitteisyys; kun valitset eristävyudet laskennan mukaan, saavutat riittävän kokonaiseristävyyden.

YO 108 laskettaessa ei myöskään tarvitse tietää, millaisia rakenteita julkisivuun on jo valittu, lasketaan vain vähimmäisarvot ja valitaan minimiarvon täyttävät rakennusosat. Tällä menetelmällä ei voi laskea paljonko eristävyys paranee, jos esimerkiksi ikkunan eristävyyttä parannetaan.

Menetelmän edut: Nopea laskea, yksiselitteinen

Menetelmän heikkoudet: Menetelmä ei anna lukuarvoa rakenteiden toteuttamalle eristävyydelle

6.2.2 Äänitasoeromenetelmä, RIL 129

Suomen akustiikkasuunnittelun pioneeri Alpo Halme on julkaissut 1976 ilmestyneessä kirjassaan ”Rakennus- ja huoneakustiikka” julkisivun ääneneristävyden mitoitustmenetelmän, joka on myöhemmin sisällytetty 2003 ilmestyneeseen RIL 129 Ääneneristuksen toteuttaminen -kirjaan. Menetelmää kutsutaan usein myös Alpo Halmeen menetelmäksi.

Äänitasoeromenetelmässä ajatuksena on, että sijoitetaan kuvitteellinen äänilähde rakennuksen ulkopuolelle, lasketaan kunkin rakennusosan läpi huoneeseen pääsevä ääni, ja summataan (logaritmisesti) kunkin rakennusosan läpi päässyt äänitaso ja lasketaan erotus kuvitteellisen äänilähteen äänitasoon. Jokaisen rakennusosan tunnettuun ääneneristävyyslukuun lisätään rakennusosan alan ja huoneen pohjapinta-alan suhteen laskettu korjaustermi.

Tässä menetelmässä tulee lähtökohtaisesti tuntea kaikkien rakennusosien ääneneristysluku, ennen kuin voidaan laskea kokonaiseristävyys. Laskennalla voidaan kuitenkin haarukoida melko helposti esimerkiksi ikkunoilta vaadittava eristävyys, kun muut rakenteet jo tunnetaan. Hankalimmillaan yksittäisessä huoneessa voi olla useita erilaisia seinärakenteita, ikkunoita ja parvekeovia, ja haluttu eristävyys voidaan saavuttaa useilla eri kombinaatioilla, jolloin. Tämä on ainoa kolmesta menetelmästä, jolla voidaan laskea esimerkiksi läpitalon ulottuvia olohuone-keittiökokonaisuuksia, joissa rakennuksen eri puolilla on erisuuruiset melutasot.

Menetelmän edut: Seinälle saadaan äänitasoeron lukuarvo, voidaan laskea huoneita, joissa eri seinustoilla eri melutasot.

Menetelmän heikkoudet: kaikkien rakennusosien yksittäiset eristävyysvaikutukset vaikuttavat tulokseen, jolloin yleensä laskentoja halutaan tehdä useilla eri seinä-ikkunaparvekeovi-kombinaatioilla, mikä usein lisää laskentatuloksien määrää ja väärinkäsitysten mahdollisuutta.

6.2.3 EN 12354-3 standardimenetelmä

EN 12354 standardisarja käsittelee erilaisten rakenteiden laskennallista mitoitamista. Standardisarjan osa 3 (EN 12354-3: Rakennusakustiikka. Rakennusten akustisten ominaisuuksien arviointi rakennustuotteiden ominaisuuksien perusteella. Osa 3: Ilmaääneneristys ulkomelua vastaan) käsittelee julkisivun ääneneristävyden mitoitamista. Standardi mahdollistaa julkisivun ääneneristävyden melko tarkat laskennat, mutta käytännössä esimerkiksi rakenteiden sivutiesiirtymien vaikutusten laskeminen on hankalaa, työlästä ja epävarmaa. Tätä menetelmää käytetäänkin usein niin, että sivutiesiirtymien vaikutus arvioidaan vakioarvolla, joka on määritetty kenttämittaustulosten perusteella. Edistyneemmät laskentaohjelmistot (esim. SONarchitect) huomioivat myös sivutiesiirtymien vaikutukset ja laskevat eristävyysvaikutukset taajuuskaistoittain.

Standardimenetelmä mahdollistaa monipuoliset ja yksityiskohtaiset ääneneristävyyslaskennat. Menetelmän hyödyntämiseksi tulee tuntea rakenteiden ominaisuudet erittäin tarkasti tai vaihtoehtoisesti tuntea menetelmän epävarmuustekijät erittäin hyvin, jotta laskentoja voi yksinkertaistaa.

Menetelmän edut: Mahdollistaa muita menetelmiä tarkemmat laskennat jopa taajuuskaistoittain, mikäli rakenteiden eristävyys tunnetaan tarkasti.

Menetelmän heikkoudet: Vaatii paljon lähtötietoja ja standardin tuntemusta. Laskennat muita menetelmiä työlämpiä.

6.3 Ääneneristävyyden mittausmenetelmät

Julkisivun ääneneristävyyttä mitataan standardin ISO 140-5 (Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades) mukaan.

Menetelmässä äänilähteen tuottamaa ääntä (kaiuttimella tuotettu kohina tai liikenne) mitataan sekä rakennuksen ulkoseinän ulkopuolella että huoneessa sisällä. Lisäksi mitataan huoneen jälkikaiunta huoneen absorptioon normalisoimiseksi.”



Kuva 6.3.1 Ääneneristävyyden mittausta asuintalossa

Huoneen julkisivun äänitasoero voidaan luotettavasti todeta ainoastaan mittaamalla, koska mitoituksessa ei voida huomioida mahdollisia rakennusvirheitä ja mitoitusvaiheessa ei usein pystytä huomioimaan kaikkia mahdollisia sivutiesiirtymiä.

Yleistä julkisivun ääneneristävyyden mitoituksesta

- Ikkuna on yleensä heikoimmin ääntä eristävä rakennusosa
- Korvausilmaventtiilejä käytetään kerrostaloissa harvoin eikä niitä nykyään suositella meluisille julkisivuille
- Yleensä ikkunoiden ala on noin 20-25% huoneen julkisivualasta, jolloin yleensä ikkunan eristävyyslukuvaatimus on n. 7 dB suurempi, kuin kaavamääräyksen lukuarvo (riippuu hieman mitoitusmenetelmästä ja seinärakenteesta)

7 Ikkunoiden ääneneristävyyden parantaminen

Asennettuja ikkunoita voidaan parantaa muutamalla tapaa, ja pienilläkin toimenpiteillä saatetaan saada hyviä tuloksia aikaan. Parantamisessa tulee kuitenkin pitää silmällä uusille ikkunoille ilmoitettavia eristävyksiä, jotta saadaan jotain kuvaa eristävyyden parantumisen suuruusluokasta. Koska karmisyvyys on erittäin merkittävä osa ikkunan eristävyyden muodostumisessa, on äärimmäisenä toimenpiteenä eristävyyden parantamisessa koko ikkunoiden vaihto.

Eristävyyden parantamisessa tulee ottaa huomioon kaikki julkisivun rakennusosat. Ikkunan parantaminen ei välttämättä auta, jos seinä on heikko tai siinä on heikosti eristäviä korvausilmaventtiilejä.

Ikkunoiden uusimista tai muutostöitä suunniteltaessa (tiivisteiden parantamista lukuun ottamatta) kannattaa olla yhteydessä kunnan rakennusvalvontaan toimenpidelupatarpeen selvittämiseksi.

Seuraavassa on esitetty asteittain ikkunan eristävyttä mahdollisesti parantavia toimenpiteitä ja arvioitu niiden mahdollisia vaikutuksia.

Tiivisteiden parantaminen

Ikkunan tiivisteille on eristävyysmitoituksessa huomioitu vanhenemiskorjaus 3 dB, millä kuvataan ikkunatiivisteiden vanhentuessa aiheutuvaa tiiveyden heikkenemistä. Oletettavasti vanhenemista tapahtuu enemmän niillä julkisivuilla, joihin aurinko paistaa kuumimmin. Tiiveyden heikentyminen voi aiheutua liimapinnan pettämisestä tai eristekumin hapertumisesta. Eristeiden vanhenemisen vaikutuksista ei ole julkaistua mitattuja tutkimustuloksia, mutta oletettavasti jonkinlaista seuranta tiivisteiden vaikutuksista on ikkunavalmistajien toimesta tehty.

Mikäli ikkunoiden tiivistenauhojen kunto on heikko, voidaan eristävyttä parantaa oletettavasti enimmillään n. 3 dB erittäin kevyellä ja edullisella toimenpiteellä. Tiivistenauhoja asennettaessa kannattaa huomioida, että MSE- ikkunoissa ei tarkoituksella ole tiivistetty ulkopuitetta kokonaan, koska puitteiden väliin pääsevä viileä ilma ehkäisee ikkunaa huurtumiselta.

Ulkopuitteen lasin vaihtaminen

Tiivistenauhojen vaihtoa työläämpi toimenpide on ikkunan ulkopuitteen vaihtaminen paksumpilasiseen. Ulommaisen lasikerroksen paksuuden lisäämisellä on ikkunavalmistajilta saadun materiaalin perusteella arvioitu olevan merkittävin vaikutus ääneneristävyyden parantumiseen. Parannetut ulkopuitteet on syytä teettää ikkunavalmistajalla, mutta niiden asentaminen on lopulta melko vähätöinen toimenpide. Ulkopuitteen lasin paksuntamisella arvioidaan voitavan saavuttaa parhaimmillaan n. 2–3 dB parannus ikkunan eristävyteen, riippuen tietenkin lähtötilanteesta.

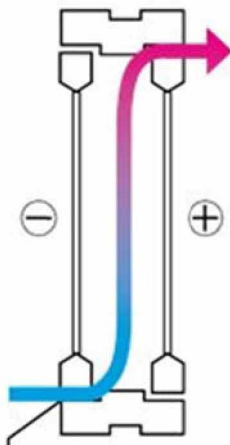
Lisäkarmin asentaminen sisäpuolelle

Joissain tapauksissa ulkopuitetta ei voi vaihtaa (esim. suojellut rakennukset). Tällöin voi olla mahdollista asentaa lisäkarmi ikkuna-aukon sisäpuolelle. Tällöin ikkunan avattavuus ja huoltaminen hankaloituu, mutta eristävyyttä voidaan parantaa huomattavasti. Eristävyyden parantumiseen vaikuttaa merkittävästi uuden lasin ja vanhojen väliin jäävän ilmavälin suuruus.

Koko ikkunan vaihtaminen

Mikäli edellisiä toimenpiteitä ei voida hyödyntää ikkunoiden parantamisessa, on käytännössä seuraava vaihtoehto koko ikkunoiden vaihtaminen. Tällöin kannattaa ottaa huomioon kaikki kappaleessa 5.2 esitetyt eristävyteen vaikuttavat tekijät. Mikäli vain on mahdollista, kannattaa selvittää onko karmisyvyttä mahdollista kasvattaa, koska sillä saadaan yleensä kustannustehokkaimmin kasvatettua eristävyyslukua. Ikkunan vaihtamisella voidaan saavuttaa jopa 7-10 dB parannus (riippuu tietenkin lähtötilanteesta).

Mikäli seinässä on korvausilmaventtiilejä, voi olla tarpeen tukkia korvausilma-aukot ja ratkaista korvausilman saatavuus jollain muulla tavalla. Uusiin ikkunoihin integroidut venttiilit voidaan sijoittaa siten, että ilma tulee lasien väliin ikkunan alareunasta ja kulkeutuu huoneeseen lasien välistä ikkunan yläreunassa sijaitsevan sisäkarmiventtiin läpi. venttiilivalmistajilla voi olla myös muita hyvin ääntä eristäviä venttiiliratkaisuja.

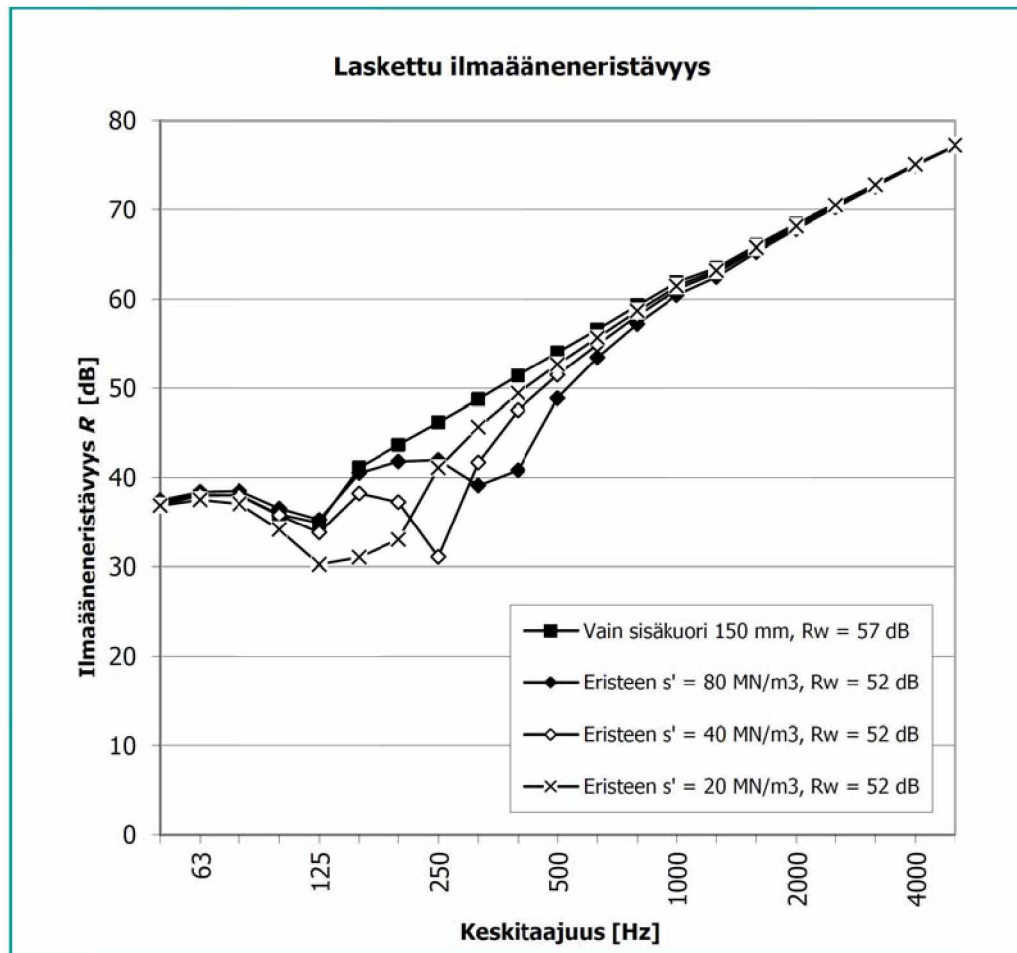


Kuva 7.1 Havainnekuva korvausilmaventtiilistä, jossa tuloilman mukana tuleva melu vaimenee pidemmän kulkureitin ansiosta (korjaustieto.fi).

Seinärakenteen vaikutus

Pelkästään ikkunoilla ei aina voida parantaa eristävyttä. Mikäli seinärakenne on eristävydeltään heikko, ei ikkunoiden parantamisella ole välttämättä mitään merkitystä. Heikoimmat seinärakenteet ovat yleensä lautaverhottuja ja sisäpuolelta kipsilevyllä tai laudoituksella päällystettyjä rakenteita. Heikoimmassa myös tuulensuojalevy on huokoinen, jolloin seinän eristävyysluku voi olla niinkin alhainen kuin $R_w + C_{tr} = 37$ dB.

Yllättävää kyllä myös betonirunkoisista seinistä löytyy heikkouksia. Pintarapatut betonirunkoiset seinät voivat alimmillaan olla eristävydeltään vain $R_w + C_{tr} = 39$ dB, vaikka pelkkä betonirunko eristää huomattavasti enemmän. Betoniin kiinnitettävä villa- tai uretaanieristys sekä eristeen pinnalle ruiskutettava rappaus saattavat muodostaa eristävyttä heikentäviä resonansseja, kuten Kivitalon Ääneneristys -oppaan kuvasta 6.1 nähdään.



Kuva 7.2 Kevytrapatun (10 mm) betonirakenteen 150 mm eristävyden vertaaminen pelkän betonikuoren eristävytyteen. [BET-opas]

Pahimmillaan betonikuoren melko matalataajuinen koinsidenssi osuu samalle taajuudelle eriste ja rappauskerroksen muodostaman resonanssin kanssa, jolloin kuoppa eristävydessä on erityisen terävä ja syvä.

Näin parannat ikkunoiden eristävyttä

- Vanhojen tai rikkiäisten tiivisteiden uusiminen
- Karmin ja ikkuna-aukon välisen tiivistyksen (uretaani/villa) tarkistaminen ja mahdollinen paikkaaminen
- Ulkopuitteen lasin vaihtaminen (uusi puite paksummalla/parannetulla lasilla)
- Lisäkarmin asentaminen sisäpuolelle (erityisesti suojellut rakennukset)
- Ikkunoiden vaihtaminen uusiin (huomioi mahdolliset korvausilmaventtiilit)
- Joissain tapauksissa myös seinärakenteen parantaminen/korjaaminen vaikuttaa kokonaiseristävyyteen parantavasti.

8 Yhteenveto ja suositukset

Tässä oppaassa on esitetty julkisivujen ääneneristävyyden muodostumisen ja suunnittelun olennaisimmat periaatteet. Ikkunoiden on todettu olevan yksi merkittävimpiä yksittäisiä rakennusosia julkisivujen kokonaisääneneristävyyden muodostumisessa.

Ääneneristävyys perustuu lähtökohtaisesti eristävän rakenteen massaan. Massalaki määrittää ideaalieristävyyden, josta resonanssit, koinsidenssit ja sivutiesiirtymät heikentävät eristävyyskäyrää eri taajuuksilla. Tyypillisesti eristävyyskäyrä on nouseva, eli pienillä taajuuksilla eristävyys on heikompi kuin suurilla.

Ääneneristyskäyriä useammin eristävyyden ilmoittamiseen käytetään yksilukuarvoja. Ääneneristysluvun peruskäyrää noudattavista eristävyyksistä käytetään merkintää R, ja lisäksi voidaan torjuttavan melun laadusta riippuen käyttää korjaustermejä C tai C_{tr} .

Perusteet julkisivujen ääneneristävyysmitoitukselle lähtevät suurempien liikenneväylien ja laajempien kaava-alueiden melutarkasteluista. Kun rakennusmassojen sijainnit tarkentuvat, voidaan melutarkasteluja ulottaa rakennusten ulkoalueille ja julkisivuille. Rakennuslupaa haettaessa on meluisiksi aiemmissa selvityksissä todetuilla alueilla yleensä tehtävä ääneneristävyysmitoitus julkisivuille. Tässä vaiheessa voi asemakaavavaiheeseen nähden olla tarpeen vielä tarkentaa melumallilaskentoja, mutta oleellisimpana asiana rakennuksen julkisivun osat mitoitetaan eristävyyksiltään sellaisiksi, että rakennusten sisätiloissa voidaan saavuttaa melun kannalta riittävä asumisviihtyvyys.

Oleellisimpia osia julkisivujen kokonaiseristävyyden muodostumisessa ovat ikkunat. Ikkunat jaetaan yleisimmin kiinteisiin ja avattaviin ikkunoihin, joista avattavilla ikkunoilla on pääsääntöisesti parempi ääneneristävyys kaksoispuitteiden väliin jäävän ilmavälin vuoksi. Ikkunoiden ääneneristysluku muodostuu lasien välisen ilmavälin, lasipaksuuksien ja lasien käsittelyn yhteisvaikutuksesta. Useimmiten kustannustehokkaimmin ikkunan eristävyyttä voidaan parantaa valitsemalla ikkunoihin suurempi karmisvyvyys (=> suurempi ilmaväli ulko- ja sisälasiin välissä).

Julkisivun ääneneristävyys muodostuu jokaisen rakennusosan summana, jossa heikoimmin ääntä eristävä osa on selvästi määräävin tekijä. Eristävyyden mitoitustermiä on lukuisia, joista Suomessa käytetään melko yleisesti kolmea, ja Ympäristöopas 108 on selvästi käytetyin. Ääneneristävyyden mitoituksessa tulee muistaa, että mitoitus tehdään huonekohtaisesti, ja täsmälleen samoilla rakenteilla toteutuu erikoisissa huoneissa kuitenkin eri kokonaisääneneristävyys. Kokonaisääneneristävyyteen vaikuttaakin rakennusosien eristävyyksien lisäksi rakenteiden pinta-alasuhteet toisiinsa ja huonekokoon nähden.

Myös vanhoissa rakennuksissa ilmenee joskus tarvetta ääneneristävyyden parantamiselle. Useimmin syynä ovat ikkunoiden hapertuneet tiivistet tai karmin ja ikkunaukon huonosti tiivistetty rako, jotka voidaan korjata pienillä korjaustoimenpiteillä. Joskus lisääntynyt melu voi vaatia työläämpiäkin toimenpiteitä. Ikkunoita voidaan parantaa ulkopuitteen vaihtamisella paksumpilasiseen tai ulkolaseiltaan suojelluissa kohteissa sisäpuolelle tehtävällä lisäkarmilla. Pahimmassa tapauksessa koko ikkunat voidaan joutua vaihtamaan, tai toisaalta heikkous voi piillä myös seinärakenteessa.

Lähteet

- [RIL 129] RIL 129 Ääneneristykseen toteuttaminen, Alpo Halme, Helsinki 2003
- [RIL 243-1] RIL 243-1 Rakennuksen akustinen suunnittelu, akustian perusteet 2007
- [SFS 5907] SFS 5907 Rakennusten akustinen luokitus, SFS, 2004
- [EN 12354-3] SFS-EN 12354-3 Rakennusakustiikka, Rakennusten akustisten ominaisuuksien arviointi rakennustuotteiden ominaisuuksien perusteella. Osa 3: Ilmaääneneristys ulkomelua vastaan, 2000
- [ISO 140-5] ISO 140-5 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades
- [YO 108] Ympäristöopas 108, Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen, Ympäristöministeriö 2003
- [A-kaavamerkinnot] Asemakaavamerkinnot ja -määräykset, opas 12. Ympäristöministeriö, 2003
- [DI-Laine] Julkisivun ääneneristävyyden mitoitusten menetelmien vastaavuus kenttämittauksiin, diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Petteri Laine, 2006
- [RakMK C1] Suomen rakentamismääräyskokoelma C1: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, Ympäristöministeriö, 1998
- [ISO 717-1] ISO 717-1 Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation, 2013
- [BET-opas] Kivitalojen ääneneristys, Mikko Kylliäinen, Betoniteollisuus Ry, 2011
- [Lasifakta] Pilkington Lasifakta 2012 Ääneneristävyys

