

Kivitalojen ääneneristys

Mikko Kylliäinen

Suomen Rakennusmedia Oy
Helsinki 2011



Kestävä Kivitalo -yhtymän osakasyritykset:

Celsa Steel Servise Oy

Rudus Oy

Wienerberger Oy

Finnsementti Oy

RT Valmisbetonivaliokunta

RT Muottiryhmä (Doka Finland Oy, PERI Suomi Oy, Ramirent Oy)

www.kivitalo.fi

Julkaisija: Betonteollisuus ry

Kustantaja: Suomen Rakennusmedia Oy

© Betonteollisuus ry

ISBN 978-952-5785-84-5

ISBN (pdf) 978-952-5785-85-2

Ulkoasun suunnittelu ja taitto: Graafinen Palvelu Martti Lepistö

Paino: Tammerprint Oy, Tampere 2011

Sisältö

Esipuhe	5
1. Akustiikka talonrakentamisessa	7
1.1 Äänen merkitys ja vaikutukset	7
1.2 Ääniolosuhteita koskevat määräykset ja ohjeet	9
1.3 Määräysten kehitys ja asuntojen luokittelun tarve	11
1.4 Mitä ääni on?	12
2. Ilmaääneneristys	17
2.1 Ilmaääneneristysluku	17
2.2 Yksinkertainen rakenne	18
2.3 Kytkemätön kaksinkertainen rakenne	22
2.4 Kytetty kaksinkertainen rakenne	23
2.5 Lämpörapatut ulkoseinät	24
2.6 Tiiviiden vaikutus	26
2.7 Rakennusosien ilmaääneneristävyyden mallintaminen	27
2.8 Ilmaääneneristävyys rakennuksessa	28
2.8.1 Sivutiesiirtymä	28
2.8.2 Ilmaääneneristävyyttä koskevat määräykset ja ohjeet ..	31
2.8.3 Koettu ilmaääneneristävyys	32
2.9 Ilmaääneneristysluvun mittausten ongelmien ongelmat	34
2.9.1 Ongelmien tausta	34
2.9.2 Rakennustarkastusyhdistyksen suositukset	37
3. Rakennuksen ulkovaipan ääneneristys	39
3.1 Liikennemelun merkitys	39
3.2 Asemakaavamääräyksen muodostuminen	40
3.3 Rakennusosan ilmaääneneristysluku liikennemelua vastaan .	42
3.4 Ulkovaipan ääneneristävyyden muodostuminen	43
3.5 Ulkoseinän ja yläpohjan valinta	46
3.6 Ikkunoiden ääneneristävyys	49
3.7 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus ulkovaipan ääneneristykseen	50
4. Askelääneneristys	53
4.1 Askeläänitasoluku	53
4.2 Askeläänitasoluvun mittausten ongelmien ongelmat	55
4.3 Askelääneneristävyyttä koskevat määräykset ja ohjeet	56
4.4 Askeläänitasolukujen laskennallinen arviointi	57
4.5 Välipohjarakenteiden toiminta	58
4.5.1 Joustavat lattianpäällysteet	58
4.5.2 Kelluvat lattiat	61
5. LVIS-tekniikka	65
5.1 Rakennuksen tekniset järjestelmät äänilähteinä	65
5.2 Viemärijärjestelmät	68
5.3 Ääneneristys ilmanvaihtokanavan kautta	69

6. Rakenne-esimerkkejä	72
6.1 Luokan C asuinkerrostalo	73
6.2 Luokan B asuinkerrostalo	74
6.3 Luokan A asuinkerrostalo	75
Kivirakennusten eri rakenneosien ääneneristysarvoja	76
Lähteet	79

Esipuhe

Rakennusten ääneneristävyyteen vaikuttavat hyvin monet eri osatekijät. Rakenneosien ääneneristävyyden lisäksi koko rakennuksessa eri rakenneosien välillä tapahtuvat äänen sivutiesiirtymät vaikuttavat merkittävästi rakennuksen käyttäjien kokemaan tilojen ääneneristävyyteen.

Asukkaat vaativat kodeiltaan yhä parempaa ääneneristävyyttä huoneistojen välillä. Ympäristön liikennemelun, kuten tie- ja lentoliikenteen lisääntyessä, rakennusten ulkoseinien ja yläpohjien ääneneristävyys on asumisen viihtyisyyden kannalta yhä oleellisempi kysymys.

Rakennusten akustiikka ja äänitekniikka ovat monimutkaisia ilmiöitä, ja niitä on hankala hallita ja hahmottaa käytännön suunnittelutyössä. Tässä julkaisussa pyritään selventämään käytännön työtä tekeville rakennusalan ammattilaisille rakennuksissa esiintyviä ääniteknisii ilmiöitä ja niiden vaikutuksia rakenneosien ja rakennusten ääneneristävyyteen.

Paikallavalettu betoni ja paikallamuurattu tiilirakenne ovat tunnetusti hyvin ääntä eristäviä rakenteita. Tämän julkaisun lopussa olevaan lukuun on koottu paikallarakennettujen rakenneosien ääneneristävyyservoja koskien yläpohjaa, ulkoseiniä ja rakennuksen sisärakenteita.

Julkaisun kirjoittaja on tekn. lis. Mikko Kylliäinen Insinööri-toimisto Heikki Helimäki Oy:stä.

Julkaisun on tuottanut Kestävä Kivitalo -yhtyritysryhmä, jonka osakasyhtyrityksiä ovat Celsa Steel Servise Oy, Rudus Oy, Wienerberger OyAb, Finnsementti Oy, RTT ry/Valmisbetonijaos, RTT ry/Muottiryhmä (Doka Finland Oy, PERI Suomi Oy, Ramirent Oy).

Kestävä Kivitalo -ryhmän puolesta toivon että tämän julkaisun avulla voimme edistää entistä laadukkaampien ja hyvin ääntä eristävien rakennusten toteuttamista tulevina vuosina.

Helsingissä 21.2.2011

Pentti Lumme



1. Akustiikka talonrakentamisessa

Paikalla muuratuilla tiiliseinillä ja paikalla valetuilla betoni-rakenteilla on ääneneristyksen kannalta monia hyviä ominaisuuksia. Ääniolosuhteet ovat yksi merkittävimmistä asumismukavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Määräyksissä asetetaan asuinrakennuksille vähimmäisvaatimukset, mutta paikalla rakennettu kivitalo voidaan suunnitella ja rakentaa määräystasoa paremmaksi.

1.1 Äänen merkitys ja vaikutukset

Ääni on niin tuttu ilmiö jokapäiväisessä kokemusympäristössämme, että emme aina huomaa, kuinka merkittävässä asemassa se on. Jos jollain keinolla maailmasta voitaisiin vaimentaa kaikki ääni, saataisiin poistetuksi äänen aiheuttamat kielteiset ilmiöt – melu eli haitallinen, häiritsevä tai tarpeeton ääni – mutta paljon suurempi vaikutus olisi sillä, että myönteisetkin ääni-ilmiöt häviäisivät. Esimerkiksi luonnonääniä, merkki- ja hälytysääniä, musiikkia, äänielokuvaa ja monta muuta taiteen ja viihteen osa-aluetta ei enää olisi. Myös tärkeimmän ihmisten keskinäisen viestinnän muodon eli puheen tilalle olisi keksittävä jokin toinen menetelmä.

Akustiikka on tieteen ja tekniikan alue, joka tutkii kaikkia ääneen liittyviä ilmiöitä. Se on toisin sanoen työkalu, jonka avulla ihmisen kokemusympäristöä voidaan hallita ja muokata. Koska ääneen liittyy pääasiassa myönteisiä, mutta myös kielteisiä ilmiöitä, rakennusten akustisen suunnittelun tärkein tavoite on tarkoituksenmukaisten ääniolosuhteiden aikaansaaminen. Siten suunnittelu tähtää rakennuskohteesta riippuen joko melun torjumiseen tai hyödyllisten äänten kuuluvuuden parantamiseen, joskin tavallisesti rakennushankkeissa akustiikkasuunnittelu koskee näitä molempia seikkoja. Esimerkiksi elokuvateatteria suunniteltaessa pyritään siihen, että elokuvan ääniraita kuullaan salissa juuri sellaisena kuin äänisuunnittelija on ajatellut. Jotta tämä olisi mahdollista, saliin on muodostettava sellaiset olosuhteet, että tilan ominaisuudet vaikuttavat mahdollisimman vähän kuuloaistimukseen ja katsoja kuulee vain äänentoistolaitteiden kautta tulevan äänen. Salista on siten poistettava kaiunta suunnittelemalla sen pintamateriaalit mahdollisimman hyvin ääntä vaimentaviksi. Toisaalta saliin ei saa kuulua häiriöääniä muista tiloista eli ääneneristyksen on oltava riittävän hyvä. Myös rakennusten teknisten järjestelmien, erityisesti ilmanvaihdon aiheuttaman taustäänänen on oltava riittävän alhainen. [22, 29]

Rakennuksen ääniolosuhteet, joista voidaan käyttää nimitystä akustiikka, ovat monimutkainen kokonaisuus, joka muodostuu neljästä

osa-alueesta. Ensimmäinen osa-alue on huoneakustiikka, joka tutkii sitä, miten ääni saman tilan sisällä leviää, vaimenee, hajoaa ja heijastuu. Huoneakustiikan keinoin voidaan pyrkiä rajoittamaan äänen leviämistä tai tehostamaan äänen kuuluvuutta. Ääneneristys tutkii äänen siirtymistä tilasta toiseen. Se jakautuu kahteen osaan: ilmaääneneristykseen ja askelääneneristykseen. Ilmaääneneristyksen avulla pyritään estämään suoraan ilmaan synnytetyn äänen siirtymistä; askelääneneristys koskee rakennuksen runkoon kohdistuvien iskujen, kuten kävelyn, aiheuttaman äänen siirtymistä. Meluntorjunnan tavoitteena on vaimentaa rakennuksen teknisten järjestelmien aiheuttamaa ääntä tai estää ympäristömelun, kuten liikenteen tai teollisuuden aiheuttaman melun, leviämistä ulkona tai ulkoa sisään. Neljäs akustiikan osa-alue on värinäneristys. Kaikki tekniset laitteet, joissa on pyöriä tai liikkuvia osia, on irrotettava rakennuksen rungosta joustavin liitososin. Muutoin niiden liike saisi rakennuksen rungon värähtelemään. Tämä puolestaan aiheuttaisi ilmaa liikettä, joka kuuluttaisiin ilmaäänenä. Jos jossakin näistä neljästä osa-alueesta on jokin ongelma, tilan ääniolosuhteet eivät enää ole tarkoituksenmukaiset.

Asuinkerrostalohuoneiston ääniolosuhteet muodostuvat naapureista ja porrashuoneesta kuuluvista äänistä, rakennuksen teknisten järjestelmien tuottamista äänistä sekä ulkoa sisään pyrkivistä äänistä. Siten asuinrakennuksen ääniolosuhteiden suunnittelu edellyttää huomion kiinnittämistä erityisesti ääneneristyksen ja meluntorjunnan suunnitteluun.

Kuuloaisti on aikanaan kehittynyt varoituselimeksi, joka vaaran uhatessa laukaisee ihmisessä stressireaktion. Vaikka ihminen tarvitsee kuuloaistia tähän tarkoitukseen nykyisin varsin harvoin, kuuloaistin toiminta ei sinänsä ole muuttunut. Esimerkiksi voimakkuudeltaan suuret äänet koetaan häiritseviksi, samoin äkilliset, taustäänestä poikkeavat äänet. Hyvin voimakas äkillinen ääni tai pitkään jatkuva voimakas ääni aiheuttaa kuulovaurion, mutta myös hiljaisemmilla äänillä on terveysvaikutuksia: ääni voi aiheuttaa esimerkiksi nukahtamis- tai keskittymisvaikeuksia. Häiriön kokeminen on kuitenkin suuresti yksilöllistä ja se riippuu myös muista olosuhteista: ääni, jota päivän aikana esimerkiksi työpaikalla ei koeta häiritseväksi tai edes huomata, voi olla hyvin häiritsevä kotona nukkumaan mentäessä. [4]

Rakennuksen ääniolosuhteet voivat olla puutteelliset, ja ne voivat aiheuttaa jopa terveyshaittaa myös muulla tavalla kuin melun vuoksi. Jos esimerkiksi opetustilan ääniolosuhteet ovat huoneakustiikan puutteiden vuoksi sellaiset, että opettaja joutuu jatkuvasti korottamaan ääntään saadakseen sen kuuluviin, voi seurauksena olla lopulta äänihäiriö eli ongelma äänenmuodostuksessa [31]. Tarkoituksenmukaisia eivät ole esimerkiksi auditoriot, joissa puheesta ei pinnistelemättä saa selvää, eivätkä kokoushuoneet, joissa luottamuksellisten neuvottelujen pitäminen ei ole mahdollista huoneen ääneneristyksen vuoksi.

Puutteelliset ääniolosuhteet aiheuttavat kustannuksia jo olemassaololleen: esimerkiksi työteho voi huonoissa toimitiloissa heikentyä merkit-

tävästi, samoin äänihäiriön tai kuulovaurion saaneen työntekijän kuntouttaminen tai pahimmillaan sairaseläkkeelle joutuminen aiheuttaa kansantaloudellisia kustannuksia. Kustannuksia aiheutuu myös tilojen ääniolosuhteiden korjaamisesta. Niitä alkaa syntyä jo siinä vaiheessa, kun rakennuksen käyttäjä joutuu käyttämään aikaansa asioiden selvittelyyn. Lisäksi tavallisesti on pidettävä kokouksia ja palkattava asiantuntijoita [29]. Ongelmien ratkaisemiseksi vaadittava suunnittelu- ja rakennustyö on myös tavallisesti kallista. Useimmiten nämä kustannukset ovat turhia, sillä rakennuksen suunnittelu- ja rakennusvaiheessa tarkoituksenmukaisten ääniolosuhteiden aikaansaaminen on huomattavasti halvempaa ja helpompaa kuin rakennuksen valmistuttua havaittavien ongelmien korjaaminen. Vaikka ongelmat olisivatkin teknisesti ratkaistavissa, voi käydä myös niin, että taloudellisia resursseja niiden korjaamiseen ei enää ole.

Puutteellisilla ääniolosuhteilla on terveydellisiä ja taloudellisia vaikutuksia, jotka voivat pahimmillaan muodostua kansanterveydellisiksi ja kansantaloudellisiksi ongelmiksi. Ääniolosuhteilla voi olla myös sosiaalisia vaikutuksia, jos esimerkiksi asuntojen hinta riippuu siitä, sijaitseeko asunto liikennemelualueella vai hiljaisella alueella. Tällöin meluisille alueille hakeutuvat asumaan ne, joilla asunnon hankkimiseen käytettävät taloudelliset mahdollisuudet ovat rajallisia [1].

1.2 Ääniolosuhteita koskevat määräykset ja ohjeet

Rakentamista koskevaa lainsäädäntöä ohjaa Euroopan unionin jäsenmaissa rakennustuotedirektiivi, joka määrittelee rakennuksia koskevat niin sanotut olennaiset vaatimukset. Niiden joukossa on meluntorjuntaa koskeva vaatimus. Sen toteutumiseksi vaadittavat olosuhteet määritellään kansallisesti. Suomessa rakennustuotedirektiivin vaatimuksia on täsmennetty maankäyttö- ja rakennuslaissa, jonka nojalla ympäristöministeriö antaa tarkempia teknisiä määräyksiä ja ohjeita Suomen rakentamismääräyskokoelmassa [29]. Eritasoisten säädösten ja ohjeiden hierarkia on esitetty taulukossa 1.1.

Taulukko 1.1. Uudisrakennusten ääniolosuhteita koskevat tärkeimmät määräykset ja ohjeet sekä niiden asema.

Asema	Asiakirja	Merkitys
Säädös	Rakennustuotedirektiivi	Velvoittava, ohjaa lainsäädäntöä
Säädös	Maankäyttö- ja rakennuslaki	Velvoittava
Säädös	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1	Velvoittava
Suositus	SFS 5907 Rakennusten akustinen luokitus	Velvoittava, jos määritelty noudatettavaksi urakka- tai kauppa-asiakirjoissa
Suunnitteluohje	RIL 243 Rakennusten akustinen suunnittelu	Edustaa hyvää rakentamistapaa

Asuinrakennusten ääniolosuhteita koskevat vaatimukset on annettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1-1998 [39]. Siinä esitetään kaikkia rakennuksia koskeva määräys, jonka mukaan rakennus on suunniteltava ja toteutettava siten, että melu, jolle rakennuksessa tai sen lähellä olevat altistuvat, pysyy niin alhaisena, että se ei vaaranna näiden henkilöiden terveyttä ja antaa mahdollisuuden nukkua, levätä ja työskennellä riittävän hyvissä olosuhteissa. Lisäksi rakentamismääräyskokoelman osa C1 edellyttää, että rakennuksen suunnittelussa ja rakentamisessa on hyvien ääniolosuhteiden saavuttamiseksi otettava huomioon ääneneristyksen lisäksi kaikki rakennuksen ääniolosuhteisiin vaikuttavat tekijät, kuten melulähteen voimakkuus ja tilojen keskinäinen sijoittelu.

Rakentamismääräyskokoelman osassa C1-1998 on annettu teknisinä mittalukuina määräyksiä asuinhuoneistoille, ääniolosuhteiden toteuttamista koskevia ohjeita sekä ohjeita selventäviä selostuksia. Rakentamismääräyskokoelman ääneneristys- ja meluntorjuntavaatimuksen katsotaan riittävässä määrin täyttyvän, kun rakennus suunnitellaan ja rakennetaan määräyksissä ja ohjeissa esitetyllä tavalla. Rakennusvalvontaviranomaiset valvovat näiden määräysten toteutumista.

Asuinrakennuksessakin voi olla muita tiloja kuin asuntoja tai niihin liittyviä varastotiloja ja yhteisiä tiloja. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi päivittäistavara-kaupat ja ravintolat, joiden toiminta voi olla hyvinkin äänekkästä. Näiden tilojen suunnittelemiseksi rakentamismääräyskokoelmassa ei ole teknisinä mittalukuina annettuja vaatimuksia, vaan ne on suunniteltava tapauskohtaisesti. Rakentamismääräyskokoelmassa esitetyt vaatimukset hyvin ääniolosuhteiden saavuttamiseksi johtavat tällöin viisivaiheiseen prosessiin:

- 1. vaihe: selvitetään, millaista toimintaa tilan käyttäjällä on.
- 2. vaihe: selvitetään, millaisia ääniolosuhteita toiminta edellyttää tai millaista haittaa eli melua se aiheuttaa rakennuksen muille käyttäjille tai viereisille rakennuksille.
- 3. vaihe: Määritellään suunnittelulle tavoitearvot teknisinä mittalukuina. Mittaluvut ovat tärkeitä siksi, että rakennuksen valmistuttua voidaan tarvittaessa selvittää, vastaako rakennus suunnitelmia.
- 4. vaihe: suunnitellaan asetettuja tavoitearvoja vastaavat rakenneratkaisut.
- 5. vaihe: Toteutetaan rakennus siten, että se vastaa suunnitelmia. Tämä tarkoittaa mm. sitä, että urakoitsijat eivät voi vaihtaa suunnittelijoiden esittämiä ratkaisuja muihin ilman, että muutoksen vaikutus ääniolosuhteisiin tutkitaan.

Standardi SFS 5907 [38] on Suomen standardisoimisliitto SFS ry:n vuonna 2004 julkaisema asiakirja, joka laajan lausuntokierroksen jälkeen on saanut rakennuslalla yleisesti hyväksytyyn aseman. Standardi ei ole luonteeltaan määräys, vaan suositus. Siten se on tarkoitettu rakentamista ohjaavaksi asiakirjaksi, ja sen käyttö on vapaaehtoista. Standardia käyt-

tetään runsaasti erityisesti toimistorakentamisessa, jota koskevia teknisiä mittalukuja ei Suomen rakentamismääräyskokoelmassa ole lainkaan. Sitä on käytetty myös mm. oppilaitosten, päiväkotien ja terveystieteiden suunnittelussa, sillä standardin ohjeet kattavat niiden tilat monipuolisemmin kuin rakentamismääräyskokoelman suppeat ohjeet.

Standardi SFS 5907 jakaa teknisten mittalukujen perusteella rakennukset neljään akustiseen luokkaan A...D. Standardin mukaan rakennuksen voidaan todeta kuuluvan johonkin luokkaan, kun siinä on tehty standardin määrittelemä määrä akustisia mittauksia. Standardissa esitettyjen luokkien vaatimuksia voidaan kuitenkin käyttää suunnittelussa ohjearvoina aina, vaikka standardin määrittelemiä mittauksia ei tehtäisikään. Rakennuksen voidaan kuitenkin todeta kuuluvan johonkin luokkaan vain mittausten perusteella.

Standardin määrittelemä luokka D on tarkoitettu vanhojen rakennusten akustisten ominaisuuksien toteamiseen. Uudisrakentamisessa tai vanhojen rakennusten käyttötarkoituksen muutoksissa on aina noudatettava luokan C vaatimuksia, jotka vastaavat rakentamismääräyskokoelman osan C1 vaatimuksia. Luokkien A ja B rakennuksissa ääniolosuhteet ovat luokan C rakennuksia parempia.

Standardin SFS 5907 yksi tarkoitus on vastata suunnitteluohjeiden tarpeeseen, joka on syntynyt viranomaismääräysten supistumisesta [38]. Standardissa esitetään teknisinä mittalukuina ohjearvoja erilaisten rakennustyyppien suunnittelemiseksi ääniolosuhteiden osalta. Ratkaisuja näiden olosuhteiden saavuttamiseksi ei standardissa ole. Sitä vastoin Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisemassa kirjasarjassa *RIL 243 Rakennusten akustinen suunnittelu* [9, 28, 29] esitetään rakenne- ja muita standardin vaatimuksia vastaavia suunnitteluratkaisuja, joiden voidaan katsoa edustavan hyvää rakentamistapaa.

1.3 Määräysten kehitys ja asuntojen luokittelun tarve

Suomessa on ollut teknisinä lukuarvoina annettuja ääneneristystä ja meluntorjuntaa koskevia viranomaismääräyksiä 1970-luvulta saakka. Lain säädäntö on kuitenkin tuntenut melusta ja tärinästä aiheutuvan haitan paljon kauemmin, mutta aiemmin ääniolosuhteille määritellyt vaatimukset kuvattiin sanallisesti, mikä koettiin riittämättömäksi [1, 26]. 1970-luvun puolivälissä rakentamista koskevat viranomaismääräykset ja osa erilaisten järjestöjen julkaisemista ohjeista koottiin Suomen rakentamismääräyskokoelmaksi. Rakentamismääräyskokoelman osassa C1 esitettiin määräykset ääneneristyksestä rakennuksissa. Määräykset koskivat asuinrakennuksia, majoitusliikkeitä, sairaaloita, toimistorakennuksia ja teollisuuden työhuoneita. Asuinrakennusten ääniolosuhteille asetettu vaatimustaso säilyi muuttumattomana vuoteen 1998 saakka [8, 26, 32].

1990-luvulla rakentamismääräyksiä on muutettu niin sanottuun toiminnalliseen suuntaan. Ääneneristyksen osalta tämä on merkinnyt sitä, että rakentamismääräyskokoelman osassa C1 vuodelta 1998 on enää määräyksiä vain asuinrakennusten askel- ja ilmaääneneristyksestä sekä sallituista äänitasoista [39]. Muista rakennustyypeistä on vain suppeita ohjeita. Samanaikaisesti myös rakennusvalvonnan velvollisuudet ovat muuttuneet. Suunnitelmia ei enää tarkasteta yhtä laajasti kuin aiemmin. Sen sijaan rakennusvalvonnan tehtäväksi on tullut valvoa sitä, että rakennushankkeen suunnittelu- ja toteutusorganisaatiolla on riittävä pätevyys hankkeen läpiviemiseksi. Muiden kuin asuinrakennusten ääneneristyksen, huoneakustiikan ja meluntorjunnan suunnittelu ja tavoitearvojen määrittely on siten siirtynyt kokonaan suunnitteluorganisaation vastuulle. [8]

Viranomaismääräykset ovat luonteeltaan vähimmäisvaatimuksia; mikään ei ole estänyt suunnittelemasta ja rakentamasta akustiikaltaan määräystasoa parempia rakennuksia. Käytännössä viranomaismääräykset on kuitenkin mielletty enimmäistasoksi, joka on pyritty saavuttamaan, mutta ei ylittämään. Omistusasuntojen ostajien käsitys rakentamismääräysten tarkoituksesta on yleisesti se, että niiden tulisi taata, että naapurista ei koskaan kuulu mitään. Määräyksillä voidaan kuitenkin vaikuttaa vain rakenteiden teknisiin ominaisuuksiin, mutta ei äänilähteisiin. Niinpä normaaleja asumisen ääniä voimakkaammat äänet kuuluvat, vaikka rakenteet olisivatkin määräysten mukaiset. Lisäksi kaikki asuinrakennukset on toteutettu teknisesti samalla tavalla riippumatta asuntotyypistä. Varsinkin laadukkaimpien asuntojen ostajat ovat usein kokeneet pettymyksiä, vaikka määräysten vaatimukset täyttyisivät [28].

Teknisesti ja taloudellisesti on täysin mahdollista toteuttaa määräysten tasoa parempia asuinrakennuksia. Rakennusliikkeet eivät kuitenkaan kovin paljon ole käyttäneet määräystasoa parempaa ääneneristystä hyödykseen. Rakennusliikkeen kannalta standardissa SFS 5907 esitetyn akustisen luokittelun käyttäminen mahdollistaisi tavanomaista paremmin ääneneristettyjen rakennusten markkinoinnin. Standardin mukaan rakennuksen tai siinä olevan tilan voidaan ilmoittaa kuuluvan johonkin akustiseen luokkaan vain, kun sen on mittauksin todettu täyttävän standardissa asetetut vaatimukset. Siten akustisen luokan määrittäminen mittausten perusteella varmistaisi myös sen, että mahdolliset puutteet havaittaisiin ja ehdittäisiin korjata jo ennen rakennuksen käyttöönottoa. Rakennuksen käyttäjää akustinen luokittelu hyödyttäisi siten, että se antaisi nykyistä paremman varmuuden rakennuksen laadusta myös ääneneristyksen kannalta. Toisaalta luokittelu mahdollistaisi asunnonostajalle myös valintojen tekemisen eritasoisten rakennusten välillä, ja rakennusliikkeet voisivat suunnata tuotantoaan kysynnän mukaan.

1.4 Mitä ääni on?

Fysikaalisesti ääni on ilmanpaineen vaihtelua staattiseen ilmanpaineeseen nähden. Värähtelevä kappale, kuten ihmisen äänihuulet, saa ympä-

ristössään aikaan ilman tihentymiä ja harventumia. Ilmahiukkasten liike saa seuraavat hiukkaset liikkeeseen, ja näin ääni etenee pitkittäisaaltona äänilähteestä ympäristöön. Kuuloaistimus syntyy, kun ilmanpaineen vaihtelu saa korvan rumpukalvon värähtelemään. Jos värähtely on tiheää, ääni koetaan korkeaksi. Harvaan tapahtuvat värähtelyt ovat matalia ääniä. Ääni tarvitsee edetäkseen väliaineen: tyhjiössä ääni ei voi edetä. Ilmassa etenevästä äänestä käytetään nimitystä ilmaääni. Sitä aiheuttavat esimerkiksi puhe, musiikki, äänentoistolaitteet, rakennuksen LVIS-laitteet ja erilaiset koneet. Äänen nopeus ilmassa on taajuudesta riippumaton.

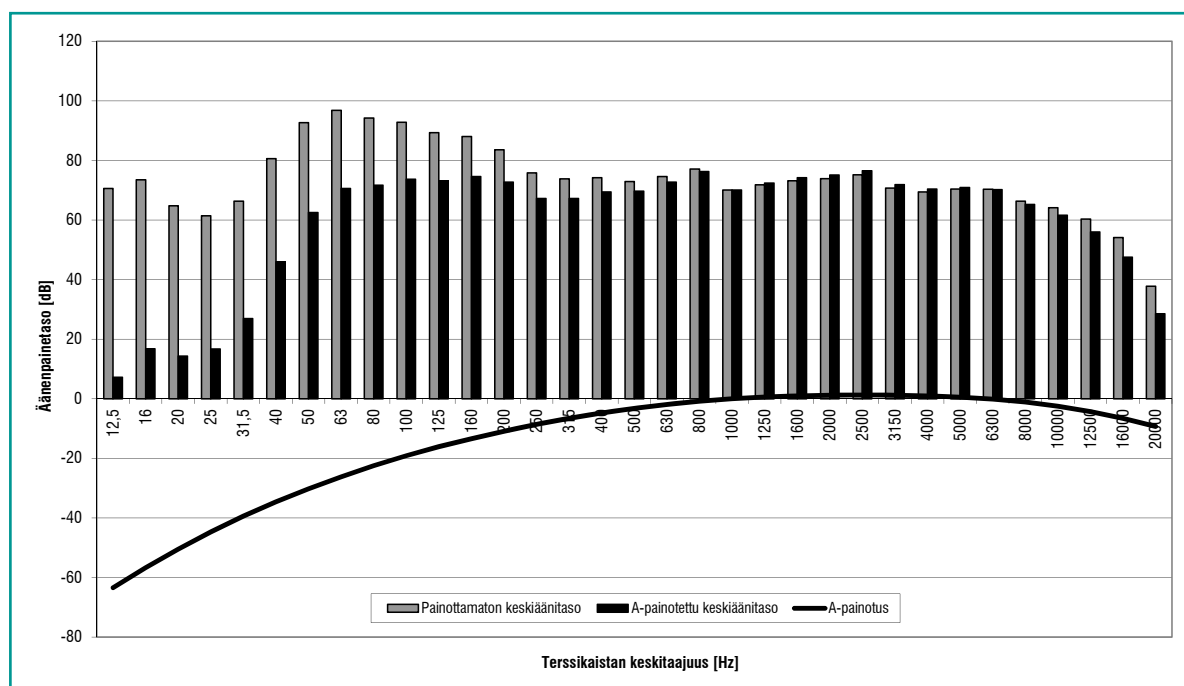
Äänen etenemisen väliaineena voi olla myös kiinteä aine, kuten rakennuksen runkorakenteet. Ilmaääni saa ympäristön rakenteet värähtelemään, jolloin ääni etenee rakennuksen rungossa erityisesti taivutusaaltona. Taivutusaallossa rakenteeseen syntyy taipumia äänen etenemissuuntaan kohtisuorassa suunnassa. Rakenteissa etenevä ääni on runkoääntä, jonka voi synnyttää myös rakenteeseen kiinnitetty laite värähtelyllään tai rakenteeseen kohdistuvat iskut. Runkoääntä synnyttäviä iskuja aiheuttavat esimerkiksi kävely, esineiden putoaminen, lasten leikkiminen ja huonekalujen siirtely. Näiden äänilähteiden aiheuttamia runkoääniä sanotaan askelääniksi. Runkoäänen vaikutuksesta värähtelevä rakenne saa ympäristössään olevan ilman värähtelemään, mikä voidaan aistia ilmaääninä. Toisin kuin äänen nopeus ilmassa, taivutusaallon nopeus rakenteessa ei ole vakio, vaan se riippuu taajuudesta sekä materiaaliominaisuuksista.

Äänenä aistittavat ilmanpaineen vaihtelut ovat staattiseen ilmanpaineeseen verrattuna hyvin pieniä. Ilmakehän ilmanpaine on noin 100 kPa, mutta kuulokynnys eli pienin ilmanpaineen muutos, jonka ihminen pystyy aistimaan, on 20 μ Pa. Äänenä aistittavasta ilmanpaineen muutoksesta käytetään nimitystä äänenpaine p [Pa]. Ääniaistimus muuttuu kipuaistimukseksi, kun äänenpaine on noin 20 Pa. Koska äänenpaineet ovat lukuarvoina hyvin pieniä, mutta kuulokynnyksen ja kipukynnyksen ero suhteellisesti hyvin suuri – miljoonakertainen –, äänenpaineita olisi hankalaa käyttää käytännön suunnittelu- ja laskentatyössä. Siksi tarkasteltavaa äänenpainetta p verrataan vertailuäänepaineeksi otettuun kuulokynnykseen p_0 . Tällöin äänen voimakkuutta voidaan kuvata äänenpainetasona L_p [dB]. Äänenpainetason määritelmän mukaan pienimmän kuultavissa olevan äänenpaineen äänenpainetaso on 0 dB ja kipukynnyksen äänenpaineen äänenpainetaso on noin 120 dB (taulukko 1.2).

Äänenpainetaso L_p kuvaa fysikaalisen äänenpaineen voimakkuutta. Useimmissa akustiikan ilmiöissä, kuten rakenteiden ääneneristyskyvyssä, ihmisen puheäänessä tai teknisten laitteiden tuottamassa melutasossa, tarkasteltavan suureen arvo riippuu taajuudesta. Siksi akustiikan ilmiöt mitataan ja lasketaan sekä ilmoitetaan suhteessa taajuuteen. Toisaalta ihmisen kuuloaisti ei ole yhtä herkkä koko taajuusalueella. Herkimmillään kuulo on taajuusalueella 2000...5000 Hz. Tämän alueen molemmilla puolilla kuulon herkkyyks alenee. Tästä syystä äänen häiritsevyyttä arvioitaessa ei kaikkia taajuusalueita ole järkevää arvostella samalla tavalla. Kuuloaistin herkkyyks otetaan huomioon A-painotuksella (kuva 1.1). A-painotus lisätään keskitaajuuksittain äänenpainetasoihin L_p .

Taulukko 1.2. Erialaisten äänilähteiden äänenpainetasoja.

Äänenpainetaso L_p	Tila tai äänilähde
20 dB	Äänitysstudio
25 dB	Hiljainen asuinhuoneisto
30 dB	Kuiskaus
40 dB	Toimistotyöympäristö
60 dB	Normaali puheääni
70 dB	Voimakas puheääni
80 dB	Hetkellinen melu vilkkaan kadun vieressä
100 dB	Piikkaus
120 dB	Kipukynnys
140 dB	Suihkumoottori



Kuva 1.1. Kuva esittää melumittauksen tuloksia ilmoitettuna taajuuksittain. Harmaat pylväät esittävät äänenpainetasoja L_p [dB], mustalla piirretty käyrä kuvaa korvan herkkyyttä (A-painotus). Kun äänenpainetasoista vähennetään A-painotus, saadaan A-painotetut äänenpainetasot (mustat pylväät), jotka kuvaavat sitä, kuinka voimakkaalta ääniaistimus tuntuu. Yhdellä luvulla ilmoitettuna kuvan äänispektrin A-äänitaso L_A on 86 dB.

Koska akustiikan ilmiöt ovat taajuusriippuvaisia, tarkka tapa kertoa ilmiöstä on käyrä. Käytännön suunnittelutyössä tämä on kuitenkin hankalaa. Siksi A-painotettujen äänenpainetasojen voimakkuus ilmoitetaan yleensä yhtenä lukuna, josta käytetään nimitystä äänitaso L_A [dB]. Se saadaan summaamalla eri taajuuksilla määritetyt A-painotetut äänenpainetasot logaritmisesti yhteen.

Osa rakennetussa ympäristössä toimivista äänilähteistä tuottaa melua jatkuvasti, eikä niiden kehittämä ääni juuri muutu ajan suhteen. Esi-

merkiksi rakennuksen ilmanvaihto ja vilkasliikenteinen liikenneväylä tuottavat suunnilleen samanlaisen äänitason ajasta riippumatta. Toiset äänilähteet vaikuttavat hetkellisesti tai jaksoittain, kuten hissi. Ihmisen subjektiivinen kokemus äänestä riippuu äänen kestoajasta. Hetkellinen voimakas ääni koetaan häiritsevämpänä kuin pitkäkestoinen tasainen ja hiljainen kohina. Äänilähteiden äänenhallinnassa on siksi otettava huomioon sekä pitkäaikainen keskiäänitaso $L_{A,eq,T}$ [dB] että hetkellinen enimmäisäänitaso $L_{A,max}$ [dB]. Keskiäänitaso ei ole vaihtelevan äänitason keskiarvo eikä aikapainotettu keskiarvokaan, vaan logaritmisen asteikon johdosta hetkelliset äänitason huiput korostuvat keskiäänitasoa laskettaessa.

Enimmäisäänitasoa $L_{A,max}$ mitattaessa käytetään F- eli fast-aikapainotusta. Tällöin äänitasomittari laskee vaihtelevan äänitason keskiäänitasoa 250 ms jaksoissa. Tämän on todettu vastaavan varsin hyvin sitä, kuinka kuuloaisti arvioi lyhytaikaisten äänten voimakkuutta. Vaihtelevaa ääntä tuottavan äänilähteen enimmäisäänitaso on suurin mittausajanjakson kuluessa havaittu hetkellinen enimmäisäänitaso. Esimerkiksi asuinrakennuksen viemärijärjestelmän aiheuttamaa melua mitattaessa keskiäänitason mittaaminen aloitetaan siitä, kun WC-allas vedetään, ja päätetään, kun viemärijäte on poistunut putkistosta eikä äänitaso enää erotu taustäänestä. Enimmäisäänitaso syntyy tavallisesti silloin, kun viemärijäte iskeytyy viemäriputken alamutkaan.



Paikallavaletut seinät, välipohjat ja yläpohja tuottavat rakennuksen asukkaille hyvän ääneneristävyyden kaikissa huoneistoissa.

2. Ilmaääneneristys

Rakenteiden ilmaääneneristävyyden perustana on massa: mitä suurempi rakenteen massa on, sitä parempi rakenteen ilmaääneneristävyys on. Tiiliseinät ja betonirakenteet tuottavat suuren massansa ansiosta lähtökohtaisesti hyvän ilmaääneneristävyyden. Suhteessa elementtitekniikkaan paikalla valettujen rakenteiden etuna on se, että ääneneristystä heikentäviä rakoja ei juuri synny.

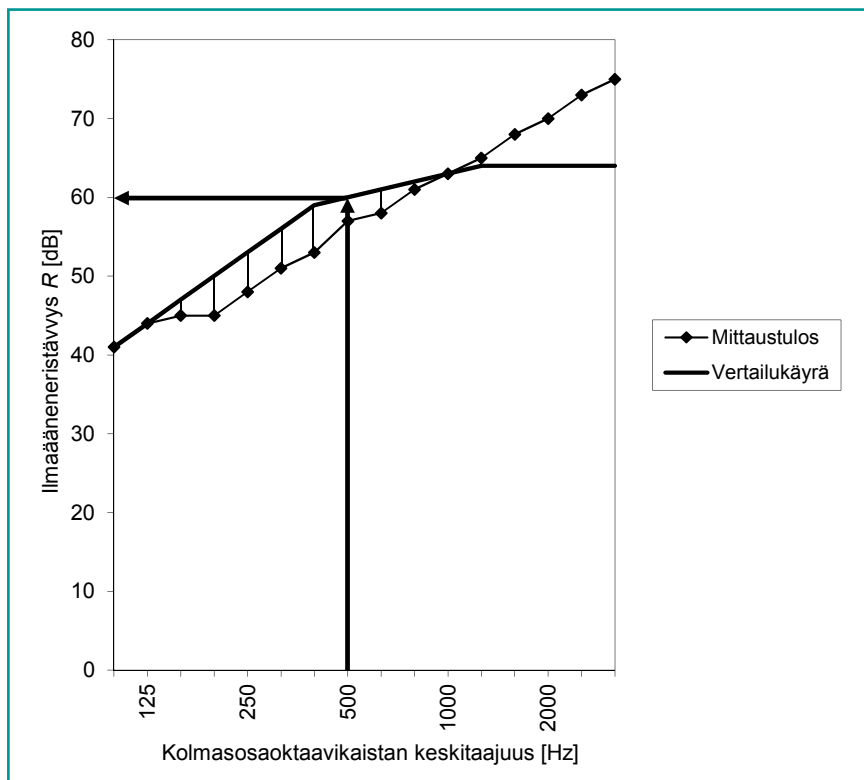
2.1 Ilmaääneneristysluku

Ilmaääneneristyksen tarkoituksena on vähentää puheen, musiikin, soitinten, äänentoiston tai teknisten laitteiden huonetilaan synnyttämän äänen siirtymistä toiseen huonetilaan. Ilmaääntä tuottava äänilähde saa ympärillään olevan ilman värähtelemään. Huonetta rajaavat seinä-, katto- ja lattiapinnat värähtelevät niihin kohdistuvan äänitehon vaikutuksesta. Rakenteen värähtely saa sen toisella puolella olevan huonetilan ilman värähtelemään, jolloin toiseen huonetilaan välittyy jokin ääniteho.

Ilmaääneneristävyys R [dB] on suure, joka kuvaa rakenteen kykyä vähentää sen pinnalle kohdistuvan äänen siirtymistä rakenteen toiselle puolelle. Se on määritelty pinnalle kohdistuvan äänitehon ja rakenteen toiselle puolelle siirtyvän äänitehon suhteena. Ääniteho puolestaan on suure, joka kuvaa äänienergian absoluuttista määrää. Sitä ei ole mahdollista määrittää suoraan mittauksilla, vaan se on selvitettävä välillisesti. [29]

Laboratoriossa ilmaääneneristävyys mitataan siten, että vierekkäin on kaksi toisistaan eristettyä betonikammiota. Niiden välinen ääneneristävyys on erittäin suuri. Vierekkäisten kammioiden seinät muodostavat kaksinkertaisen rakenteen, jossa olevaan aukkoon tutkittava rakenne asetetaan. Koska kammioiden välinen ilmaääneneristävyys on erittäin suuri, ääniteho siirtyy kammioista toiseen pääasiassa vain tutkimusaukkoon asennetun rakenteen kautta. Tosiasiallisesti äänitehoa siirtyy kammioiden välillä myös lukuisia muita reittejä pitkin eli sivutiesiirtymänä. Laboratoriossa sivutiesiirtymänä kulkevan äänitehon määrä on kuitenkin niin pieni, että se on merkityksetöntä. Näin ollen laboratoriomittauksissa pääosa kammioista toiseen siirtyneestä äänitehosta on peräisin rakenteen pinnalle kohdistuneesta äänitehosta ja tuloksena saatu ilmaääneneristävyys kuvaa tarkasti tutkitun rakenteen ominaisuuksia. [11, 29]

Ilmaääneneristävyys on taajuudesta riippuva suure. Siksi ilmaääneneristävyydet lasketaan tai mitataan tavallisesti 16 keskitaajuudella välillä 100 Hz...3150 Hz. Näistä eri taajuuksilla määritetyistä ilmaääneneristävyyksistä määritetään suunnittelun helpottamiseksi vertailukäyrämenettelyllä ilmaääneneristysluku R_w (kuva 2.1). Vertailukäyrän muoto on määritelty aikanaan tekemällä suuri määrä mittauksia kivrakentei-



Kuva 2.1. Taajuuskaistoittain määritetyistä ilmääneneristävyksistä R saadaan lasketuksi ilmääneneristysluku R'_w vertailukäyrän avulla. Tässä tapauksessa ilmääneneristysluku on 60 dB luettuna vertailukäyrältä 500 Hz kohdalta.

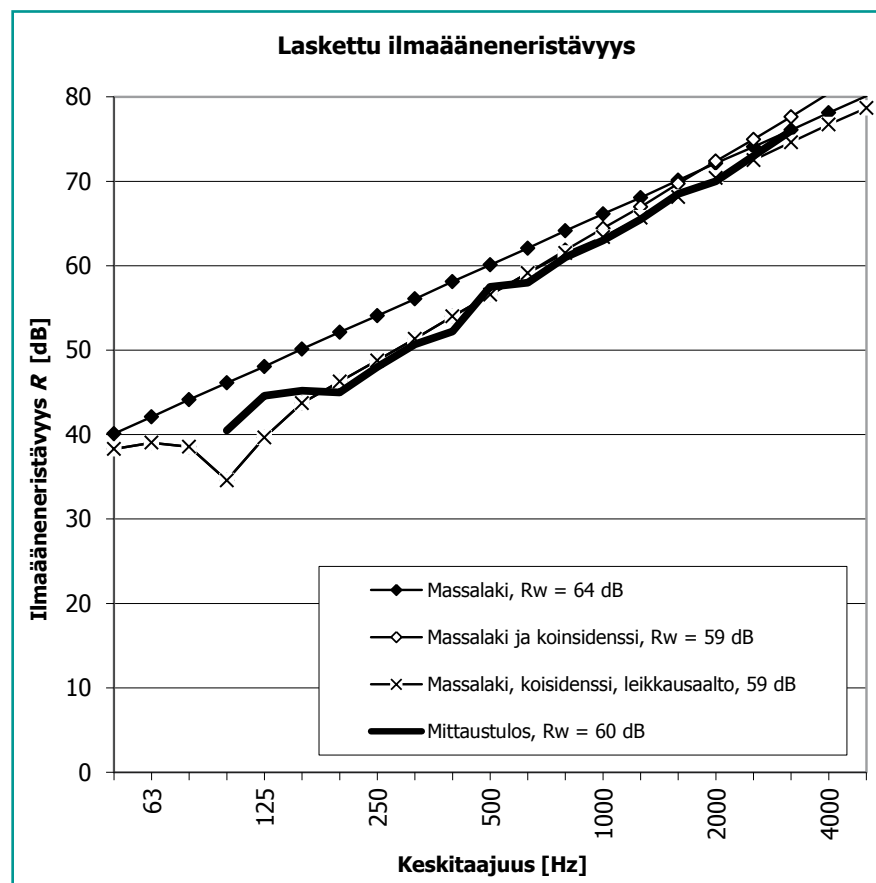
sisä asuinkerrostaloissa ja haastatteleamalla suuri joukko ihmisiä. Kun ilmääneneristävyys noudattelee vertailukäyrän muotoa, se koetaan yleensä hyväksi puheääntä vastaan. Ilmääneneristysluku R_w saadaan mittaustuloksista siten, että vertailukäyrää siirretään sen muotoa muuttamatta 1 dB portain sellaiseen asemaan, että taajuuksittain mitattujen ilmääneneristävyksien R poikkeamat vertailukäyrästä epäsuotuisaan suuntaan ovat yhteensä enintään 32 dB. Epäsuotuinen poikkeama tarkoittaa sitä, että mitattu ilmääneneristävyys on pienempi kuin vertailukäyrän arvo. Vertailukäyrän aseman määräävät siten vertailukäyrän arvoja pienemmät ilmääneneristävydet. Kun vertailukäyrä on saatu sijoitetuksi ylimpään mahdolliseen asemaan, jossa epäsuotuisten poikkeamien summa on enintään 32 dB, ilmääneneristysluku luetaan vertailukäyrältä 500 Hz kohdalta. Rakenteen kyky eristää ilmäääntä on sitä parempi, mitä suurempi ilmääneneristysluku on. [14]

2.2 Yksinkertainen rakenne

Useimmat muuratut rakenteet tai paikalla valetut betonirakenteet ovat akustisen toimintansa kannalta yksinkertaisia rakenteita. Tärkein yksinkertaisen rakenteen ääneneristävyteen vaikuttava tekijä on sen massa pinta-alayksikköä kohti m' [kg/m^2]. Ääneneristävyden kannalta kiinnostavalla taajuusalueella yksinkertaisten rakenteiden ilmääneneristä-

vyys R [dB] noudattaa massalakiä, jonka mukaan ilmääneneristävyys paranee 6 dB rakenteen pintamassan tai taajuuden kaksinkertaistuessa (kuva 2.2). Massalain mukaan rakenteen ilmääneneristävyys on siis sitä parempi, mitä suurempi rakenteen massa on.

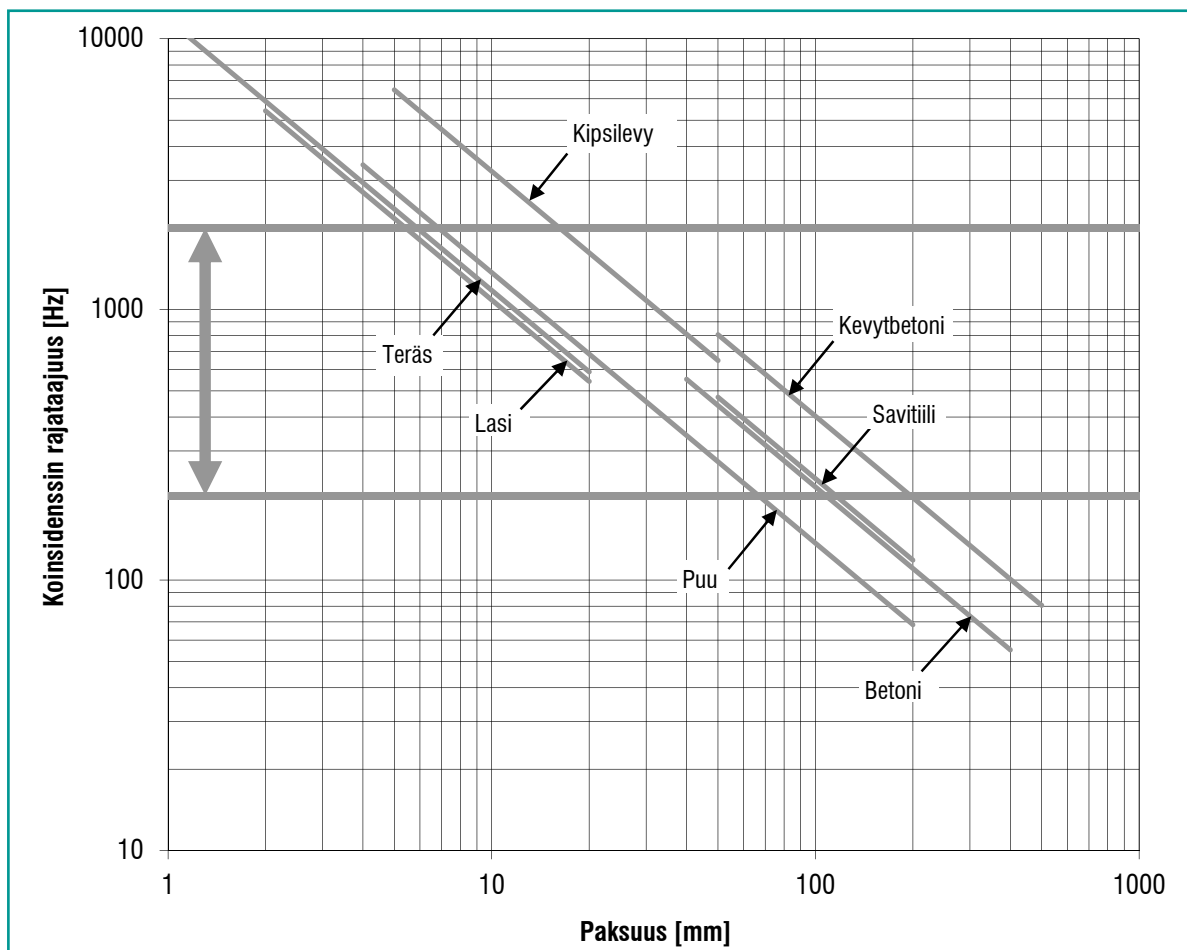
Ilmääneneristävyys ei kuitenkaan lisääny taajuuden kasvaessa massalain mukaan ikuisesti, vaan ilmääneneristävyiden kasvu rajoittaa kaksi rajataajuutta, josta rakenteen käyttökelpoisuuden kannalta tärkeämpi on koinsidenssin rajataajuus f_c [Hz]. Koinisidenssi-ilmiö tarkoittaa sitä, että rakenteeseen kohdistuva ääni taivuttaa rakennetta, johon syntyy taivutusaalto. Toisin kuin äänen nopeus ilmassa, taivutusaallon nopeus rakenteessa on taajuudesta riippuvainen. Koinisidenssin rajataajuudella f_c äänen nopeus ilmassa on yhtä suuri kuin taivutusaallon nopeus rakenteessa. Tällä rajataajuudella äänienergia välittyy tehokkaasti rakenteen puolelta toiselle, jolloin rakenteen ääneneristyskyky heikkenee. Ilmääneneristävyiden kasvu hidastuu jo rajataajuutta lähestyttäessä, ja rajataajuudella saavutetaan minimi. Rajataajuuden jälkeen ilmääneneristävyys lähenee jälleen massalain ennustamaa arvoa. Massalain ennustamaa ilmääneneristävyttä tarkempi arvio rakenteen ääneneristyskyvystä saadaan ottamalla huomioon koinsidenssin vaikutus (kuva 2.2).



Kuva 2.2. 180 mm paksun betoniseinän laskettu ilmääneneristävyys verrattuna rakenteen laboratoriossa mitattuun ääneneristävyteen. Koinisidenssin ja leikkausaaltoalueen ottaminen huomioon tuottaa paremman laskennallisen arvion ilmääneneristävydestä. Koinisidenssin rajataajuus f_c on noin 120 Hz ja leikkausaaltoalueen rajataajuus f_h noin 850 Hz.

Taivutusaaltojen lisäksi rakenteessa esiintyy leikkausaaltoja, kun rakenteen paksuus h [m] on suuri. Leikkausaalto vaikuttaa ilmaääneneristävyyteen rajataajuuden f_h yläpuolella. Rajataajuus riippuu koinsidenssin rajataajuudesta ja rakenteen paksuudesta ja on sitä suurempi, mitä suurempi on koinsidenssin rajataajuus ja mitä ohuempi on rakenne. Leikkausaaltoalue vaikuttaa lähinnä hyvin raskaiden rakenteiden ääneneristävyyteen, mutta vaikutus on vain muutamien desibelien luokkaa suurilla taajuuksilla (kuva 2.2). [16]

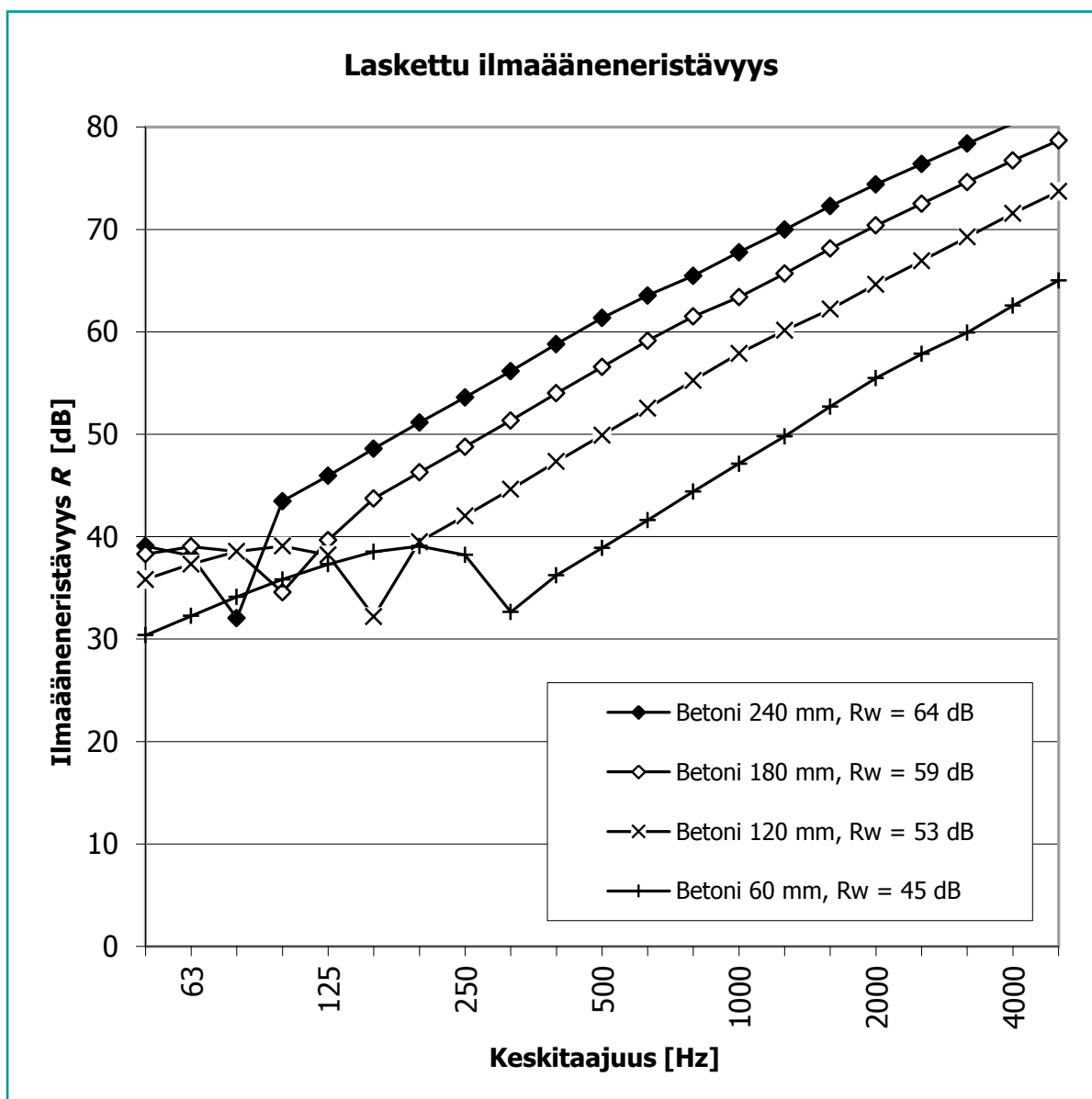
Koinsidenssin rajataajuus on sitä alhaisempi, mitä suurempia ovat rakenteen kimmomoduli ja rakennepaksuus ja mitä pienempi on rakenteen pintamassa. Raskaan ja jäykän rakenteen, kuten paksun betoniseinän, koinsidenssin rajataajuus on pieni; kevyen ja joustavan rakenteen, kuten kipsilevyn, rajataajuus on suuri. Kuvassa 2.3 on esitetty erilaisten rakennusaineiden koinsidenssin rajataajuuksia paksuuden funktiona. Paksut vaakaviivat esittävät taajuusalueen, jonka ylä- tai alapuolelle koinsidenssin rajataajuuden tulisi asettua. Kuva selittää esimerkiksi sen, että ikkunalasin paksuus on harvoin yli 6 mm, ja sen, että kipsilevyn paksuus on 13 mm; tällöin näiden materiaalien koinsidenssin rajataajuus on ääneneristävyyden kannalta edullisella alueella. Betonirakentei-



Kuva 2.3. Rakennusaineiden koinsidenssin rajataajuuksia f_c rakenteen paksuuden funktiona. Kuvaan on merkitty vaakasuorilla viivoilla taajuusalue, jonka ulkopuolella rajataajuuden tulisi yleensä olla.

den ja muurattujen rakenteiden koinsidenssin rajataajuus on pienellä taajuusalueella. Mitä suurempi tällaisen rakenteen massa on, sitä pienemmäksi koinsidenssin rajataajuus muuttuu. Kuvassa 2.4 on esitetty, kuinka massan lisäys kasvattaa betonirakenteen ilmaääneneristävyyttä ja ilmaääneneristyslukua R_w toisaalta massalain mukaisesti ja toisaalta koinsidenssin rajataajuuden siirtyessä pienemmälle taajuusalueelle.

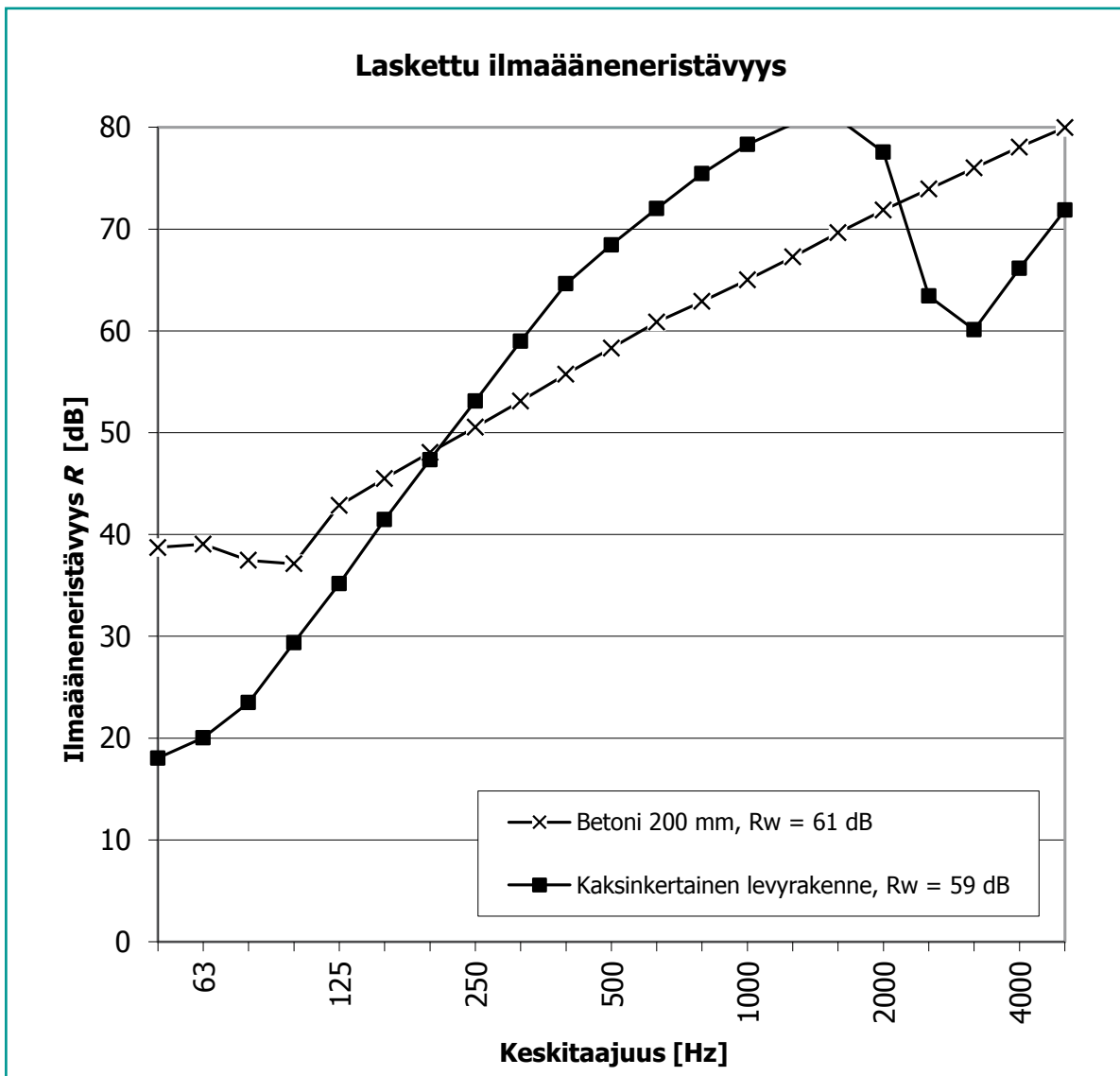
Raskaiden kivirakenteiden massasta seuraa se, että niiden ilmaääneneristävyys on pienillä taajuuksilla muihin yksinkertaisiin rakenteisiin verrattuna hyvä ja sitä parempi, mitä suurempi rakenteen pintamassa on. Suuren pintamassan vuoksi massan lisääminen parantaa raskaiden kivirakenteiden ilmaääneneristävyyttä suhteellisesti paljon vähemmän esimerkiksi rakennuslevyihin verrattuna.



Kuva 2.4. Betoniseinän ilmaääneneristävyys paranee paksuuden kasvaessa massalain mukaisesti sekä koinsidenssin rajataajuuden siirtyessä pienemmälle taajuudelle.

2.3 Kytkemätön kaksinkertainen rakenne

Kevyiden rakenteiden ilmasteneristävyyttä voidaan kasvattaa helposti lisäämällä rakenteiden pintamassaa. Jos pintamassa on jo suuri, pienikin parannus ilmasteneristävyydessä edellyttäisi massalain mukaan suurta massan lisäystä. Massan lisääminen rajattomasti asettaa vaatimuksia muiden rakenteiden kantavuudelle ja lisää kustannuksia, joten suurempi lisäys eristävyydessä saadaan aikaan jakamalla rakenne kahdeksi osaksi, joiden välissä on ilmastaväli tai absorptiomateriaalilla täytetty ilmastaväli. Akustisen toimintansa kannalta tällainen rakenne on kaksinkertainen. Esimerkkejä kaksinkertaisista rakenteista ovat molemmin puolin levytetyt kipsilevyseinät ja kaksinkertaiset tiiliseinät.



Kuva 2.5. Massa-jousi-massaresonanssin ja pienemmän massan vuoksi kaksinkertaisten levyrakenteiden ilmasteneristävyys on matalalla taajuusalueella heikempi kuin yksinkertaisten kivirakenteiden. Ilmasteneristävyydet on laskettu seuraavilla rakenteilla: rakenne 1: 200 mm paksu betoniseinä; rakenne 2: kaksinkertainen kipsilevy N 13 mm, mineraalivillalla täytetty ilmastaväli 142 mm, kaksinkertainen kipsilevy N 13 mm.

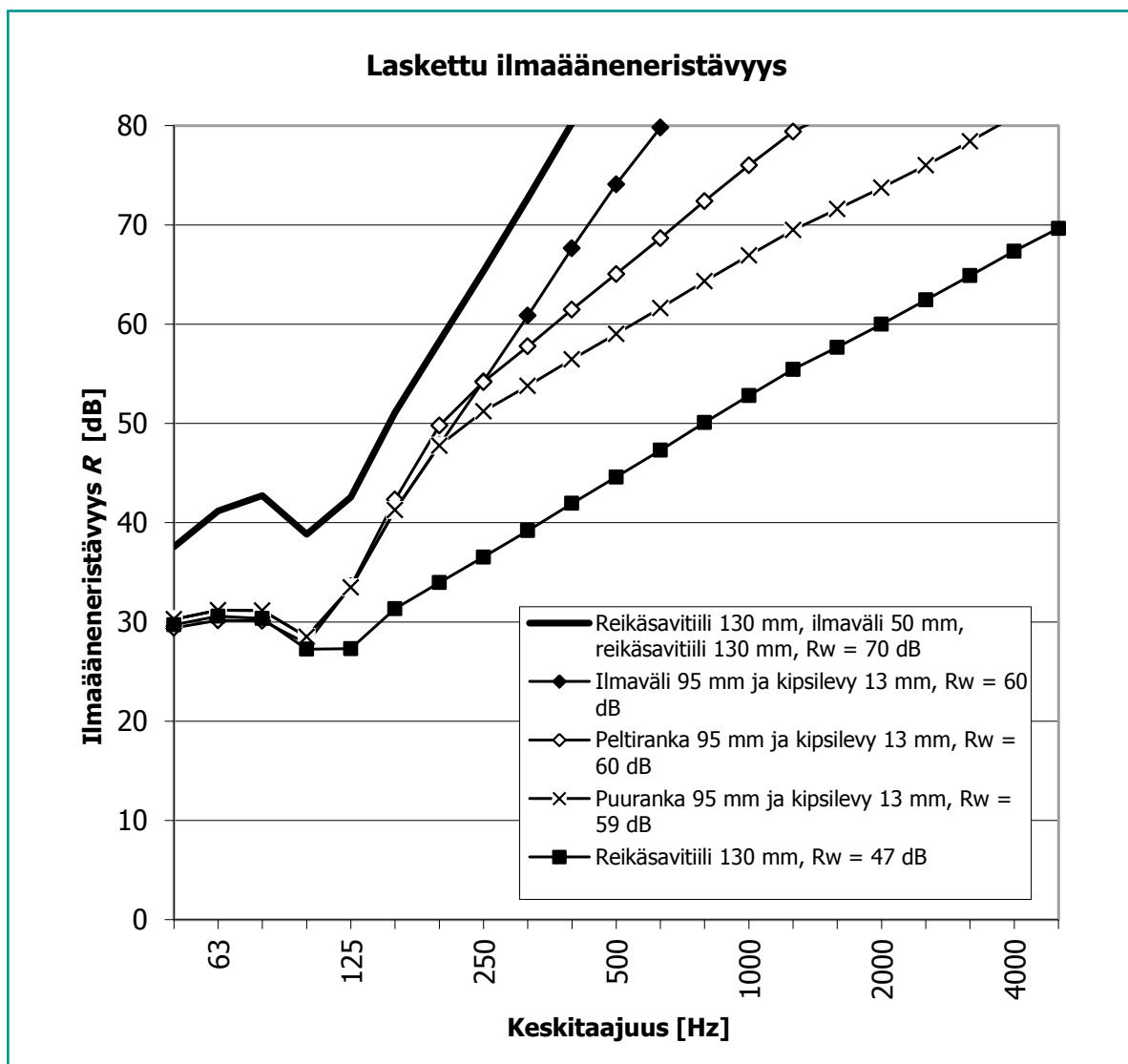
Kaksinkertaisen rakenteen puoliskot ja ilmväli muodostavat massa-jousi-massajärjestelmän, jossa rakenteen puoliskojen välissä oleva massa toimii jousena. Tällaisella rakenteella on ominaistajuus f_{mam} , jonka yläpuolella ilmaaneneristävyys kasvaa nopeasti. Ominaisuus riippuu rakenteen puolikkaiden pintamassoista m_1 ja m_2 [kg/m²] ja ilmvälin suuruudesta d [m]. Kaksinkertaisen rakenteen ilmaaneneristävyys perustuu sen puoliskojen ilmaaneneristävyyteen sekä niiden massoista ja ilmvälistä seuraavaan resonanssitaajuuteen. Lisäksi eristävyyteen vaikuttaa merkittävästi ilmvälin täyttö absorboivalla materiaalilla, kuten mineraalivillalla. Suositeltavaa on, että vähintään puolet ilmvälistä täytetään ääntä absorboivalla materiaalilla.

Massa-jousi-massajärjestelmän ominaistajuuden f_{mam} vuoksi levyrakenteisten kaksinkertaisten rakenteiden ilmaaneneristävyys matalalla taajuusalueella on heikompi kuin raskaiden yksinkertaisten kivirakenteiden (kuva 2.5). Matalia ääniä eristettäessä massa on välttämätön.

2.4 Kytketty kaksinkertainen rakenne

Kaksinkertainen rakenne toimii ilmaaneneristävyyden kannalta tehokkaimmin, kun rakenteen puoliskot on tuettu omille rungoilleen, jotka ovat täysin irti toisistaan. Käytännössä usein rakenteen puoliskot ovat kiinni samassa rungossa, jolloin rakenteen ilmaaneneristävyys riippuu etenkin siitä, kuinka joustava runkorakenne on. Saavutettava ilmaaneneristävyys on sitä parempi, mitä joustavampi runkoranka on (kuva 2.6). Rankojen k-jako vaikuttaa ilmaaneneristävyyteen siten, että harvempi k-jako tuottaa paremman eristävyyden kuin tiheä, eli rankavälin harventuessa rakenteen toiminta alkaa muistuttaa kytkemätöntä kaksinkertaista rakennetta. Lisäksi puoliskojen massat ja ilmvälin täyttö vaikuttavat rakenteen ilmaaneneristävyyteen samalla tavalla kuin ne vaikuttavat kytkemättömän kaksinkertaisen rakenteen ilmaaneneristävyyteen.

Kivirakentamisen yhteydessä monet ulkoseinärakenteet toimivat ilmaaneneristävyyden kannalta kytketyn kaksinkertaisen rakenteen tapaan. Samoin korjausrakentamisessa käytetään kaksinkertaisia kytkettyjä rakenteita, esimerkiksi vanhan rakennuksen lämmöneristystä parannettaessa. Kun olemassa olevan rakennuksen käyttötarkoitusta muutetaan esimerkiksi toimistorakennuksesta asuinrakennukseksi, on noudatettava nykyvaatimuksia ääneneristyksen suhteen. Tällöin vanhojen rakenteiden ääneneristyskykyä usein parannetaan muuttamalla ne joko kytketyiksi tai kytkemättömiksi kaksinkertaisiksi rakenteiksi.



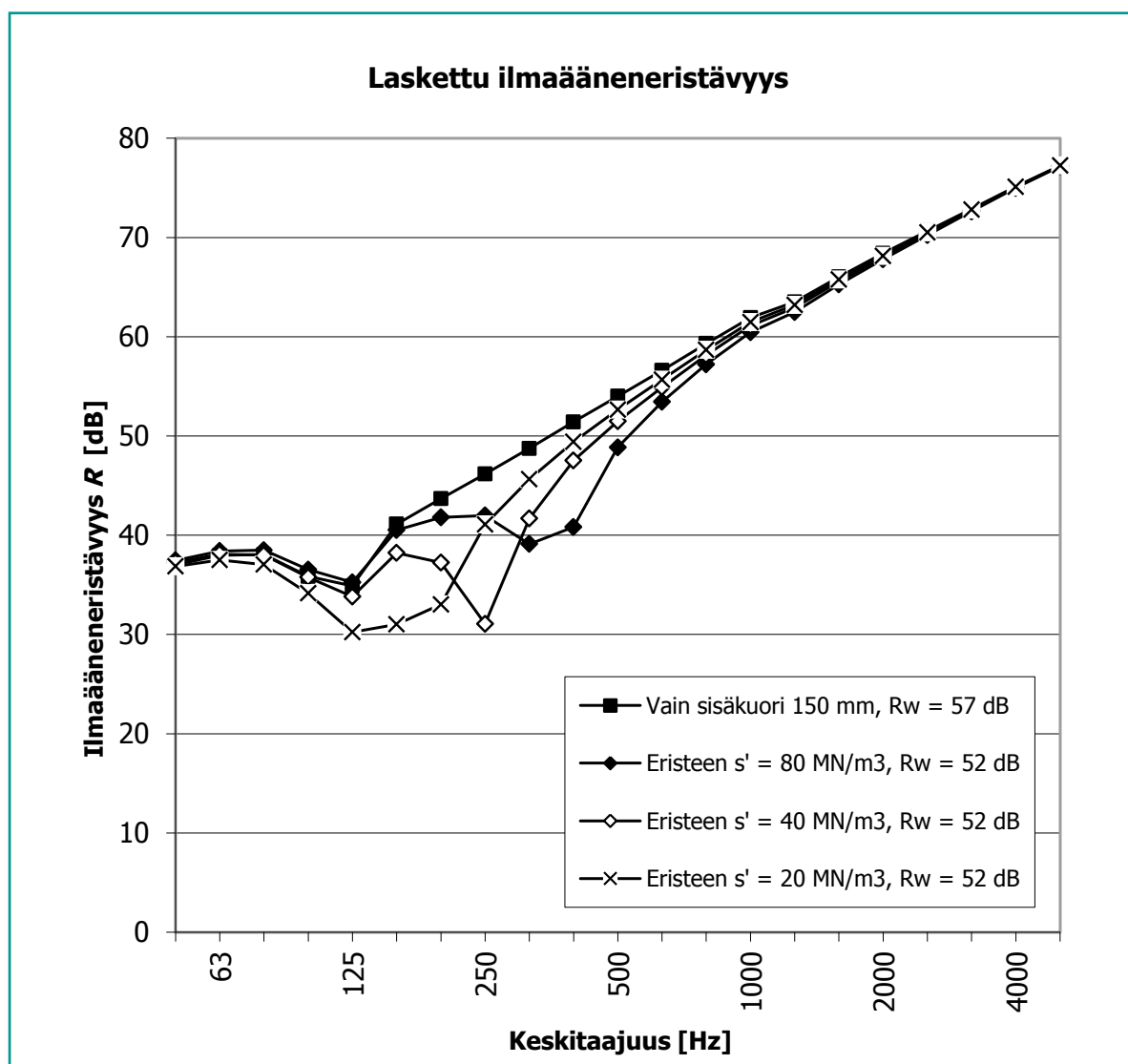
Kuva 2.6. Kytkeyn kaksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristävyys riippuu rakenteen puoliskot toisiinsa kytkevän rangan tai muun rungon jäykkyydestä. Perusrakenne: reikäsavitiili 130 mm, johon liittyy eri tavoin kytketty kipsilevy 13 mm. Ilmaväli tarkoittaa, että levy on täysin irti muuratusta rakenteesta. Rangat puolestaan on kiinnitetty muurattuun rakenteeseen, jolloin rakenteen puoliskot ovat kytkettyjä. Ilmatila on täytetty kokonaan mineraalivillalla.

2.5 Lämpörapatut ulkoseinät

Lämpörapattujen ulkoseinien betonisisäkuori sekä rappaus toimivat kaksinkertaisen rakenteen puoliskoina, jotka lämmöneriste joustavana rakennekerroksena kytkee yhteen. Lämmöneristeinä käytetään jäykkiä tuotteita, kuten elastisoitua polystyreeniä, polyuretaania ja jäykkiä mineraalivilloja. Tällaisen rakenteen ääneneristävyys perustana on massalaki, mutta saavutettava ääneneristävyys riippuu erityisesti betonisisäkuoren koinsidenssin rajataajuudesta sekä rakenteen muodostaman massa-jousi-massajärjestelmän resonanssitaajuudesta [35].

Massiivisten betonirakenteiden koinsidenssin rajataajuus on hyvin alhainen, mutta ulkoseinän betonisisäkuoren ollessa 80...150 mm paksu

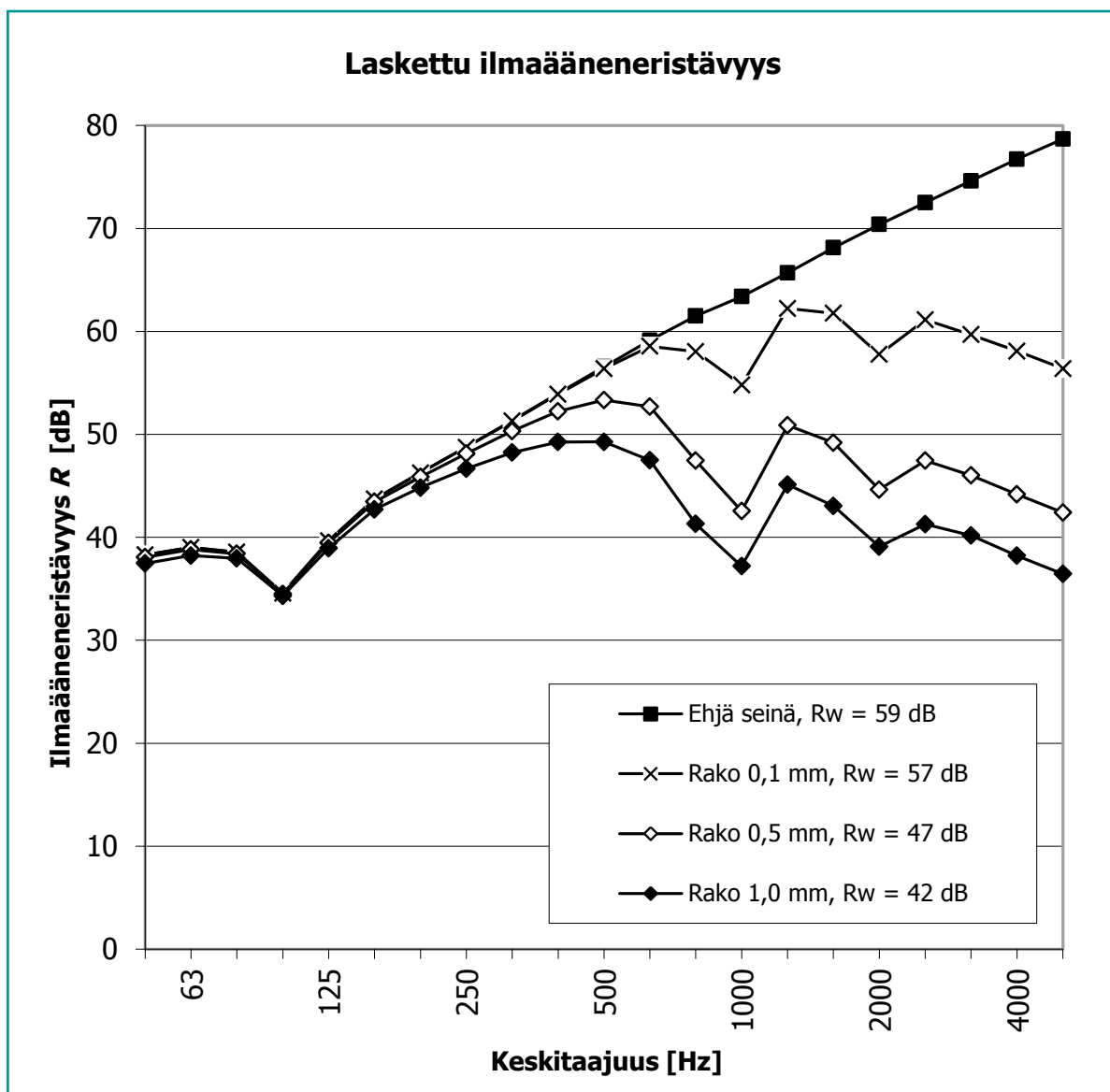
koinsidenssin rajataajuus on noin 100...300 Hz, sitä korkeampi mitä ohuempi kuori on. Lämmöneristekerroksesta seuraava resonanssitaajuus on suurempi kuin kaksinkertaisten rakenteiden massa-ilma-massa-järjestelmän ominaistajuus, koska eristekerroksen jäykkyys on suurempi kuin ilmakerroksen. Mitä jäykempää lämmöneristettä käytetään, sitä korkeammaksi resonanssitaajuus muuttuu (kuva 2.7). Lämmöneristeen jäykkyys ilmoitetaan dynaamisena jäykkyytenä s' [MN/m³], jonka perusteella resonanssitaajuus voidaan laskea. Tavallisesti resonanssitaajuus on niin korkea, että lämpörapatun ulkoseinän ilmaääneneristävyys on heikempi kuin pelkän sisäkuoren ilmaääneneristävyys [35]. Erityisen alhaiseksi tällaisen rakenteen ilmaääneneristysluku jää silloin, kun resonanssitaajuus ja sisäkuoren koinsidenssin rajataajuus ovat samat tai lähellä toisiaan (kuva 2.7).



Kuva 2.7. Lämpörapatun ulkoseinärakenteen ilmaääneneristävyys riippuu lämmöneristeen jäykkyydestä. Perusrakenne: ohutrappaus 10 mm, lämmöneriste (dynaaminen jäykkyys vaihtelee), betonisäkuori 150 mm. Kun lämmöneristekerroksen paksuus kaksinkertaistetaan, sen dynaaminen jäykkyys puolittuu. Kuvaa voidaan lukea siten myös niin, että eriste, jonka dynaaminen jäykkyys on 40 MN/m³, on kaksi kertaa niin paksu kuin eriste, jonka dynaaminen jäykkyys on 80 MN/m³.

2.6 Tiiviyyden vaikutus

Betonielementtirakenteisissa asuinkerrostaloissa ääneneristysongelmat johtuvat usein siitä, että saumavalut eivät aina täyty täydellisesti, vaan huoneistoja erottaviin rakenteisiin jää rakoja. Jo pienikin rako riittää pilaamaan huoneistojen välisen ääneneristävyyden (kuva 2.8). Jälkeenpäin ääneneristystä alentavan raon löytäminen voi olla hankalaa, vaikka se ääneneristysmittausten perusteella on selvästi havaittu. Muurattujen rakenteiden sekä paikalla valettujen rakenteiden ero elementtitekniikkaan verrattuna on se, ettei muuratuissa ja paikalla valetuissa rakenteissa ole elementtien puutteellisten saumavalujen aiheuttamaa ääneneristysriskiä.



Kuva 2.8. Raon koon vaikutus 180 mm paksun betoniseinän ilmaääneneristävyyteen. Raon pituus on 2500 mm, ja raon leveys vaihtelee.

2.7 Rakennusosien ilmäaänen-eristävyysmallintaminen

Rakennusosien ilmäaäneneristävyys R ja ilmäaäneneneristysluku R_w on perinteisesti määritetty mittaamalla laboratoriossa. Mittausten perusteella rakennusalan järjestöt ja rakennusteollisuus ovat laatineet käsikirjoja, suosituksia ja ohjeita, joissa esitetään vakioratkaisuja äänen-eristyksen toteuttamiseksi. Rakennusalan kirjallisuudessa erilaisten rakennetyyppien ilmäaäneneristyslukuja on kuitenkin esitetty rajallisesti, eikä uusien rakennetyyppien eristävyksistä ole olemassa kootusti tietoa eikä välttämättä tietoa ylipäätäänkään. Korjausrakentamisessa esiintyy lisäksi vanhoja rakennetyyppejä, jotka ovat jääneet käytöstä pois ennen kuin rakennusakustiset mittaukset alkoivat yleistyä. Erilaisissa rakennushankkeissa esiintyvien rakennetyyppivaihtoehtojen määrä on niin suuri, että on varsin epätodennäköistä, että kaikkien äänen-eristysominaisuuksista voitaisiin saada mittaustuloksia.

Laboratoriomittausten käyttökelpoisuutta rakennushankkeiden aikana ja tuotekehitystyössä rajoittaa muutenkin moni seikka. Laboratoriomittaus yksittäisen rakennetyypin ominaisuuksien selvittämiseksi ei ole kustannuksiltaan kovin edullinen toimenpide. Olisi esimerkiksi kohtuutonta vaatia, että omakotitalon rakentaja vie suunnitteilla olevan talonsa uudenlaisen ulkoseinä-rakenteen laboratorioon testattavaksi saadakseen rakennusluvan. Laboratoriomittaus vaatii myös aikaa: mittauksen tilaajan on varattava aikaa tutkittavan rakennusosan rakentamiseksi, kuljettamiseksi sekä asentamiseksi laboratorioon, jossa mittauksen tekemiseen voi lisäksi olla pitkä jonotusaika. Rakennushankkeiden aikataulujen lyhentyessä laboratoriomittausten tekemiseen ei useinkaan ole ajallisia mahdollisuuksia.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaan rakennusten äänen-eristystä suunniteltaessa vaatimusten täyttyminen voidaan osoittaa paitsi laboratorio- ja kenttämittauksin tai käyttäen aikaisemmin hyväksytyjä rakenneratkaisuja, myös laskentamenetelmin [39]. Tieto rakenteiden ilmäaäneneristävyyteen liittyvistä tekijöistä on viime vuosikymmeninä lisääntynyt runsaasti, ja nykyisin rakenteiden ilmäaänen-eristävyys ja ilmäaäneneneristysluku voidaan määrittää laskennallisesti riittävän luotettavasti. Käytännössä laskenta kuitenkin edellyttää laskentamallien ohjelmoimista tietokoneohjelmaksi.

Tämän luvun kuvissa esitettyjen ilmäaäneneristävyyksien R [dB] ja ilmäaäneneneristyslukujen R_w laskemiseen on käytetty Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy:n kehittämää excel-pohjaista laskentaohjelmaa ILPO, jonka toiminta, ominaisuudet ja tarkkuus on esitetty tarkemmin lähteessä [33]. Laskentamalli ottaa huomioon mm. rakenteen rakennekerrosten materiaaliominaisuudet, rakennekerrosten paksuudet, rakennekerrosten välissä olevien ilmävälien paksuudet, tyhjän ja absorptiomateriaalilla täytetyn ilmävälin ominaisuudet sekä rakennekerrosten väliset kytkennät (jäykkä ranka, joustava ranka, kytkemätön kaksinkertainen

rakenne). Ilmaääneneristysluvut on määritetty taajuuksittain lasketuista ilmaääneneristävyksistä standardin ISO 717-1 [14] mukaisesti.

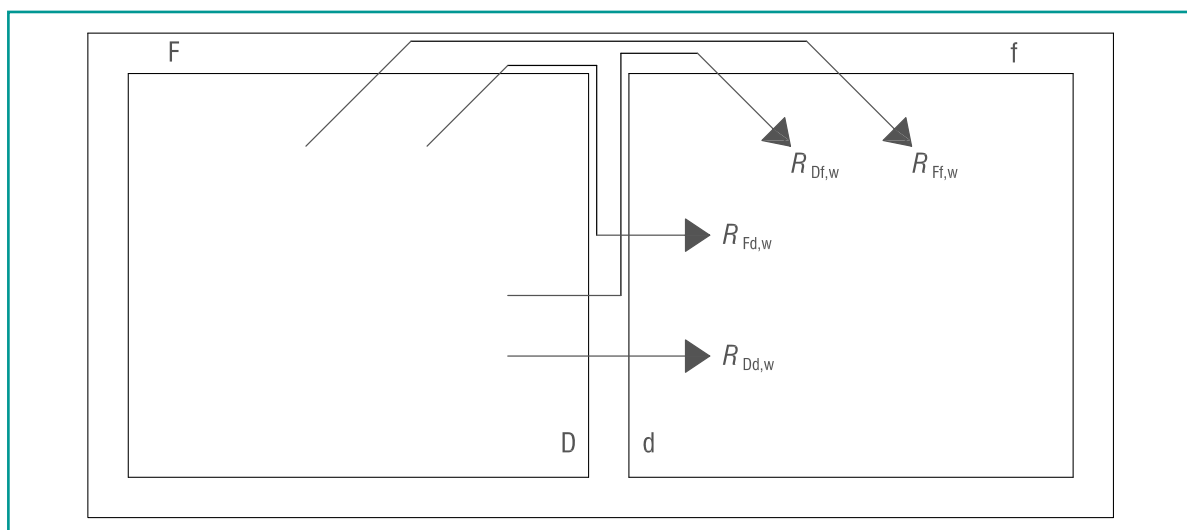
Laskennallisesti saatu tulos vastaa rakenteen laboratoriomittausarvoa. Ilmaääneneristyslukujen laskentatarkkuudeksi arvioidaan tavanomais- ten rakenteiden kyseessä ollessa noin ± 2 dB laboratoriomittaukseen verrattuna. Verrattaessa tuloksia laboratoriomittauksiin on kuitenkin otettava huomioon se, että laboratoriomittauskaan ei edusta ehdotonta totuutta, vaan silläkin on laboratorion ominaisuuksista ja mittalaittei- den epävarmuuksista riippuva vaihteluvälinsä, joka myös on noin ± 2 dB. Saman rakenteen laboratoriomittauksen toistaminen johtaa yleensä hieman poikkeaviin tuloksiin. Laskennan epävarmuus taas kasvaa, kun rakenne on monimutkainen tai sen rakennekerrosten materiaaliarvoja ei tarkkaan tunneta [33].

2.8 Ilmaääneneristävyys rakennuksessa

2.8.1 Sivutiesiirtymä

Aiemmissa kappaleissa on tarkasteltu yksittäisten rakennusosien ilmaääneneristävyttä. Rakennuksissa tilojen välisessä ilmaääneneristä- vyydessä ei ole kyse enää siitä, kuinka yksittäinen rakennusosa välit- tää ääntä puoleltaan toiselle, vaan kaikista mahdollisista kulkureiteistä, joiden kautta ääni voi siirtyä tilasta toiseen. Esimerkiksi vierekkäisten asuinhuoneistojen välillä ääni voi siirtyä niitä erottavan väliseinän lisäksi myös sitä sivuavien rakenteiden, kuten ulkoseinän ja välipohjien kautta ikään kuin väliseinän ohi. Lisäksi ääni voi siirtyä esimerkiksi ulkoseinästä väliseinän kautta viereiseen huoneistoon tai väliseinästä välipohjaan ja edelleen viereiseen huoneistoon (kuva 2.9).

Äänen siirtymistä tilasta toiseen muita reittejä kuin tiloja erottavan rakenteen kautta sanotaan sivutiesiirtymäksi. Edellä kuvattujen raken-



Kuva 2.9. Äänen rakenteellisia sivutiesiirtymäreittejä vierekkäisiin huoneistoihin kuuluvien asuinhuoneiden välillä.

teellisten sivutiesiirtymäreittien lisäksi ääni voi siirtyä huoneistosta toiseen LVIS-asennusten, kuten ilmanvaihtokanavan kautta. Ilmaääneneristysluku rakennuksessa R'_w voi olla jopa useita kymmeniä desibelejä heikompi kuin tiloja erottavan rakenteen ilmaääneneristysluku R_w .

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 määräykset koskevat rakennuksessa tilojen välillä saavutettavaa ilmaääneneristystä, joten rakennuksia suunniteltaessa ja toteutettaessa on aina otettava huomioon kaikki äänen kulkureitit tilojen välillä. Rakennuksen suunnitteluvaiheessa sivutiesiirtymien vaikutusta rakennuksessa saavutettavaan ilmaääneneristyslukuun voidaan arvioida laskentamenetelmillä.

Standardissa EN 12354-1 [5] on esitetty kansainvälisen hyväksynnän saaneita laskentamenetelmiä, jolla voidaan mallintaa tilojen välinen ilmaääneneristysluku $R'_{w,est}$. Menetelmät perustuvat siihen, että ensin selvitetään reitit, joiden kautta ääniteho voi siirtyä tilasta toiseen. Laskenta tapahtuu siten, että ensin määritellään kunkin rakenteen ilmaääneneristävydet taajuuksittain joko laskennallisesti tai mittaamalla laboratorioissa. Seuraavaksi lasketaan eri rakenteiden liitoksissa syntyvät energiahäviöt eli niin sanotut liitoseristävydet. Kullakin reitillä olevan rakenteen ja liitoksen eristävyysien perusteella saadaan lasketuksi jokaisen reitin ilmaääneneristävyys erikseen. Toisin sanoen jokaisen reitin kautta siirtyy tietty määrä äänitehoa. Kun lopuksi yhdistetään eri reittien kautta tilasta toiseen siirtyneet äänitehot, saadaan lasketuksi tilojen välistä ilmaääneneristävyttä kuvaava ilmaääneneristysluku $R'_{w,est}$. Rakennuksessa saavutettava ilmaääneneristysluku toisin sanoen riippuu rakennusosien ilmaääneneristyslukuista sekä liitosten ääneneristysominaisuuksista.

Taulukoissa 2.1 ja 2.2 on tutkittu laskennallisesti, miten rakennuksessa saavutettava ilmaääneneristysluku muuttuu, kun päällekkäisiä huoneistoja erottava välipohjarakenne pysyy samanlaisena, mutta sivuavien rakenteiden ilmaääneneristysluvut ja massat muuttuvat. Mitä suurempaa ilmaääneneristyslukua R'_w tilojen välille tavoitellaan, sitä enemmän on kiinnitettävä huomiota sivutiesiirtymän vähentämiseen. Taulukoissa 2.3 ja 2.4 on tarkasteltu ilmaääneneristyslukujen muutosta, kun välipohjien ja väliseinien massaa kasvatetaan.

Taulukko 2.1. Päällekkäisten asuinhuoneistojen välillä saavutettava ilmaääneneristysluku $R'_{w,est}$. Sivuvat rakenteet johtavat siihen, että ilmaääneneristysluku rakennuksessa on 5 dB pienempi kuin välipohjan ilmaääneneristysluku laboratorioissa mitattuna yksittäisenä rakennusosana.

Reitti	m'	Rakennusosa: $R_{w,est,i}$	Reitin kautta: $R'_{w,est,i}$
Välipohja 240 mm	600 kg/m ²	65 dB	65 dB
Ulkoseinä 80 mm	200 kg/m ²	48 dB	64 dB
Väliseinä 180 mm	450 kg/m ²	60 dB	72 dB
Väliseinä 180 mm	450 kg/m ²	60 dB	70 dB
Väliseinä 180 mm	450 kg/m ²	60 dB	70 dB
Yhteensä $R'_{w,est}$			60 dB

Taulukko 2.2. Päällekkäisten asuinhuoneistojen välillä saavutettava ilmääneneristysluku $R'_{w,est}$. Sivuavien rakenteiden ilmääneneristysluvut ovat parempia kuin taulukon 2.1 mukaisessa laskelmassa, ja vähäisemmän siivutiesiirtymän johdosta ilmääneneristysluku rakennuksessa on nyt 3 dB heikompi kuin välipohjan ilmääneneristysluku laboratorioissa mitattuna yksittäisenä rakennusosana.

Reitti	m'	Rakennusosa: $R_{w,est,i}$	Reitin kautta: $R'_{w,est,i}$
Välipohja 240 mm	600 kg/m ²	65 dB	65 dB
Ulkoseinä 150 mm	375 kg/m ²	57 dB	69 dB
Väliseinä 240 mm	600 kg/m ²	65 dB	74 dB
Väliseinä 240 mm	600 kg/m ²	65 dB	73 dB
Väliseinä 240 mm	600 kg/m ²	65 dB	73 dB
Yhteensä $R'_{w,est}$			62 dB

Taulukko 2.3. Päällekkäisten asuinhuoneistojen välillä saavutettava ilmääneneristysluku $R'_{w,est}$, kun välipohjan paksuus on 270 mm, väliseinän 200 mm ja ulkoseinän sisäkuoren 150 mm.

Reitti	m'	Rakennusosa: $R_{w,est,i}$	Reitin kautta: $R'_{w,est,i}$
Välipohja 270 mm	675 kg/m ²	67 dB	67 dB
Ulkoseinä 150 mm	375 kg/m ²	57 dB	69 dB
Väliseinä 200 mm	500 kg/m ²	62 dB	74 dB
Väliseinä 200 mm	500 kg/m ²	62 dB	74 dB
Väliseinä 200 mm	500 kg/m ²	62 dB	74 dB
Yhteensä $R'_{w,est}$			63 dB

Taulukko 2.4. Päällekkäisten asuinhuoneistojen välillä saavutettava ilmääneneristysluku $R'_{w,est}$, kun välipohjan paksuus on 300 mm, väliseinän 200 mm ja ulkoseinän sisäkuoren 150 mm.

Reitti	m'	Rakennusosa: $R_{w,est,i}$	Reitin kautta: $R'_{w,est,i}$
Välipohja 300 mm	750 kg/m ²	68 dB	68 dB
Ulkoseinä 150 mm	200 kg/m ²	57 dB	69 dB
Väliseinä 200 mm	500 kg/m ²	62 dB	75 dB
Väliseinä 200 mm	500 kg/m ²	62 dB	75 dB
Väliseinä 200 mm	500 kg/m ²	62 dB	75 dB
Yhteensä $R'_{w,est}$			64 dB

2.8.2 Ilmaääneneristävyyttä koskevat määräykset ja ohjeet

Rakentamismääräyskokoelman osassa C1-1998 [39] annetaan asuinhuoneistoille seuraavat ilmaääneneristysvaatimukset:

- ilmaääneneristysluvun R'_w tulee olla asuinhuoneistojen välillä vähintään 55 dB
- ilmaääneneristysluvun R'_w tulee olla porraskäytävän ja asuinhuoneistojen välillä vähintään 39 dB.

Ohjeena todetaan, että asuinhuoneiston porrastaso-ovena käytetään vähintään luokan 30 dB ovea tai oviyhdistelmää. Vanha oviluokitus on nykyisin jäämässä pois käytöstä, ja nykyisen käytännön [29] mukaan luokan 30 dB ovi vastaa ovea, jonka ilmaääneneristysluku laboratoriossa mitattuna R_w on vähintään 37 dB.

Standardin SFS 5907 [38] asettamat vaatimukset luokkien A...D mukaisten asuinrakennusten asuinhuoneistojen väliselle ilmaääneneristykselle on esitetty taulukossa 2.5. Luokissa A ja B standardi edellyttää, että ilmaääneneristysmittaukset ulotetaan 50 Hz keskitaajuuteen saakka, jolloin vaatimus esitetään summana ilmaääneneristysluvusta R'_w ja spektrisovitustermistä $C_{50-3150}$. Spektripainotusterman laskentatapa on esitetty standardissa ISO 717-1 [14].

Spektripainotusterman $C_{50-3150}$ avulla voidaan ottaa huomioon rakenteen ääneneristyskyky pienillä taajuuksilla, joilla rakenteen massan merkitys on ratkaiseva. Spektripainotusterman arvo on massiivisille kivirakenteille tavallisesti 0...-2 dB. Kaksinkertaisille levyrakenteille spektripainotusterman arvo on tyypillisesti -5...-10 dB, mikä johtuu niiden heikommasta ääneneristyskyvystä pienillä taajuuksilla (ks. kuva 2.5).

Taulukko 2.5. Pienimmät sallitut ilmaääneneristysluvun arvot standardin SFS 5907 mukaisissa akustisissa luokissa A...D. Taulukossa on esitetty vain asuinhuoneistojen välille sekä porraskäytävän ja asuinhuoneiston välille asetetut vähimmäisvaatimukset.

Suunta	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka D
	$R'_w + C_{50-3150}$	$R'_w + C_{50-3150}$	R'_w	R'_w
Asuinhuoneistojen välillä	63 dB	58 dB	55 dB	49 dB
Porraskäytävästä asuinhuoneistoon, kun välissä on ovi	44 dB	39 dB	39 dB	34 dB



Kuva 2.10. Massiivinen välipohja varmistaa hyvän kerrosten välisen ääneneristävyyden.

2.8.3 Koettu ilmaääneneristävyys

Ilmaääneneristävyys on rakennusosan tai rakennusosien muodostaman kokonaisuuden ominaisuus. Tilaan syntyvä äänenpainetaso ja viereisestä tilasta siirtyvän äänitehon kuuluminen riippuvat monesta muustakin tekijästä. Ensinnäkin tilaan välittyvä ääniteho riippuu paitsi ilmaääneneristävyydestä, myös viereisessä tilassa olevasta äänitehosta. Tilaan toisesta tilasta välittynyt ääniteho vaimenee sitä enemmän, mitä suurempi absorptioala tilassa on eli mitä enemmän tilassa on ääntä vaimentavaa materiaalia. Absorption lisääminen ei kuitenkaan kasvata ilmaääneneristävyyttä, vaan se vaikuttaa pelkästään tilaan syntyvään äänenpainetasoon. Viereisestä tilasta tulevan äänitehon vaimentaminen absorptiota lisäämällä on ääneneristykseen verrattuna melko tehoton keino: absorptioalan kaksinkertaistaminen alentaa äänenpainetasoa 3 dB, mutta ääntä eristävien rakenteiden ilmaääneneristävydet ovat taajuudesta riippuen yleensä 20...70 dB.

Viereisestä tilasta välittyvän äänen kuuluminen riippuu lisäksi siitä, kuin paljon tilassa jo on ääntä: mitä enemmän taustaääntä on, sitä enemmän se peittää viereisestä tilasta välittyvää ääntä. Pelkästään rakenteiden ilmaääneneristävyksien perusteella ei siten voida päätellä tilaan muodostuvia ääniolosuhteita. Ääneneristysmääräykset perustuvat kuitenkin rakennusten ilmaääneneristävyyden arvioimiseen, koska esimerkiksi asuinrakennuksissa kalustus on joka huoneistossa erilainen eikä sen absorptiota voida ottaa huomioon määräysarvoja asetettaessa. Ihmisen subjektiivinen kokemus riippuu kuitenkin taustaäänien määrästä. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1-1998 [39] mukaan

LVIS-laitteiden sallitaan tuottavan asuinhuoneisiin keskiäänitasoksi $L_{A,eq}$ 28 dB. Käytännössä asuinhuoneistoissa on tällaisia äänitasoja hyvin harvoin, ja uusissa asuinhuoneistoissa LVIS-järjestelmien tuottama jatkuva keskiäänitaso on usein 20...24 dB. Tutkimusten mukaan 24 dB keskiäänitaso koetaan hyväksyttäväksi. Kun äänitaso ylittää tämän arvon, säädetään huoneistokohtaisesti säädettävät ilmanvaihtolaitteet toimimaan pienemmällä teholla, jotta äänestä johtuva häiriintyminen vähenee [43].

Taulukossa 2.6 on esitetty, minkälainen koettu ääneneristävyys saavutetaan ilmaääneneristysluvun R'_w ja taustäänitason $L_{A,eq}$ vaihdellessa. Taulukko osoittaa, että sopivasta taustäänitasosta on hyötyä, mutta jos taustääni vaimennetaan kokonaan pois, ääneneristävyttä on parannettava vastaavan koetun ääneneristävyyden saavuttamiseksi. Standardissa SFS 5907 [38] esitetyssä akustisessa luokituksessa taustäänien ja ilmaääneneristävyyden yhteisvaikutus on otettu huomioon.

Kun rakenteiden ja rakennusten ilmaääneneristävyyden mittausmenetelmää 1950-luvulla kehitettiin, mitattavan taajuusalueen alarajaksi valittiin 100 Hz. Tämä perustui siihen, että mittausepävarmuuden arvioitiin kasvavan alle 100 Hz taajuusalueella liiaksi. Alle 100 Hz taajuusalueella on nykyisin suuri merkitys, koska viihde-elektronikan äänentoisto-ominaisuudet ovat kehittyneet niin, että ne toistavat tehokkaasti myös hyvin matalia ääniä. Siksi standardi ISO 717-1 mahdollistaa myös

Taulukko 2.6. Ilmaääneneristysluvun R'_w ja taustäänitason $L_{A,eq}$ vaikutus koettuun ääneneristävyyteen eli siihen, kuinka hyvin normaalista puheäänestä viereisessä tilassa voi saada selvän.

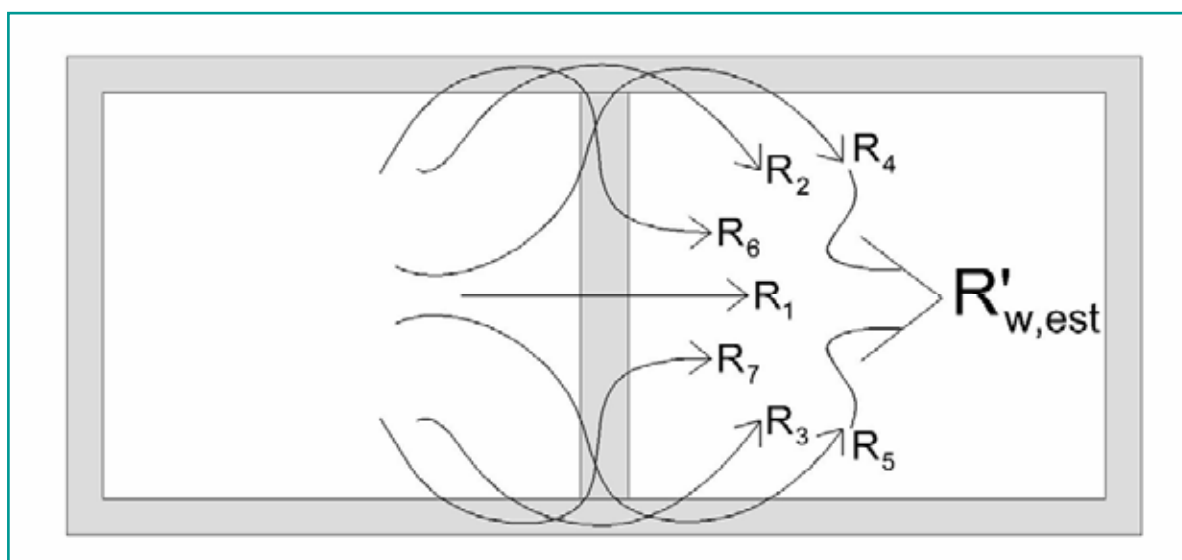
R'_w	Keskiäänitaso $L_{A,eq}$					
	20 dB	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB
30 dB	Keskustelu tilasta toiseen mahdollista	Keskustelu tilasta toiseen mahdollista	Keskustelu tilasta toiseen mahdollista	Sanoista voi saada selvän	Puhe kuultavissa	Puhe ei häiritse
35 dB			Sanoista voi saada selvän	Puhe kuultavissa	Puhe ei häiritse	
40 dB		Sanoista voi saada selvän	Puhe kuultavissa	Puhe ei häiritse		Puhe ei kuulu
45 dB	Sanoista voi saada selvän	Puhe kuultavissa	Puhe ei häiritse		Puhe ei kuulu	
50 dB	Puhe kuultavissa	Puhe ei häiritse	Puhe ei kuulu	Puhe ei kuulu		Puhe ei kuulu
55 dB	Puhe ei häiritse					
60 dB	Puhe ei kuulu	Puhe ei kuulu	Puhe ei kuulu	Puhe ei kuulu	Puhe ei kuulu	
65 dB						

rakennusosien ääneneristysominaisuuksien huomioon ottamisen 50 Hz taajuuteen saakka spektripainotustermien avulla. Koetun ääneneristävyyden kannalta pienillä taajuuksilla voi olla hyvinkin suuri merkitys (kuva 2.5), kaksi erilaista rakennetta voi tuottaa saman ilmaääneneristysluvun R_w , vaikka toinen rakenne eristäisi ääntä jopa 20 dB heikommin pienillä taajuuksilla. Pienitaajuisia ääniä voidaan eristää käytännössä vain massalla, eli rakenne eristää pienitaajuisia ääniä sitä paremmin, mitä raskaampi se on.

2.9 Ilmaääneneristysluvun mittaamenetelmän ongelmat

2.9.1 Ongelmien tausta

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 [39] mukaan siinä esitettyjen määräysten täytyminen voidaan osoittaa esimerkiksi käyttämällä aiemmin toimiviksi todettuja ja tutkittuja ratkaisuja tai kenttämittauksilla tai laskentamenetelmillä. Standardissa EN 12354-1 [5] on esitetty kansainvälisen hyväksynnän saanut laskentamenetelmä (kohda 2.8.1), jolla voidaan mallintaa tilojen välinen ilmaääneneristysluku $R'_{w,est}$. Menetelmä perustuu siihen, että ensin selvitetään reitit, joiden kautta ääniteho voi siirtyä tilasta toiseen. Esimerkiksi eri asuinhuoneistoihin kuuluvien vierekkäisten asuinhuoneiden välillä näitä reittejä ovat huoneistoja erottava betoniväliseinä, välipohjan laatastot ja ulkoseinäelementti (kuva 2.11). Laskenta tapahtuu siten, että ensin määritellään kunkin rakenteen ilmaääneneristävyydet taajuuksittain joko laskennallisesti tai mittaamalla laboratorioissa. Seuraavaksi lasketaan eri rakentei-

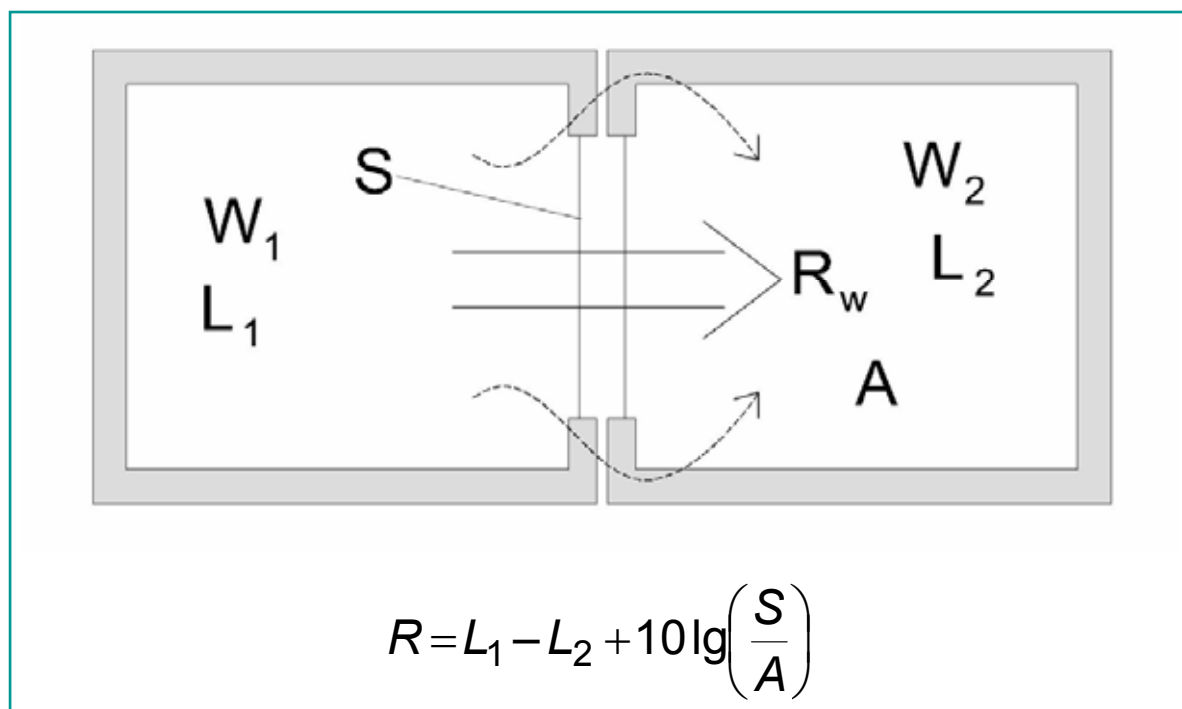


Kuva 2.11. Rakennuksessa ääniteho siirtyy lukemattomia reittejä tilasta toiseen. Kullekin reitille voidaan määrittää taajuuskaistoittain ilmaääneneristävyydet R_1, R_2, R_3, \dots . Yhdistämällä nämä saadaan lasketuksi tilojen välinen ilmaääneneristysluku $R'_{w,est}$. Tämä tulos kuvaa tarkasti äänitehon siirtymistä tilasta toiseen, kun laskentaparametrit tunnetaan ja rakennus on toteutettu suunnitellusti.

den liitoksissa syntyvät energiahäviöt eli niin sanotut liitoseristävyydet. Kullakin reitillä olevan rakenteen ja liitoksen eristävyyksien perusteella saadaan lasketuksi jokaisen reitin ilmaääneneristävyys erikseen. Toisin sanoen jokaisen reitin kautta siirtyy tietty määrä äänitehoa. Kun lopuksi yhdistetään eri reittien kautta tilasta toiseen siirtyneet äänitehot, saadaan lasketuksi tilojen välistä ilmaääneneristävyyttä kuvaava ilmaääneneristysluku $R'_{w,est}$.

Tilojen välisen ilmaääneneristävyyden ilmoittava laskettu ilmaääneneristysluku $R'_{w,est}$ kuvaa tarkasti rakennuksessa saavutettavan eristävyyden, kun rakenteiden ja liitosten akustinen toiminta tunnetaan ja rakennus toteutetaan suunnitellusti. Rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaan määräysten täyttyminen voidaan todeta myös mittauksin rakennuksessa eli mittaamalla ilmaääneneristysluku R'_w . Mittaustapa on periaatteessa sama kuin laboratoriossa (kuva 2.12): vierekkäisistä huoneista toiseen sijoitetaan äänilähde ja sen tuottama äänivoimakkuus mitataan molemmissa huoneissa [10]. Tuloksena saadaan lasketuksi taajuuskaistoittain ilmaääneneristävyydet R' , joiden laskennassa oletetaan äänilähteen äänitehon kohdistuvan tiloja erottavaan rakenteeseen. Taajuuskaistoittain mitatuista ilmaääneneristävyyksistä määritetään vertailukäyrämenettelyllä ilmaääneneristysluku R'_w , jonka pitää siis olla asuinhuoneistojen välillä vähintään 55 dB.

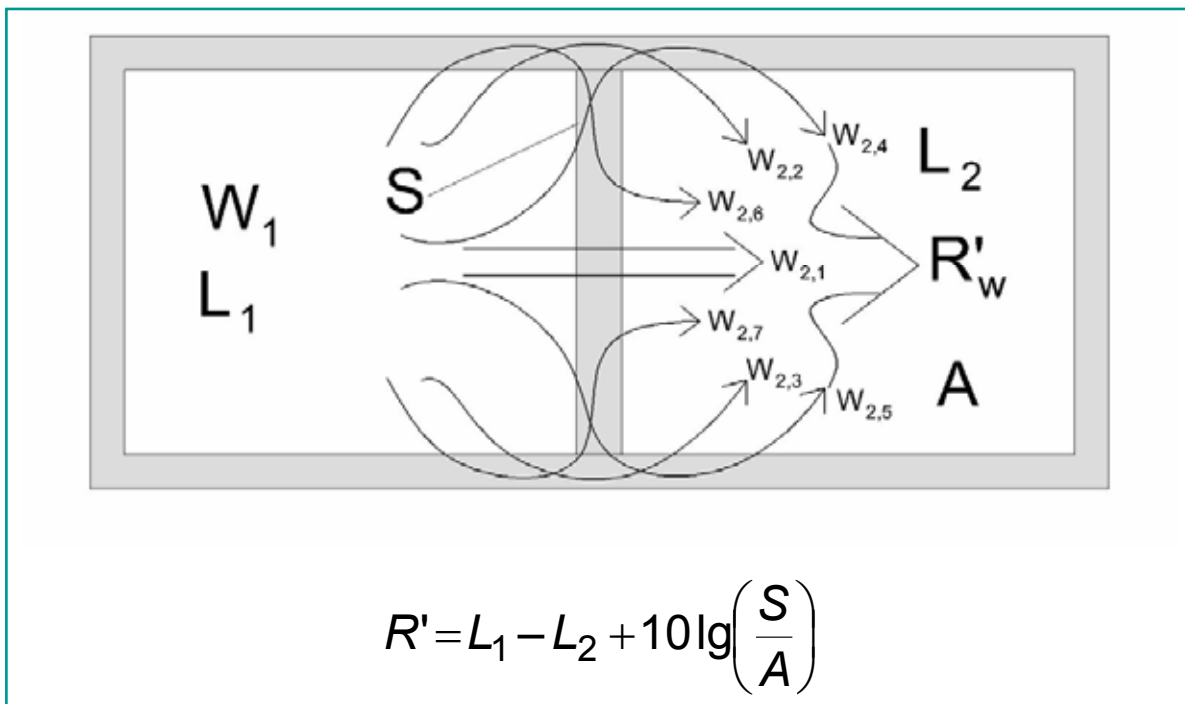
Ilmaääneneristysluvun R'_w mittaustapa on esitetty standardeissa ISO 140-5 [11] ja ISO 717-1 [14]. Se on ollut Euroopan eri maissa käytössä jo noin 50 vuotta. Käytännön työskentelyn ja määräysten laati-



Kuva 2.12. Laboratoriossa lähetyshuoneessa ääniteho W_1 kohdistuu tutkimusaukkoon asennetun rakenteen pinnalle S , jonka kautta vastaanottohuoneeseen siirtyy ääniteho W_2 . Laboratoriomittauksin saadaan selville tutkitun rakenteen ilmaääneneristysluku R_w .

misen kannalta on ollut edullista siirtää laboratoriomittausmenetelmä myös kenttämittauskäyttöön. Tästä on kuitenkin seurannut joitakin epätarkkuuksia (kuva 2.13). Rakennuksessa sivutiesiirtymänä kulkevan äänitehon määrä on merkitykseltään paljon suurempi kuin laboratoriossa, jossa ääniteho siirtyy pääasiallisesti laboratorion tutkimusaukkoon asennetun rakenteen kautta ja sivutiesiirtymän osuus on merkitykseltön. Rakennuksessa ei päde oletus siitä, että ääniteho siirtyy vain tiloja erottavan rakenteen kautta. Tästä epätarkkuudesta ei ole haittaa silloin, kun tiloja erottava rakenne on ääneneristyskyvyltään sivuavia rakenteita selvästi heikompi. Asuinrakennuksissa näin ei ole, vaan sekä tiloja erottavan rakenteen että sitä sivuavien rakenteiden ilmajääneneristävyys on suunnilleen yhtä suuri. Äänitehoa siirtyy siten tilasta toiseen merkittäviä määriä monien muidenkin reittien kautta kuin esimerkiksi väliseinän kautta. Tätä eroa ei oteta mittausmenetelmässä huomioon, eikä sillä itse asiassa ole mahdollista määrittää täysin vastaavaa suuretta kuin standardin EN 12354-1 laskentamenetelmällä lasketaan.

Ilmajääneneristyslukujen kenttämittauksia tehtäessä on puutteita usein havaittu erityisesti tilavuudeltaan suurissa tiloissa. Nämä puutteet ovat osittain johtuneet siitä, että suuressa tilassa sivutiesiirtymän osuus on suurempi kuin pienemmissä tiloissa. Ääneneristävyydeltään heikoin sivuava rakenne on tällaisissa tapauksissa usein ollut ulkoseinän sisäkuori. Tällaisissa tilanteissa olisi määräysten täyttymisen varmistamiseksi pitänyt määrittää laskennallisesti ilmajääneneristysluku $R'_{w,est}$. Sivutiesiir-



Kuva 2.13. Rakennuksessa voidaan myös mitata ilmajääneneristysluku, josta käytetään merkintää R'_w . Nyt lähetyshuoneessa ääniteho ei kohdistukaan pelkästään tiloja erottavaan pintaan, vaan kaikkiin huoneen pintoihin ja siirtyy lukemattomia reittejä viereiseen huoneeseen. Ilmajääneneristävyudet R lasketaan standardin mukaan kuitenkin samalla tavalla kuin laboratoriossa tiloja erottavan rakenteen pinta-alan perusteella. Tästä seuraa se, että kenttämittausmenetelmä on epätarkka eikä sillä saada mitatuksi tarkalleen samaa suuretta kuin mallintamalla kuvan 2.11. mukaisesti voidaan määrittää.

tymä vaikuttaa ilmaaneneristävyyteen myös pienemmissä tiloissa. Toisaalta havaitut puutteet ovat osittain olleet näennäisiä: laskennallisesti saatu ilmaaneneristysluku on määräysten edellyttämällä tasolla, mutta kenttämittauksessa vastaavaa lukua ei ole saavutettu, vaikka suunnittelu- tai työvirheen mahdollisuus on voitu asiaa tutkittaessa sulkea pois. Näissä tapauksissa kysymys on ollut edellä kuvatusta kenttämittausmenetelmän epätarkkuudesta, joka aliarvioi ilmaaneneristyslukua. Epätarkkuus on yleensä sitä suurempi, mitä suurempi mitattavan tilan tilavuus on. Vastaavat ilmiöt esiintyvät myös askelääneneristävyyttä mitattaessa. [27]

2.9.2 Rakennustarkastusyhdistyksen suositukset

Rakennustarkastusyhdistyksen (RTY) johtokunta on hyväksynyt 24.4.2009 ehdotuksen rakentamismääräyskokoelman osan C1 määräysten tulkinnasta [41]. Tulkintaohjeen taustaa on selostettu lähteessä [3]. Tulkintaohje on annettu kuntien rakennusvalvontaviranomaisille, mutta sen soveltamisesta päättävät kuntien rakennusvalvontaviranomaiset paikallisesti. Kun tilavuus ylittää 60 m^3 ilmaaneneristävyyksien tai askeläänitasojen laskennassa, ohjeen mukaan tilan tilavuutena käytetään arvoa 60 m^3 . Tämä johtaa siihen, että isoissa huonetiloissa mittausmenetelmää johtuvat näennäiset ilmaaneneristävyyden puutteet poistuvat.



Kuva 2.14. Paikalla valettu pilarilaatta on maailman yleisin betonisten rakennusten runkojärjestelmä. Pilarilaatarunkoisen rakennuksen käyttötarkoitusta on helppo muunnella eri tarkoituksiin. Yli 250 mm paksu pilarilaatasto täyttää erilaisten rakennusten välipohjalle asetettavat ääneneristävyyksivaatimukset.



3. Rakennuksen ulkovaipan ääneneristys

Melualueille rakennettaessa on tärkeää, että liikennemelu ei siirry rakennuksen ulkovaipan kautta ulkoa sisään. Liikennemelu sisältää runsaasti pienitaajuista ääntä, jota käytännössä voidaan eristää tehokkaasti vain rakenteiden massalla. Tiilestä muurattujen rakenteiden ja paikalla valetujen betonirakenteiden massa on suuri, mikä takaa hyvät ja viihtyisät ääniolosuhteet myös melualueilla.

3.1 Liikennemelun merkitys

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 [42].

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 ääneneristävyuden 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. [25]

3.2 Asemakaavamääräyksen muodostuminen

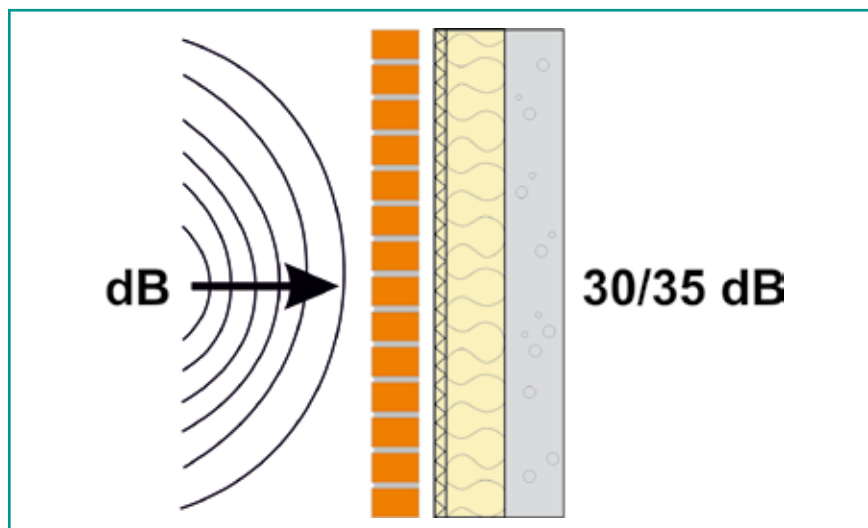
Asemakaavassa osoitetaan kaavamerkinnällä rakennusalan sivu, jolle on annettu rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskeva kaavamääräys. Ympäristöministeriön asemakaavamerkintäoppaan [2] mukaan kaavamääräyksen sanamuoto on esimerkiksi: ”Merkintä osoittaa rakennusalan sivun, jonka puoleisen rakennuksen ulkoseinän sekä ikkunoiden ja muiden rakenteiden ääneneristävyyden liikennemelua vastaan on oltava vähintään 35 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 35 dBA.” Kaavamääräyksissä annetut vaatimustasot ovat tyypillisesti 28 ja 40 dB välillä.

Ulkovaipan ääneneristystä koskevan kaavamääräyksen perustana ovat valtioneuvoston päätöksessä 993/1992 [42] annetut melutason ohjearvot eri tiloille (taulukko 3.1). Ohjearvot on määritelty suurimpina sallittuina A-painotettuina keskiäänitasoina päiväajalle (klo 7–22) ja yöajalle (klo 22–7). Koska sisällä sallitut äänitasot on annettu keskiäänitasoina, valtioneuvoston päätöksen mukaisten ohjearvojen saavuttaminen ei siten tarkoita sitä, että liikennemelu ei lainkaan kuuluisi rakennuksen sisätilaan; keskiäänitasoihin sisältyvät hetkelliset äänen huippuarvot voivat olla huomattavan korkeitakin.

Taulukko 3.1. 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	–
Toimistohuoneet	45 dB	–

Ulkovaipan ääneneristystä koskeva kaavamääräys voidaan määritellä, kun tiedetään, millaisen keskiäänitasoin alueen liikenneväylät tai lentoliikenne aiheuttavat päivällä ja yöllä tulevan rakennuksen julkisivun kohdalla eri korkeuksilla maanpinnasta. Liikenteen aiheuttama keskiäänitaso ulkona $L_{A,eq,u}$ voidaan selvittää mittauksin, mutta tavallisesti se määritetään mallintamalla melun leviäminen kolmiulotteisessa maastomallissa liikennemäärien ja ajonopeuksien perusteella pohjoismai-



Kuva 3.1. Valtioneuvoston päätösten 993/1992 mukaiset asuinkerrostalon melutason ohjearvot rakennuksen sisätiloissa.

silla 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:

$$\Delta L_{A,vaad} = \text{MAX} \begin{cases} L_{A,eq,07-22,u} - L_{A,eq,07-22,s} \\ L_{A,eq,22-07,u} - L_{A,eq,22-07,s} \end{cases}$$

Ulkona vallitseva äänitaso $L_{A,eq,u}$ tarkoittaa rakennuksen julkisivun taossassa vallitsevaa äänitasoa, johon ei sisälly julkisivusta tulevaa heijastusta. Heijastus korottaa äänitasoa julkisivun pinnalla 3 dB. Koska heijastunut ääni on kulkemassa rakennuksesta pois päin, se ei vaikuta rakennuksen sisätiloihin muodostuvaan keskiäänitasoon. Jos melukartassa rakennuksen ulkovaipan kohdalla keskiäänitaso on päivällä 68 dB, kaavamääräyksen äänitasoero vaatimukseksi $\Delta L_{A,vaad}$ tulee tällöin $68 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 35 \text{ dB} = 30 \text{ dB}$.

Tavallisesti kaavamääräysten äänitasoerot $\Delta L_{A,vaad}$ ovat 28 ja 40 dB välillä. Kaavamääräystä ei yleensä erikseen anneta, jos ulkovaipan kohdalla vallitsevan ja sisällä sallittavan äänitason ero on vähemmän kuin 28 dB. Jos vaadittava äänitasoero olisi yli 40 dB, asuin-, potilas- ja majoitus-huoneiden sekä opetus- ja kokoontumistilojen toteutus olisi erittäin vaikeaa, koska ikkunoilta vaadittava ääneneristyskyky tulisi niin suureksi, että vaatimuksen täyttävät ikkunat olisi suunniteltava ja teetettävä erikoisratkaisuin.

3.3 Rakennusosan ilmaääneneristysluku liikennemelua vastaan

Ilmaääneneristysluvun R_w avulla voidaan arvioida rakennusosien äänen-eristyskykyä puhetta vastaan. Tieliikenne-, raide- ja lentomelun äänispektrit poikkeavat merkittävästi puheesta, joten ilmaääneneristysluku ei kuvaa rakennusosien äänen-eristyskykyä niitä vastaan kovinkaan hyvin. Siksi standardissa ISO 717-1 [14] on esitetty niin sanotut spektripainotustermiit, joiden avulla ilmaääneneristysluku R_w korjataan vastaamaan paremmin ihmisen kokemaa eristävyttä eri liikennemelulajeja vastaan.

Ulkoseinärakenteiden, ikkunoiden ja ikkunaovien äänen-eristyskyky ilmoitetaan ilmaääneneristyslukuina tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ tai raide- ja lentomelua vastaan $R_w + C$. Ulkovaipan äänen-eristyksen suunnittelussa lähtötietoina tarvittavat ilmaääneneristysluvut määritetään laboratoriomittausten perusteella tai laskennallisesti. 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 liikennemelu painottuu puhetta enemmän pienille taajuuksille, joilla rakenteiden äänen-eristyskyky on aina heikompi kuin suurilla taajuuksilla [25]. Taulukoissa 3.2 ja 3.3 on esitetty erilaisten ulkoseinärakenteiden ja taulukossa 3.4 yläpohjarakenteiden laskettuja ilmaääneneristyslukuja tieliikenne- sekä raide- ja lentomelua vastaan. Ulkokuoren ollessa muurattu muuraussiteiden määräksi on oletettu 4 kpl/m². Laskentatulokset ovat suuntaa-antavia, sillä suomalaisten muuraussiteiden dynaamisista jäykkyyksistä ei ole mittaustietoa olemassa. Laskennassa on käytetty Britanniassa mitattuja arvoja.

Taulukko 3.2. Esimerkkejä kerrostalojen erilaisten ulkoseinärakenteiden lasketuista ilmaääneneristysluvuista raide- ja lentomelua vastaan $R_w + C$ sekä tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$.

Rakenne	$R_w + C$	$R_w + C_{tr}$
Tiili NRT 130, ilmarako 40 mm, tuulensuojavilla 50 mm, lämmöneristysvilla 150 mm, betoni 150 mm	69 dB	65 dB
Tiili NRT 130, ilmarako 40 mm, polyuretaani SPU-AL 150 mm, betoni 150 mm	66 dB	60 dB
Rappaus 6–12 mm, tiili NRT 130 mm, ilmarako 40 mm, tuulensuojavilla 40 mm, lämmöneristysvilla 150 mm, betoni 150 mm	69 dB	65 dB
Julkisivurappaus 6 mm, EPS-eriste 170 mm, betoni 160 mm	49 dB	45 dB
Julkisivurappaus 6 mm, EPS-eriste 250 mm, betoni 160 mm	50 dB	45 dB
Julkisivurappaus 9 mm, jäykkä mineraalivilla 230 mm ($s' = 10 \text{ MN/m}^3$), betoni 160 mm	44 dB	39 dB
Julkisivurappaus 25 mm, jäykkä mineraalivilla 210 mm ($s' = 60 \text{ MN/m}^3$), betoni 150 mm	49 dB	44 dB
Julkisivurappaus 6 mm, sementtirakennuslevy 4 mm, EPS-eriste 170 mm, betoni 160 mm	49 dB	44 dB
Verhouslauta 22 mm, ilmarako ja koolaus 22 mm, kuitulevy 12 mm, vaakakoolaus 50 mm ja mineraalivilla, pystyrunko 200 mm ja mineraalivilla, kipsilevy N 13 mm	46 dB	43 dB

Taulukko 3.3. Esimerkkejä pientalojen erilaisten ulkoseinärakenteiden lasketuista ilmastäneristysluvuista raide- ja lentomelua vastaan $R_w + C$ sekä tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$.

Rakenne	$R_w + C$	$R_w + C_{tr}$
Tiili MRT 85 mm, ilmarako 30 mm, tuulensuojavilla 30 mm, lämmöneristysvilla 175 mm, runkotiili 130 mm	60 dB	55 dB
Tiili MRT 85 mm, ilmarako 30 mm, tuulensuojavilla 30 mm, lämmöneristysvilla 250 mm, runkotiili 130 mm	62 dB	58 dB
Tiili MRT 85 mm, kuitulevy 12 mm, vaakakoolaus 50 mm ja mineraalivilla, pystyrunko 200 mm ja mineraalivilla, kipsilevy N 13 mm	58 dB	54 dB

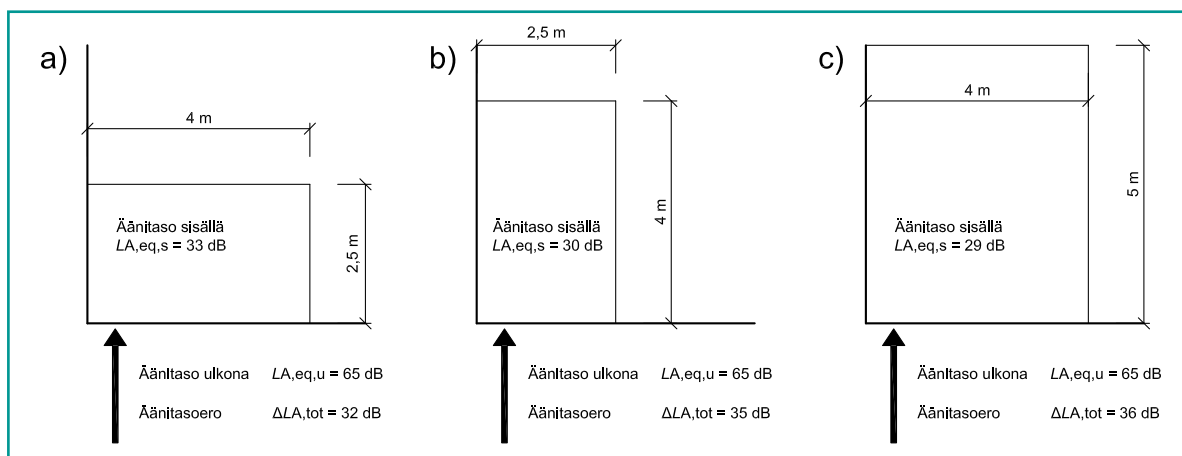
Taulukko 3.4. Esimerkkejä yläpohjarakenteiden lasketuista ilmastäneristysluvuista raide- ja lentomelua vastaan $R_w + C$ sekä tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$.

Rakenne	$R_w + C$	$R_w + C_{tr}$
Kattotiili, korkokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila, lämmöneristevilla 420 mm, höyrynsulku, koolaus 50 mm k300, kipsilevy N 13 mm	56 dB	49 dB
Kattotiili, korkokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila, lämmöneristevilla 450 mm, höyrynsulku, koolaus 50 mm k300, kipsilevy N 13 mm	56 dB	49 dB
Kattotiili, korkokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila 100 mm, tuulensuojavilla 30 mm, lämmöneristevilla 400 mm, höyrynsulku, koolaus 50 mm k300, kipsilevy N 13 mm	55 dB	48 dB
Kattotiili, korkokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila 100 mm, polyuretaani 150+100 mm, vesikaton kantava rakenne ≥ 200 mm, koolaus 50 mm k300, kipsilevy N 13 mm	42 dB	39 dB
Kattotiili, korkokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila, puhallusvilla 400 mm, betonilaatta 250 mm	65 dB	57 dB
Peltikate, korkokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila, puhallusvilla 400 mm, betonilaatta 250 mm	62 dB	55 dB

3.4 Ulkovaipan ääneneristävyyden muodostuminen

Äänitasoerona $\Delta L_{A,vaad}$ annettava kaavamääräyksen vaatimus rakennuksen ulkovaipan ääneneristyksestä ei ole sama kuin rakennusosan ääneneristyskyky, joka ilmoitetaan ilmastäneristyslukuna $R_w + C$ 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 huone-tilassa.

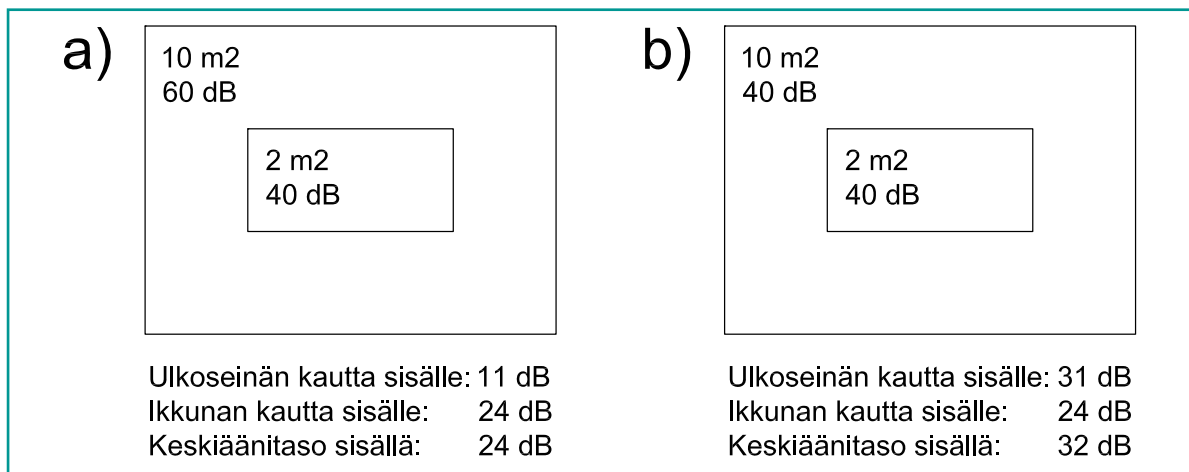
Rakennusosa välittää ulkoa sisään sitä enemmän ääntä, mitä suurempi sen pinta-ala on. Toisaalta pienessä huoneessa ääni vaimenee vähemmän kuin suuressa huoneessa. Kuvassa 3.2. on esimerkki rakennuksen päädyssä sijaitsevista erikokoisista ja erimuotoisista huoneista, joiden huonekorkeus on 2,5 m. Huoneiden ulkovaippa päädyssä muodostuu



Kuva 3.2. Rakennuksen päätyhuoneen ulkovaippaan kohdistuu tieliikennemelua, jonka keskiäänitaso on 65 dB. Erimuotoisissa huoneissa on samanlainen ulkoseinärakenne ($R_w + C_{tr} = 40$ 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 lattia-pinta-alaan nähden.

pelkästään ulkoseinärakenteesta, 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 m^2 , mutta huone sijaitsee eri suuntaan 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. [25]

Eniten huoneeseen syntyvään keskiäänitasoon $L_{A,eq,s}$ vaikuttaa ulkovaipan rakennusosista se, jonka ilmaääneneristysluku liikennemelua vastaan on heikoin. Kun ikkunan ilmaääneneristysluku $R_w + C_{tr}$ on 40 dB, ikkunaan kohdistuvan tieliikennemelun äänitehosta siirtyy ikkunan kautta sisälle noin $1/10000$. Betonisandwich-elementin ilmaääneneristysluku $R_w + C_{tr}$ on yli 50 dB. Tällaiseen ulkoseinärakenteeseen kohdistuneesta äänitehosta siirtyy huoneeseen noin $1/100000$. Ikkuna välittää pintaansa kohdistunutta ääntä huoneen siis kymmenkertaisen määrän verrattuna ulkoseinärakenteeseen. Tällöin ulkoseinärakenne ei käytännössä juuri vaikuta huoneeseen syntyvään keskiäänitasoon $L_{A,eq,s}$ tai saavutettavaan äänitasoeroon $\Delta L_{A,tot}$. Jos ulkoseinärakenteen ja ikkunan ilmaääneneristysluvut ovat samat, ulkoseinärakenne on suuremman pinta-alansa vuoksi määräävin äänen kulkureitti. Kuvan 3.3 esimerkissä on tarkasteltu huonetta, jonka pinta-ala on 12 m^2 . Julkisivuun kohdistuvan tieliikennemelun keskiäänitaso $L_{A,eq,u}$ on 65 dB. Ikkunan ilmaääneneristysluku on kummassakin huoneessa sama, mutta ulkoseinärakenteen ilmaääneneristysluvun vaihtaminen 50 dB:stä 40 dB:iin johtaa toisessa huoneessa 8 dB korkeampaan äänitasoon. [25]



Kuva 3.3. Ulkoseinärakenteiden ilmasteneristysluvat 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 keskiäänitaso 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 ilmasteneristysluvat 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 [29]. Toinen menetelmästä on julkaistu alkujaan ympäristöministeriön ympäristöoppaassa 108 [34]. Menetelmä perustuu taulukkomitoitukseen, jossa kaavamääräyksen äänitasoerosta $\Delta L_{A,vaad}$ johdetaan rakennusosilta vaadittavat ilmasteneristysluvat tieliikennemelua vastaan. Toinen, niin sanottu äänitasoeromenetelmä perustuu vuonna 1975 julkaistuun RT-korttiin [37]. Menetelmän periaatteena on, että rakennusosien ilmasteneristysluvuista $R_w + C_{tr}$ 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 [21], joten kumpaakin menetelmää voidaan käyttää rakennuksen ulkovaipan ääneneristyksen laskennalliseen tarkasteluun. Kummallakin menetelmällä on etunsa. Ympäristöoppaan menetelmä on taulukkomitoituksena yksinkertainen, ja sillä voidaan nopeasti tarkastaa, ovatko rakennusosien ilmasteneristysluvat 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 ilmasteneristyslukuja, että vaatimuksen

täyttäviä ikkunoita ei ole markkinoilla. Tällöin on joko pienennettävä ikkunoiden pinta-alaa tai parannettava ulkoseinärakenteen ääneneristyskykyä. Näitä seikkoja on mahdollista tutkia äänitasoeromenetelmällä. Ulkovaipan ääneneristävyys voidaan rakennuksen valmistuttua todentaa mittauksin [12, 30].

3.5 Ulkoseinän ja yläpohjan valinta

Huoneen keskiäänitaso $L_{A,eq,s}$ on tilakohtainen ilmiö, joten varmuus kaavamääräyksessä määritellyn äänitasoeron $\Delta L_{A,vaad}$ saavuttamisesta edellyttää toteutuvan äänitasoeron $\Delta L_{A,tot}$ 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, varsinkaan jos kaavamääräyksessä vaadittu äänitasoero on suuri.

Tavallisesti ulkovaipan ääneneristyslaskelma tehdään ikkunoilta ja ikkunaovilta liikennemelua vastaan vaadittavien ilmaääneneristyslukujen 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 yläpohjarakenteita 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 $\Delta L_{A,vaad}$ (38...40 dB), on suositeltavaa selvittää jo selvästi ennen rakennuslupavaihetta, millaiset ulkoseinärakenteet ja ikkunakoot ovat mahdollisia ja millaista ääneneristyskykyä ikkunoilta vaaditaan.

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

Ulkoseinärakenteen vaikutus rakennuksen sisäpuolelle muodostuvaan keskiäänitasoon $L_{A,eq,s}$ on sitä merkittävämpi, mitä suurempi kaavamääräyksen äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$ on. Jos vaadittava äänitasoero on pieni, ikkuna on tavallisesti ratkaisevin ulkovaipan rakennusosa. Vaatimuksen ollessa suuri alkaa ulkoseinärakenteen ääneneristyskyky vaikuttaa suuremman pinta-alansa vuoksi. Mitä suurempi vaadittava äänitasoero on, sitä enemmän huomiota pitää kiinnittää myös ulkoseinärakenteen valintaan [25]:

- Äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 40$ dB: Kevytrakenteisten ulkoseinien (puu- ja teräsrankaseinät, kevytbetoni, kevytsoraharkot ja vastaavat) sekä eristerapattujen ulkoseinien käyttö edellyttää rakenteen huolellista suunnittelua, valintaa ja toteutusta. Massiiviset kivrakenteiset ulkoseinät (betonisandwich, tiilikuori-lämmöneriste-sisäkuori) johtavat suuremman massansa ansiosta parempaan eristävyyteen ja lievempiin vaatimuksiin ikkunoille. Ulkoseinärakenteen valitsemiseksi ulkovaipan ääneneristys selvitys tulisi tehdä riittävän ajoissa ennen rakennusluvan hakemista, mahdollisesti jo hankkeen luonnosvaiheessa.
- Äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 35$ dB: Kevytrakenteisten ulkoseinien käyttö on yleensä mahdollista, mutta rankarakenteisen seinän tuulensuojalevynä tulee olla tiivis rakennuslevy, jonka massa on vähintään 5 kg/m^2 . Sisäverhouslevyjen määrää voidaan joutua lisäämään riittävän ääneneristävyyden saavuttamiseksi.
- Äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 30$ dB: Useimmat tavanomaiset ulkoseinärakenteet täyttävät kaavamääräyksen vaatimukset. Tavallisesti rankarakenteisen seinän tuulensuojalevynä tulee kuitenkin olla tiivis rakennuslevy, jonka massa on vähintään 5 kg/m^2 . Koska kaavamääräyksen toteutuminen riippuu myös ikkunoista, ulkovaipan ääneneristys selvitys on kuitenkin tehtävä viimeistään rakennusluvan haettaessa.

Erilaisia vaihtoehtoja rakennusten ulkoseinärakenteiksi on tarjolla satoja, kun otetaan huomioon erilaiset lämmöneristepaksuudet ja esimerkiksi sisäverhouslevyjen tyypit. Ulkoseinärakenteen ilmaääneneristysluku liikennemelua vastaan on yksi rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden suunnittelun lähtökohdista. Rakennusalan kirjallisuudesta [esim. 36] on löydettävissä muutaman kymmenen ulkoseinärakenteen ilmaääneneristysluvut $R_w + C_{tr}$ ja $R_w + C$. Myös rakennustuoteteollisuus on mittauttanut valmistamiensa ulkoseinärakenteiden ilmaääneneristyslukuja laboratorioissa. Kaikkien ulkoseinärakenteiden ilmaääneneristyslukuja ei kuitenkaan tunneta.

Laboratoriomittaus yksittäisen rakennetyypin ominaisuuksien selvittämiseksi ei ole kustannuksiltaan kovin edullinen toimenpide. Mittauksen tilaajan on varattava aikaa tutkittavan rakennusosan rakentamiseksi ja kuljettamiseksi laboratorioon, jossa mittauksen tekemiseen voi lisäksi olla pitkä jonotusaika. Edullisempaa onkin selvittää ulkoseinärakenteiden ilmaääneneristysluvut laskemalla. Nykyisin ilmaääneneristysluvut voidaan määrittää laskennallisesti varsin tarkasti. Laskennallisin tarkastelu voidaan myös nopeasti tutkia erilaisten muutosten vaikutuksia rakenteella saavutettavaan ilmaääneneristyslukuun.

Yläpohjan ääneneristyskyky on huoneeseen muodostuvan äänitason kannalta merkittävä tekijä lähinnä lentomelualueilla. Asuinkerrostoissa, oppilaitoksissa ja toimistorakennuksissa yläpohjassa on usein kantavana rakenteena ontelolaatasto tai paikalla valettu betonilaatta. Tällaisen rakenteen ääneneristyskyky on varsin hyvä, ilmaääneneristys-



Kuva 3.4. As.Oy Oulun Etumasto Kestävä Kivitalo -palkinto vuonna 2009. Suunnittelija: Arkkitehtuuritoimisto Juha Paldanius Oy.

luku tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ on tavallisesti yli 50 dB. Tällöin yläpohjarakenne ei juuri vaikuta huoneeseen syntyvään keskiäänitasoon, joka määräytyy pääasiassa julkisivun rakennusosien ääneneristyskyvyn perusteella.

Ulkoseinärakenteiden tavoin yläpohjarakenteiden ilmaääneneristyslukuja liikennemelua vastaan on annettu rakennusalan kirjallisuudessa [36] ja rakennustuoteollisuuden omissa suunnitteluohjeissa. Yläpohjarakenteiden ilmaääneneristysluvut voidaan selvittää myös laskennallisesti. Kun yläpohja on kevytrakenteinen, on huomattava, että kirjallisuudessa esitettävien ääneneristysarvojen käyttö edellyttää sitä, että äänen kulku räystäiden kautta yläpohjan tuuletustilaan estetään järjestämällä

tuuletus vaimennetun tuuletuskanavan kautta [29, 36]. Jos ääni pääsee kulkemaan räystäään kautta ullakkotilaan vaimenematta, sen etenemistä huoneeseen on estämässä vain lämmöneristekerros ja yläpohjan sisäverhouslevy, joiden ääneneristyskyky on vähäinen. Lentomelualueilla sisäverhouslevyn tulee aina olla tiivis rakennuslevy (massa vähintään 5 kg/m^2). Pelkkä panelointi ei ole riittävä tarvittavan ääneneristävyyden saavuttamiseksi.

3.6 Ikkunoiden ääneneristävyys

Ikkunoiden ääneneristyskyky riippuu lasikerrosten paksuudesta ja niiden välissä olevien ilmapäliien suuruudesta. Ääntä eristävät ikkunarakenteet ovat tavallisesti kolminkertaisia siten, että ulommainen lasi on omassa puitteessaan ja kaksi muuta sisäpuutteessa. Lasien paksuudet ovat tavallisesti 3...8 mm. Yli 8 mm paksuja lasia ei yleensä kannata käyttää, koska tällöin lasituksen ääneneristävyys ei massan kasvusta huolimatta enää parane ääneneristystä heikentävän koinsidenssi-ilmiön vuoksi. Kun ääneneristysvaatimukset ovat suuret, on edullisempaa käyttää ohuemmista kerroksista koostuvia laminoituja lasikerroksia paksujen lasikerrosten sijasta. Ikkunan ilmaääneneristysluvusta saadaan hyvä silloin, kun lasikerrosten paksuudet ovat erilaiset ja karmisyyvyys on mahdollisimman suuri [29].

Markkinoilla olevien ikkunoiden ilmaääneneristysluvut tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ ovat yleensä enintään 46...48 dB. Vaikka lasituksen paksuuksia ja ilmapäliä säättämällä voitaisiin periaatteessa saavuttaa paljon suurempiakin ilmaääneneristyslukuja, ikkunoiden ääneneristyskykyä rajoittavat muut seikat. Mahdollisuudet kasvattaa karmisyyvyyttä ovat rajalliset jo ulkoseinän paksuuden takia. Metall- tai puukarmi toisaalta kytkee lasiosat toisiinsa ja välittää ääntä lasituksen ohi sivutiisiirtymänä. Ääneneristyksen kannalta tiiviys on oleellisessa asemassa, ja käytännössä ikkunoiden tiivistyksiä on varsin vaikeaa saada täysin tiiviiksi. Lähinnä tiivisteiden vuoksi ikkunaovien ilmaääneneristysluvut ovat yleensä jonkin verran alhaisemmat kuin lasitukseltaan samanlaisten ikkunoiden. Yksilehtisten ikkunaovien ilmaääneneristysluvut $R_w + C_{tr}$ ovat yleensä alle 35 dB, kaksilehtisillä ikkunaovilla voidaan saavuttaa yli 40 dB ilmaääneneristysluku. Melualueilla on yleensä käytettävä kaksilehtisiä ikkunaovia.

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

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

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

3.7 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus ulkovaipan ääneneristykseen

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 siirtyvää ääntä vaimentavat myös pääte-laitteet sekä ilmanvaihtokoneiden suodattimet ja muut ilmankäsittelyosat.

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

Ikkuna- ja julkisivukorjausten yhteydessä parannetaan usein myös rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa ja lisätään ulkovaippaan korvausilmaventtiilejä. Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan rakennuksen käyttäjien terveydelliset olot eivät saa heikentyä korjaus- ja muutostyössä [29]. Uudet korvausilmaventtiilit eivät siten saa johtaa liikenteen aiheuttaman keskiäänitason nousuun asuinhuoneistoissa. Tämä on otettava huomioon myös julkisivuremonteissa, kun muutetaan 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.



Kuva 3.5. Keilankannan asuinalue, Kuopio. Kestävä Kivitalo -palkinto vuonna 2010. Sillman Arkkitehti-toimisto Oy. Suunnittelija: Qvim Arkkitehdit Oy.



4. Askelääneneristys

Kävelyn aiheuttamat iskut saavat välipohjarakenteet värähtelemään. Mitä kevyempi välipohjarakenne on, sitä helpommin se värähtelee kävelyn vaikutuksesta. Värähtely havaitaan alapuolisessa asunnossa äänenä. Koska betoni-välipohjien massa on suuri, kävelyn aiheuttama värähtely jää vähäiseksi ja rakenteen askelääneneristävyys on lähtökohtaisesti hyvä.

4.1 Askeläänitasoluku

Askeläänet ovat kävelystä, esineiden putoilemisesta, huonekalujen siirtelystä ja muista vastaavista tapahtumista syntyviä runkoääniä. Tällaisen iskun saanut rakenne saa ympärillään olevan ilman värähtelemään, jolloin isku havaitaan rakenteen toisella puolella ilmaääninä. Askelääneneristyksen tarkoituksena on vähentää rakenteisiin kohdistuvien iskujen aiheuttamaa ääntä.

Askelääneneristystä ei voida arvioida lähetystilassa ja vastaanottotilassa havaittavan äänitohon suhteen perusteella kuten ilmaääneneristystä, vaan sitä arvioidaan epäsuorasti: äänilähteenä on standardoitu askeläänikoje, jonka toiseen tilaan tuottamat äänenpainetasot mitataan taajuuskaistoittain [13]. Rakenteiden askelääneneristyskyky on siten sitä parempi, mitä alhaisempia mitatut äänenpainetasot ovat. Useimmiten äänenpainetasot mitataan lähetystilan alapuolella sijaitsevassa huoneessa, mutta ne voidaan mitata viereisissä tai yläpuolisissa tiloissa. Esimerkiksi rivitaloissa vierekkäisten huoneistojen tulee täyttää määräykset askelääneneristyksestä [39].

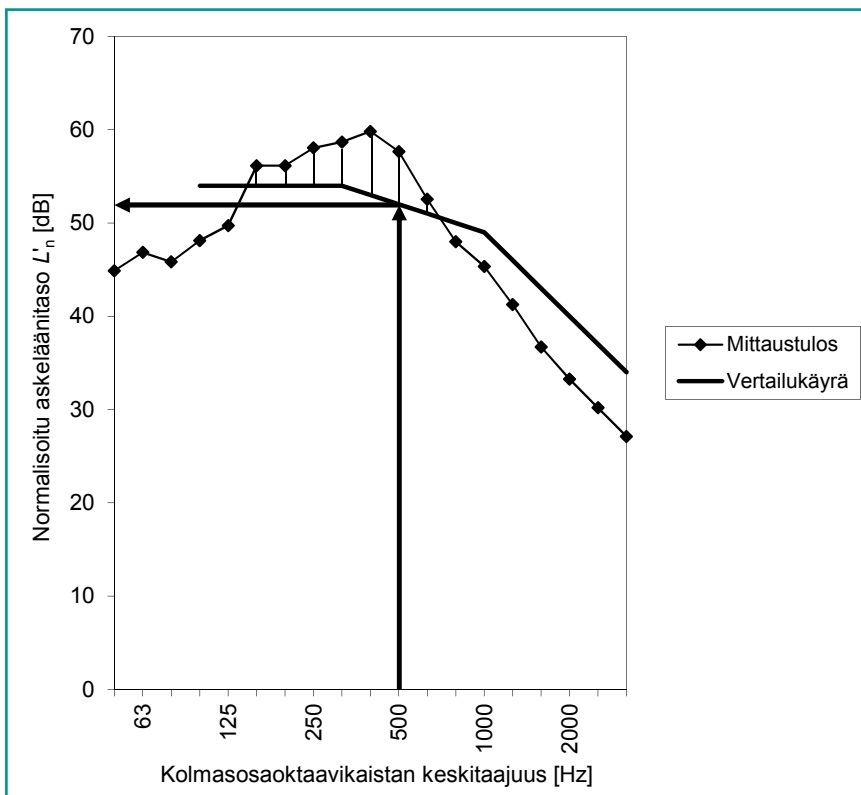
Askelääneneristystä voidaan ilmaääneneristyksen tavoin arvioida sekä laboratoriossa että kenttämittauksin valmiissa rakennuksissa. Laboratoriomittauksin saadaan tietoa yksittäisten rakenteiden askelääneneristyskyvystä. Äänen siirtyminen rakennuksen tilasta toiseen tilaan on monimutkainen ilmiö, johon sisältyy äänen siirtyminen suoraan tiloja erottavan rakenteen kautta sekä kaikkien muiden reittien kautta sivutiesiirtymänä [29].

Mittauksissa äänilähteenä toimivassa askeläänikojeessa on viisi 0,5 kg painavaa vasaraa, jotka putoavat 40 mm korkeudelta lattialle (kuva 4.1). Kukin vasara aiheuttaa lattiaan iskun kahdesti sekunnissa, jolloin koko koje kohdistaa lattiaan 10 iskua sekunnissa. Äänenpainetasot mitataan vastaanottotilassa kolmannesoktaavikaistoittain 16 keskitaajuudella 100...3150 Hz. Standardit edellyttävät, että askeläänikojeella on lähetys­huoneessa vähintään neljä paikkaa ja sen tuottamaa ääntä mitataan vastaanottohuoneessa vähintään neljästä kohdasta. Mittausten vähimmäismäärä on kuusi, mutta on suositeltavaa sisällyttää mittauksiin enemmän kuin kuusi mittausta luotettavamman tuloksen saamiseksi [13].



Kuva 4.1. Askelääneneristystä tutkittaessa äänilähteenä käytetään kojetta, joka pudottaa 40 mm korkeudelta viittä teräslieriötä (massa 500 g) kutakin kahdesti sekunnissa, jolloin rakenne saa 10 iskua sekunnissa.

Ilmaääneneristävyyden tavoin myös askelääneneristysten mittaustulos ja vaatimus esitetään yhtenä lukuna (kuva 4.2). Taajuuskaistoittain mitattuja askeläänitasoja verrataan vertailukäyrään siten, että vertailukäyrää siirretään 1 dB portain sellaiseen asemaan, että taajuuskaistoittain mitattujen askeläänitasojen epäsuotuisten poikkeamien summa vertailukäyrän arvoihin on enintään 32 dB [15]. Epäsuotuinen poikkeama tarkoittaa sitä, että mitattu askeläänitaso on suurempi kuin vertailukäyrän arvo. Vertailukäyrän sijainnin määräävät siten vertailukäyrän arvoja korkeammat askeläänitasot. Kun vertailukäyrä on saatu sijoitetuksi alimpaan mahdollisimpaan asemaan, jossa poikkeamien summa ei ylitä 32 dB, askeläänitasoluku luetaan vertailukäyrältä 500 Hz kohdalta. Laboratoriossa mitatusta askeläänitasoluvusta käytetään merkintää $L_{n,w}$ ja rakennuksessa mitatusta merkintää $L'_{n,w}$ [29] Suomen rakentamismääräyskokoelman määräykset koskevat rakennuksessa mitattavia arvoja [39].

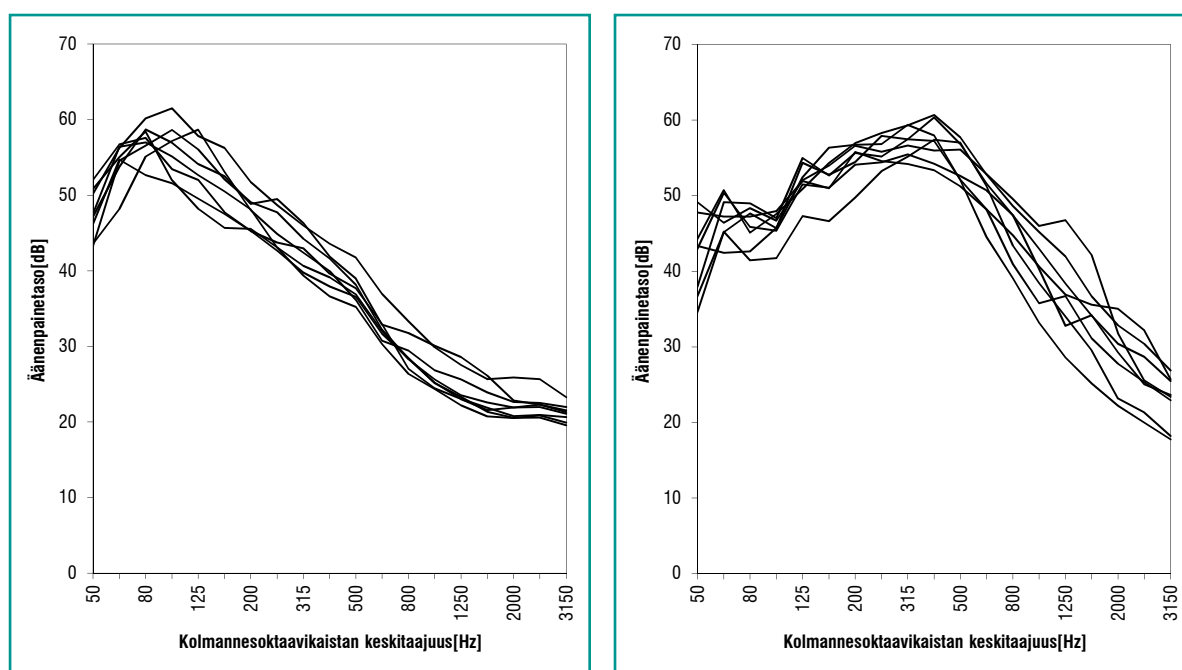


Kuva 4.2. Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ luetaan 500 Hz kohdalta vertailukäyrältä, jonka paikka määräytyy mittaustulosten ja vertailukäyrän välisten epäsuotuisten poikkeamien perusteella: mitatut askeläänitasot saavat poiketa vertailukäyrästä huomponaan suuntaan eli ylöspäin yhteensä enintään 32 dB. Tässä tapauksessa askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ on 52 dB.

4.2 Askeläänitasoluvun mittausmenetelmän ongelmat

Mitattavan taajuusalueen alarajaksi valittiin 1960-luvulla 100 Hz, sillä tavanomaiseen pieneen asuinhuoneeseen syntyvän äänikentän hajonasta johtuvan mittausepävarmuuden arvioitiin kasvavan liian suureksi pienemmillä taajuuksilla. Mittausmenetelmää kehitettäessä epävarmuutta ei kuitenkaan tutkittu, eikä siihen välttämättä 1950-luvulla olisi ollut riittävästi mahdollisuksiakaan [24]. Koska asukkaiden tyytymättömyys usein aiheutuu askeläänistä alle 100 Hz taajuusalueella, alhainen ja määräykset selvästi täyttävä mitattu askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ saattaa olla suuressa ristiriidassa asukkaiden subjektiivisen kokemuksen kanssa [17, 23]. Tällainen tilanne syntyy silloin, kun lattian päällysrakenteen ominaistaajuus (taajuus, jolla rakenne herkimmin värähtelee) on alle 100 Hz eli samalla alueella kuin kävelyn aiheuttama herätetaajuus (kuva 4.3). Tällöin lattian päällysrakenne voi joutua resonanssiin kävelyn kanssa, minkä asukkaat kuulevat matalana kuminana [18, 23].

Mittausstandardeja uusittaessa 1990-luvulla esitettiin uusi menetelmä askelääneneristykseen arvioimiseen: spektripainotustermit C_1 ja $C_{1,50-2500}$ [15]. Edellinen näyttää vastaavan standardista aiemmin poistettua sääntöä, jonka mukaan mitatun askeläänitason suurin sallittu poikkeama vertailukäyrästä sai olla enintään 8 dB. Jälkimmäisen avulla voidaan ottaa huomioon myös kolmannesoktaavikaistat 50, 63 ja 80 Hz [15, 17, 23].



Kuva 4.3. Askeläänikojeen tuottamia askeläänitasojen taajuusjakaumia. Vasemmanpuoleiset taajuusjakaumat tuottavat askeläänitasoluviiksi 39...47 dB ja oikeanpuoleiset 48...52 dB. Kuitenkin vasemmanpuoleiset jakaumat tuottaneista rakenteista valitetaan. Syynä on se, että lattianpäällysteen ominaistaajuus on alle 100 Hz tai alle, jolloin suurimmat askeläänitasot eivät sisälly mitattavaan taajuusalueeseen (100...3150 Hz), ja toisaalta kävelyn tuottamat äänenpainetasot ovat ominaistaajuusalueella, jolloin seurauksena on resonanssi.

Myös Suomen rakentamismääräyskokoelman ääneneristystä koskeva osa C1 uudistettiin vuonna 1998 [39]. Uusia mittausten menetelmiä ei kuitenkaan otettu käyttöön, koska mittausepävarmuudesta alle 100 Hz taajuuksilla ei ollut käytettävissä tietoa. Nyttemmin on selvitetty, että mittausepävarmuus 50...100 Hz taajuusalueella ei merkittävästi poikkea mittausepävarmuudesta taajuusalueella 100...300 Hz [17, 19, 20]. Sitä vastoin epävarmuus, joka johtuu siitä, että alle 100 Hz taajuusalue jätettäisiin mittaamatta, on desibeleissä mitattuna mittausepävarmuutta paljon suurempi. Spektrisovitusarvon $C_{1,50-2500}$ arvo voi ylittää 10 dB, kun lattianpäällysrakenteen ominaistaajuus on alle 100 Hz [18]. Myös asukasvalitukset tällaisista rakenteista ovat yleisiä [23].

4.3 Askelääneneristävyyttä koskevat määräykset ja ohjeet

Rakentamismääräyskokoelman osassa C1-1998 annetaan asuinhuoneistoille seuraavat askelääneneristysvaatimukset [39]:

- askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ saa olla asuinhuoneistosta toiseen mitattuna enintään 53 dB
- askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ saa olla porrashuoneesta asuinhuoneistoon mitattuna enintään 63 dB

Ohjeena todetaan, että asuinhuoneistojen välille asetettu askeläänitasolukuvaatimus ei koske mittausta satunnaisesti käytettävistä huolto- ja varastotiloista, autosuojista tai vastaavista tiloista eikä mittausta asuinhuoneistoon kuuluvista pienistä wc-, kylpyhuone- ja löylyhuonetiloista. Näistä tiloista asuntoon mahdollisesti aiheutuva meluhäiriö on kuitenkin otettava huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa niin, että asuinhuoneistossa saavutetaan edelleen hyvät ääniolosuhteet.

Rakentamismääräyskokoelman osan C1 selostuksessa todetaan, että kevyet rakenteet läpäisevät matalia ääniä, joita askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ määrittelyssä ei oteta huomioon. Selostuksen mukaan nämä äänet saattavat kuulua häiritsevänä kuminana.

Standardin SFS 5907 [38] asettamat vaatimukset luokkien A...D mukaisten asuinrakennusten asuinhuoneistojen väliselle askelääneneristykselle on esitetty taulukossa 4.1. Luokissa A ja B standardi edellyttää, että askelääneneristysmittaukset ulotetaan 50 Hz keskitajuuteen saakka, jolloin vaatimus esitetään summana askeläänitasoluvusta $L'_{n,w}$ ja spektrisovitusarvosta $C_{1,50-2500}$. Standardi suosittelee samaa menettelyä myös mitattaessa luokan C asuinhuoneistojen välistä askelääneneristystä, mutta tätä ei kuitenkaan vaatimuksena edellytetä. Taulukossa 4.1 on esitetty vain asuinhuoneistojen välille sekä porraskäytävän ja asuinhuoneiston välille asetetut vaatimukset.

Taulukko 4.1. Suurimmat sallitut ilmaääneneristysluvun arvot standardin SFS 5907 mukaisissa akustisissa luokissa A...D.

Suunta	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka D
	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	$L'_{n,w}$	$L'_{n,w}$
Asuinhuoneistojen välillä	43 dB	49 dB	53 dB	63 dB
Porraskäytävästä asuinhuoneistoon	49 dB	53 dB	63 dB	63 dB

4.4 Askeläänitasolukujen laskennallinen arviointi

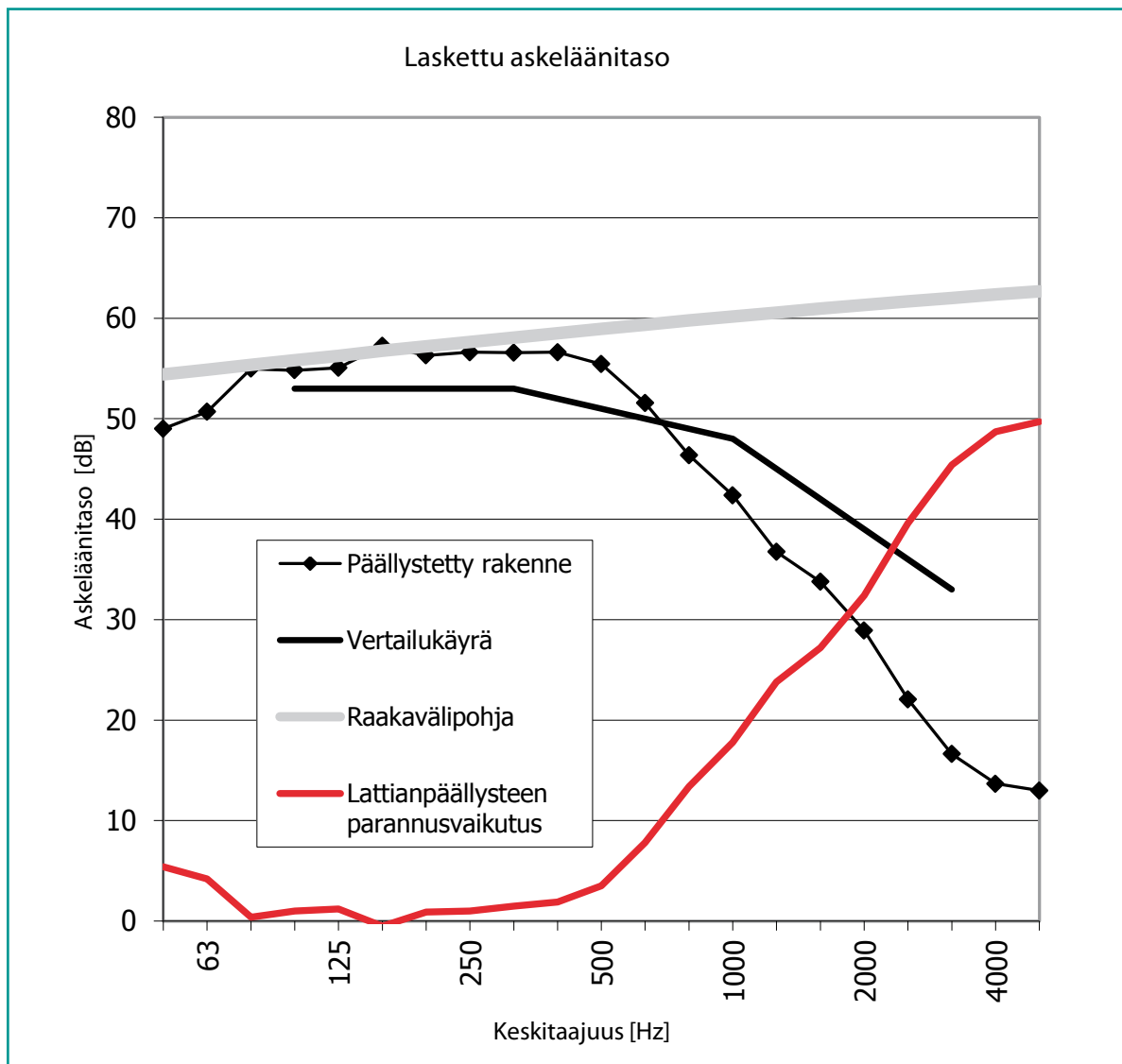
Betonivälipohjien askelääneneristävyyksien laskentaan tarkoitettu laskentamalli on esitetty standardissa EN 12354-12 [6]. Malli perustuu siihen, että ensin määritetään päällystämättömän niin sanotun raakavälipohjan askeläänitasot eri taajuuksilla. Raakavälipohjan askeläänitasot riippuvat rakenteen massasta (kg/m^2). Tämän jälkeen raakavälipohjan arvoista vähennetään lattianpäällysteen parannusvaikutus ΔL . Lopuksi lasketaan askeläänitasoluku vertailukäyrämenettelyllä.

Laskentamallilla voidaan selvittää välipohjan askeläänitasoluku $L_{n,w,est}$, joka vastaa yksittäisen välipohjarakenteen laboratorioissa mitattua arvoa. Laskennallisesti on mahdollista ottaa huomioon myös sivutiesiirtymät, jolloin laskennan tuloksena saatu askeläänitasoluku $L'_{n,w,est}$ vastaa rakennuksessa mitattua askeläänitasolukua.

Lattianpäällysteen parannusvaikutus on suure, jonka lattianpäällysteiden valmistajat mittauttavat laboratorioissa. Usein parannusvaikutus ilmoitetaan yhtenä lukuna ΔL_w . Tämä luku saadaan vähentämällä päällystetyn välipohjan mitatusta askeläänitasoluvusta raakavälipohjan askeläänitasoluku. Tarkempi tulos saadaan kuitenkin käyttämällä taajuuksittain määritettyjä parannusvaikutuksia ΔL . Tavallisesti asuinrakentamisessa käytetään lattianpäällysteitä, joiden askelääneneristävyyden parannusluku ΔL_w on vähintään 17 dB, mieluummin vähintään 18 dB.

Standardin EN 12354-2 mukaisella laskentamallilla on mahdollista arvioida vain massiivisten paikalla valettujen betonivälipohjien tai ontelolaattavälipohjien tuottamia askeläänitasolukuja. Puurakenteiden askelääneneristävyyksien laskemiseen ei ole olemassa vastaavaa yleisesti hyväksyttyä, kaikissa olosuhteissa luotettavaksi havaittua laskentamallia. Puisen raakavälipohjan askeläänitasoja tai askeläänitasolukuja ei ole mahdollista laskea riittävän luotettavasti, ja toisaalta lattianpäällysteiden parannusvaikutukset, jotka laboratorioissa mitataan massiivisen betonirakenteen avulla, eivät päde, koska alusrakenteen akustinen toiminta poikkeaa laboratorioissa käytetystä alusrakenteesta.

Sivutiesiirtymä vaikuttaa rakennuksessa saavutettaviin askeläänitasolukuihin $L'_{n,w}$ jonkin verran vähemmän kuin ilmaääneneristyslukuihin R'_w . Standardin EN 12354-2 mukaisella menetelmällä voidaan myös



Kuva 4.4. Lattianpäällysteen vaikutus raakaväli pohjan tuottamiin askeläänitasoihin.

arvioida sivutiesiirtymien vaikutusta. Betonirakenteisessa asuinkerrostalossa askeläänitasoluvut rakennuksessa $L'_{n,w}$ ovat sivutiesiirtymän vuoksi 1...3 dB suurempia kuin laboratoriossa mitatut tai lasketut askeläänitasoluvut.

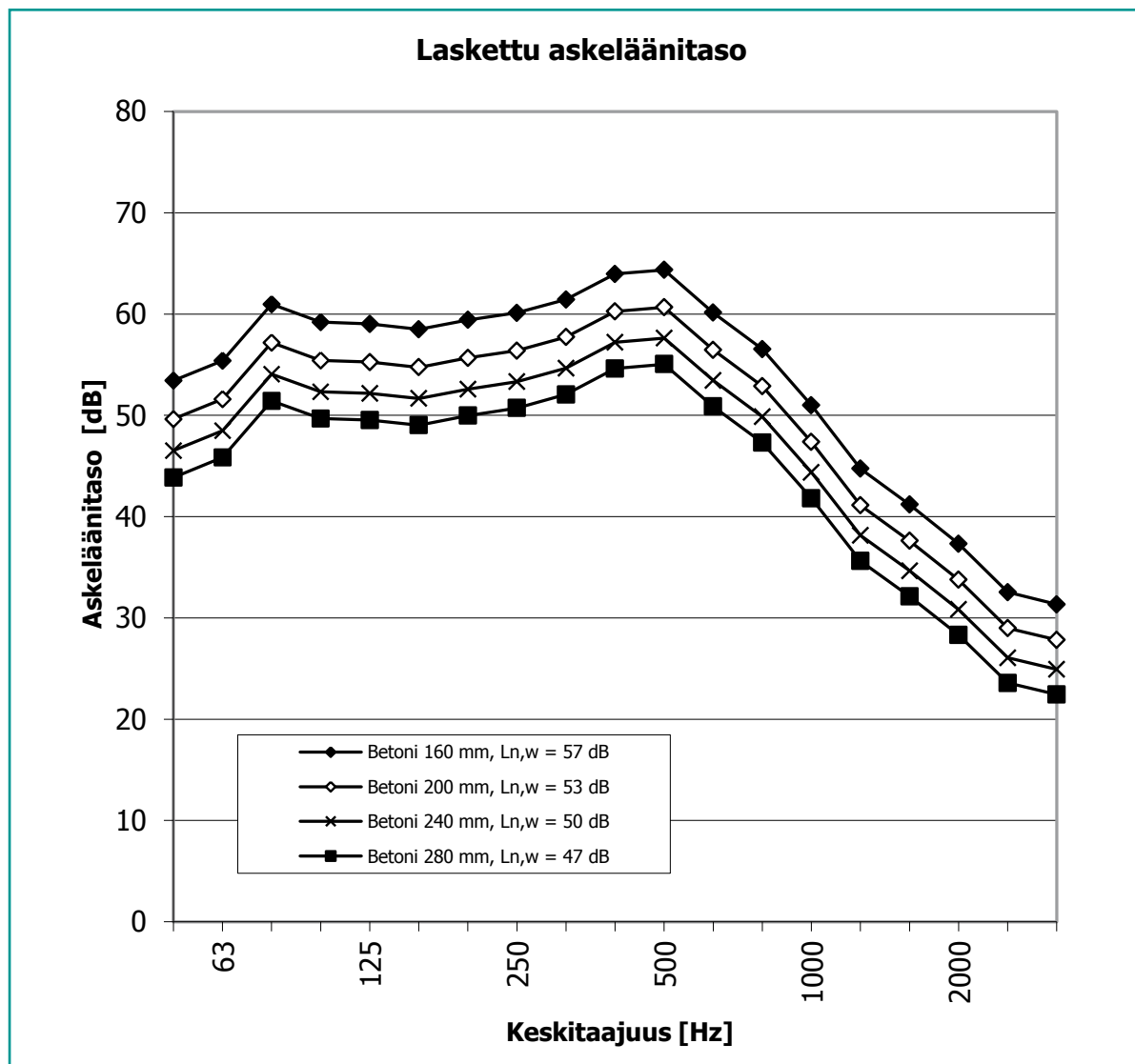
4.5 Välipohjarakenteiden toiminta

4.5.1 Joustavat lattianpäällysteet

Ontelolaatastojen ja paikalla valettujen betonilaattojen hyvä askelääneneristys perustuu niiden suureen massaan. Tällaisten rakenteiden massan kasvattaminen on käytännön syistä mahdollista vain tiettyyn rajaan saakka: rakenteiden oma paino vaikuttaa kantavien seinien ja pilareiden paksuuksiin ja raudoituksiin eikä välipohjan massan kasvattaminen siten ole taloudellisesti järkevää. Tehokas keino askelääneneristämiseksi on joustavien lattianpäällysteiden käyttö.

eristyksen parantamiseksi eli askelista ja muista vastaavista äänistä syntyvien äänitasojen alentamiseksi on rakenteeseen kohdistuvien iskujen vaimentaminen pehmeillä lattianpäällysteillä.

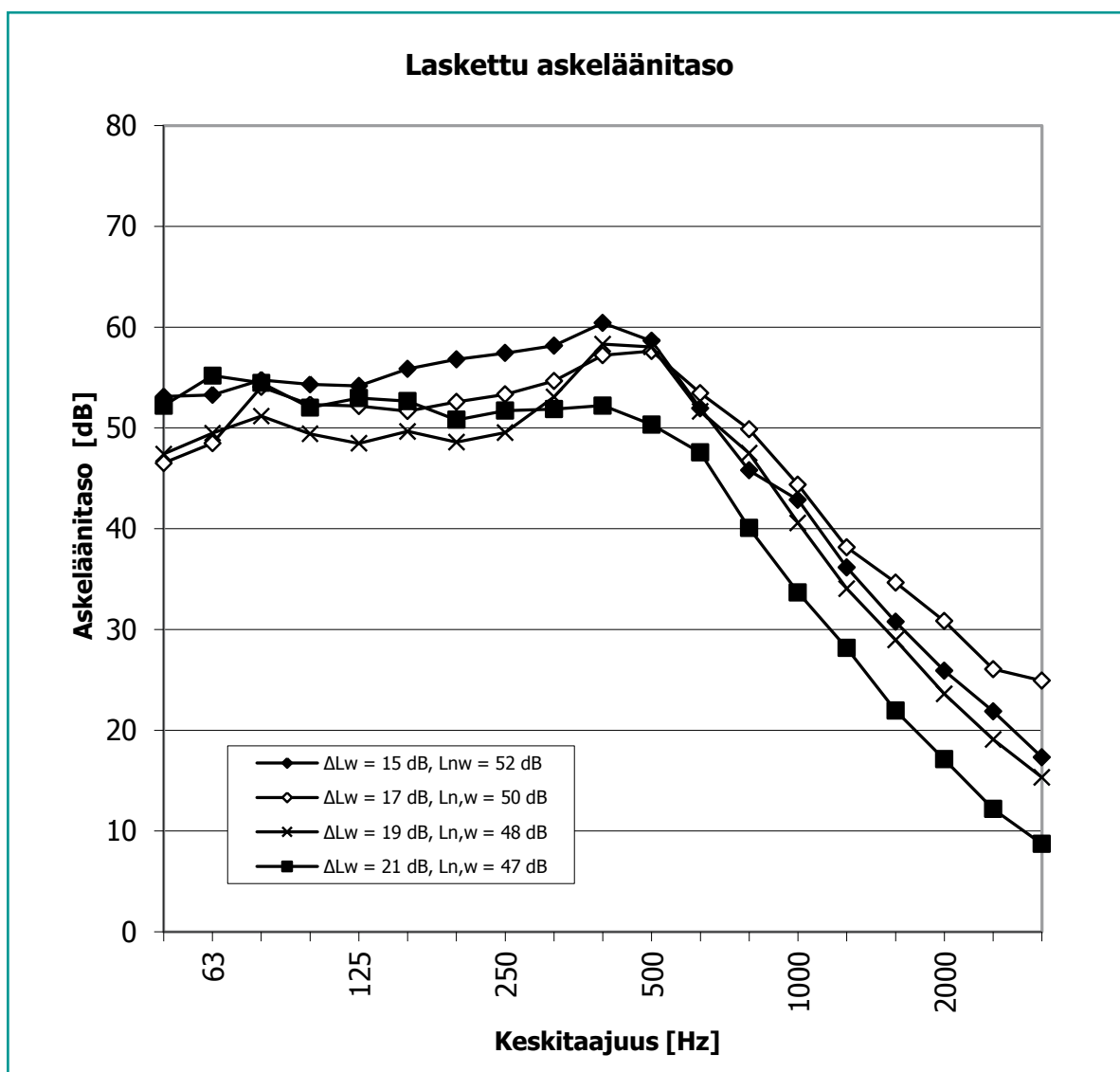
Pehmeiksi lattianpäällysteiksi luetaan pehmeät muovimatot ja lautaparketit joustavine alusmateriaaleineen. Nämä päällysteet toimivat akustisesti hieman eri tavalla, mutta lautaparketti ja muovimatto, joiden askelääneneristävyyden parannusluku ΔL_w on yhtä suuri, johtavat suunnilleen samanlaiseen askeläänitasolukuun ja samanmuotoiseen äänispektriin. Asuinrakennuksissa asuinhuoneiden lattianpäällysteinä käytettävien pehmeiden muovimattojen askelääneneristävyyden parannusluvut ovat yleensä noin 17...20 dB. Lautaparketien askelääneneristävyyden parannusluvut ovat 17...18 dB käytettäessä yleisiä joustavia alusmateriaaleja. Porrashuoneisiin tarkoitettujen lattianpäällysteiden askelääneneristävyyden parannusluvut ΔL_w ovat yleensä 6...14 dB. Lattianpäällysteiden valmistajat ilmoittavat tuotteidensa mittauksiin



Kuva 4.5. Välipohjan paksuuden vaikutus askeläänitasoihin ja askeläänitasolukuihin. Lattianpäällysteen parannusluku ΔL_w on 17 dB.

perustuvat askelääneneristävyyden parannusluvut ΔL_w . Pehmeisiin lattianpäällysteisiin perustuvia välipohjaratkaisuja suunniteltaessa pitää käyttää vain sellaisia lattianpäällysteitä, joiden parannusluvut tunnetaan.

Kuvissa 4.5 ja 4.6 on esitetty laskennallisesti, miten välipohjarakenteen massan kasvattaminen ja lattianpäällysteen parannusluvun muuttaminen vaikuttavat välipohjarakenteen askeläänitasoihin ja askeläänitasolukuihin. Massan lisäys parantaa askeläänitasolukua $L_{n,w}$ lähes suoraviivaisesti: askeläänitasoluku on sitä parempi, mitä raskaampi rakenne on. Sitä vastoin parannuslukuista ΔL_w askeläänitasoluvut eivät riipu täysin suoraviivaisesti, sillä laskettaessa askeläänitasoluvut taajuuskaistoittain määritetyistä parannusvaikutuksista ΔL saadaan tarkempi tulos. Lisäksi hyvin eri tavalla toimivat lattianpäällysteet voivat tuottaa saman askeläänitasoluvun.

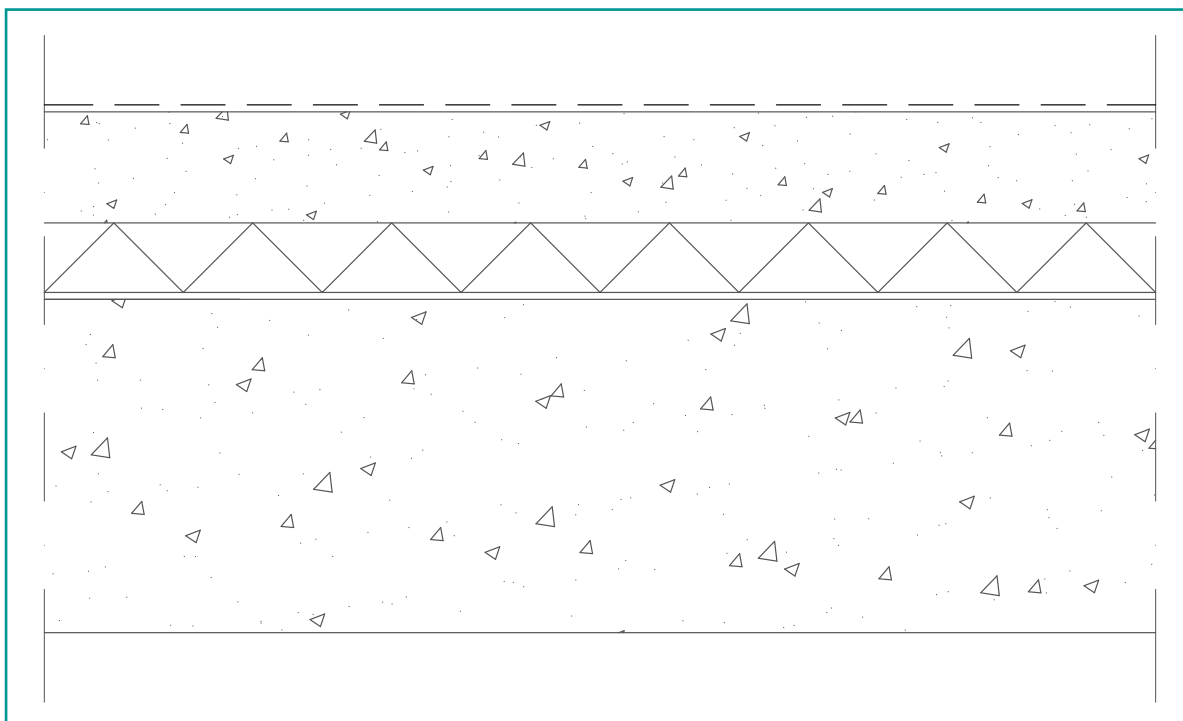


Kuva 4.6. Askeläänitasojen ja askeläänitasolukujen muutos suhteessa lattianpäällysteen parannusluvun ΔL_w muutokseen. Välipohjan kantavana rakenteena on 240 mm paksu paikalla valettu teräs-betonilaatta.

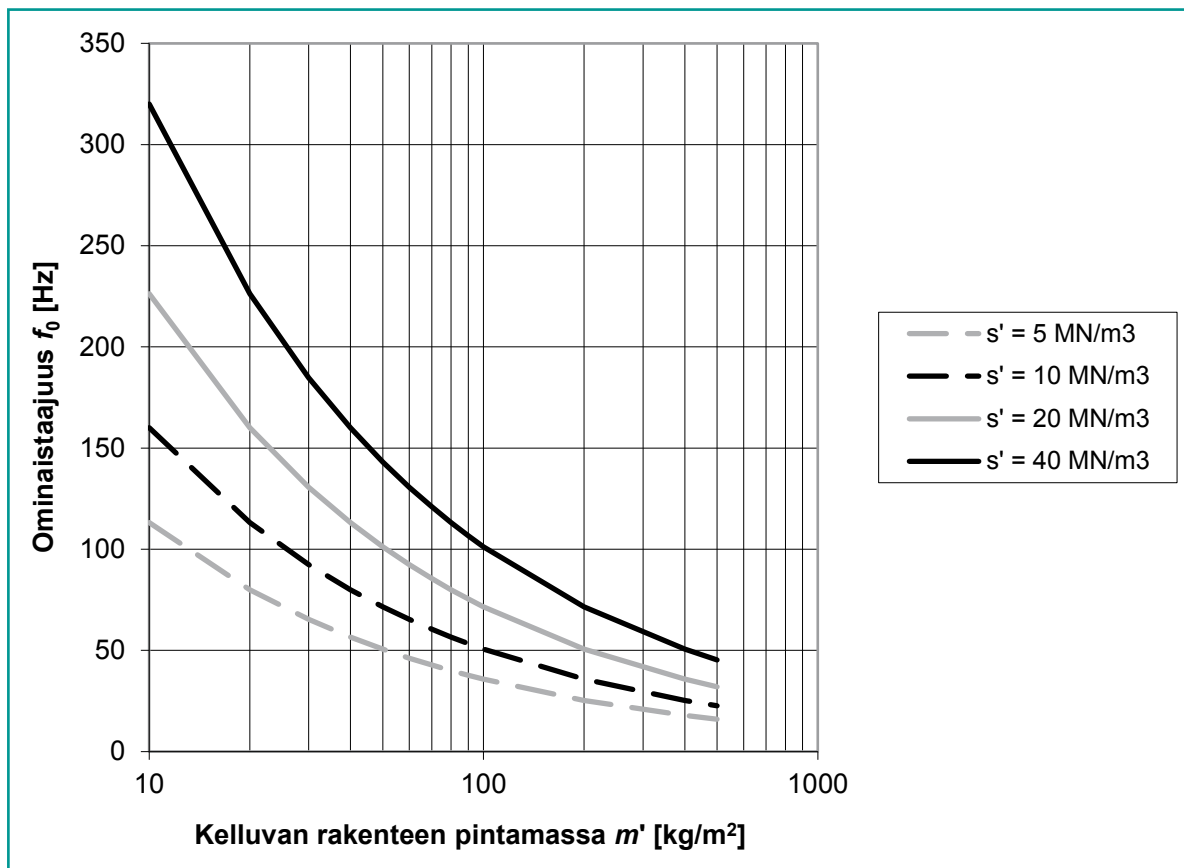
4.5.2 Kelluvat lattiat

Asuinrakennusten nykyiset askelääneneristysvaatimukset edellyttävät kelluvan lattian käyttöä massiivisen välipohjarakenteen päällä, jos lattianpäällysteenä on alustaansa liimattava parketti, luonnonkivi, keraaminen laatta tai vastaava kova pinnoite. Kelluvia lattioita käytetään riittävän askelääneneristyksen saavuttamiseksi myös sijoitettaessa asuinrakennuksiin meluisia tiloja tai tavoiteltaessa askelääneneristyksen lisäksi hyvää ilmastäneristystä, kuten teattereissa, elokuvateattereissa, studioissa, äänitarkkaamoissa ja koulujen musiikkiluokissa. Kelluva lattia, toisin kuin joustavat lattianpäällysteet, parantaa myös ilmastäneristystä, sitä enemmän mitä raskaampi kelluva rakenne on. Kelluvia lattioita voidaan siten käyttää pyrittäessä rakentamismääräyskokoelman edellyttämää vähimmäistasoa parempaan ääneneristykseen.

Kelluvassa lattiassa on pehmeä eristekerros sekä sen päälle tehtävä rakenne, joka voi olla rakennuslevy, pumpattava tasoite tai paikalla valettu betonilaatta (kuva 4.7). Eristekerroksena voi olla mineraalivilla, elastisoitu polystyreeni tai tärinäeristimet, jotka yleensä jaetaan kaistoiksi ja asetetaan kelluvan kerroksen alle tietyllä k-jaolla. Kelluvan lattian akustisen toiminnan kannalta tärkein ominaisuus on sen ominaistajuus f_0 [Hz], joka riippuu kelluvan rakenteen pintamassasta m' [kg/m²] ja eristekerroksen dynaamisesta jäykkyydestä s' [MN/m³]. Ominaisuuteen vaikuttavat myös kantavan rakenteen massa ja jäykkyys.



Kuva 4.7. Kelluvan rakenteen periaate: välipohjan kantavan laataston päällä on eristekerros, jonka päällä on kelluva laatta. Tässä tapauksessa kelluva laatta on 80 mm paksu betonilaatta ja kantavana rakenteena on 240 mm paksu paikalla valettu teräsbetonilaatta.



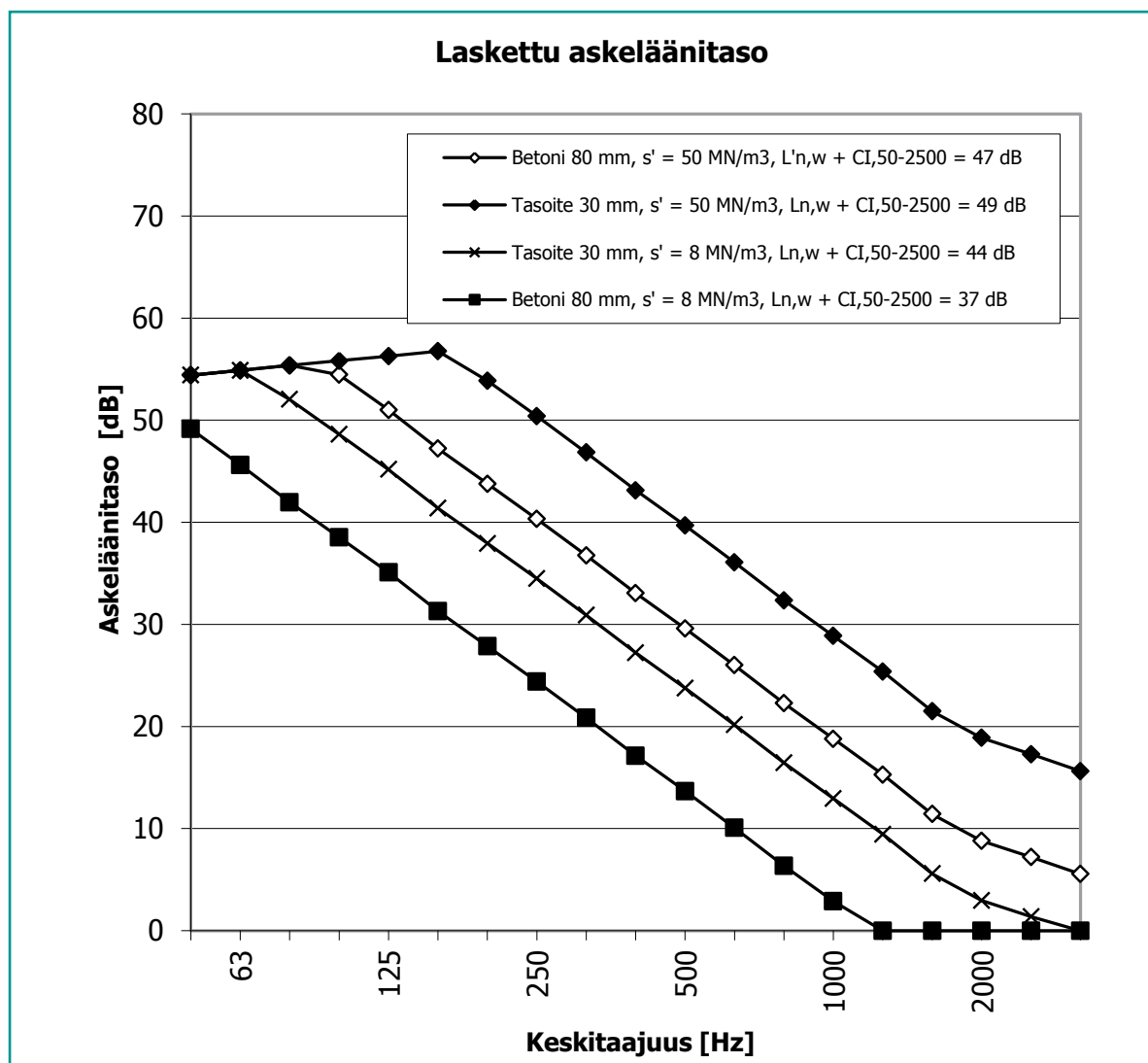
Kuva 4.8. Kelluvan rakenteen pintamassan m' [kg/m²] ja eristekerroksen dynaamisen jäykkyyden s' [MN/m³] vaikutus ominaistajuuteen.

Kelluva lattia toimii akustisesti sitä paremmin, mitä alhaisempi ominaistajuus on. Ominaistajuutta voidaan alentaa eristekerroksen dynaamista jäykkyyttä pienentämällä tai kelluvan rakenteen massaa lisäämällä (kuvat 4.8 ja 4.9). Asuinrakentamisessa käytettävien eristekerrosten dynaamiset jäykkyydet ovat noin 5...50 MN/m³. Asuinrakentamisessa kelluvan rakenteen ominaistajuuden tulisi olla mieluiten alle 50 Hz, jotta kelluvan rakenteen askelääneneristyskyky olisi asukkaista subjektiivisesti hyväksyttävissä. Kelluvien lattioiden akustista hyvyttä arvioitaessa on suositeltavaa aina ulottaa askelääneneristysmittaukset 50 Hz asti ja laskea spektripainotusermi $C_{I,50-2500}$. Pelkästään askeläänitasoluukuun $L'_{n,w}$ tai $L_{n,w}$ perustuva arvio voi antaa harhaanjohtavan käsityksen kelluvan lattiarakenteen askelääneneristyskyvystä muihin ratkaisuihin verrattuna. Hyvän tuloksen takaamiseksi kelluvat lattiat tulisi suunnitella siten, että spektrisovitusermi $C_{I,50-2500}$ olisi mahdollisimman pieni [17, 18].

Kelluvia lattioita suunniteltaessa on lattian akustisen toiminnan lisäksi otettava huomioon rakennusteknisiä ja rakennusfysikaalisia tekijöitä. Betoninen kelluva laatta kuivuu pinnastaan nopeammin kuin eristekerrosta vastaan olevasta pinnastaan. Epätasainen kuivumiskutistuma johtaa siihen, että laatta pyrkii kaareutumaan nurkistaan ja reunoiltaan ylös. Betonisen kelluvan laatan paksuudeksi suositellaan nykyisin 80 mm, sillä tällöin laatan massa estää kaareutumista. Kaareutumiseen

voidaan vaikuttaa myös betonimassan valinnalla ja laatan raudoituksen sijoituksella. Kelluvien lattioiden yhteydessä on arvioitava myös eristetilassa vallitsevien kosteusolosuhteiden aiheuttamaa riskiä sekä eristetilan kuivatusmahdollisuuksia rakennusaikana mahdollisesti sattuvan vesivaingin aikana. [7]

Massiivisten kantavien rakenteiden päälle sijoitettavien päällystämättömien kelluvien lattioiden tuottamat askelääneneristävyuden parannusluvut ΔL_w ovat yleensä suurempia kuin 25 dB. Kelluvan lattian päällystäminen lattianpäällysteellä vaikuttaa askeläänitasoihin paljon vähemmän kuin lattianpäällysteen massiivisen kantavan rakenteen yhteydessä mitattu askelääneneristävyuden parannusluku ΔL_w . Lattianpäällysteen parannuslukuja ei siten ole mahdollista vähentää päällystämättömän kelluvan lattiarakenteen tuottamista askeläänitasoluista, koska rakenne toimii akustisesti toisin kuin rakenne, johon parannuslukuja määrittäminen perustuu.



Kuva 4.9. Kelluvan rakenteen pintamassan m' [kg/m^2] ja eristekerroksen dynaamisen jäykkyyden s' [MN/m^3] vaikutus laskennallisiin askeläänitasoihin ja askeläänitasolukuihin $L'_{n,w}$. Kantava rakenne on 240 mm paksu paikalla valettu betonilaatta.



5. LVIS-tekniikka

Rakennuksen teknisiin järjestelmiin liittyvät laitteet, joissa on pyöriviä tai liikkuvia osia, on irrotettava rakennuksen rungosta joustavin liitososin eli tärinäneristimin. Jotta tärinäneristimet toimisivat oikein, niiden alustan on oltava jäykkä ja massiivinen. Betonirakenteiden ja tiilestä muurattujen seinien etuna on useimmissa tapauksissa riittävä jäykkyys ja massiivisuus.

5.1 Rakennuksen tekniset järjestelmät äänilähteinä

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaan rakennuksen LVIS-laitteita ovat esimerkiksi hissit, vesi- ja viemärlaitteet, kompressorit, ilmanvaihtolaitteet, jäähdytyslaitteet ja lämmityslaitteet. Niihin rinnastetaan myös keskuspölynimuri, mattoimuri ja talopesulan laitteet, kuten pesukoneet, lingot, kuivauspuhaltimet ja mankelit [39]. Nämä rakennuksen tekniset järjestelmät vaikuttavat rakennuksen äniolosuhteisiin lähinnä kolmella tavalla [29]:

- Ilmanvaihtokoneiden puhaltimet saavat ilman pyörteilemään. Samoin ilman virtaus ilmanvaihtokanavistossa sekä pääte- ja säätölaitteissa synnyttää virtausääntä, joka siirtyy näistä äänilähteistä kanaviston kautta huonetiloihin. Ilmanvaihtojärjestelmän äänenkehitys voidaan hallita parhaiten valitsemalla puhaltimet ja kaikki ilmankäsittelyosat sekä kanavakoot oikein ja käyttämällä hyviä äänenvaimentimia. Myös vesi- ja viemärlaitteissa syntyy virtausääntä, mutta se aiheuttaa lähinnä runkoääntä, jota voidaan vähentää tärinäneristysten keinoin.
- Rakennuksen runkoon kiinnitetyt tekniset laitteet, joissa on liikkuvia osia, saavat rakenteet värähtelemään. Näin syntynyt runkoääni etenee rakenteita pitkin ja saa ympäröivän ilman värähtelemään synnyttäen näin ilmaääntä. Tekniset laitteet edellyttävät lähes poikkeuksetta tärinäneristimiä.
- Ilmastointijärjestelmän kanavat, lämmitys- ja vesijärjestelmän putket ja muut vastaavat on johdettava konehuoneista rakennuksen muihin tiloihin. Jossain kohdassa ne on yleensä vietävä ääntä eristäväksi suunnitellun rakenteen läpi. Läpiviennit on suunniteltava sellaisiksi, että ne eivät heikennä rakenteiden ilma- tai askelääneneristyskykyä: niiden on oltava tiiviitä, eivätkä ne saa kytkeä kaksirunkoisten rakenteiden puoliskoja toisiinsa.

Monissa tapauksissa äänenhallinta on rakennuksen LVIS-järjestelmän suunnittelun määräävä tekijä: järjestelmän muiden teknisten vaatimus-

ten, kuten ilmanvaihdon edellyttämien ilmamäärien saavuttaminen vaatii usein vähemmän suunnittelutyötä kuin määräysten mukaisten äänitasojen saavuttaminen. Asuinrakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu tarkoittaakin pitkälti samaa kuin ilmanvaihtojärjestelmän äänenhallinnan suunnittelu. Sama pätee useiden muidenkin LVIS-laitteiden toiminnan ja äänenhallinnan suunnitteluun. Esimerkiksi autotallien moottoroitujen ovien suunnittelun lähtökohtana tulee olla oven mekaniikan lisäksi oven tärinäneristys, jotta ovi ei synnyttäisi häiritsevää runkoääntä. Rakennusten LVIS-järjestelmien äänenhallinnassa tärkeä keino on laitevalinta. Mitä hiljaisempi äänilähde on, sitä vähemmän se edellyttää äänenvaimennuksen- ja eristyksen tai tärinäneristysten suunnittelua. Halvin laite ei välttämättä ole edullisin, jos sallittujen äänitasojen saavuttamiseksi on erikseen suunniteltava tärinäneristystä ja äänenvaimennus- tai ääneneristysrakenteita.

Säädöstasoisia määräyksiä on olemassa vain asuinrakennusten LVIS-järjestelmien asuinhuoneisiin ja keittiöihin aiheuttamasta äänitasosta. Määräykset on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 [39]. Rakentamismääräyskokoelmassa äänitasoille määritetään kaksi sallittua arvoa, keskiäänitaso $L_{A,eq}$ ja enimmäisäänitaso $L_{A,max}$ (taulukko 5.1). Kaikkien rakennusten LVIS-järjestelmiä koskee määräys, jonka mukaan rakennusta palvelevien tai rakennuksen LVIS-laitteiden aiheuttama keskiäänitaso $L_{A,eq}$ saa olla enintään 45 dB saman tai läheisen rakennuksen ikkunan ulkopuolella, parvekkeella, pihamaalla tai muussa vastaavassa paikassa asuinalueella ja muilla melulle herkillä alueilla.

Taulukko 5.1. Rakennuksen LVIS-laitteista ja niihin rinnastettavista laitteista asuinhuoneistossa sallittavat keski- ja enimmäisäänitasot Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaan.

Tila	Keskiäänitaso $L_{A,eq}$	Enimmäisäänitaso $L_{A,max}$
Asuinrakennusten asuinhuoneissa	28 dB	33 dB
Asuinrakennusten keittiöissä	33 dB	38 dB

Rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta on annettu määräyksiä ja ohjeita Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 [40]. Äänitasojen ohjearvoja on annettu asuinrakennusten tiloille, joita rakentamismääräyskokoelman osa C1 ei koske, kuten vaatehuoneille, kylpyhuoneille, kodinhoitohuoneille ja huoneistosaunoille sekä asuinrakennusten yhteistiloille, kuten porrashuoneille, varastoille, kylmäkellareille, puku- ja pesuhuoneille sekä talosaunoille, talopesuloille kuivaushuoneineen ja askartelu- ja kerhohuoneille (taulukko 5.2).

Ohjeita määräystasoa alhaisempien äänitasojen valitsemiseksi erilaisissa tiloissa on annettu standardissa SFS 5907 [38]. Rakentamismääräyskokoelman osissa C1 ja D2 vaadittujen tai suositeltujen ääni-

Taulukko 5.2. Esimerkkejä rakennuksen LVIS-laitteista ja niihin rinnastettavista laitteista sallittavien äänitasojen ohjearvoista Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan.

Tila	Keskiäänitaso $L_{A,eq}$	Enimmäisäänitaso $L_{A,max}$
Asuinhuoneiston vaatehuoneessa, varastossa, WC:ssä, kodinhoituhuoneessa ja saunassa	33 dB	38 dB
Asuinhuoneiston kylpyhuoneessa	38 dB	43 dB
Asuinrakennuksen talosaunan pukuhuoneessa ja löylyhuoneessa, askartelu- ja kerhuhuoneessa	33 dB	38 dB
Asuinrakennuksen porrashuoneessa	38 dB	43 dB
Asuinrakennuksen varastossa, kylmäkellarissa, talosaunan pesuhuoneessa, talopesulassa ja kuivaushuoneessa	43 dB	48 dB

tasojen saavuttaminen ei tarkoita sitä, että rakennuksen LVIS-laitteet olisivat täysin hiljaisia tai eivät häiritsisi. Pientalojen sisäilmastoa tutkittaessa on todettu, että asukkaat säätävät talojensa ilmanvaihtokoneet pienemmälle teholle kuin suositellut ilmamäärät edellyttäisivät, jotta koneiden äänitaso olisi alhaisempi. Pientaloasukkaat näyttävät yleisesti pitävän ilmanvaihdon aiheuttamaa melutasoa sopivana, kun keskiäänitaso on alle 24 dB [43]. Rakennuksen LVIS-järjestelmien suunnittelu niin, että äänitasot ovat määräystasoa alhaisempia, on siten perusteltua.

Laajakaistainen kohina, jota ilmastoinnin aiheuttama ääni yleensä on, koetaan vähemmän häiritseväksi kuin taustamelusta erottuva kapeakaistainen ääni. Tyypillinen kapeakaistainen ääni on esimerkiksi tulo- tai poistoilmaventtiilin vihellys, joka välttämättä ei kuitenkaan ylitä rakentamismääräyskokoelmassa esitettyjä sallittuja äänitasoja. A-painotettu äänitaso ei välttämättä kuvaa tällaisessa tilanteessa melun häiritsevyyttä.

Useimmiten ilmastoinnin aiheuttama ääni ajatellaan haittatekijäksi. Edellä esiteltyjen määräystenkin lähtökohtana on lähinnä äänen aiheuttama häiriö. Joissakin tapauksissa kohtuullisesta taustamelusta on kuitenkin hyötyä. Esimerkiksi erilaisten virastojen ja liikelaitosten palvelutiloissa taustaääni vähentää kuuluvuutta palvelupisteiden välillä ja palvelupisteistä odotustiloihin. Avotoimistoissa taustaääni on suorastaan välttämätön, jotta eri työpisteissä saataisiin aikaan mahdollisimman hyvät työolosuhteet eikä puhe viereisestä työpisteestä häiritsisi kohtuuttomasti.

5.2 Viemärijärjestelmät

Rakennuksen viemärijärjestelmän äänenkehitys perustuu siihen, että viemärijätteen liikkeet saavat aikaan putkiston liikkeen eli värähtelyn, joka kannakkeiden kautta siirtyy rakennuksen runkoon. Rungon värähtely puolestaan synnyttää ilmaan värähtelyä, joka voidaan aistia ilmaääninä. Siten viemärijärjestelmän rakennuksen runkoon aiheuttaman värähtelyn tulee olla mahdollisimman vähäistä, jotta sitä ei kuultaisi ilmaääninä. Viemärijärjestelmän aiheuttama ääni vaihtelee ajan kuluessa. Jos viemäriääntä mitataan asuinrakennuksessa, mittaus aloitetaan hetkestä, jolloin esimerkiksi WC-allas vedetään, ja päätetään, kun viemärijäte on poistunut putkistosta eikä ääni ole enää erotettavissa taustäänestä. Keskiäänitaso $L_{A,eq}$ määritetään tältä ajalta. Suurin hetkellinen äänitason huippuarvo eli enimmäisäänitaso $L_{A,max}$ syntyy yleensä hetkellä, jolloin viemärijäte iskeytyy putkiston alamutkaan.

Rakennuksen viemärijärjestelmän äänenhallinnan suunnittelussa on kiinnitettävä erityisesti huomioita putkien sijoitteluun ja ääneneristyksen mitoittamiseen siten, että viemärit tuottavat huonetiloihin mahdollisimman vähän ääntä tilan käyttötarkoitukseen nähden. Viemärien ääniin vaikuttavat erityisesti kannatusjärjestelmä ja viemäriinjojen suoruuus. Äänenhallinta tulee ottaa huomioon putkistomitoituksessa, putkiston materiaalivalinnoissa, laite- ja kalustevalinnoissa sekä putkien ja laitteiden sijoittelussa.

Asuinkerrostaloissa käytetään yleensä muovi- tai valurautaviemäreitä. Yleensä raskaamman viemäriin ääneneristyskyky on parempi kuin kevyen viemäriin. Ääneneristyskyky vaikuttaa siihen, kuinka paljon ilmassa oleva viemäri synnyttää ympäristöönsä ilmaääntä, mikä vaikuttaa viemäriin kotelointitarpeeseen. Runkoäänen syntyminen riippuu viemäriputkien asennuksesta. Asuinrakennusten viemäriin asennukseen on olemassa kaksi periaatetta:

- Rakenteisiin jäykästi kiinnitetty viemärien asennusjärjestelmä, jossa viemärit kiinnitetään massiivisiin betonirakenteisiin mahdollisimman jäykästi ja estetään siten viemäriin vaipan värähtelyn aiheuttaman runkoäänen eteneminen. Myös viemäriin pohjakulma valetaan betonin sisään.
- Rakenteista tärinäneristimin irrotettu valurautaviemärien testattu ja tarkastettu asennusjärjestelmä, jossa koko viemärijärjestelmä irrotetaan rakennuksen rungosta tehokkailla tärinäneristimillä, jotka estävät viemäriin värähtelyn siirtymisen rakennuksen runkoon. Viemäriin pohjakulmaa ei valeta betonin sisään, vaan sen tulee olla irti rungosta. Tässäkin tapauksessa viemärit kannakoidaan raskaita kivirakenteista. Niitä ei tärinäneristimistäkään huolimatta voida kiinnittää kevyisiin kivirakenteisiin (esim. kevytsorabetoniin tai kevytbetoniin) eikä levyrakenteisiin hormeihin.

Asuinrakennuksissa pystyviemärilinjoihin ei saa tehdä vaakasiirtoja. Muissakin rakennuksissa niistä voi aiheutua äänihaittoja. Viemärilinjat tulee molemmissa järjestelmissä tuoda suoraan ylhäältä alas. Pystyviemäreissä ei saa olla vaakasiirtoja. Viemärilinjat tulee sijoittaa sellaisten tilojen läheisyyteen, joissa ei ole kovia äänitasovaatimuksia.

5.3 Ääneneristys ilmanvaihtokanavan kautta

Ilmastointilaitos on ilmanvaihto-, jäähdytys-, lämmitys- ja kosteudensäätölaitteiden ja mahdollisesti joidenkin muidenkin sisäilmaolosuhteiden säätämiseen tarkoitettujen laitteiden muodostama kokonaisuus. Ilmastointi on yksi yleisimmistä valitusten aiheuttajista sekä työpaikoilla että asuinrakennuksissa. Tyytymättömyyttä, häiriintymistä ja pahimmassa tapauksessa erilaista oireilua aiheuttavat vedon lisäksi ilmastointilaitoksen kehittämä ääni ja ilmanvaihtokanavien kautta tilasta toiseen siirtyvä ääni. Asuinrakennuksissa korkea äänitaso vaikeuttaa nukahtamista ja heikentää unen laatua. Liian korkea äänitaso työtilassa vaikeuttaa keskittymistä vaativaan työhön ja haittaa puheen ymmärtämistä: puhujan on korotettava ääntään, mikä puhetyöntekijöillä voi johtaa äänihäiriöihin.

Tiloja erottavilta rakenteilta vaadittava ääneneristyskyky määräytyy tiloissa tapahtuvan toiminnan perusteella. Vaadittavan ääneneristykseen saavuttamiseksi ei kuitenkaan riitä pelkästään oikeiden rakennetyyppien valinta ja niiden huolellinen toteutus. Jo varsin pieni rako tiloja erottavassa seinä- tai välipohjarakenteessa riittää heikentämään ääneneristystä paljon. Rakennuksissa ilmanvaihtokanavien halkaisijat ovat vähintään 100 mm, joten on selvää, että kanavilla on suuri vaikutus tilojen väliseen ääneneristykseen.

Asuinkeuhkaloissa, joissa on yhteiskanavajärjestelmä eli sama ilmanvaihtokone palvelee useita huoneistoja, yleinen ongelma on naapurin puheen kuuluminen keittiön liesikuvun kautta. Tällöin on kyse siitä, että asuinhuoneistoja yhdistävässä ilmanvaihdon poistokanavan venttiilien äänenvaimennuskyky ei ole riittävä, jolloin ilmaääneneristysluku kanavan kautta jää heikommaksi kuin huoneistoja erottavien rakenteiden ääneneristyskyky. Ilmiö olisi helposti vältettävissä määrittelemällä ilmanvaihtosuunnitelmissa kanaviin äänenvaimennin huoneistojen välille. Ääneneristykseen parantaminen rakennuksen valmistuttuakaan ei ole teknisesti vaikeaa: kanavaan voidaan asentaa äänenvaimennin, mutta kustannukset tulevat suuriksi, sillä kalusteita joudutaan purkamaan.

Kun tilassa toimii kaksi laitetta, jotka tuottavat tilaan saman äänenpainetasoa yksinään toimiessaan, äänenpainetaso on 3 dB korkeampi, kun laitteet toimivat yhtä aikaa. Ilma-ääneneristävyys R on määritelty rakenteen kohdanneen äänitehon W_1 ja sen kautta toiseen tilaan siirtyneen äänitehon W_2 suhteena. Kun vastaanottotilaan johtaa toisesta lä-

hetystilasta kaksi erillistä reittiä, joita pitkin ääni voi siirtyä tilojen välillä ja joiden ääneneristävyys on sama, tilaan siirtyvä ääniteho on $2 \times W_2$. Tällöin vastaanottotilan äänenpainetaso nousee 3 dB. Lopputulos voidaan ilmaista ilmaääneneristävyuden kaavan perusteella myös niin, että ilmaääneneristävyys tilojen välillä heikkenee 3 dB.

Rakennusosien ilmaääneneristävyys tulee sivutiesiirtymien, mahdollisten työvirheiden ja muiden tekijöiden aiheuttamien heikennysten vuoksi aina valita jonkin verran paremmaksi kuin tilojen välille asetettu ilmaääneneristyslukuvaatimus. Jos ilmanvaihtokanavien sallitaan heikentävän ilmaääneneristystä 0,5 dB pelkästään rakennusosan tuottamaan ilmaääneneristykseen verrattuna, ilmaääneneristävyuden tai ilmaääneneristysluvun kunkin kanavan kautta tulee olla tiloja erottavaa rakenteen arvoa vähintään

- 10 dB korkeampi, kun tilojen välillä on 1 kanava
- 13 dB korkeampi, kun tilojen välillä on 2 kanavaa
- 16 dB korkeampi, kun tilojen välillä on 4 kanavaa
- 19 dB korkeampi, kun tilojen välillä on 8 kanavaa.

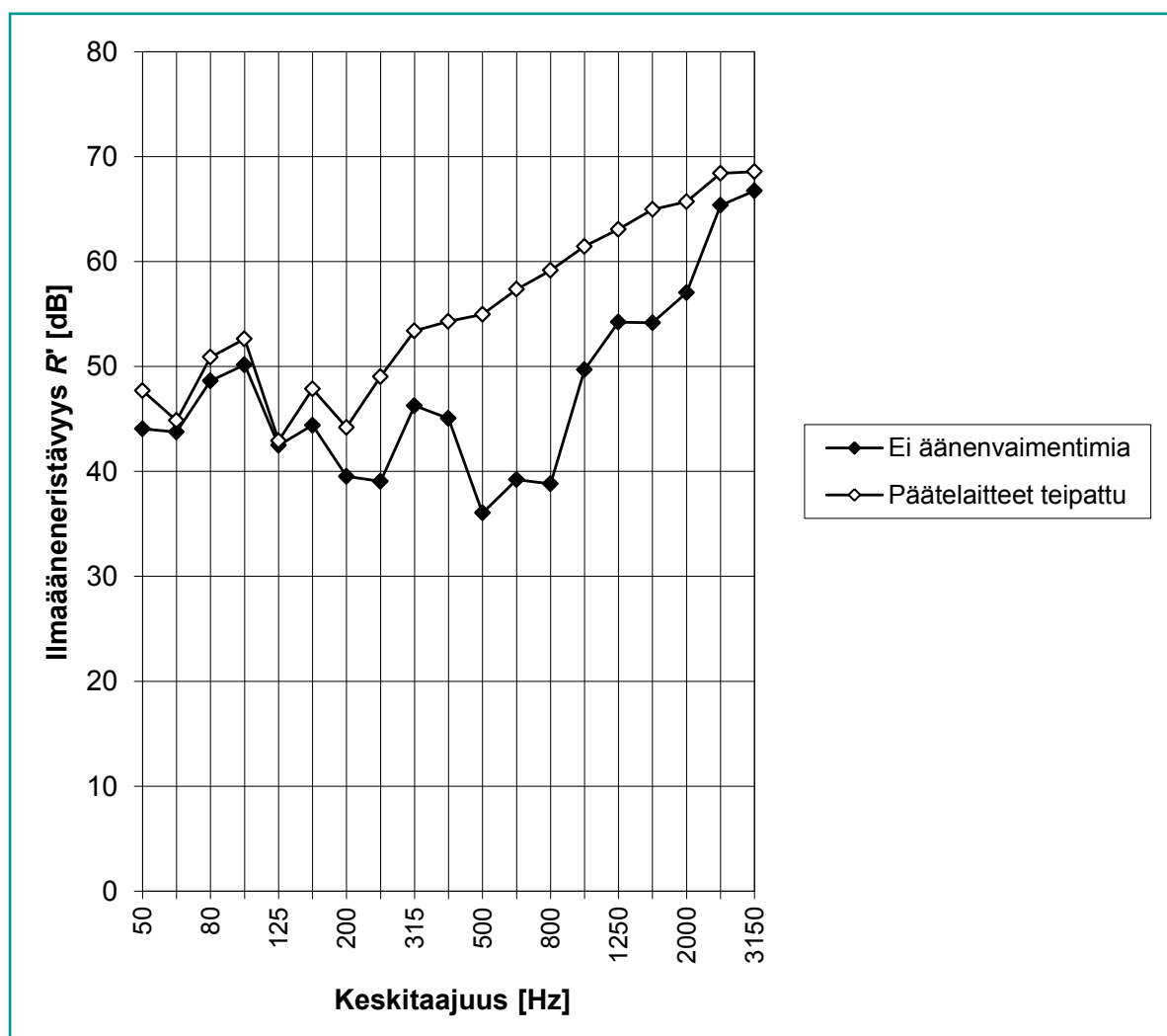
Jos samassa kanavassa on useita venttiileitä, kukin venttiili katsotaan aina yhdeksi kanavaksi, ja kanavien ääneneristys mitoitetaan täyttämään edellä luetellut vaatimukset. Erilaisten rakennusten suunnittelussa lähtökohtana tulee olla se, että tiloja erottavia ilmanvaihtokanavia ei voida toteuttaa ilman äänenvaimentimia, kun ilmaääneneristyslukuksi tilojen



Kuva 5.1. Paikalla valetut välipohjat ja yläpohja, riittävän paksut ulkovaipan betoniset sisäseinät ja paikalla muurattava julkisivu sekä tasokkaat ikkunat on tehokkain mahdollinen rakenneratkaisu pyrittäessä mahdollisimman hyvään rakennuksen ääneneristävyteen sekä rakennuksen sisäistä että ulkoista melua ajatellen.

välillä vaaditaan 40 dB tai enemmän (kuva 5.2). Ilmanvaihtokanavien ääneneristys on siten suunniteltava useimmissa muissakin rakennustyypeissä asuinrakennusten lisäksi.

Oppaassa RIL 243-1 [29] on esitetty menetelmä ilmanvaihtokanavien ääneneristyksen suunnittelemiseksi. Menetelmä perustuu siihen, että kulkiessa kanavistossa tapahtuu vaimenemista. Esimerkiksi ääni vaimenee siirtyessään huonetilasta päätelaitteen kautta kanavaan. Kanavan ääneneristävyys muodostuu lisäksi äänitason jakautumisesta kanavan haaroissa syntyvästä vaimennuksesta, huoneita yhdistävässä kanavassa huoneiden välillä olevien äänenvaimentimien vaimennuksesta ja päätelaitteiden vaimennuksesta. Lisäksi vaimennusta syntyy kanavien mutkista sekä kanavan pituusyksikköä kohti. Ilmaääneneristävyys kanavien kautta voidaan laskea taajuuskaistoittain ja lopuksi määrittää vertailukäyrämenettelyllä ilmaääneneristysluku.



Kuva 5.2. Asuinkerrostalossa on yhteiskanavajärjestelmä, jossa ei ole äänenvaimentimia huoneistojen välillä. Ilmaääneneristysluvun asuinhuoneistojen välillä tulisi Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaan olla vähintään 55 dB. Päällekkäisten makuuhuoneiden välillä ilmaääneneristyslukuksi mitattiin 46 dB. Kun kanavien päätelaitteet teipattiin umpeen, ilmaääneneristysluku parani arvoon 59 dB. Ääneneristyksen parantamiseksi kanaviin oli asennettava 1000 mm pitkät äänenvaimentimet.

6. Rakenne-esimerkkejä

Paikalla valetuista betonirakenteista ja muuratuista rakenteista voidaan tehdä ääniolosuhteiltaan säädöstasoista parempi asuin-kerrostalo. Tässä luvussa esitetyt rakennetyypit ja liitokset ovat suuntaa antavia. Luokkaa C paremman asuinrakennuksen suunnittelussa on rakenneratkaisut aina tarkistutettava akustiikan asiantuntijalla.



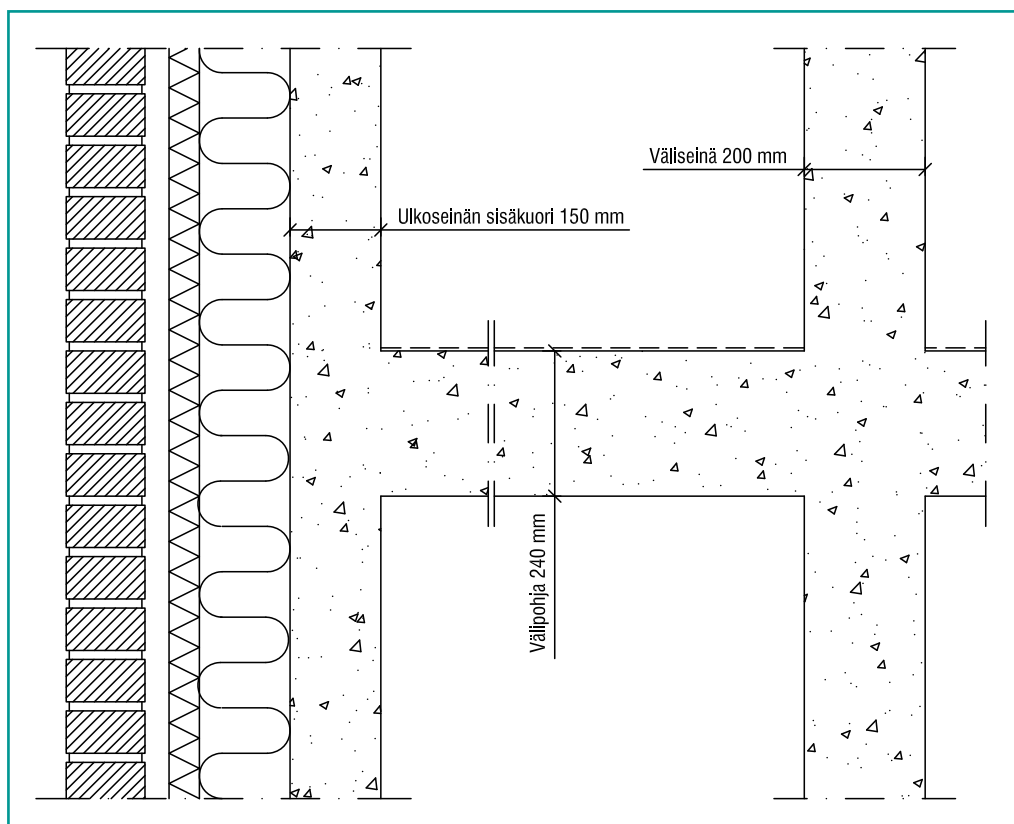
6.1 Luokan C asuinkerrostalo

Taulukko 6.1. Akustiset vaatimukset luokassa C standardin SFS 5907 mukaan [38].

Vaatus	Arvo
Ilmääneneristysluku asuinhuoneistojen välillä R'_w	≥ 55 dB
Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ mitattuna asuinhuoneistosta toiseen	≤ 53 dB
Keskiäänitaso asuinhuoneessa $L_{A,eq}$	≤ 28 dB
Enimmäisäänitaso asuinhuoneessa $L_{A,max}$	≤ 33 dB

Taulukko 6.2. Perusratkaisut luokan C asuinkerrostalossa.

Rakennusosa	Ominaisuus
Kantava välipohja	Paikalla valettu betonilaatta 240 mm
Kantava väliseinä	Paikalla valettu betoniseinä 200 mm
Ulkoseinän sisäkuori	Paikalla valettu betonikuori, paksuus ≥ 150 mm
Lattianpäällyste	Askelääneneristykseen parannusluku $\Delta L_w \geq 18$ dB
Viemärijärjestelmä	Betonielementtihormeihin perustuva järjestelmä



Kuva 6.1. Periaatepiirrokset luokan C asuinkerrostalon välipohjan liitoksista väliseinään ja ulkoseinään.

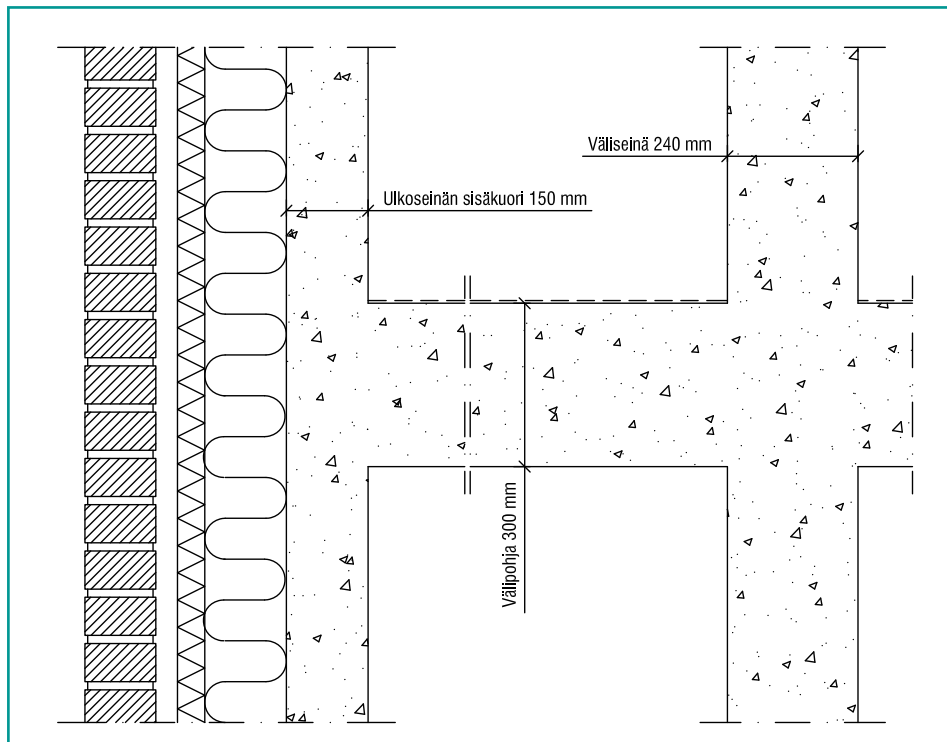
6.2 Luokan B asuinkerrostalo

Taulukko 6.3. Akustiset vaatimukset luokassa B standardin SFS 5907 mukaan [38].

Vaatus	Arvo
Ilmääneneristysluku asuinhuoneistojen välillä $R'_{w}+C_{50-3150}$	≥ 58 dB
Askeläänitasoluku $L'_{n,w}+C_{1,50-2500}$ mitattuna asuinhuoneistosta toiseen	≤ 49 dB
Keskiäänitaso asuinhuoneessa $L_{A,eq}$	≤ 24 dB
Enimmäisäänitaso asuinhuoneessa $L_{A,max}$	≤ 29 dB

Taulukko 6.4. Perusratkaisut luokan B asuinkerrostalossa.

Rakennusosa	Ominaisuus
Välipohja	Paikalla valettu betonilaatta 300 mm
Väliseinä	Paikalla valettu betoniseinä 240 mm
Ulkoseinän sisäkuori	Paikalla valettu betonikuori, paksuus ≥ 150 mm
Lattianpäällyste	Askelääneneristysten parannusluku $\Delta L_w \geq 18$ dB
Viemärijärjestelmä	Betonirungosta tärinäneristetyin kannakkein irrotettu



Kuva 6.2. Periaatepiirroksiset luokan B asuinkerrostalon välipohjan liitoksista väliseinään ja ulkoseinään.

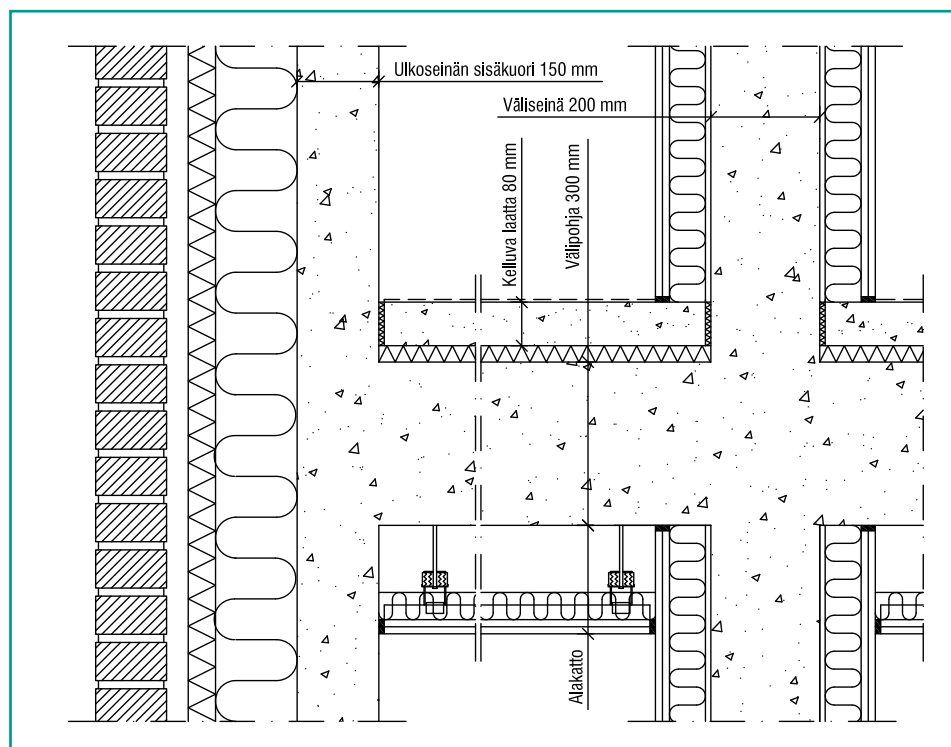
6.3 Luokan A asuinkerrostalo

Taulukko 6.5. Akustiset vaatimukset luokassa A standardin SFS 5907 mukaan [38].

Vaatus	Arvo
Ilmääneneristysluku asuinhuoneistojen välillä $R'_w + C_{50-3150}$	≥ 63 dB
Askeläänitasoluku $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ mitattuna asuinhuoneistosta toiseen	≤ 43 dB
Keskiaäänitaso asuinhuoneessa $L_{A,eq}$	≤ 24 dB
Enimmäisäänitaso asuinhuoneessa $L_{A,max}$	≤ 29 dB

Taulukko 6.6. Perusratkaisut luokan A asuinkerrostalossa.

Rakennusosa	Ominaisuus
Välipohja	Paikalla valettu betonilaatta 300 mm
Väliseinä	Paikalla valettu seinä 200 mm, levyverhoukset molemmin puolin (2 x kipsilevy 13 mm, peltiranka ja villa 66 mm, ilmaväli 10 mm)
Ulkoseinän sisäkuori	Paikalla valettu betonikuori, paksuus ≥ 150 mm
Lattianpäällyste	Kelluva betonilaatta 80 mm, eristekerros (dynaaminen jäykkyys $s' \leq 10$ MN/m ³)
Alakatto	Tärinäneristimin kannatettu levyrakenteinen alakatto
Viemärijärjestelmä	Betonirungosta tärinäneristetyin kannakkein irrotettu



Kuva 6.3. Periaatepiirrokset luokan A asuinkerrostalon välipohjan liitoksista väliseinään ja ulkoseinään.

Liite


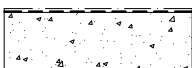
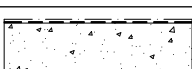
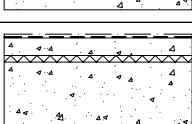
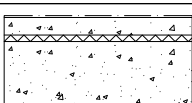

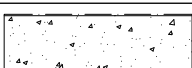
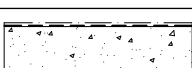
Kivirakennusten eri rakenneosien ääneneristysarvoja

Taulukoissa esitettävät ääneneristysarvot koskevat rakennetyyppejä yksittäisenä rakennusosana. Rakentamismääräyskokoelman osan C1 vaatimukset koskevat rakennuksessa asuinhuoneistojen välille saavutettavaa ääneneristävyttä. Rakennetyyppejä valittaessa on siksi otettava aina huomioon äänen sivutiesiirtymä. Taulukossa esitettäviä arvoja voidaan kuitenkin käyttää lähtötietoina mitoitettaessa huoneistojen välistä ääneneristävyttä.

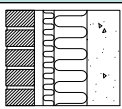
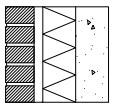
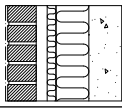
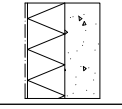
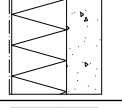
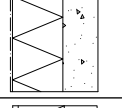
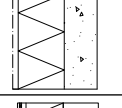
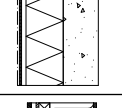
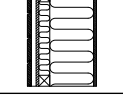
Väliseinät

	Ominaisuus	Ilmaääneneristysluku R_w
	Betoni 200 mm	61 dB
	Betoni 240 mm	65 dB
	Tiili 85 mm, ilmaväli 90 mm, jossa mineraalivilla 75 mm, tiili 85 mm	69 dB
	Tiili 130 mm, ilmaväli 50 mm, jossa mineraalivilla 30 mm, tiili 130 mm	70 dB

Välipohjat

	Ominaisuus	Ilmaääneneristysluku R_w	Askeläänitasoluku $L_{n,w}$
	Lautaparketti 14 mm, joustava alusmateriaali Tuplex 3 mm, betoni 240 mm	65 dB	49 dB
	Lautaparketti 14 mm, joustava alusmateriaali Tuplex 3 mm, betoni 270 mm	67 dB	47 dB
	Lautaparketti 14 mm, joustava alusmateriaali Tuplex 3 mm, betoni 300 mm	68 dB	45 dB
	Lautaparketti 14 mm, joustava alusmateriaali Tuplex 3 mm, betoni 80 mm, joustava eristekerros 30 mm (dynaaminen jäykkyys $s' = 8 \text{ MN/m}^3$)	75 dB	34 dB
	Keraaminen laatta, betoni 80 mm, joustava eristekerros 30 mm (dynaaminen jäykkyys $s' = 8 \text{ MN/m}^3$)	75 dB	40 dB
	Muovimatto (askelääneneristävyden parannusluku $\Delta L_w = 18 \text{ dB}$), betoni 240 mm	65 dB	48 dB
	Muovimatto (askelääneneristävyden parannusluku $\Delta L_w = 18 \text{ dB}$), betoni 270 mm	67 dB	46 dB
	Muovimatto (askelääneneristävyden parannusluku $\Delta L_w = 18 \text{ dB}$), betoni 300 mm	68 dB	44 dB

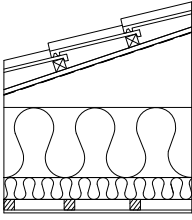
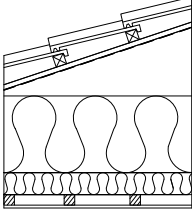
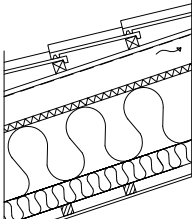
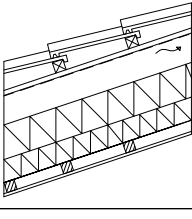
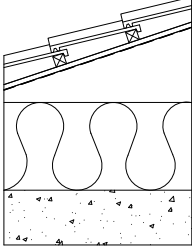
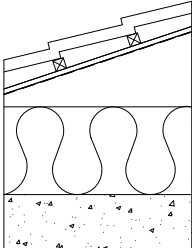
Ulkoseinät, kerrostalot

	Rakenne	$R_w + C$	$R_w + C_{tr}$
	Tiili NRT 130, ilmarako 40 mm, tuulensuojavilla 50 mm, lämmöneristysvilla 150 mm, betoni 150 mm	69 dB	65 dB
	Tiili NRT 130, ilmarako 40 mm, polyuretaani SPU-AL 150 mm, betoni 150 mm	66 dB	60 dB
	Rappaus 6–12 mm, tiili NRT 130 mm, ilmarako 40 mm, tuulensuojavilla 40 mm, lämmöneristysvilla 150 mm, betoni 150 mm	69 dB	65 dB
	Julkisivurappaus 6 mm, EPS-eriste 170 mm, betoni 160 mm	49 dB	45 dB
	Julkisivurappaus 6 mm, EPS-eriste 250 mm, betoni 160 mm	50 dB	45 dB
	Julkisivurappaus 9 mm, jäykkä mineraalivilla 230 mm ($s' = 10 \text{ MN/m}^3$), betoni 160 mm	44 dB	39 dB
	Julkisivurappaus 25 mm, jäykkä mineraalivilla 210 mm ($s' = 60 \text{ MN/m}^3$), betoni 150 mm	49 dB	44 dB
	Julkisivurappaus 6 mm, sementtirakennuslevy 4 mm, EPS-eriste 170 mm, betoni 160 mm	49 dB	44 dB
	Verhouslauta 22 mm, ilmarako ja koolaus 22 mm, kuitulevy 12 mm, vaakakoolaus 50 mm ja mineraalivilla, pystyrunko 200 mm ja mineraalivilla, kipsilevy N 13 mm	46 dB	43 dB

Ulkoseinät, pientalot

	Rakenne	$R_w + C$	$R_w + C_{tr}$
	Tiili MRT 85 mm, ilmarako 30 mm, tuulensuojavilla 30 mm, lämmöneristysvilla 175 mm, runkotiili 130 mm	60 dB	55 dB
	Tiili MRT 85 mm, ilmarako 30 mm, tuulensuojavilla 30 mm, lämmöneristysvilla 250 mm, runkotiili 130 mm	62 dB	58 dB
	Tiili MRT 85 mm, kuitulevy 12 mm, vaakakoolaus 50 mm ja mineraalivilla, pystyrunko 200 mm ja mineraalivilla, kipsilevy N 13 mm	58 dB	54 dB

Yläpohjarakenteet

	Rakenne	$R_w + C$	$R_w + C_{tr}$
	Kattotiili, korkokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila, lämmöneristevilla 420 mm, höyrinsulku, koolaus 50 mm k300, kipsilevy N 13 mm	56 dB	49 dB
	Kattotiili, korkokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila, lämmöneristevilla 450 mm, höyrinsulku, koolaus 50 mm k300, kipsilevy N 13 mm	56 dB	49 dB
	Kattotiili, korkokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila 100 mm, tuulensuojavilla 30 mm, lämmöneristevilla 400 mm, höyrinsulku, koolaus 50 mm k300, kipsilevy N 13 mm	55 dB	48 dB
	Kattotiili, korkokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila 100 mm, polyuretaani 150+100 mm, vesikaton kantava rakenne ≥ 200 mm, koolaus 50 mm k300, kipsilevy N 13 mm	42 dB	39 dB
	Kattotiili, korokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila, puhallusvilla 400 mm, betonilaatta 250 mm	65 dB	57 dB
	Peltikate, korokerimat, aluskate, kattoristikot, tuuletettu ilmatila, puhallusvilla 400 mm, betonilaatta 250 mm	62 dB	55 dB

Lähteet

- [1] Ampuja, O. 2007. Melun sieto kaupunkielämän välttämättömyytenä: melu ympäristöongelmana ja sen synnyttämien reaktioiden kulttuurinen käsittely Helsingissä. Helsinki, Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Bibliotheca Historica 110.
- [2] Asemakaavamerkinnät ja -määräykset. 2003. Helsinki, ympäristöministeriö, opas 12.
- [3] Asuinrakennusten ääniteknikan täydentävä suunnitteluohje. Helsinki, Rakennusteollisuus RT ja Betonikeskus ry. 144 s.
- [4] Asumisterveysohje. 2003. Helsinki, sosiaali- ja terveysministeriö.
- [5] EN 12354-1. 2000. Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of building elements – Part 1: Airborne sound insulation between rooms. Brussels, European Committee for Standardization.
- [6] EN 12354-2. 2000. Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of building elements – Part 2: Impact sound insulation between rooms. Brussels, European Committee for Standardization.
- [7] Hietala, J. 2001. Kelluvan betonilaatan kaareutuminen. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, talonrakennustekniikan laboratorio, tutkimusraportti 108.
- [8] Hirvonen, M., Hongisto, V., Kylliäinen, M. & Lehtonen, K. 2005. Standardi SFS 5907 rakennusten akustisesta luokituksesta. Akustiikkapäivät 2005. Kuopio, 26.–27.9., Akustinen Seura ry, s. 111–116.
- [9] Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2008. RIL 243-3-2008, Rakennusten akustinen suunnittelu: toimitot. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 96 s.
- [10] 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.
- [11] ISO 140-4. 1998. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation of building elements. Genève, International Organization for Standardization.
- [12] 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.
- [13] ISO 140-7. 1998. Acoustics – Measurement of sound insulation of buildings and of building elements – Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors. Genève, International Organization for Standardization.
- [14] ISO 717-1. 1996. Acoustics – rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Genève, International Organization for Standardization.
- [15] ISO 717-2. 1996. Acoustics – rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Impact sound insulation. Genève, International Organization for Standardization.
- [16] Kristensen, J. & Rindel, H. 1989. Byggningsakustik – teori og praksis. Glostrup, Statens Byggeforskningsinstitut, SBI-anvisning 166.
- [17] Kylliäinen, M. 2003. Uncertainty of impact sound insulation measurements in field. Tampere, Tampere University of Technology, Laboratory of Structural Engineering, Research Report 125.
- [18] Kylliäinen, M. 2003. Spektrisovitustermien käyttö välipohjien askelääneneristyksen arvioinnissa. Akustiikkapäivät 2003. Turku, 6.–7.10., Akustinen Seura ry, s. 23–28.
- [19] Kylliäinen, M. 2004. Uncertainty of single-number quantities in field measurements of impact sound insulation. Proceedings of the 33rd International Congress on Noise Control Engineering Internoise 2004. Prague, August 22–25, paper no. 85.
- [20] Kylliäinen, M. 2005. Standard deviations in field measurements of impact sound insulation at enlarged frequency range from 50 to 3150 Hz. Proceedings of an International-Ince Symposium “Managing Uncertainties in Noise Measurements and Prediction”. Le Mans, June 27–29, paper no. 43.

- [21] Kylliäinen, M. 2005. Rakennuksen ulkokuoren rakennusosilta vaadittava ääneneristävyys. *Akustiikkapäivät 2005*. Kuopio, 26.–27.9., Akustinen Seura ry, s. 78–83.
- [22] Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennetekniikan laitos, tutkimusraportti 137.
- [23] Kylliäinen, M. 2007. Mittaustarkkuuden merkitys askelääneneristävyyden arvioinnissa taa-juusalueella 50–100 Hz. *Rakennusfysiikka 2007*. Tampere, 18.–19.10., Tampereen teknillisen yliopiston rakennetekniikan laitos ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, s. 305–314.
- [24] Kylliäinen, M. 2008. Askelääneneristyksen mittausten ongelmien tausta. *Rakenteiden Mekaniikka*. Vol. 41, nro 1, s. 58–65.
- [25] Kylliäinen, M. 2008. Rakennuksen ulkovaipan ääneneristyksen suunnittelu. *Rakentajan Kalendareri 2009*, s. 382–393.
- [26] Kylliäinen, M. 2009. Kansainväliset yhteydet vuoden 1967 ääneneristysnormien muotoutumisessa. *Tekniikan Waiheita*. Nro 3, s. 29–47.
- [27] Kylliäinen, M. 2009. Miksi sama rakenne antaa eri tuloksen, kun tilavuus muuttuu? *Betoni*. Nro 3, s. 35–36.
- [28] Kylliäinen, M. & Helimäki, H. 2002. Effects of new sound insulation requirements on concrete floors in Finland. *Joint Baltic-Nordic Acoustical Meeting*. Copenhagen, August 25–28. In: *Ultragarsas*. Nr. 2 (2003), p. 16–20. Kaunas, Kaunas University of Technology.
- [29] Kylliäinen, M. & Hongisto, V. 2007. RIL 243-1-2007, Rakennusten akustinen suunnittelu: akustiikan perusteet. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 224 s.
- [30] Kylliäinen, M. & Hongisto, V. 2008. Mittausmenetelmä rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskevan asemakaavamääräyksen toteutumisen valvomiseksi. *Rakenteiden Mekaniikka*. Vol. 41, nro 1, s. 37–43.
- [31] Kylliäinen, M., Hongisto, V. & Helimäki, H. 2007. RIL 243-2-2007, Rakennusten akustinen suunnittelu: oppilaitokset, auditoriot, liikuntatilat ja kirjastot. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 79 s.
- [32] Kylliäinen, M. & Keronen, A. 1999. Lisärakentamisen rakennetekniset mahdollisuudet lähiöiden asuinrakennustaloissa. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, talonrakennustekniikan laboratorio, julkaisu 97.
- [33] Kylliäinen, M. & Mikkilä, A. 2009. Rakennusosien ilmaääneneristävyyksien mallintaminen rakentamisessa ja tuotekehityksessä. *Rakennusfysiikka 2009*. Tampere, 27.–29.10., Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitos ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, s. 269–278.
- [34] Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen. 2003. Helsinki, ympäristöministeriö, ympäristöopas 108.
- [35] Rauhala, J. & Kylliäinen, M. 2009. Eristerapatun betoniseinän ilmaääneneristävyys. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos, rakennetekniikan tutkimusraportti 142.
- [36] RIL 129-2003, Ääneneristyksen toteuttaminen. 2003. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- [37] RT 084.30 Ikkuna, ääneneristävyys. 1975. Rakennustietotähti.
- [38] SFS 5907 Rakennusten akustinen luokitus. 2004. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [39] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. 1998. Helsinki, ympäristöministeriö.
- [40] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto – Määräykset ja ohjeet. 2003. Helsinki, ympäristöministeriö.
- [41] Suositus ääneneristävyyden mittaamisesta. Rakennustarkastusyhdistys ry 24.4.2009. Luettavissa: <http://www.rakennustarkastusyhdistysry.fi/uutiset.html?58>.
- [42] Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista.
- [43] Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Valovirta, I., Mikkilä, A. & Jokisalo, J. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiyys. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, talonrakennustekniikan laboratorio, tutkimusraportti 131.