

Asuinrakennusten äänitekniiikan täydentävä suunnitteluohje



syyskuu 2009

Esipuhe

Tässä ohjeessa esitetään uusimmat asuinrakennusten äänitekniset kannanotot ja täydennetään vuonna 2000 julkaistua Rakennustuoteteollisuus RTT:n ohjetta Betonirakenteiden äänitekniikka.

Ohjeen on koontanut Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy, josta työstä ovat vastanneet Heikki Helimäki ja Timo Huhtala. Ohjeen laadinnassa on käytetty myös Jussi Rauhalan julkisivujen ääneneristykseen liittynyttä diplomityötä.

Rakenteet ja detaljit on laatinut Pekka Länsimies Insinööritoimisto Ylimäki & Tinkanen Oy:stä. Ohjeen taustana toimivan VTT:n lausunnon on koontanut Pekka Sipari.

Ohjeen laadintaprojektia on ohjannut seuraava Rakennusteollisuus RT:n työryhmä:

Arto Suikka	Betonikeskus ry	puh.joht.
Kari Mikonsaari	NCC Rakennus Oy	
Matias Seini	NCC Rakennus Oy	
Jaakko Lepistö	SATO- Rakennuttajat Oy	
Jorma Rantanen	SATO- Rakennuttajat Oy	
Kurt Johansson	VVO Rakennuttaja	
Kimmo Karppinen	VVO Rakennuttaja	
Matti- Pekka Koistinen	VVO Rakennuttaja	
Raimo Seppänen	YIT Rakennus Oy	
Antti Inkilä	YIT Rakennus Oy	
Sami Heinonen	YIT Rakennus Oy	
Heikki Sarin	Parma Oy	
Janne Alakomi	Rakennus Oy Hartela	
Pasi Först	Peab Seicon Oy	

Projektikokouksissa on kuultu asiantuntijoina myös Valterti Hongistoa Turun Aluetyöterveyslaitokselta sekä Kalle Lehtosta Promethor Oy:stä.

Ohjeen laadinnan ovat rahoittaneet RTK- rahasto, Betonikeskus ry ja mukana olleet yritykset.

Rakennusteollisuus RT
Betonikeskus ry

Sisällysluettelo

Johdanto	4
1. Betonirakenteiden akustinen toiminta	6
1.1 Ilmaääneneristävyys.....	6
1.1.1 Määräykset, mittaukset ja tunnusluvut.....	7
1.1.2 Sivutiesiirtymä.....	13
1.1.2.1 Massiiviset kiviaineksiset rakenteet.....	14
1.1.2.2 Kevyet rakenteet.....	16
1.1.2.3 Sivutiesiirtymän laskentamalli.....	17
1.1.3 Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyys	20
1.1.4 Yhteenveto ilmaääneneristävyydestä	23
1.2 Askelääneneristävyys	24
1.2.1 Mittaukset, määräykset ja tunnusluvut.....	24
1.2.2 Spektripainotustermit	28
1.2.3 Askelääneneristävyyden parannusluku ja parannusvaikutus	29
1.2.4 Askeläänitasolukujen laskenta	30
1.2.5 Lattiapäällysteen liitokset muihin rakenteisiin	35
1.2.6 Yhteenveto askelääneneristävyydestä	36
1.3 Värähtelyt.....	37
1.3.1 Laitteiden värähtely.....	37
1.3.2 Maaperästä asuntoihin siirtyvä värähtely	38
1.4 Ihmisten kokema äänitaso	45
1.5 Vertailumittaukset	48
1.6 Ääneneristävyysmääräykset Euroopassa	51
1.6.1 Viimeisimmät muutokset vaatimuksissa ja asukkaiden kokemukset	53
1.7 Viimeaikaiset lausunnot sekä kannanotot Suomessa.....	54
1.7.1 Suositusten mukainen tulosten laskenta.....	55
2. Rakennesarjelmät	57
2.1 Rivitalot	59
2.2 Kerrostalot	68
2.3 Kerroskattorarakenteet	73
2.4 Asunnon sisäiset portaat.....	73
2.5 Ulkoseinien huomioiminen rakennekokonaisuuksissa	73
2.5.1 Ulkoseinien käsittely sivutiesiirtymän laskennassa	73
2.5.2 Ulkoseinien ääneneristävyys uudisrakennuksissa	74
2.5.3 Ulkoseinien ääneneristävyys korjauskohteissa.....	75
2.5.4 Esimerkki ulkovaipan ääneneristysmitoituksesta liikennemelualueella	75
Lähdeluettelo	79

Liite 1. Seinä- ja alapohjarakenteet

Liite 2. Välipohjien äänitekniset rakennekortit

Liite 3. Liitosdetaljit

Liite 4. Leikkaukset

Johdanto

Suunnitteluohje on tehty täydentämään ja tarkentamaan RTT:n julkaisua ”Betonirakenteiden ääniteknikka” vuodelta 2000. Aikaisempi julkaisu kirjoitettiin äänieristysmääräysten kiristämisen yhteydessä. Tämä suunnitteluohje rajoittuu asuinrakennuksiin ja perustuu edelleen samaan määräykseen (RakMK-1998, osa C1) mutta huomioi viimeaikaiset muutokset rakentamistavoissa ja arkkitehtuurissa sekä niiden vaikutukset rakenteiden akustiikkaan. Lisäksi tässä ohjeessa huomioidaan Rakennustarkastusyhdistyksen 24.4.2009 hyväksymä suositus vastaanottohuoneen tilavuuden rajoituksesta tulosten tarkastelun yhteydessä enintään 60m³:oon.

Nykyisin asunnoissa on yhä suurempia yhtenäisiä huonetiloja (esim. yhdistetty olohuone-, keittiö- ja ruokailutila), jolloin yhtenäisten tilojen tilavuudet ovat kasvaneet. Julkisivuihin halutaan yhtenäisiä tasaisia pintoja, jolloin on siirrytty käyttämään rapattuja tai betonijulkisivuja. Muun muassa näiden seikkojen vaikutuksesta on viime aikoina havaittu käytännössä, etteivät vuonna 2000 esitetyt ratkaisut kaikissa tapauksissa täytä määräysten tasoa.

Määräystason alituksia ääneneristävydessä on havaittu pystysuunnassa askeläänessä ja vaakasuunnassa ilmaäänessä tiloissa, joiden tilavuus on yli 60 m³ (lattiapinta-ala yli 22 m²). Tutkimuksissa on havaittu, että alitukset johtuvat osittain laskennallisista ja osittain rakenteellisista syistä.

Määritettäessä ääneneristävyttä mittaustuloksista, on havaittu, että suuret huoneen tilavuudet heikentävät merkittävästi laskennallisesti mittaustuloksista saatavaa ilmaääneneristyslukua tai askeläänitasolukua. Tämän korjaamiseksi tässä ohjeessa esitetään, että laskelmissa tilavuus muuttujana rajoitetaan, jotta tulokset korreloivat paremmin ihmisten havaintoihin.

Lisäksi on todettu, että joltain osin rakenteita pitää muuttaa, jotta akustiset ominaisuudet paranevat. Tässä ohjeessa, rakennekorteissa ja liitosdetaljeissa on esitetty ratkaisut, joilla isojen yhtenäisten tilojen kohdalla päästään määräysten mukaiselle tasolle. Suurinta osaa esitetyistä rakenteista ei kuitenkaan käytännössä voida kohdentaa koskemaan vain tiettyjä huonetiloja, jolloin lopulta ääneneristävyden kannalta kriittisimmät tilat määrittävät koko rakennuksessa käytettävät rakennetyypit.

Suunnitteluohjeen sisällössä on huomioitu Jussi Rauhalan DI-työn ”Eristerapatun betonielementtiulkoseinän ilmaääneneristävyys” tulokset, asuinkerrostaloissa tehdyt laajat ilma- ja askelääneneristysmittausten tulokset sekä lattiamateriaalien laaja vertailumittaus. Tutkimukset vahvistivat oletuksen ohuiden betonisten sisäkuorien ääneneristävyttä heikentävästä vaikutuksesta ja laskennallisesti

havaitun, mutta käytännössä toteamatta jääneen asuinkerrostalojen vaakasuuntaisen ääneneristävyysongelman. Lattiamateriaalivertailulla saatiin uutta tietoa lautaparketin ja laminaattilattian välisistä eroista, sekä havaittiin, että lattiamateriaalien laboratoriomittauksien tulokset eivät korreloi riittävästi kentällä saatavien tulosten kanssa.

Tämä ohje on voimassa toistaiseksi.

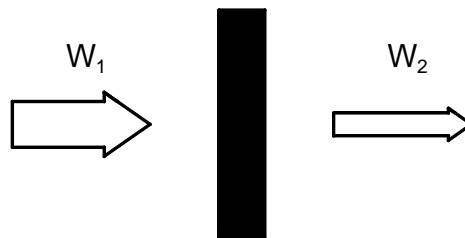
Tämän suunnitteluohjeen alussa (osa 1) esitetään oleelliset lisätiedot betonirakenteiden akustisten ominaisuuksien osalta ja esitellään ääneneristävyydsmääräykset Euroopassa sekä viimeaikaisimmat kannanotot Suomessa.

Osassa 2 käsitellään sekä kerros- että rivitalojen suositellut rakenteet sekä niistä muodostettavien rakennekokonaisuuksien äänitekniinen toiminta.

Osassa 3 esitetään päivitetetyt äänitekniset rakennekortit sekä liitosratkaisut.

1. Betonirakenteiden akustinen toiminta

1.1 Ilmaääneneristävyys



Kuva 1.1. Ilmaääneneristävyys määritellään rakenteeseen kohdistuvan ja rakenteen kautta menevän äänitehon suhteena.

Rakenteen ilmaääneneristävydeksi R määritellään siihen kohdistuneen äänitehon W_1 ja rakenteen läpi toiselle puolelle välittyneen äänitehon W_2 suhteen avulla

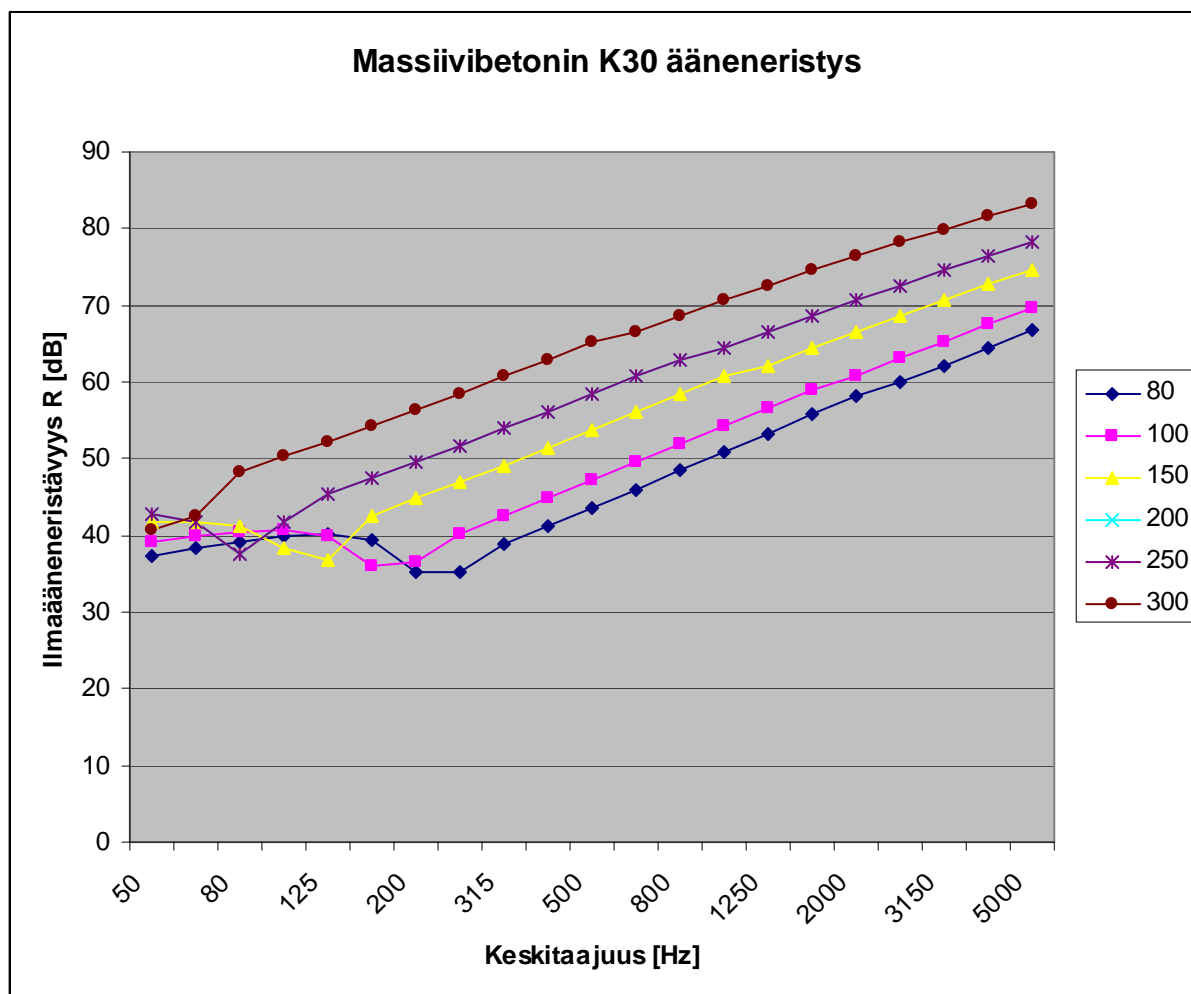
$$R = -10 \lg \frac{W_2}{W_1} [dB] \quad (1.1)$$

Kaavan 1.1 mukaan ääneneristävyys R on 10 dB, kun äänitehosuhde W_2/W_1 on 0,1 ja 60 dB, kun suhde on 0,000001. Ääneneristävyys on siis sitä parempi, mitä suurempi lukuarvo ilmaääneneristävyysarvo R on.

Taulukko 1.1. Ilmaääneneristävyksiä eri äänitehon suhteilla.

R [dB]	W_2/W_1
10	0,1
20	0,01
30	0,001
40	0,0001
50	0,00001
60	0,000001

Betonirakenteen toimintaan vaikuttavat seuraavat ilmiöt: massalaki, koinsidenssin rajataajuus ja leikkausaaltoalueen rajataajuus. Kuvassa 1.2 on esitetty eri paksuisten betonilaattojen ääneneristävyksiä.



Kuva 1.2. Eri paksuisten betonirakenteiden ääneneristävyyksiä.

1.1.1 Määräykset, mittaukset ja tunnusluvut

Nykyisin Suomessa voimassa olevat asuinrakennusten ääneneristävyyttä koskevat määräykset on määritelty Rakentamismääräyskokoelman osassa C1 "Äänieristys ja meluntorjunta rakennuksessa" vuodelta 1998. Asuinrakennusten osalta säännökset koskevat rakentamista, johon on haettu lupaa 1. tammikuuta 2000 tai sen jälkeen.

Olellaisena vaatimuksen on, että "rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että melu, jolle rakennuksessa tai sen läheisyydessä ovat altistuvat, pysyy niin alhaisena, ettei se vaaranna näiden henkilöiden terveyttä ja että se antaa mahdollisuuden nukkua, levätä ja työskennellä riittävän hyvissä olosuhteissa. Olellainen vaatimus on täytettävä tavanomaisella kunnossapidolla rakennuskohteen koko taloudellisen käyttöajan ajan."

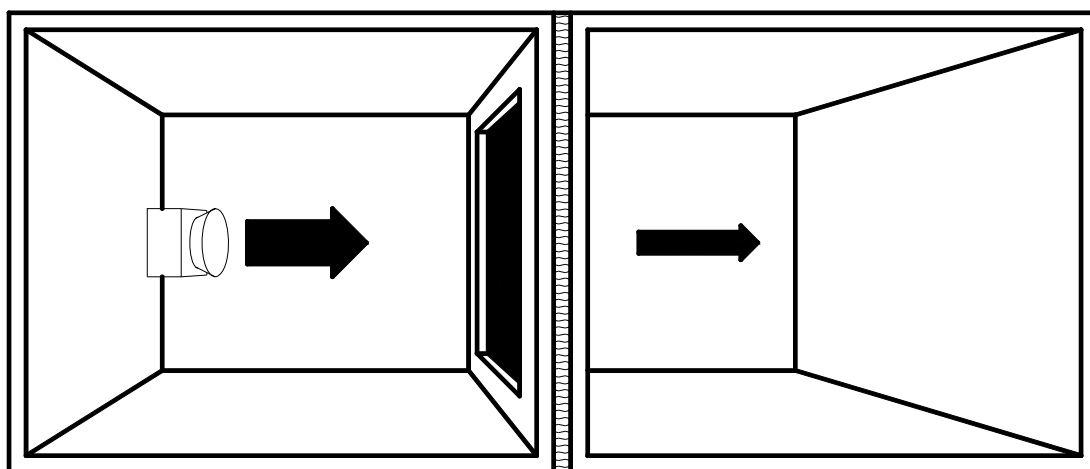
Taulukossa 1.2 on esitetty asuntojen välisen ilmaääneneristävyyden osalta kyseisessä julkaisussa esitetyt määräykset.

Taulukko 1.2. Rakentamismääräyskokoelman mukaiset määräykset asuinrakennusten ilmajääneristävyyden suhteen.

Pienimmät sallitut ilmajääneristysluvun R'_w (dB) arvot	
Asuinhuoneiston ja sitä ympäröivien tilojen välillä yleensä	55
Asuinhuoneiston ja toista asuinhuoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä, kun välissä on ovi	39

Jotta riittävän hyvät olosuhteet saavutetaan, tulee suunnittelussa ja rakentamisessa huomioida muut rakennuksen tai tilan ääniolosuhteisiin vaikuttavat tekijät, kuten melulähteen voimakkuus ja tilojen keskinäinen sijoittelu. Tästä seuraa, että rakennus- tai muussa vastaavassa luvassa voidaan asettaa ääneneristävyydelle tai muilla akustisille ominaisuuksille myös taulukon 1.2 arvoista poikkeavia arvoja.

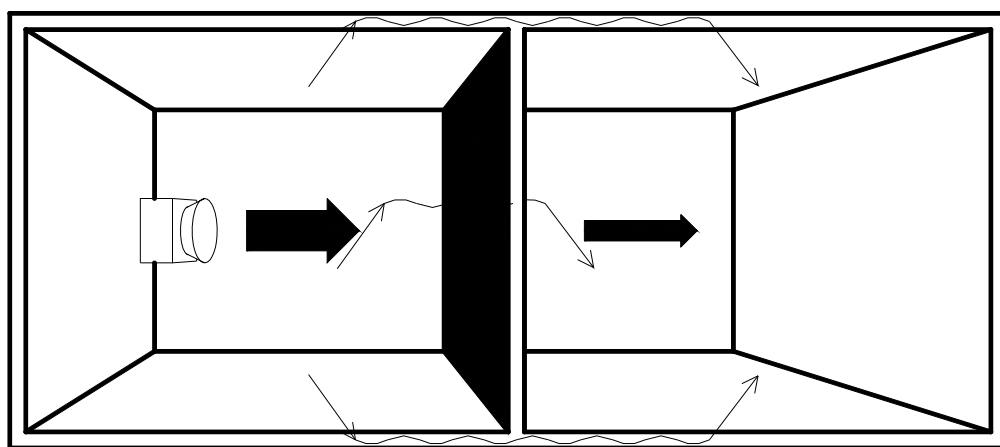
Rakenteen, esimerkiksi valmisosan kuten seinän tai ikkunan, ilmajääneristävyyttä voidaan mitata standardisoiduissa olosuhteissa laboratoriossa. Tuloksena saadaan rakenteen ilmajääneristävyyttä kuudellatoista tai tätäkin useammalla terssikaistalla. Ääneneristävyyttä koko taajuusalueella voidaan ilmaista yhdellä ainoalla luvulla määrittämällä saaduista taajuuskohtaisista mittaustuloksista ns. ilmajääneristysluku R_w kansainvälisen standardin ISO 717-1 mukaisesti. Samalle valmisosalle on standardin mukaan mahdollista määrittää myös muita yksilukusuureita ns. spektrisovitustermien avulla.



Kuva 1.3. Ilmajääneristävyyden mittaus laboratoriossa

Standardien vaatimukset täyttävän mittauslaboratorion tulee olla rakennettu niin, että ääni siirtyy vain testattavan rakenteen välityksellä ja mittaustulos edustaa siten ko. rakenteen ääneneristävyyttä. Valmiissa rakennuksessa huoneiden välinen ääneneristävyyttä mitataan periaatteessa samalla tavoin kuin laboratoriossa. Ääntä siirtyy rakennuksessa kuitenkin paitsi huoneiden välissä olevan mitattavaksi tarkoitettujen rakenteiden kautta myös sivuavia rakenteita ja mahdollisia reikiä, vesi- ja lämpöpatteriputkistoja sekä ilmanvaihtokanavia pitkin. Tästä syystä rakennuksessa ei voida määrittää yksittäisten rakennusosien ääneneristävyyttä.

Rakennuksessa saatu ääneneristävyyden mittaustulos ei siis ole tilojen välisen yksittäisen rakennusosan tai muun rakenteen (esim. väliseinä) ääneneristävyys, vaan rakennusosan ja kaikkien sivuavien rakenneosien ja muiden äänen sivutierteittien yhteisvaikutus. Kun ääneneristävyys tässäkin tapauksessa ilmoitetaan yksilukuisena standardin ISO 717-1 mukaisesti, ilmaääneneristysluvusta käytetään merkintää R'_w osoituksena siitä, että mittaus on tehty muissa kuin laboratorio-olosuhteissa. Rakennuksille annettavat ilmaääneneristysvaatimukset esitetään yleensä pelkästään siten, että vaatimus koskee mittaustulosta valmiissa rakennuksessa. Tästä syystä vaatimukset esitetään käyttäen merkintää R'_w .



Kuva 1.4. Ilmaääneneristävyyden mittaus rakennuksessa.

Tilojen välinen ilmaääneneristävyys rakennuksessa määritetään standardien ISO 140-4:1998 ja ISO 717-1:1996 mukaisesti. Standardien mukaisesti mittaus suoritetaan asettamalla lähetyshuoneeseen kaiutin, joka toistaa laajakaistaista mittaussignaalia voimakkaalla äänitasolla. Äänitaso mitataan sekä lähetyshuoneessa että vastaanottotilassa standardin ISO 140-4 mukaisesti. Mittauksessa käytetään kahta kaiuttimen paikkaa ja molemmin puolin yhteensä kymmentä mittauspistettä tai kiertyvää mikrofoniupumia. Mittaukset tehdään tavallisesti taajuusalueella 50-3150 Hz (vaikka standardin mukainen mittausalue on 100-3150 Hz).

Mitatuista äänenpainetasoista L_j [dB] lasketaan energiakeskiarvo kaavalla

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \quad (1.2)$$

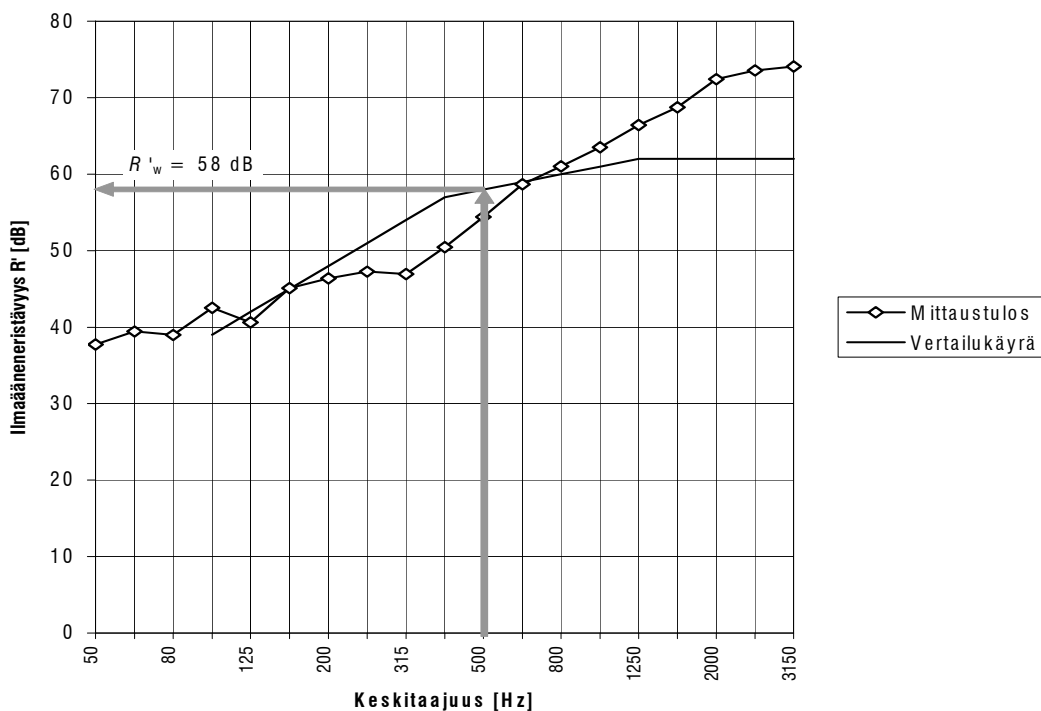
Tilan äänenpainetaso riippuu tilan absorptioalasta A [m^2], jonka selvittämiseksi mitataan vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika T [s] sekä tilavuus V [m^3]. Näiden avulla absorptioala voidaan määrittellä kaavalla

$$A = 0,16 \frac{V}{T} \quad (1.3)$$

Absorptioalan määrittämisen avulla erilaisissa tiloissa mitatut tulokset pyritään saamaan vertailukelpoisiksi. Määritettäessä ilmaääneneristävyyttä R' , äänenpainetasojen energiakeskiarvojen erotus normalisoidaan käyttämällä erottavan rakenteen pinta-alan S suhdetta vastaanottohuoneen absorptioalaan A . Tällöin ilmaääneneristävyys taajuuskaistoittain saadaan kaavalla

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A} \quad (1.4)$$

Taajuuskaistoittain mitattua ilmaääneneristävyyttä verrataan vertailukäyrään siten, että vertailukäyrää siirretään 1 dB:n portain sellaiseen asemaan, että taajuuskaistoittain mitattujen askeläänitasojen poikkeamien summa vertailukäyrän alapuolella on enintään 32,0 dB. Kun vertailukäyrä on saatu sijoitetuksi ylimpään mahdolliseen asemaan, ilmaääneneristysluku luetaan vertailukäyrältä 500 Hz:n kohdalta. Laboratoriossa mitatusta ilmaääneneristysluvusta käytetään merkintää R_w ja rakennuksessa mitatusta merkintää R'_w . Tilojen välinen ilmaääneneristävyys on sitä parempi, mitä suurempi ilmaääneneristysluku on.



Kuva 1.5. Ilmaääneneristysluvun R'_w määrittäminen taajuuskaistoittain mitatuista tuloksista.

Mikäli ilmaääneneristävyyttä mitataan tilojen välillä, joilla erottavan rakenteen pinta-ala S on alle 10m^2 , käytetään laskennassa pinta-alana suurempaa arvoista S tai

V/7,5. Mikäli tiloilla ei ole yhteistä erottavaa rakennetta, määritetään ilmaääneneristävyyden sijasta normalisoitu äänitasoero D_n kaavalla

$$D_n = L_1 - L_2 - 10 \log_{10} \frac{A}{A_0}, \quad (1.5)$$

jossa vertailuabsorptioala A_0 on 10m^2 .

Standardissa ISO 140-4 on esitetty myös mahdollisuus käyttää normalisointiin erottavan rakenteen pinta-alan ja tilavuuden sijasta myös jälkikaiunta-aikaa. Tällöin mittaustulos normalisoidaan vertaamalla mitattua jälkikaiunta-aikaa suoraan vertailujälkikaiunta-aikaan T_0 , joka on 0,5 sekuntia. Näin määritetty mittaustulos on standardisoitu äänitasoero D_{nT} ja se määritetään kaavalla

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} \quad (1.6)$$

Sekä normalisoitu äänitasoeroluku $D_{n,w}$ että standardoitu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ määritellään taajuuskaistaisista mittaustuloksista edellä kuvattua vertailukäyrämenetelmää käyttäen.

Suomessa nykyisin voimassa olevat määräykset koskevat ilmaääneneristyslukua R'_w . Nykyisin useissa Euroopan maissa on määräyksissä siirrytty käyttämään standardoitua äänitasoerolukua $D_{nT,w}$, koska monien tutkimuksien mukaan näin määritetty mittaustulos vastaa paremmin ihmisten kokemaa ilmaääneneristävyyttä [Apilo L., Nykänen H. ja Sipari P. 2008].

Kaavojen 1.4 ja 1.6 perusteella voidaan määrittää ilmaääneneristävyyden R' ja standardoidun äänitasoeron D_{nT} erotus

$$R' - D_{nT} = 10 \log_{10} \left(\frac{S}{0,32V} \right) \quad (1.7)$$

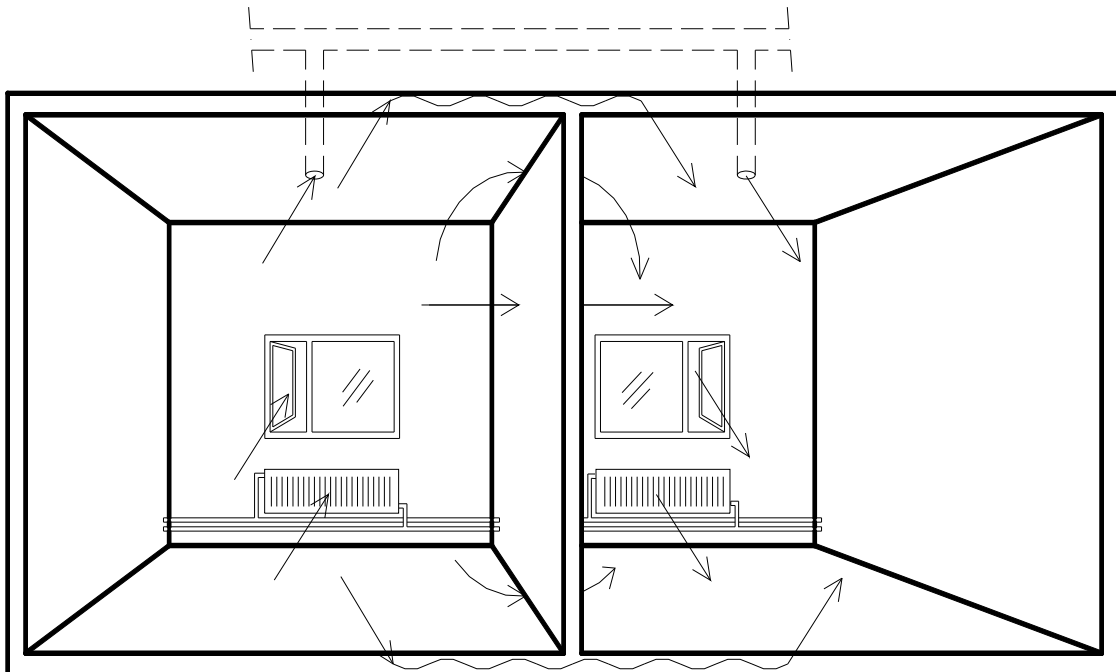
Näiden kahden suureen erotus on esitetty lisäksi kuvassa 1.6. Erotus on yhtä suuri taajuuskaistaisten arvojen sekä niistä vertailukäyrämenetelmällä saatavien yksiluku arvojen (ilmaääneneristysluku R'_w ja standardoitu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$) välillä. Koska kerrostaloissa samanmuotoisilla päällekkäisillä huonetiloilla S/V on noin 0,38 (oletuksella, että huonekorkeus on 2,6m), voidaan kuvan 1.6 perusteella päätellä, että ilmaääneneristysluku tuottaa noin 1 dB korkeamman arvon kyseisten tilojen välillä kuin standardoitu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$. Mikäli taas suhde S/V on 0,32, tuottavat molemmat suureet yhtä suuren lukuarvon.

Taulukko 1.3. Kuvan 1.7 tulokset taulukossa.

Ilmaääneneristysluku R'_w	Vastaanottohuoneen tilavuus $V=20...35m^3$	Vastaanottohuoneen tilavuus $V=35...70m^3$	Vastaanottohuoneen tilavuus $V=70...120m^3$
51 dB	0 kpl	0 kpl	2 kpl
52 dB	0 kpl	0 kpl	1 kpl
53 dB	0 kpl	0 kpl	10 kpl
54 dB	0 kpl	3 kpl	4 kpl
55dB	8 kpl	4 kpl	5 kpl
56dB	9 kpl	1 kpl	0 kpl
57 dB	8 kpl	0 kpl	0 kpl
58 dB	1 kpl	0 kpl	0 kpl
yhteensä	30	8	22

1.1.2 Sivutiesiirtymä

Rakennuksessa mitattu ilmaääneneristysluku R'_w on käytännössä aina alhaisempi kuin tiloja erottavan rakennusosan laboratorioarvo R_w , sillä ääni siirtyy rakennuksessa paitsi tiloja erottavan rakenteen kautta, myös muiden rakenteiden kautta sekä LVIS-järjestelmän kanavien, putkien ja johtojen sekä mahdollisten rakojen ja reikien kautta.



Kuva 1.8. Äänen siirtymäreittejä rakennuksessa.

Rakenteellisilla sivutiesiirtymillä tarkoitetaan sellaisia äänen kulkeutumisreittejä, joihin osallistuu ainakin yksi huoneita sivuava rakenne. Ilmaääneneristävyyttä rakennuksessa mitattaessa rakenteellista sivutiesiirtymää syntyy aina, koska tilassa toimiva äänilähde saa kaikki tilaa rajaavat pinnat värähtelemään. Ilmaääneneristävyys aiheuttama värähtely etenee rakenteissa runkoääninä äärettömän montaa rakenteellista reittiä. Runkoäänenergian energia jakaantuu liitoksissa riippuen liitoksen liittyvien rakennusosien massasta ja liitosten jäykkyydestä. Massan ja jäykkyyden lisäksi rakenteellista sivutiesiirtymää voidaan estää tekemällä rakenteisiin saumoja, joissa rakenne katkaistaan esimerkiksi ilma-, mineraalivilla- tai kumikerroksella.

1.1.2.1 Massiiviset kiviaineksiset rakenteet

Massiivisten rakenteiden sivutiesiirtymien selvittäminen on yksinkertaista, koska koinsidenssitaaajuus esiintyy yleensä ilmaääneneristävyysluvun määrittämiseen käytettävän taajuusalueen 100-3150 Hz alarajalla tai sen alapuolella. Esimerkiksi betonirakenteiden, joiden paksuus on vähintään 160 mm, koinsidenssitaaajuus esiintyy 100 Hz:n alueella. Koinssidenssitaaajuuden yläpuolella rakenteen värähtely on resonoivaa ja värähtelyn siirtymistä voidaan mallintaa suoraviivaisesti. Liitoksien runkoääneneristävyys on taajuudesta riippumatonta, kun värähtely on resonoivaa.

Jos massiivisten rakenteiden päälle rakennetaan ääneneristävyttä parantavia kevyitä levykerroksia, niiden aiheuttama ääneneristykseen parannus ΔR_w voidaan lisätä massiivisen rakenteen ilmaääneneristyslukuun. Parannusluku ΔR_w lasketaan standardin ISO 12354-1 mukaisesti. Se ei ole sama kuin levyrakenteen ilmaääneneristysluku R_w . Tyypillisesti parannusluvut ovat levykerrosten määrästä ja ilmavälistä sekä kivrakenteen massasta riippuen 3-10 dB. Jos lisälevytys tehdään tilojen väliseen seinään, parannusluku ei sivutiesiirtymien vuoksi siirry kokonaan huoneiden väliseen ääneneristävytyteen. Kentällä tehdyissä koeasennuksissa todellinen parannusvaikutus on ollut 0-2 dB. Tuloksesta voidaan päätellä, että sivutiesiirtymän vaikutus on erittäin suuri, jolloin välisen seinän kohtuullisen suuri eristävyysparantaminen ei merkittävästi paranna kokonaiseristävyttä.

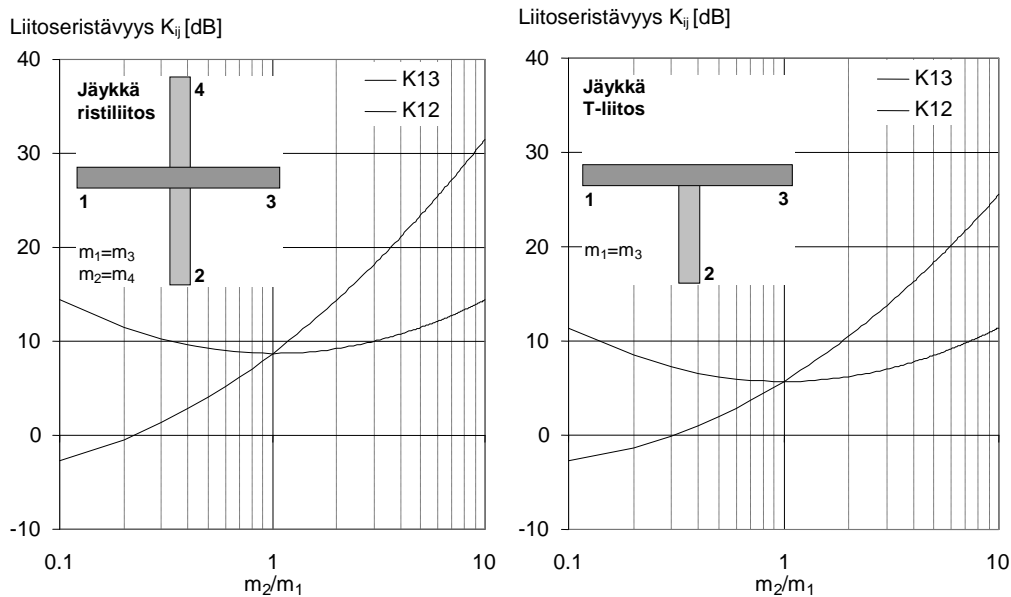
Sivutiesiirtymän voimakkuuden kannalta aivan keskeisessä roolissa on liitoksen tyyppi. Liitokselle on esitetty tuonnempana esitettävässä laskentamallissa ns. liitoseristävyys K , joka ilmoittaa, kuinka monta desibeliä liitos eristää värähtelyä.

Kuvassa 1.9 on esitetty erilaisten jäykkien liitosten eristyskykyjä. Taajuus ei vaikuta massiivisten rakenteiden arvoihin. Liitoksen eristyskyky paranee, jos massojen välinen ero tai liittyvien rakenteiden lukumäärä kasvaa.

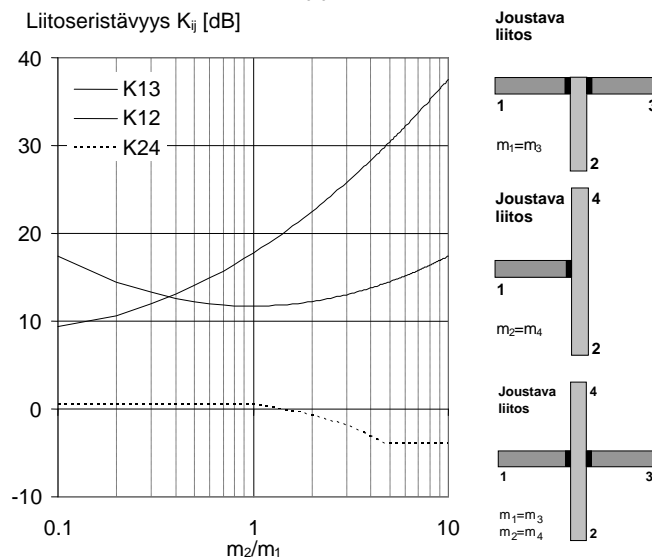
Kerrostaloissa huoneistojen betonirakenteiden massaerot ovat yleensä olleet pieniä, jolloin $m_2/m_1=1$. Tämän seurauksena ristiliitoksen liitoseristys on 9 dB ja T-liitoksen 6 dB. Viimeaikoina yleistyneiden sisäkuorielementtien tapauksessa betonirakenteiden massaero on kuitenkin voinut olla suurempi, jolloin

ulkoseinärakenteen kautta tapahtuva sivutiesiirtymä on suurempi ja saattaa vaikuttaa oleellisesti tilojen välillä saavutettavaan ääneneristävyyteen.

Kuvassa 1.10 on esitetty liitoseristystä liitoksille, joissa on joustavaa materiaalia. Liitoseristyskyky runkoäänen siirtyessä rakennusosasta toiseen joustavan liitoksen kautta on jopa 10 dB parempi kuin jäykässä liitoksessa syntyvä eristys. On huomattavaa, että joustava liitos on hyödyllinen vain sellaiselle värähtelyn etenemisreitille, jossa ääni etenee joustavan materiaalin läpi. Minkäänlaista värähtelyeristystä ei synny, kun värähtely kulkee reittiä, jossa joustavaa eristyskerrosta ei ole (K24).



Kuva 1.9. Jäykkien liitosten liitoseristävyys.



Kuva 1.10. Joustavien liitosten liitoseristävyys.

Edellä esitetyt liitoseristävyydet vaativat toteutuakseen joko täysin jäykän liitoksen tai joustavan liitoksen. Käytännössä liitokset eivät välttämättä toimi kuten idealisoitu malli olettaa. Liitoksissa kuljetetaan helposti sähköputkituksia eikä saumavaluja tehdä painevaluna, jolloin saumat jäävät vajaiksi eivätkä siten toimi jäykkinä liitoksina. Toisaalta joustavat liitokset saattavat olla kiinni, jolloin ne eivät toimi mallin mukaisti. Käytännössä betonirakenteiden liitoseristävyyksmittauksia on tehty hyvin vähän esim. Suomessa. Liitoseristävyys saattaa käytännössä olla heikompi kuin oletetaan.

1.1.2.2 Kevyet rakenteet

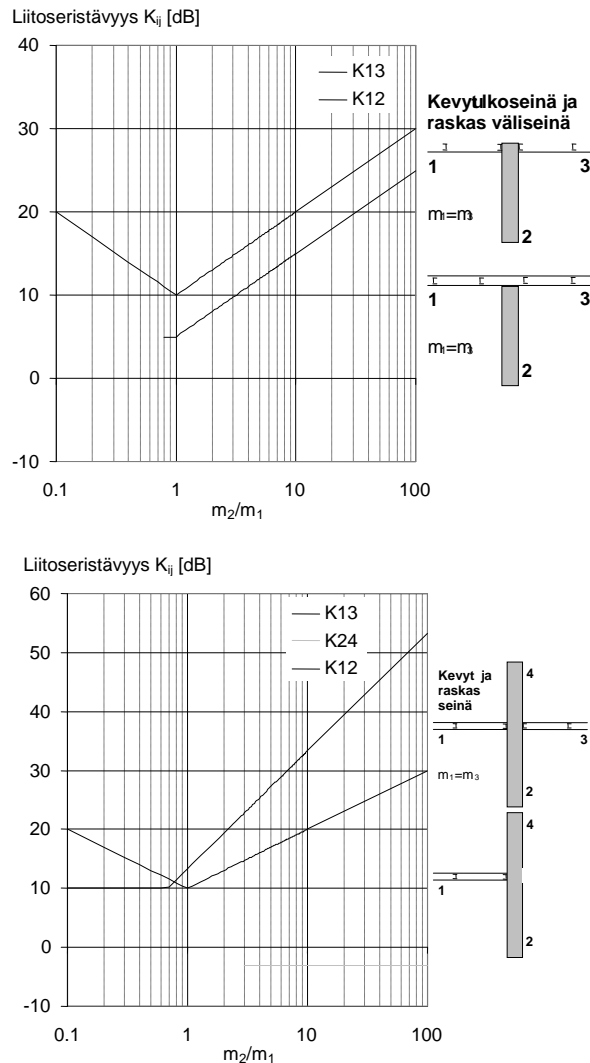
Kevyitä rakennusosia pitkin tapahtuvien sivutiesiirtymien arviointi on huomattavasti vaikeampaa kuin massiivisia rakennusosia pitkin tapahtuvien. Tämä johtuu siitä, että kevyillä rakenteilla koinsidenssitaajuus on yli 2000 Hz (esim. kipsilevyllä 2500 Hz). Levyrakenteiden käyttäytymisen koko taajuusalueella 100-3150 Hz määrää lähinnä pakkovärähtely.

Kevyissä rakenteissa vallitseva pakkovärähtely ei ole samalla tavoin rakenteessa pituussuunnassa etenevää värähtelyä kuin resonoiva värähtely massiivirakenteissa. Pakkovärähtely ei etene liitosten yli läheskään yhtä helposti kuin massiivisissa rakenteissa tapahtuu. Monesti värähtelyeristysarvot ovatkin suurempia. Kevytrakenteet eivät siten aiheuta sivutiesiirtymiä samalla mekanismilla kuin massiiviset rakenteet. Kevytrakenne säteilee sivutiesiirtymä-ääntä lähinnä liitoksen lähistöltä nurkasta ja sekin on vähäistä. Värähtelyn voimakkuus vaimenee nopeasti etäännyttäessä nurkasta. Tämä on voitu osoittaa intensiteettimittauksin rakennuksissa ja laboratoriossa.

Kuvassa 1.11 on esitetty yleisimpien kevyiden ja raskaiden rakenteiden liitosten liitosääneneristyyksiä. On huomattava, että jos raskailla rakenteilla vallitsee useimmiten tilanne $m_2/m_1 \approx 1$, kevyen ja massiivisen rakenteen liitoksessa vallitsee useimmiten tilanne $m_2/m_1 > 10$ tai jopa $m_2/m_1 > 30$. Liitosääneneristävyyksarvot arvioidaan siten aivan eri kohdasta kuviota ja arvot ovat huomattavasti suurempia kuin raskaiden rakenteiden liitoksissa.

Kevytrakenteet eivät kuitenkaan ole vapaita sivutiesiirtymistä. Vaikka kevytrakenteisen seinän liitos eristäisikin hyvin ääntä, kevyen rakenteen ääneneristävyys on sen keveyden vuoksi huono etenkin pienillä taajuuksilla. Pakkovärähtelyn muodossa tapahtuva värähtely kantautuu siksi myös sivuavia rakenteita pitkin.

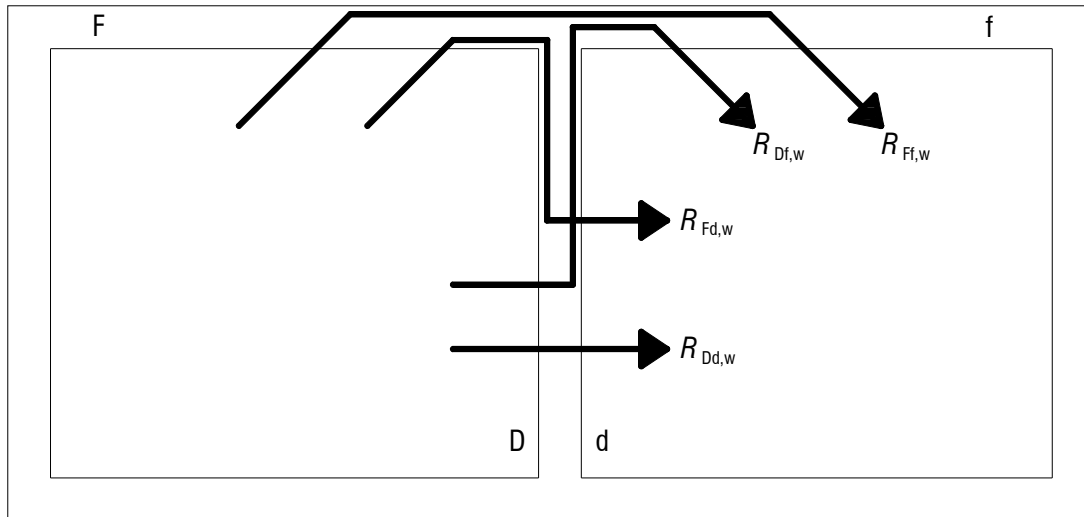
Massiivisen ja kevyen rakenteen liitoksessa ei tapahdu mitään liitosääneneristystä edettäessä massiivista rakennetta pitkin, koska äänienergia ei jakaudu liitoksessa eri suuntiin vähäisen kytkennän vuoksi. Sen sijaan kevyestä rakenteesta raskaan rakenteen kautta kevyeen rakenteeseen siirryttäessä liitosääneneristävyys on erittäin suuri.



Kuva 1.11. Kevyen ja raskaan rakenteen liitosten liitoseristävyys.

1.1.2.3 Sivutiesiirtymän laskentamalli

Rakenteellisen sivutiesiirtymän arvioimiseksi on laadittu standardi EN 12354-1. Kuvassa 1.12 on esitetty standardin mukainen sivutiesiirtymien merkintätapa. Lähetyspuolelta katsottuna väliseinärakenteen merkintä on D ja sivuavia rakenteita F on yleensä 4 kpl. Vastaanottohuoneen puolelta katsottuna väliseinän merkintä on d ja sivuavia rakenteita f on myös 4 kpl. Suoria äänireittejä on 1 kpl (Dd). Puhtaasti sivuavia rakenteita pitkin eteneviä äänireittejä on 4 kpl (Ff), väliseinästä sivuavaan rakenteeseen kulkeutuvia äänireittejä on 4 kpl (Df) ja sivuavasta rakenteesta väliseinään eteneviä 4 kpl (Fd).



Kuva 1.12. Sivutiesiirtymien eri reittien merkintätavat standardin EN 12354-1 mukaan. Kuvassa on esitetty äänen kulkureittejä vain yhdessä liitoksessa. Yleensä väliseinässä on 4 liitosta, jolloin äänen ensimmäisen kertaluvun sivutiesiirtymäreittejä on 12.

Normaalisti sivutiesiirtymistä tarkastellaan vain nämä ensimmäisen kertaluvun sivutiesiirtymäreitit, joissa ääni on kulkenut yhden liitoksen kautta vastaanottohuoneen puolelle. Ensimmäisen kertaluvun reittejä on yleensä 12 kpl. Tämän lisäksi otetaan huomioon suora äänen kulkureitti.

Toisen kertaluokan reitissä ääni kulkee kahden liitoksen kautta. Esimerkiksi takaseinälle päästäkseen äänen pitää kulkea kahden liitoksen kautta, joten pinta jätetään pois tarkastelusta, vaikka sieltäkin säteilee ääntä. Toisen ja sitä suuremman kertaluvun reittien pois jättäminen aiheuttaa sen, että sivutiesiirtymien kautta välittyvän äänienergian määrä tulee aliarvioiduksi vain noin 1 dB verran.

Ennustemalli on tarkoitettu massiivisille rakenteille. Jos huoneita erottaa massiivinen seinärakenne, on suoran reitin R_{Dd} ilmaääneneristysluku sama kuin massiivisen seinän ilmaääneneristysluku eli

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} \quad (1.8)$$

missä $R_{s,w}$ on erottavan massiiviseinän ilmaääneneristysluku [dB]. Jos massiivisen seinän päälle on sijoitettu kevytrakenteinen levykerros, huoneita erottavan väliseinän ääneneristävyys saadaan yhtälöstä

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w} \quad (1.9)$$

missä $\Delta R_{Dd,w}$ on edellisen päälle joko lähetys tai vastaanottohuoneen puolelle rakennetun lisäkerroksen tuottama parannusvaikutus ilmaääneneristyslukuun [dB].

Sivutiesiirtymäreitin "ilmaääneneristysluku" kolmelle sivutiesiirtymän eri tyypille, Ff, Fd ja Df, saadaan yhtälöillä

$$\begin{aligned}
 R_{Ff,w} &= \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Ff,w} + K_{Ff} + 10 \lg \frac{S_s}{l_f} \\
 R_{Fd,w} &= \frac{R_{F,w} + R_{s,w}}{2} + \Delta R_{Fd,w} + K_{Fd} + 10 \lg \frac{S_s}{l_f} \\
 R_{Df,w} &= \frac{R_{s,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Df,w} + K_{Df} + 10 \lg \frac{S_s}{l_f}
 \end{aligned}
 \tag{1.10-1.12}$$

missä

$R_{F,w}$ on lähetyshuoneessa rakenteen F ilmaääneneristysluku [dB]

$R_{f,w}$ on vastaanottohuoneessa rakenteen f ilmaääneneristysluku [dB]

$\Delta R_{Ff,w}$ on lähety- ja/tai vastaanottohuoneen sivuavan rakenteen pinnalle rakennetun lisäkerroksen tuottama parannus ilmaääneneristyslukuun [dB]

$\Delta R_{Fd,w}$ on lähetyshuoneen sivuavan rakenteen ja/tai erottavan seinän vastaanottohuoneen puolelle rakennetun lisäkerroksen tuottama parannus ilmaääneneristyslukuun [dB]

$\Delta R_{Df,w}$ on erottavan seinän lähetyshuoneen puolelle ja/tai vastaanottohuoneen sivuavan rakenteen pinnalle rakennetun lisäkerroksen tuottama parannus ilmaääneneristyslukuun [dB]

K_{Ff} on liitoksen liitoseristävyys reitille Ff [dB]

K_{Fd} on liitoksen liitoseristävyys reitille Fd [dB]

K_{Df} on liitoksen liitoseristävyys reitille Df [dB]

S_s on erottavan väliseinän pinta-ala [m²]

l_f on erottavan väliseinän ja liittyvän rakenteen yhteinen liitospituus [m].

Laskennan lopputuloksena saadaan R'_w eli kenttämittaustulosta arvioiva ilmaääneneristysluku. Se saadaan yhtälöstä:

$$R'_w = -10 \log_{10} \left[10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^4 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{F=1}^4 10^{-R_{Fd,w}/10} + \sum_{f=1}^4 10^{-R_{Df,w}/10} \right]
 \tag{1.13}$$

On huomattava, että kaikki ilmaääneneristyslukujen lähtöarvot ovat laboratorioarvoja (ei heittomerkkiä). Vain koko laskennan lopputulos esitetään heittomerkillisenä.

Jos väliseinä on kevytrakenteinen, reitit Df ja Fd voidaan jättää tarkastelussa pois ja keskittyä suoraan reittiin Dd sekä sivuaviin reitteihin Ff. Jos sivuavat rakenteet ovat kevytrakenteisia, laskentaa ei voida tällä mallilla suorittaa luotettavasti (vastaa yleensä tilannetta rivitaloissa).

1.1.3 Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyys

Melualueella sijaitsevan rakennuksen ulkovaipalle asetetaan ääneneristävyysvaatimus asemakaavassa. Äänitasoerovaatimus perustuu Valtioneuvoston päätökseen melutasojen ohjearvoista (993/1992) ja siinä asetetaan taulukon 1.4 mukaiset arvot sisätilojen ohjearvoiksi.

Taulukko 1.4. Valtioneuvoston päätöksen nro 993 vuodelta 1992 mukaiset melutasojen ohjearvot sisätiloissa.

Korkeimmat sallitut melun A-painotetun ekvivalenttitaso ohjearvot	päiväaikaan $L_{A,eq,7-22}$ [dB]	yöaikaan $L_{A,eq,22-7}$ [dB]
Asuin-, potilas- ja majoitushuoneissa	35	30
Opetus- ja kokoontumistiloissa	35	-
Liike- ja toimistuhuoneissa	45	-

Asemakaavan määräys määritellään vähentämällä rakenteeseen kohdistuvasta A-painotetusta keskiäänitasosta sisällä sallittava keskiäänitaso (vrt. taulukko 4). Näin määritetystä äänitasoerosta käytetään merkintää ΔL_A . Vaikka asemakaavassa ei olisi erikseen esitetty rakennuksen vaipan ääneneristävyydelle vaatimusta, koskevat uudisrakennuksia silti taulukon 1.4 mukaiset arvot sisätilojen melutasoista. Joissakin tapauksissa asukkaat ovat valittaneet kokevansa häiritseväksi pihalta kantautuvan puheen tai leikkimisen äänet. Tästä syystä olisi suositeltavaa, että riippumatta alueen melutasoista, asuinrakennusten vaipalta vaadittaisiin aina vähintään esimerkiksi $\Delta L_A=30\text{dB}$ äänitasoeron toteuttamista riittävän asuinviihtyvyyden takaamiseksi.

Kaavamääräys esitetään yleensä sanallisesti seuraavassa muodossa ”*Merkintä osoittaa rakennusalan sivun, jonka puoleisten rakennuksen ulkoseinien sekä ikkunoiden ja muiden rakenteiden ääneneristävyysliikennemelua vastaan on oltava vähintään XX dB(A)*”. Kaavamääräys ei ole suoraan siirrettävissä yksittäisten rakennusosien eristävyysvaatimuksiksi, vaan se koskee rakennosien muodostamaa rakennuksen vaipan kokonaisuutta. Jokainen rakennuksen vaipan rakenneosa (seinät, ikkunat, ovet, korvausilmaventtiilit, katto) välittää ääntä ulkoa sisälle. Mitä suurempi ko. osa on, sitä enemmän se välittää ääntä sisätilaan. Sisätilaan muodostuva äänitaso on kaikkien eri reittien kautta sisälle välittyvän äänitason summa. Toisaalta vaatimus koskee äänitasoeroa ulkona ja sisällä, jonka seurauksena yksittäisen rakenneosan ääneneristysvaatimus on aina huomattavasti suurempi kuin kaavavaatimus. Koska ulkovaipan osien koot vaihtelevat huoneesta toiseen, joudutaan laskelmat tekemään joka huoneeseen erikseen. Ulkovaippakokonaisuuksien mitoitusten menetelmiä on esitetty mm. Ympäristöministeriön oppaassa 108/2003 sekä Suomen Rakennusinsinööriliiton julkaisussa RIL 243-1-2007 Rakennusten akustinen suunnittelu.

Mikäli ulkovaipan ääneneristävyysvaatimukset nousevat korkeiksi, on sillä usein huomattavat vaikutukset rakenteisiin sekä suositeltavaan tilojen sijoitteluun. Taulukossa 1.5 on esitetty eri kaavamääräyksien vaikutuksia rakentamiseen.

Taulukko 1.5. Kaavamääräyksien vaikutuksia rakentamiseen.

Kaavamääräys 40 dB	Korkea vaatimus ja tällaisille alueille harvemmin sijoitetaan asuntoja. Välttämättä vakiotuotannossa olevia ikkunoita ja ikkunaovia ei voida käyttää, vaan vaaditaan erikoisratkaisuja. Ulkoseinärakenteilta vaaditaan hyvää ääneneristävyttä, huolellista suunnittelua, valintaa ja toteutusta (esim. betoniset sandwich-elementit soveltuvat rakennuksiin). On suositeltavaa sijoittaa asuinhuoneet eri puolelle rakennusta kuin melulähde. Melulähteen puolelle voidaan sijoittaa esim. porrashuoneet, varastot sekä asuntojen kodinhoitohuoneet, pesuhuoneet ja muut vastaavat tilat.
Kaavamääräys 35 dB	Keskikorkea vaatimus, jota esiintyy usein. Ikkunoilta ja parvekeovilta vaaditaan korkeampaa ääneneristyskykyä, mikäli seinärakenne on ääneneristävyydeltään vaatimaton (esim. kevytrakenteinen). Asuinhuoneita voidaan sijoittaa myös melulähteen puolelle.
Kaavamääräys 30 dB	Vaatimus, jota olisi suositeltavaa vaatia kaikissa asuinrakennuksissa vähimmäistavoitteena. Mikäli ikkunoiden ja parvekeovien pinta-alasuhde lattiapinta-alaan on suuri, ei vaatimus välttämättä täyty tavanomaisilla rakenteilla. Asuinhuoneiden sijoittelu on vapaata.

Rakennuksen ulkovaipan ilmaääneneristävyyden kannalta määräävimpiä rakennusosia ovat perinteisesti olleet ikkunat, parvekeovet ja raitisilmaventtiilit, koska niiden ääneneristävyys on useimmiten alhainen verrattuna varsinaisen seinärakenteen ääneneristävyyteen. Yläpohjan samoin kuin itse peruseinärakenteen ääneneristävyys oli aikaisemmin yleensä riittävä tai niin suuri (yli 50 dB, esim. betoniset sandwich-elementit), ettei sillä ole ratkaisevaa merkitystä ulkovaipan kokonaisääneneristävyyteen. Tilanne on kuitenkin muuttunut, koska rakentamisessa käytetään usein kevyitä ulkoseinäosia tai sisäkuorielementtejä, joiden ääneneristävyydet ovat heikompia, kuin mihin aikaisemmin on totuttu. Lisäksi asutus on levinnyt yhä lähemmäs liikenneväyliä, jolloin useissa kohteissa rakennusten ulkovaipalta vaaditaan suurempaa ääneneristävyyttä kuin aikaisemmin.

Valmiissa rakennuksissa ulkovaippakokonaisuuden ääneneristävyyttä voidaan arvioida mittauksin. Mittausmenetelmä on esitetty standardissa ISO 140-5, joista käytettäväksi suositellaan kaiutinmenetelmää. Menetelmän on osoitettu toimivan suomalaisen kaavoitus käytännön mukaisen äänentasoero vaatimuksen mittaamiseksi (kts. Kylliäinen ja Hongisto). Ulkovaipan normalisoitu äänitasoero voidaan määrittellä taajuuskaistoittain kaavalla

$$D_{l_s,2m,n} = L_{1,2m} - L_2 - 10 \log_{10} \left(\frac{A}{A_0} \right), \quad (1.14)$$

jossa A on vastaanottohuoneen absorptioala, joka määritetään mitatun jälkikaiunta-ajan perusteella kaavan (1.3) mukaisesti. Taajuuskaistaisista mittaustuloksista voidaan määrittää yksi lukuarvo normalisoitu äänitasoeroluku $D_{l_s,2m,n,w}$ kappaleessa 1.1.1 kuvatulla vertailukäyrämenetelmällä. Alaindeksi l_s tarkoittaa, että mittaus perustuu kaiutinmenetelmään (loudspeaker) ja alaindeksi $2m$ puolestaan ilmaisee, että äänipainetaso on mitattu 2 metrin etäisyydellä rakennuksen julkisivusta. Koska rakennuksen julkisivu on yleensä lähes täydellisesti heijastava, on näin mitattu äänenpainetaso heijastuksesta johtuen 3 dB korkeampi kuin rakenteeseen kohdistuva äänenpainetaso. Kaavamääräykseen verrattavissa oleva äänitasoero voidaan näin määrittää mittaustuloksesta vähentämällä siitä 3 dB, jolloin siis

$$\Delta L_{A,mit} = D_{l_s,2m,n,w} - 3 \quad (1.15)$$

Kaavamääräys voidaan melulähteen ominaisuuksista riippuen kohdistaa erikseen koskemaan joko tie-, raide- tai lentoliikennemelua. Tieliikennemelua sisältää enemmän matalataajuista ääntä kuin raide- tai lentomelua. Koska rakenteiden ääneneristävyys on matalilla taajuuksilla heikempi kuin korkeilla taajuuksilla, on lukuarvoltaan yhtä suuri ulkovaipan ääneneristävyysvaatimus liikennemelua vastaan esitettynä tiukempi kuin raide- tai lentomelua vastaan esitettynä. Jotta mittaustulosta voitaisiin verrata eri melulähteitä vastaan annettuihin vaatimuksiin, voidaan taajuuskaistoittain kaavalla (1.14) määritetyistä normalisoiduista äänitasoeroista määrittää spektrisovitusermit C sekä C_{tr} standardin ISO 717-1 mukaisesti. Näistä ensimmäistä sovelletaan raide- ja lentoliikennemelulle ja jälkimmäistä tieliikennemelulle. Määritettäessä kaavan (1.15) mukaista mittaustulosta melulähteen mukainen spektripainotusermi lisätään tulokseen. Johtuen rakenteen ääneneristävyysominaisuuksista matalilla taajuuksilla tieliikenteelle käytettävä spektripainotusermi C_{tr} on yleensä negatiivinen. Kappaleessa 2.5 on esitetty ilmaääneneristävyysarvoja eri ulkoseinärakenteille.

1.1.4 Yhteenveto ilmasteneristävyydestä

Asuinrakennuksissa asuntojen välistä ilmasteneristävyyttä arvioidaan nykymääräysten perusteella ilmasteneristysluvun R'_w avulla. Rakennuksessa tehtävien ilmasteneristysmittauksien tulee täyttää määräykset. Rakennuksessa saavutettava ilmasteneristysluku on aina alhaisempi kuin laboratoriossa saavutettava. Tämä johtuu siitä, että rakennuksessa saavutettava ääneneristävyys riippuu erottavan rakenteen lisäksi myös äänen muista kulkureiteistä ns. sivutiesiirtymistä. Viime aikoina yleistyneet sisäkuorielementit johtavat suurempiin sivutiesiirtymiin tilojen välillä kuin aikaisemmin on totuttu. Tästä syystä niillä on myös olennainen vaikutus tilojen välillä saavutettavaan ääneneristävyyteen.

Käytettävästä mittasuureesta, kasvaneista yhtenäisistä huonetiloista ja sivutiesiirtymien kasvamisen myötä perinteisillä tiloilla erottavilla rakenteilla saavutetaan pienempiä ilmasteneristysluvun arvoja kuin on oletettu. Mikäli siirryttäisiin käyttämään standardoitua äänitasoerolukua $D_{nT,w}$ arviointikriteerinä, vastaisi lukuarvo paremmin asukkaiden kokemaa ääneneristävyyttä.

Nykyisin rakennusten ulkovaippojen ääneneristävyyksivaatimuksilla on usein vaikutusta ikkunoiden ja parvekeovien lisäksi myös ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin. Aina ulkovaipan ääneneristävyyttä arvioitaessa tulee huomioida kaikki rakenneosat ja niiden pinta-alat. Tästä johtuen tarkastelu tulee suorittaa kaikissa eri tapauksissa eli kaikissa erilaisissa huonetiloissa. Asumisviihtyvyyden kannalta on suositeltavaa vaatia asuinrakennuksen ulkovaipoilta vähintään $\Delta L_A=30\text{dB}$ äänitasoerovaatimus.

1.2 Askelääneneristävyys

Askelääneneristävyys eroaa ilmaääneneristävyydestä siten, että se kuvaa ilmaäänien sijasta runkoäänien siirtymistä kahden tilan välillä. Runkoääniä ovat rakenteisiin kohdistuvat iskut, jotka syntyvät esimerkiksi kävelystä, esineiden putoilemisesta, huonekalujen siirtelystä jne. Kun rakenteeseen kohdistuu isku, alkaa rakenne värähdellä. Värähtelevä rakenne puolestaan säteilee ääntä ympärilleen, jolloin rakenteen toisella puolella isku havaitaan ilmaääninä. Askelääneneristykseen tarkoituksena on vähentää rakenteisiin kohdistuvien iskujen ympäröiviin tiloihin aiheuttamaa ääntä.

Askelääneneristävyys määritellään äänenpainetasona, jonka rakenteeseen kohdistettu vakiovoima tuottaa rakenteen toisella puolella olevaan huonetilaan. Rakenteen askelääneneristävyys on siis sitä parempi mitä alhaisempi äänenpainetaso toisessa tilassa on.

1.2.1 Mittaukset, määräykset ja tunnusluvut

Nykyisin Suomessa voimassa olevat asuinrakennusten ääneneristävyyttä koskevat määräykset on määritelty Rakentamismääräyskokoelman osassa C1 "Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa" vuodelta 1998. Asuinrakennusten osalta säännökset koskevat rakentamista, johon on haettu lupaa 1. tammikuuta 2000 tai sen jälkeen. Asuntojen välisen askelääneneristävyyden osalta kyseisessä julkaisussa esitetään taulukon 1.6 mukaiset määräykset.

Taulukko 1.6. Rakentamismääräyskokoelman mukaiset määräykset asuinrakennusten askelääneneristävyyden suhteen.

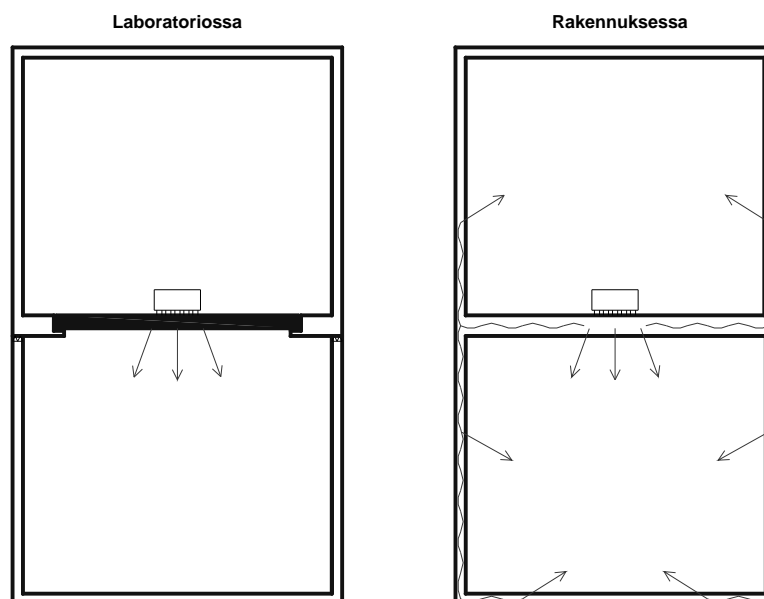
Suurimmat sallitut askeläänitasoluvun L'_{nw} (dB) arvot	
Asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muuhun asuinhuoneeseen, yleensä	53
Uloskäytävästä asuinhuoneeseen	63

Edellä mainittujen lukuarvojen lisäksi todetaan, että rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että melu, jolle rakennuksessa tai sen läheisyydessä ovat altistuvat, pysyy niin alhaisena, ettei se vaaranna näiden henkilöiden terveyttä ja että se antaa mahdollisuuden nukkua, levätä ja työskennellä riittävän hyvissä olosuhteissa. Vaatimus on täytettävä tavanomaisella kunnossapidolla rakennuskohteen koko taloudellisen käyttöiän ajan. Jotta riittävän hyvät olosuhteet saavutetaan, tulee suunnittelussa ja rakentamisessa huomioida muut rakennuksen tai tilan ääniolosuhteisiin vaikuttavat tekijät, kuten melulähteen voimakkuus ja tilojen keskinäinen sijoittelu. Tästä seuraa, että rakennus- tai muussa vastaavassa luvassa voidaan asettaa ääneneristävyydelle tai muilla akustisille ominaisuuksille myös taulukon 1.6 arvoista poikkeavia arvoja.

Edellä mainitut määräykset eivät koske mittausta satunnaisesti käytettävistä huolto- ja varastotiloista, autosuojista tai vastaavista tiloista eikä mittausta huoneistoon kuuluvista wc-, kylpyhuone- ja löylyhuonetiloista. Näistä tiloista asuntoon mahdollisesti aiheutuva meluhäiriö on otettava huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa niin, että asuinhuoneistossa saavutetaan edelleen hyvät ääniolosuhteet.

Askelääneneristävyys mitataan rakennuksessa standardin ISO 140-7 mukaisesti, jolloin herätteenä käytetään standardoitua askeläänikonetta. Askeläänikoneen rakenteeseen tuottama isku on tarkoin määritelty, jolloin mittaustulokset ovat vertailukelpoisia. Askeläänikone muodostaa iskut pudottamalla vuorotellen viittä 500 gramman painoista teräslieriötä 40mm korkeudella. Jokainen teräslieriö putoaa kaksi kertaa sekunnissa, jolloin iskuja rakenteeseen kohdistuu siis yhteensä 10 kappaletta sekunnissa. Askeläänikoneen runkoääninä toiseen tilaan aiheuttamaa äänenpainetasoa mitataan vastaanottotilassa taajuuskaistoittain. Tavallisesti äänenpainetasot mitataan lähetystilan alapuolella sijaitsevassa huoneessa (tähän suuntaan askeläänitaso on normaalisti suurin), mutta ne voidaan mitata myös muualla (yläpuolella, sivussa, viistossa jne). Esimerkiksi, jos asuinkerrostalon alakerroksessa on päivittäistavarakauppa, askelääneneristävyttä voidaan mitata siten, että askeläänikoje on kaupassa ja äänenpainetasot mitataan kaupan yläpuolella olevassa asunnossa. Mittauksia tehdään myös asuntojen sisäisiltä portailta toisiin asuntoihin tai porrashuoneista asuntoon.

Askelääneneristävyys voidaan mitata sekä laboratoriossa (ISO 140-6) että rakennuksessa. Laboratoriomittauksessa askeläänikoneen aiheuttama rakenteen värähtely rajautuu vain tutkittavaan rakenteeseen, jolloin saadaan tietoa nimenomaan kyseisen rakennusosan askelääneneristyskyvystä. Rakennuksessa askelääneneristykseen vaikuttavat myös kaikkien muiden lattiaan liittyvien rakenteiden kautta tapahtuvat sivutiesiirtymät, jolloin käytännössä laboratoriossa saatu mittaustulos ei ole saavutettavissa rakennuksessa samaa rakennetta käyttämällä (vrt. kuva 1.13). Rakentamismääräykset koskevat askelääneneristävyttä rakennuksessa. Määräysten toteutuminen rakennuksessa voidaan varmuudella todentaa vain mittauksin.



Kuva 1.13. Askelääneneristysmittaus laboratoriossa ja rakennuksessa.

Äänenpainetasot mitataan oktaavi- tai terssikaistoittain taajuusalueella 50-5000 Hz (vaikka standardin mukainen mittausalue on 100-3150 Hz). Laboratoriossa mitatusta askeläänikojeen aiheuttamasta äänenpainetasosta käytetään merkintää L ja rakennuksessa mitatusta merkintää L' . Standardin mukaan askeläänikoneella on lähetyshuoneessa vähintään neljä paikkaa ja sen tuottamaa ääntä mitataan vastaanottohuoneessa vähintään neljässä pisteessä. Mittausten kokonaismäärä on vähintään kuusi. Mitatuista äänenpainetasoista L_j [dB] lasketaan energiakeskiarvo kaavalla

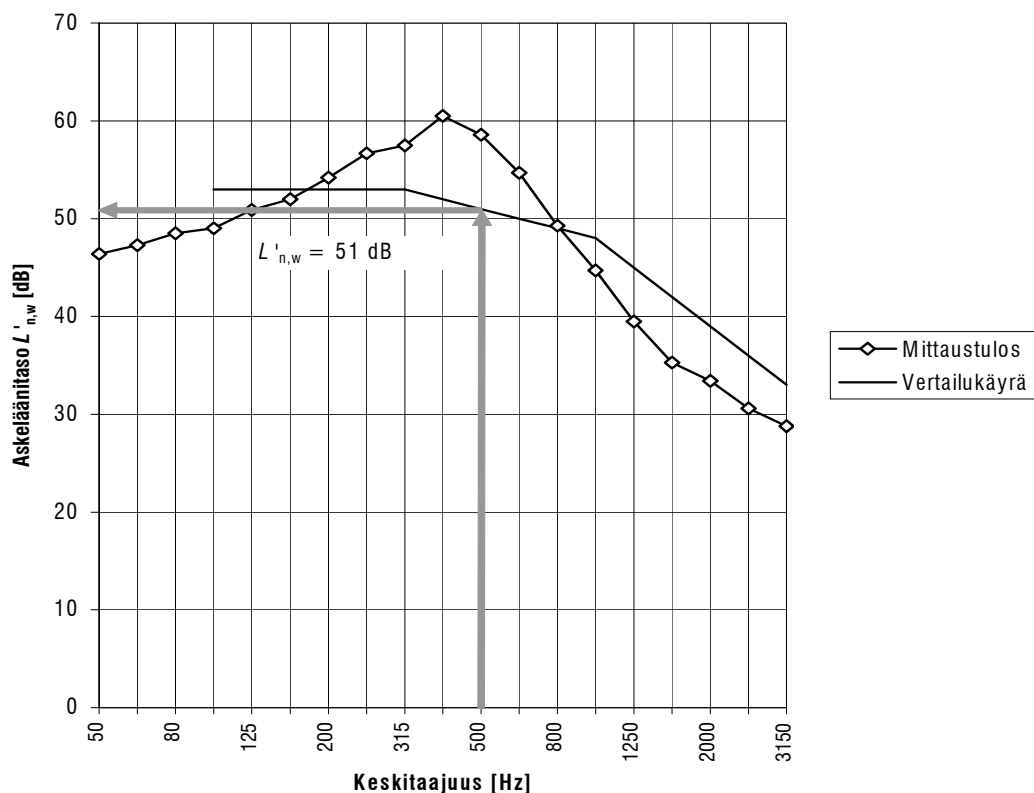
$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \quad (1.16)$$

Tilan äänenpainetaso riippuu tilan absorptioalasta A [m^2], jonka määrittämiseksi mitataan vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika T [s] sekä tilavuus V [m^3]. Absorptioala määritellään näiden perusteella kaavan (1.3) mukaisesti. Absorptioalan määrittämisen avulla erilaisissa tiloissa mitatut tulokset pyritään saamaan vertailukelpoisiksi. Äänenpainetasojen energiakeskiarvo normalisoidaan vertailuabsorptioalaan A_0 , jonka arvo on $10 m^2$. Näin määritettävä normalisoitu askeläänitaso saadaan kaavalla

$$L_n = L_i + 10 \log_{10} \frac{A}{A_0} \quad (1.17)$$

Askelääneneristystuloksen mittaustulos ja vaatimus esitetään yksi lukuarvona (kuva 1.14). Taajuuskaistoittain mitattuja askeläänitasoja verrataan vertailukäyrään siten, että vertailukäyrää siirretään 1 dB portain sellaiseen asemaan, että taajuuskaistoittain

mitattujen askeläänitasojen poikkeamien summa vertailukäyrän yläpuolella enintään 32,0 dB. Kun vertailukäyrä on saatu sijoitetuksi alimpaan mahdolliseen asemaan, askeläänitasoluku luetaan vertailukäyrältä 500 Hz kohdalta. Laboratoriossa mitatusta normalisoidusta askeläänitasoluvusta käytetään merkintää $L_{n,w}$ ja rakennuksessa mitatusta merkintää $L'_{n,w}$.



Kuva 1.14. Askeläänitasoluvun määrittäminen taajuuskaistaisista mittaustuloksista.

Standardissa ISO 140-7 on esitetty myös mahdollisuus käyttää normalisointiin vertailuabsorptioalan sijasta myös vertailujälkikaiunta-aikaa. Tällöin mittaustulos normalisoidaan vertaamalla mitattua jälkikaiunta-aikaa suoraan vertailujälkikaiunta-aikaa T_0 , joka on 0,5 sekuntia. Näin määritetty mittaustulos on standardisoitu askeläänitaso L_{nT} ja se määritetään kaavalla

$$L_{nT} = L_i - 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} \quad (1.18)$$

Standardoitu askeläänitasoluku $L_{nT,w}$ määritellään taajuuskaistaisista mittaustuloksista edellä kuvattua vertailukäyrämenetelmää käyttäen.

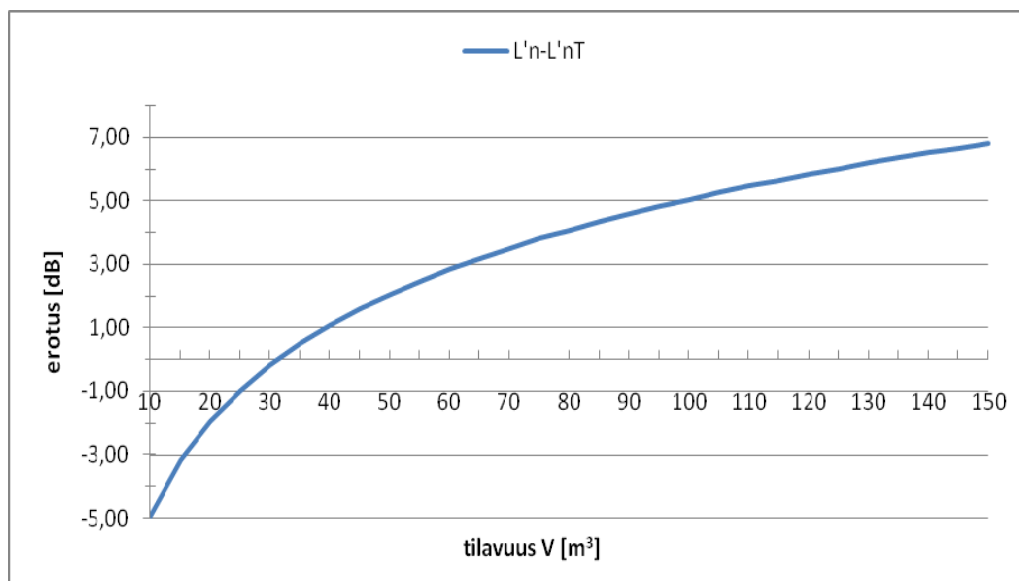
Suomessa nykyisin voimassa olevat määräykset koskevat rakennuksessa mitattua absorptioalan suhteen normalisoitua askeläänitasolukua $L'_{n,w}$. Nykyisin useissa Euroopan maissa on määräyksissä siirrytty käyttämään standardoitua askeläänitasolukua $L'_{nT,w}$, koska monien tutkimuksien mukaan näin määritetty

mittaustulos vastaa paremmin ihmisten kokemaa askelääneneristävyyttä [Apilo L., Nykänen H. ja Sipari P. 2008].

Kaavojen (1.17) ja (1.18) perusteella voidaan määrittää normalisoidun askeläänitason L'_n ja standardoidun askeläänitason L'_{nT} erotus

$$L'_n - L'_{nT} = 10 \log_{10}(0,032V) \quad (1.19)$$

Näiden kahden suureen erotus on esitetty lisäksi kuvassa 1.15. Erotus on yhtä suuri taajuuskaistaisten arvojen sekä niistä vertailukäyrämenetelmällä saatavien yksiluku arvojen (normalisoitu askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ ja standardoitu askeläänitasoluku $L'_{nT,w}$) välillä. Kuvasta voidaan päätellä, että vastaanottohuoneen tilavuuden ollessa noin hieman yli 30 m³ tuottavat molemmat mittasuuret yhtä suuren lukuarvon. Tätä suuremmissa huonetiloissa normalisoitu askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ tuottaa suuremman lukuarvon ja pienemmissä tiloissa alhaisemman lukuarvon. Tämä on selkeästi havaittu viime aikoina yleistyneiden isojen avonaisten olohuone-ruokailu-keittiö-yhdistelmien välillä pystysuuntaan tehdyissä askelääneneristysmittauksissa.



Kuva 1.15. Normalisoidun askeläänitason L'_n ja standardoidun askeläänitason L'_{nT} erotus tilavuuden funktiona.

1.2.2 Spektripainotustermit

Määriteltäessä normalisoitua tai standardoitua askeläänitasolukua alin tuloksissa huomioitava taajuus on 100 Hz. Todellisuudessa esimerkiksi kävelyn tuottamat äänenpainetasot ovat suurimmillaan yleensä alle 100 Hz taajuuksilla. Standardissa ISO 717-2 on määritelty spektripainotustermi C_1 taajuuskaistoille 100-2500 Hz ja $C_{1,50-2500}$ taajuuskaistoilla 50-2500 Hz. Mitatut spektripainotustermit ilmoitetaan ISO-standardin mukaan askeläänitasoluvun kanssa seuraavasti: $L'_{n,w} (C_1; C_{1,50-2500}) = 49 (1; 3) \text{ dB}$. SFS-standardissa askelääneneristävyyksvaatimukset

ilmoitetaan askeläänitasoluvun ja spektripainotusterman $C_{l,50-2500}$ summana. Spektripainotustermi $C_{l,50-2500}$ lasketaan taajuuskaistoilla 50-2500 Hz mitatuista normalisoiduista äänenpainetasoista ja askeläänitasoluvusta kaavalla

$$C_I = 10 \log_{10} \sum_{i=50}^{2500} 10^{L_{n,i}/10} - 15 - L'_{n,w} \quad (1.20)$$

Askeläänitasoluvun ja spektripainotusterman summan $L'_{n,w} + C_{l,50-2500}$ on todettu vastaavan paremmin ihmisten subjektiivista kokemusta askelääneneristyksestä ja välipohjarakenteiden keskinäisestä järjestyksestä ääneneristävyys suhteen kuin pelkän askeläänitasoluvun.

1.2.3 Askelääneneristävyysparannusluku ja parannusvaikutus

Lattianpäällysteiden askelääneneristyskyky voidaan ilmoittaa askelääneneristysmittauksiin perustuvien tunnuslukujen avulla standardien ISO 717-2 ja ISO 140-8 mukaisesti. Tunnusluvut perustuvat siihen, että standardoidun massiivisen betonisen välipohjalaatan (tavallisesti 140 mm betoni) askeläänitasot mitataan lattiapäällysteen kanssa ja ilman. Mittaustulosten erotuksena saadaan askeläänitasojen alenemat ΔL kolmannesoktaavikaistoittain. Lattianpäällyste on sitä parempi, mitä suurempia sen tuottamat askeläänitasojen alenemat ovat. Askeläänitasojen alenemat ovat riippumattomia päällystämättömän välipohjan tuottamista askeläänitasoista, kun välipohjan kantava rakenne on massiivinen kivirakenne, kuten ontelolaatasto tai paikalla valettu betonilaatta.

Lattianpäällysteen vaikutusta raskaiden betonivälipohjien askeläänitasolukuun voidaan arvioida askelääneneristävyysparannusluvulla ΔL_w . Sen selvittämiseksi pitää ensin vähentää päällystämättömän standardoidun välipohjan askeläänitasoista taajuuskaistoittain mitatut askeläänitasojen alenemat ΔL . Näin saaduista askeläänitasoista lasketaan askeläänitasoluku $L_{n,w}$. Lisäksi pitää tuntea standardoidun päällystämättömän välipohjan askeläänitasoluku $L_{n,eq,0,w}$. Parannusluvuksi saadaan

$$\Delta L_w = L_{n,eq,0,w} - L_{n,w} \quad (1.21)$$

Useimmiten lattianpäällysteiden valmistajat ilmoittavat tuotteistaan ΔL_w -arvon. Tavanomaisissa suunnittelukohteissa sen käyttö johtaa laskennallisesti riittävän tarkkaan askeläänitasolukuun (alapuolisen tilan tilavuus $< 50 \text{ m}^3$). ΔL_w -arvoja saa käyttää vain raskaiden kivirakenteisten välipohjien askelääneneristykseen suunnittelussa, niitä ei voida käyttää kevyiden välipohjarakenteiden tai kelluvien rakenteiden suunnittelussa.

1.2.4 Askeläänitasolukujen laskenta

Standardissa EN 12354-2 on esitelty menetelmä askeläänitasolukujen $L'_{n,w}$ laskemiseksi betonirakenteisissa rakennuksissa. Tarkempi menetelmä ottaa huomioon muun muassa rakennusosien akustiset ominaisuudet, liitosten jäykkyyden, sivutiesiirtymän ja lattianpäällysteet. Askeläänitasolukujen määrittäminen standardin tarkemmalla menetelmällä edellyttää tietokoneohjelman käyttöä. Tarkempi menetelmä tuottaa laboratoriomittaustulokseen vertautuvan tuloksen eli siihen ei sisälly sivutiesiirtymien vaikutuksia.

Standardissa on myös yksinkertainen malli askeläänitasolukujen määrittämiseksi. Lähtökohtana on välipohjan massan m' [kg/m^2] perusteella laskettava päällystämättömän välipohjan ekvivalentti askeläänitasoluku $L_{n,w,eq}$ [dB], joka saadaan kaavalla

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log_{10} \frac{m'}{1 \text{ kg/m}^2} \quad (1.22)$$

Standardin mukaan yhtälö pätee melko tarkasti, kun välipohjan massa on 100-600 kg/m^2 . Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ rakennuksessa saadaan lattianpäällysteen askelääneneristävyyden parannusluvun ΔL_w ja sivutiesiirtymän huomioon ottavan tekijän K perusteella:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad (1.23)$$

Sivutiesiirtymän huomioon ottavan tekijän K arvo (taulukko 1.7) riippuu välipohjan massasta sekä välipohjaa sivuavien seinärakenteiden keskimääräisestä massasta [kg/m^2]. Keskimääräistä massaa laskettaessa ei oteta huomioon kivirakenteisia seiniä, joihin on tehty levyverhous, jonka ominaistajuus f_0 on alle 125 Hz, eikä kevyitä väli- ja ulkoseiniä.

Taulukko 1.7. Sivutiesiirtymän huomioon ottavan tekijän K [dB] arvo välipohjan massasta ja sivuavien rakenteiden massasta riippuen.

Välipohja- laatan massa [kg/m ²]	Sivuavien rakenteiden massa keskimäärin [kg/m ²]								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

Yksinkertaistettu menetelmä sopii lähinnä pehmeillä lattianpäällysteillä päällystettyjen välipohjien askeläänitasolukujen arviointiin. Kelluvien lattiarakenteiden askeläänitasoluvut on suositeltavaa laskea tarkalla menetelmällä tai vaihtoehtoisesti ne on todettava laboratorio- tai kenttämittauksin.

Standardin mukaisesti lasketun askeläänitasoluvun ilmoitetaan ennustavan askeläänitasoluvut ± 2 dB tarkkuudella mittaustuloksiin verrattuna 60 % tapauksista. Kaikissa tapauksissa mittaustuloksen ja lasketun askeläänitasoluvun ero on ollut ± 4 dB. Tapauskohtaisesti on syytä miettiä, pitääkö sallittuun askeläänitasolukuun nähden asettaa laskennallisen askeläänitasoluvun vaatimus 4 dB alemmalle tasolle, jotta vaatimus varmasti täytetään. Standardin laskentamalli ei ota huomioon esimerkiksi sitä, että ontelolaatta välipohjan kantavana rakenteena johtaa tavallisesti jonkin verran parempiin askeläänitasolukuihin kuin paikalla valettu betonilaatta, jonka massa on sama. Standardin mukaisella laskentatavalla ei ole mahdollista arvioida spektripainotustermiä $C_{1,50-2500}$.

Ympäristöministeriön oppaassa 99 "Ääneneristys rakennuksessa" on esitetty kaksi tapaa laskea askeläänitasolukuja. Molemmat menetelmät soveltuvat vain massiivisille välipohjille. Yksinkertainen menetelmä perustuu yksilukuarvoihin, jolloin lähtökohdaksi otetaan paljaalle välipohjalle oppaassa ilmoitettu normalisoitu askeläänepainetasoluku $L_{n,eq,0,w}$. Välipohjarakenteen normalisoitu askeläänitasoluku arvioidaan pintarakenteelle ilmoitetun askelääneparannusluvun ΔL_w perusteella kaavalla

$$L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w \quad (1.24)$$

Oppaan mukaan rakennuksissa saavutetaan yleensä korkeammat askeläänitasoluvut kuin mallilla arvioidut. Tästä syystä suositellaan käyttämään 3-5 dB:n varmuusvaraa.

Oppaan mukaisessa tarkemmassa menetelmässä askeläänitasolukuja arvioidaan päällystämättömien välipohjien kolmannesoktaavikaistoittain määritettyjen askeläänitasojen $L'_{n,0}$ (taulukko 1.8) ja lattianpäällysteiden kolmannesoktaavikaistoittain ilmoitettujen askeläänitasojen alenemien ΔL perusteella. Päällystämättömän välipohjan askeläänitasoista vähennetään askeläänitasojen alenemat ΔL . Näin saadun päällystetyn välipohjan laskennallisen askeläänitason L'_n perusteella lasketaan vertailukäyrämenettelyllä askeläänitasoluku $L'_{n,w}$.

Taulukko 1.8. Päällystämättömien betonivälipohjien rakennuksessa tyypillisesti tuottamia askeläänitasoja $L'_{n,0}$ kolmannesoktaavikaistoittain sekä niille ilmoitetut normalisoidut askeläänepainetasoluvut $L_{n,eq,0,w}$, kun sivuavina rakennusosina ja liitoksina käytetään tavanomaista rakennetekniikkaa.

Keskitaajuus [Hz]	Betonilaatta 240 mm ($L_{n,eq,0,w}=69\text{dB}$)	Betonilaatta 200 mm ($L_{n,eq,0,w}=71\text{dB}$)	Ontelolaatasto 380 kg/m ² ($L_{n,eq,0,w}=72\text{dB}$)	Ontelolaatasto 500 kg/m ² ($L_{n,eq,0,w}=70\text{dB}$)
100	56,5	58,5	55,0	53,0
125	58,5	60,5	57,0	55,0
160	59,5	61,5	59,0	57,0
200	60,5	62,5	60,0	58,0
250	61,0	63,0	61,0	59,0
315	61,5	63,5	62,0	60,0
400	62,0	64,0	63,0	61,0
500	62,5	64,5	64,5	62,5
630	63,0	65,0	66,0	64,0
800	63,5	65,5	67,5	65,5
1000	64,0	66,0	69,0	67,0
1250	64,5	66,5	70,5	68,5
1600	65,0	67,0	72,0	70,0
2000	65,5	67,5	73,5	71,5
2500	65,5	67,5	74,0	72,0
3150	65,5	67,5	74,0	72,0

Taulukoissa 1.9 ja 1.10 on esitetty eri menetelmillä arvioituja askeläänitasoluvut eräällä usein kerrostaloissa käytetyllä rakenneyhdistelmällä. Vertailemalla eri menetelmillä saatavia tuloksia voidaan havaita, että tulokset ovat välillä 52-57 dB, kun huomioidaan suositeltu varmuusvara Ympäristöministeriön oppaan tuloksiin. Näin ollen voidaan todeta, että menetelmillä saatavilla tuloksilla on huomattavaa

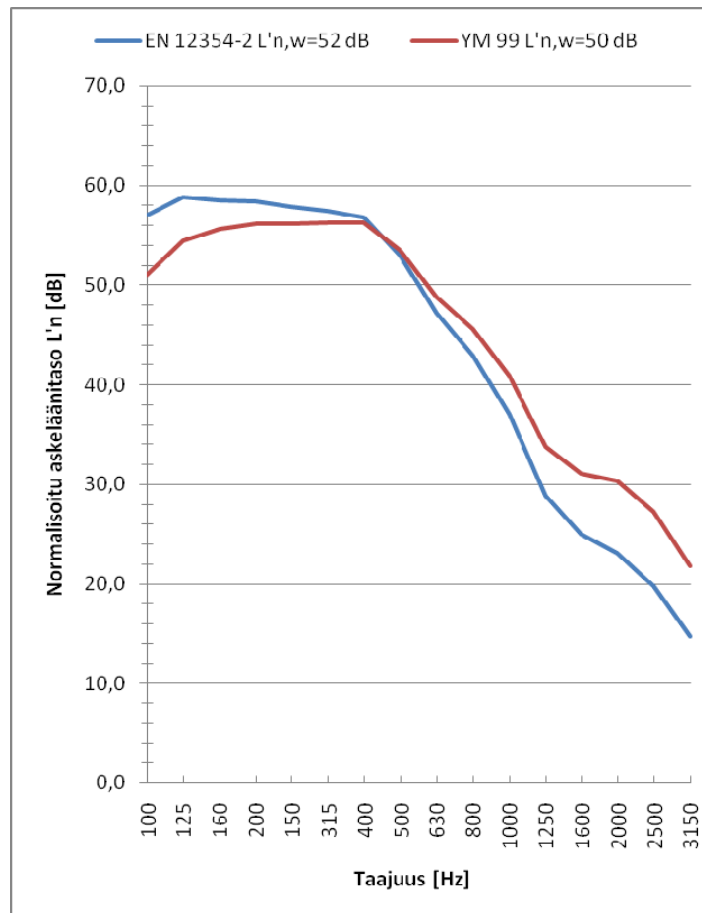
hajontaa ja että ainoa varma tapa selvittää rakennuksen todellinen askelääneneristävyys on mitata se paikan päällä. Laskentamenetelmät eivät huomioi mahdollisten rakennusaikaisten virheiden vaikutuksia muutoin kuin varmuusvarassa. Niissä ei ole myöskään huomioitu vastaanottohuoneen tilavuuden vaikutusta normalisoituun askeläänitasolukuun. Erityisesti viimeaikaisten havaintojen perusteella isojen yhtenäisten avoimien huonetilojen yhteydessä saattavat normalisoidut askeläänitasoluvut $L'_{n,w}$ olla huomattavasti korkeampia kuin perinteisillä laskentamalleilla on arvioitu.

Taulukko 1.9. EN 12354-2 ja Ympäristöministeriön oppaan 99 mukaisilla yksinkertaisilla menetelmillä saatavia askeläänitasolukuja, kun välipohjarakenteena on ontelolaatasto (500 kg/m²), pinnoitteena parketti ja alusmateriaali ($\Delta L_w=18\text{dB}$) sekä sivuavana rakenteena betoninen sisäkuorielementti (350kg/m²). Ympäristöministeriön opas suosittelee lisäämään tulokseen 3-5 dB varmuusvaran, askeläänitasoluku varmuusvaran kanssa merkitty sulkuihin.

EN 12354-2 yksinkertainen menetelmä		Ympäristöministeriön opas 99 yksinkertainen menetelmä	
$L_{n,w,eq}$ kaava (1.21)	69,5 dB	$L_{n,eq,0,w}$ taulukko 1.8	70 dB
$L'_{n,w}$ kaava (1.22)	52,5 dB	$L'_{n,w}$ kaava (1.23)	52 (55-57) dB

Taulukko 1.10. EN 12354-2 ja Ympäristöministeriön oppaan 99 mukaisilla tarkemmilla menetelmillä saatavia askeläänitasolukuja, kun välipohjarakenteena on ontelolaatasto (500 kg/m²), pinnoitteena parketti ($\Delta L_w=18\text{dB}$) ja alusmateriaali sekä sivuavana rakenteena betoninen sisäkuorielementti (350kg/m²). Ympäristöministeriön opas suosittelee lisäämään tulokseen 3-5 dB varmuusvaran, askeläänitasoluku varmuusvaran kanssa merkitty sulkuihin.

Keskitaajuus [Hz]	EN 12354-2 tarkempi menetelmä	Ympäristöministeriön opas 99 tarkempi menetelmä		
	Laskentaohjelman tuottamat normalisoidut askeläänitasot L'_n [dB]	ontelolaatasto 500 kg/m ² normalisoidut askeläänitasot $L'_{n,0}$ [dB] taulukko 1.8	erään parketin ja alusmateriaalin parannusvaikutus ΔL [dB]	Yhdistelmän normalisoidut askeläänitasot L'_n [dB]
100	57,0	53,0	1,9	51,1
125	58,9	55,0	0,5	54,5
160	58,5	57,0	1,3	55,7
200	58,5	58,0	1,8	56,2
250	57,9	59,0	2,8	55,2
315	57,4	60,0	3,7	56,3
400	56,9	61,0	4,7	56,3
500	53,0	62,5	9,0	53,5
630	47,2	64,0	15,2	48,8
800	42,9	65,5	19,9	45,6
1000	37,1	67,0	26,1	40,9
1250	28,8	68,5	34,7	33,8
1600	25,0	70,0	38,9	31,1
2000	23,1	71,5	41,2	30,3
2500	19,8	72,0	44,8	27,2
3150	14,7	72,0	50,2	21,8
askeläänitasoluku L'_{nw} [dB]	52 dB	askeläänitasoluku L'_{nw} [dB]		50 (53-55)dB



Kuva 1.16. Taulukon 1.10 tulokset taajuuskaistoittain.

1.2.5 Lattiapäällysteen liitokset muihin rakenteisiin

Joustavan alusmateriaalin päällä lepäävä lautaparketti, asennuslattian pintarakenne ja kelluvan lattian pintarakenne alkavat värähdellä niihin kohdistuvasta iskusta. Värähtely etenee rakenteen koko alalle. Pintarakenne tai lautaparketti ei saa kytkeytyä mekaanisesti esimerkiksi ympäröivään seinään tai lämpöjohtonousuun. Lautaparketin ja kelluvan lattian akustinen toiminta perustuu siihen, että pintarakenne lepää vapaasti joustavan eristekerroksen tai alusmateriaalin päällä. Nämä rakenteet tulee irrottaa kaikista seinärakenteista, pilareista sekä LVIS-asennusten läpivienneistä. Kiviaineista kelluvaa lattiaa valettaessa on huolehdittava myös siitä, että valettavaa massaa ei pääse vuotamaan niin, että syntyy mekaaninen kytkentä pintarakenteen ja kantavan rakenteen välille.

Kelluvat lattiat ovat aina tilakohtaisia. Kelluva pintarakenne on katkaistava vierekkäisiä ääneneristävyyttä edellyttäviä tiloja erottavan rakenteen kohdalla vaakasuuntaisen sivutiesiirtymän estämiseksi. Tilasta toiseen jatkuva kelluva rakenne pilaa paitsi askelääneneristävyyden, myös ilmaääneneristävyyden tilojen välillä.

1.2.6 Yhteenveto askelääneneristävydestä

Asuinrakennusten välistä askelääneneristävyttä arvioidaan nykymääräysten perusteella normalisoidun askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ avulla. Rakennuksessa tehtävien askelääneneristysmittausten tulee täyttää määräykset. Rakennuksessa saavutettava askeläänitasoluku on aina alhaisempi kuin laboratoriossa saavutettu. Olemassa olevat laskentamenetelmät perustuvat joko yksilukuarvoihin tai taajuuskaistoittain suoritettavaan laskentaan. Laskentamenetelmien tuottamat tulokset saattavat useissa tapauksissa erota toisistaan jonkin verran mutta taajuuskaistoittain suoritettavat laskennat tuottavat tarkemman tuloksen. Missään laskentamallissa ei oteta huomioon vastaanottohuoneen tilavuuden vaikutusta normalisoituun askeläänitasolukuun. **Lattiapäilysteiden testausselosteissa, jotka perustuvat laboratoriomittauksista saataviin laskennallisiin askeläänitasolukuihin, rajataan tuloksien pätevän vain 50m³ huonetilavuuteen asti.**

Nykymääräyksissä käytettävä mittasuure askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ ei huomioi alle 100 Hz taajuuksia, vaikka huomattava osa normaalin kävelyn välipohjaan tuottamasta energiasta sijaitsee kyseisellä taajuusalueella ja vaikuttaa siten ihmisten kokemaan askelääneneristävyteen. Käyttämällä spektripainotustermejä voitaisiin myös matalat taajuudet huomioida. Spektripainotustermin $C_{1,50-2500}$ ja askeläänitasoluvun summan on todettu vastaavan paremmin ihmisten subjektiivista kokemusta askelääneneristyksestä kuin pelkän askeläänitasoluvun. Myös standardoidun askeläänitasoluvun $D_{nT,w}$ on todettu vastaavan paremmin ihmisten kokeman askelääneneristävyden kanssa.

1.3 Värähtelyt

Ihminen voi aistia rakenteiden värähtelyn asunnossa joko tuntoaistin välityksellä liikkeenä tai kuuloaistin välityksellä meluna. Tärinän ihminen aistii voimakkaimmin alle 10 Hz taajuuksilla, koska sisäelimien resonanssit voimistavat värähtelyä tällä alueella. Yli 10 Hz taajuuksilla ihmisen tärinäaistimus riippuu värähtelyn voimakkuudesta. Rakenteiden värähdellessä ihmisen kuuloalueella eli yli 16..20 Hz taajuuksilla aiheuttavat värähtelevät pinnat ilmanpaineen vaihtelua, jonka ihminen aistii kuuloaistilla. Rakenteiden värähtely voi aiheuttaa myös välillisiä haittoja esimerkiksi ikkunoiden ja esineiden helinänä. Lyhyt impulssimainen isku aistitaan yleensä vähemmän häiritsevänä kuin jatkuvan herätteen aiheuttama yhtä voimakas värähtely.

1.3.1 Laitteiden tärinäeristys

Konehuoneita ei pääsääntöisesti saa toteuttaa kelluvalla pintarakenteella, koska kelluvan rakenteen ominaistajuus on yleensä hyvin lähellä koneiden herätetaajuuksia, jolloin värähtely kytkeytyy voimakkaammin kantavaan rakenteeseen (vrt. kuva 1.18). Tästä syystä koneiden tärinäeristimet tulee aina mitoittaa koneen käyntinopeuden ja massan perusteella siten, että eristimen ja koneen muodostaman jousi-massa-järjestelmän ominaistajuus f_0 on vähintään 2,5 kertaa alhaisempi kuin koneen alin käyntinopeus. Mikäli koneen massa ei yksin ole riittävä, voidaan käyttää koneen asennuksessa betonista konepetiä, jonka alle eristimet asennetaan. Mikäli asennustilassa on muista syistä käytettävä kelluvaa lattiarakennetta esimerkiksi askelääneneristävyyden vuoksi, tulee koneelle järjestää erikseen tuenta kantavasta rakenteesta eristimien välityksellä.

Mikäli koneen kuten esimerkiksi pyykinpesukone tiedot eivät ole etukäteen tiedossa, ei eristystä välttämättä voida suunnitella etukäteen. Tällöin on suositeltavaa valita koneen sijoituspaikka siten, että se ei ole keskellä kantavan rakenteen jänneväliä vaan mahdollisimman lähellä perustuksia tai kantavia rakenteita. Tarvittaessa voidaan koneen paikalle järjestää lisätuenta. Asunnosta toiseen etenevä värähtely on myös mahdollista estää katkaisemalla kantava alapohjarakenne asuntojen välillä tai toteuttamalla alapohja maanvaraisena laattana, joka on erotettu ympäröivistä rakenteista (vrt. kappale 2.1 rivitalojen rakennekokonaisuudet).

Pyykinpesukoneen tapauksessa eristyksen suunnitteleminen on hankalaa myös sen vuoksi, että kone voi toimia usealla eri taajuudella. Yleensä linkousnopeus on välillä 600...1800 rpm eli 10...30Hz, jolloin alimmat linkousnopeudet osuvat yleensä kantavan betonirakenteen alimpien ominaistajuuksien läheisyyteen. Yleensä lattian ominaistajuus voidaan arvioida päistään niveltuetuna palkkina kaavalla

$$f = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (1.25),$$

jossa l on lattiapalkkien tai -elementin pituus, $(EI)_l$ on lattian suurempi pääsuuntaan l vastaava jäykkyys EI_l ja m on lattian massa pinta-alayksikköä kohden lisättyä hyötykuorman osuudella 30 kg/m^2 .

Mikäli kantavan betonirakenteen ominaistaajuus osuu lähelle koneen tuottamaa herätetaajuutta, on ratkaisevaa koneen toiminnasta aiheutuva värähtelyherätteen voimakkuus eli lähinnä pyörivien massojen epäkeskeisyys. Linkouksen lisäksi pesukone toimii pesuvaiheessa linkousta alhaisemmilla nopeuksilla. Tällöin linkousnopeuksien mukaan mitoitettun eristimen ominaistaajuus on yleensä lähellä pesuvaiheen tuottamaa herätettä. Nykyisin useat valmistajat ovat kehittäneet pesukoneiden ohjelmia (mm. pyörivien massojen tasaus) sekä eristimiä siten, että ne eivät yleensä edes tarvitse erillistä eristinrakennetta. Mikäli koneen sisällä on akustisesti riittävät eristimet, lisäeristimet itse asiassa estävät alkuperäisten eristimien toiminnan.

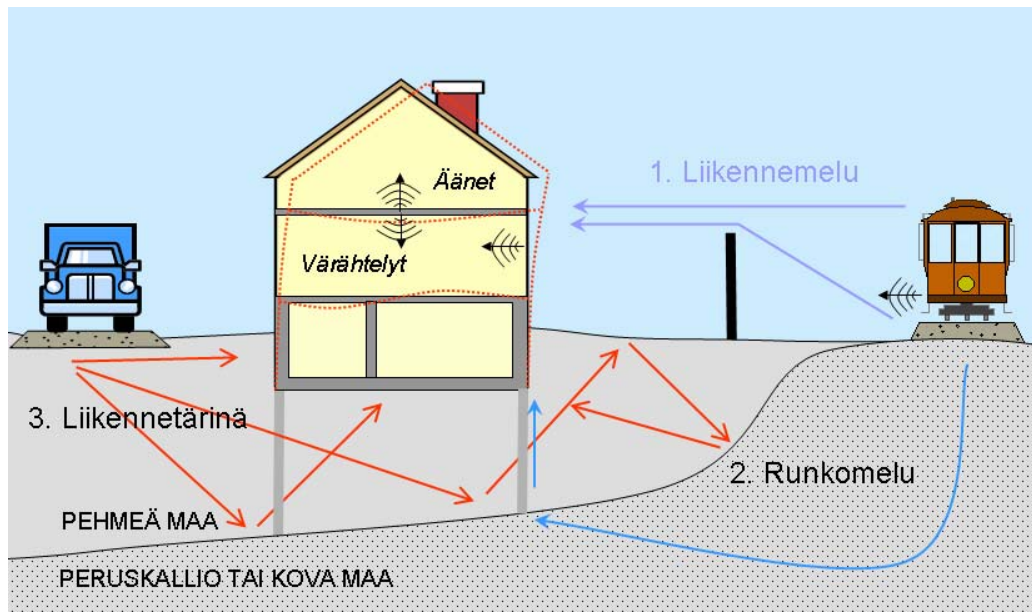
Eristyksen toiminta edellyttää aina, että eristetystä laitteesta ja sen mahdollisesta betonisesta asennuspedistä ei ole jäykkää kytköstä eristämättömiin rakenteisiin, putkistoihin tai kanavistoihin. Tarvittaessa irrotukset on tehtävä katkaisemalla rakenne tai käyttämällä tarkoitukseen sopivia joustoliittimiä.

1.3.2 Maaperästä asuntoihin siirtyvä värähtely

Liikenneperäinen maaperän värähtely aiheutuu yleisimmin raideliikenteestä mutta joskus myös maantieliikenteestä esimerkiksi hidastetöyssyjen läheisyydessä. Värähtelyn syntymiseen vaikuttaa ensisijaisesti mm. liikennöivä kalusto, ajonopeus, sekä akselipainot. Värähtelyn kytkeytyminen ja eteneminen maaperässä riippuvat lähinnä väylän kunnosta ja perustamistavasta sekä maaperän ominaisuuksista. Värähtelyn kytkeytymiseen rakennuksiin vaikuttaa rakennuksen perustamistapa, perustusten vaakadimensiot sekä värähtelyn taajuussisältö ja suunta. Värähtelyn siirtymiseen perustuksista asuntoihin puolestaan vaikuttavat mm. rungon ja välipohjien dynaamiset ominaisuudet sekä värähtelyn suunta ja taajuussisältö. Koska asunnoissa havaittavaan värähtelyyn liittyy useita vaikeasti mallinnettavia muuttujia, on luotettavin tapa arvioida värähtelyhaitan suuruutta suorittaa värähtelymittaus asunnossa.

Useimmiten värähtelyhaitta tulee arvioida jo rakennusten suunnitteluvaiheessa, jolloin mittaukset tehdään maaperästä alueilta, joille rakennukset on suunniteltu sijoitettavaksi. Maaperästä saatujen mittaustulosten perusteella on mahdollista arvioida värähtelyhaitta valmiissa asunnoissa. Värähtelyhaitan arvioinnissa pitää aina arvioida pystysuunnan lisäksi myös vaakasuuntainen värähtely, koska se vaikuttaa olennaisesti esimerkiksi värähtelyn etenemiseen rakennuksen rungossa. Mittaustuloksista tulee aina huomioida mahdollisena haittana asukkaille sekä

runkomelu että tärinä. Pahimmassa tapauksessa voimakas tärinä voi aiheuttaa rakenteille myös vaurioitumisriskin. Sekä runkomelu että tärinä ovat seurausta rakenteita pitkin asuntoon kantautuvasta värähtelystä, vaikka ne ilmenevät asukkaalle kannalta eri tavalla. Tärinä on liikettä, jonka asukas aistii tuntoaistin välityksellä ja runkomelu rakenteiden säteilemää matalataajuisia ääntä, joka muistuttaa esimerkiksi ukkosen jylinää. Runkomelu etenee tehokkaimmin kovissa maaperissä kuten esimerkiksi kallio tai soramaat, kun taas tärinä etenee tehokkaimmin pehmeissä maalajeissa. Pehmeillä savimailla raskaiden tavarajunien aiheuttama tärinä voi olla haitallista vielä jopa 1000 metrin etäisyydellä radasta.



Kuva 1.17. Liikenteen aiheuttaman ilmaäänen, runkomelun sekä tärinän siirtymäreitit rakennukseen [Talja, A. et al. 2008].

Runkomelua arvioidaan käyttämällä SLOW-aikapainotusta. Runkomelun suhteen Suomessa ei toistaiseksi ole olemassa virallisia viranomaismääräyksiä. Avoradalla, jolla on suhteellisen paljon liikennettä on asunnoissa yleensä pidetty raja-arvona $L_{A,S,max} \leq 35 \text{ dB}$. Mikäli huiput ovat hyvin satunnaisia, voidaan raja-arvona pitää Sosiaali- ja terveysministeriön julkaiseman Asumisterveysohjeen terveyshaitan ylärajaa $L_{A,F,max} \leq 45 \text{ dB}$. Koska FAST- ja SLOW-aikapainotuksilla saatavien äänitasojen ero on noin 2 dB, voidaan asumisterveysohjeen ylärajan tulkita satunnaisen junaliikenteen aiheuttamalle runkomelulle olevan noin $L_{A,S,max} \leq 43 \text{ dB}$. Liike- ja toimistotiloille voidaan tiheästi liikennöidyillä avoradoilla pitää raja-arvona $L_{A,S,max} \leq 45 \text{ dB}$. Mikäli tavoitellaan häiriöttömämpiä olosuhteita voidaan runkomelutaso rajana pitää vaatimustasosta riippuen esim. $L_{A,S,max} \leq 25-30 \text{ dB}$.

Keväällä 2009 julkaistussa VTT:n tiedotteessa 2468 Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi on annettu suositukset runkomelutasojen raja-arvoiksi (taulukko 1.11). Suositellut raja-arvot on ilmoitettu käyttäen runkomelutasolle tilastollista tunnuslukua L_{prm} . Tunnuksluvun määritelmä on, että satunnaisen

ohituksen aiheuttama mittaustulos 95% todennäköisyydellä alittaa kyseisen tunnusluvun.

Taulukko 1.11. VTT:n suosituksen mukaiset raja-arvot runkomelutasoille.

Rakennustyyppi	Runkomelutaso L _{prm} [dB]
Radio-, tv- ja äänitysstudiot, konserttitalit	25-30
Asuinhuoneistot	30/35*
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat <ul style="list-style-type: none"> • potilashuoneet, majoitustilat • päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitetut huoneet 	30/35*
Kokoontumis- ja opetustilat <ul style="list-style-type: none"> • luokkahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänentoistolaitteiden käyttöä • muut kokoontumistilat kuten teatterit ja kirjastot 	35
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40/45*
*) Avoradat. Mikäli kaavamääräyksessä on annettu ohje julkisivun ilmajäneneristävyydestä, on suositeltavaa käyttää runkomelutason tiukempaa raja-arvoa.	

Tärinälle ei Suomessa tällä hetkellä ole virallisia määräystasoja, mutta arvioinnissa on yleisesti käytetty VTT:n suosittelemaa luokitusta (taulukko 1.12). Luokituksessa asunnot jaetaan tunnusluvun perusteella luokkiin A, B, C ja D. Luokista A on paras mahdollinen ja luokka C vähimmäisvaatimus uudisrakennuksissa.

VTT:n suosituksen mukaisen tärinäluokan määrittelemineen edellyttää viikon pituista seurantamittausta. Tarvittaessa tiheästi liikennöidyillä rataosuuksilla voidaan suorittaa lyhyempi tarkistusmittaus, jolla saadaan selvitettyä lähtötilanne sekä jatkotutkimustarve. Kevyimmällä arviointitasolla voidaan riskitasoa arvioida selvittämällä liikennöinti- ja maaperätiedot sekä vertaamalla niitä suositeltuihin suojaetäisyyksiin eri tapauksissa.

Taulukko 1.12. VTT:n suosituksen mukainen tärinäluokitus ja kuvaus häiritsevyydestä.

Värähtelyluokka	kiiihtyvyyden tunnusluku $a_{w,95}$ [mm/s ²]	nopeuden tunnusluku $v_{w,95}$ [mm/s]	kuvaus olosuhteista
A	≤ 3,6	≤ 0,10	Hyvät asuinolosuhteet. <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse tärinää.</i>
B	≤ 5,4	≤ 0,15	Suhteellisen hyvät olosuhteet. <i>Ihmiset voivat havaita tärinän, mutta se ei ole yleensä häiritsevää.</i>
C	≤ 11,0	≤ 0,30	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. <i>Keskimäärin 15% asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöistä.</i>
D	≤ 21,0	≤ 0,60	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. <i>Keskimäärin 25% asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöistä.</i>

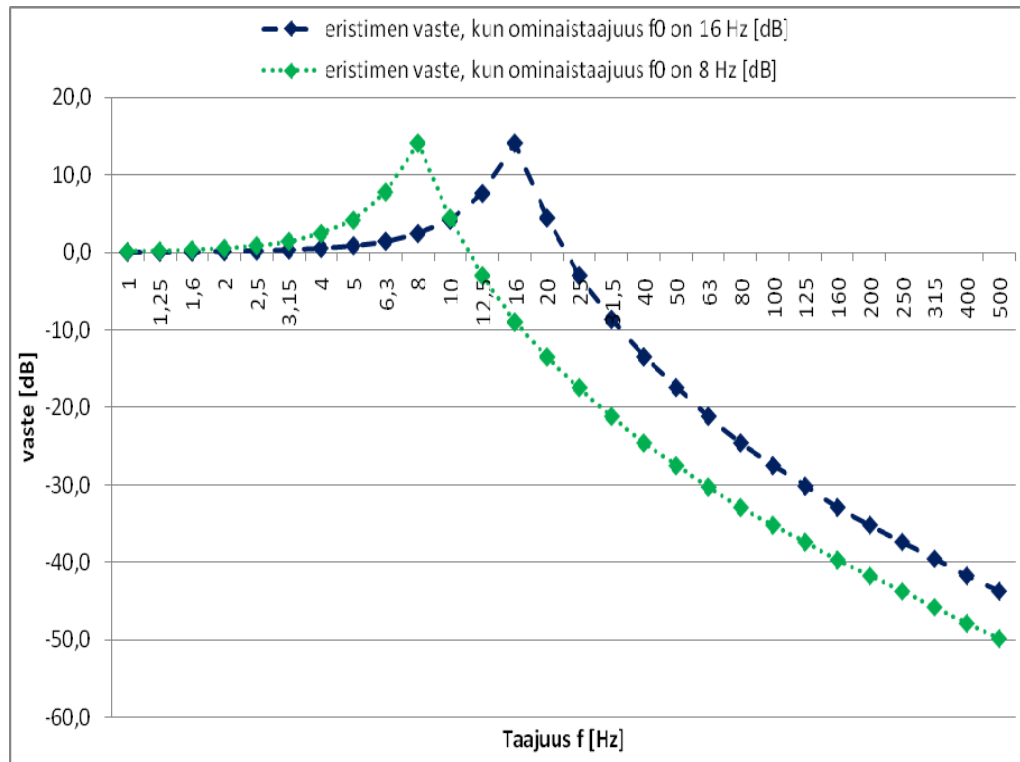
Värähtelyhaitan vaimennussuunnitelma tulee aina suunnitella tapauskohtaisesti lähtötilanteen ja tavoitteiden selvittämisen jälkeen. Tärinän merkitsevät taajuudet ovat yleensä välillä 1...80 Hz ja runkomelun välillä 16...250 Hz. Näin ollen niille soveltuvat hieman erilaiset vaimennusratkaisut. Vaimennusratkaisut voidaan jakaa niiden sijainnin perusteella kolmeen luokkaan eli 1) lähteeseen vaikuttavat, 2) väliaineeseen (eli maaperään) vaikuttavat sekä 3) kohteeseen vaikuttavat.

Lähteeseen vaikuttavat toimenpiteet käsittävät mm. kaluston ja radan kunnossapidon, liikennöintipainojen ja nopeuksien rajoittamisen lisäksi mahdolliset vaimennusrakenteet. Vaimennusrakenteina radoilla on käytetty joko ratapölkkyjen alapintoihin tai radan sepelikerroksen alle asennettavia vaimennusmattoja. Vaihtoehtoisesti rata voidaan tehdä eristinkerroksella erotetun betonilaatan päälle. Myös ratarakenteen jäykkyydellä, perustamistavalla ja penkereen korkeudella voidaan vaikuttaa maaperään kytkeytyvän värähtelyn suuruuteen. Kaikkien lähteeseen vaikuttavien keinojen huonona puolena on, että yleensä niiden toteuttaminen olemassa olevien väylien tapauksessa on vaikeaa ja aiheuttaa huomattavat kustannukset liikennöintihaittoina. Uusien väylien tapauksessa ne ovat kuitenkin hyvä vaihtoehto ja niillä saavutetaan vaimennusvaikutus koko radan ympäristössä.

Värähtelyn etenemiseen väliaineessa eli maaperässä voidaan vaikuttaa asentamalla maaperään vaimennusrakenteita. Vaimennusrakenteiden teho perustuu maaperän

pehmeän kerroksen impedanssimuutokseen, joka käytännössä voidaan toteuttaa esimerkiksi stabiloimalla pehmeä maakerros. Stabilointirakenne tulee tällöin ulottaa koko pehmeän kerroksen läpi aina kallioon tai tiiviiseen maakerrokseen asti sekä riittävän pitkälle matkalle suojattavan kohteen läheisyyteen tai radan varteen. Stabilointirakenteiden lisäksi on vaimentamiseen käytetty teräsponttiseiniä tai erikoisvalmisteisia vaimennusseiniä. Vaimennusrakenteiden ominaisuudet ovat tehokkaimmillaan yleensä rakenteen välittömässä läheisyydessä ja ne vaikuttavat lähinnä pehmeässä maakerroksessa etenevään värinä. Koska rakenteiden taajuuskaistaisista vaimennusominaisuuksista on toistaiseksi suhteellisen vähän tietoa, tulee jokaisessa kohteessa varmistua mahdollisen vaimennusrakenteen sopivuudesta kyseiseen kohteeseen.

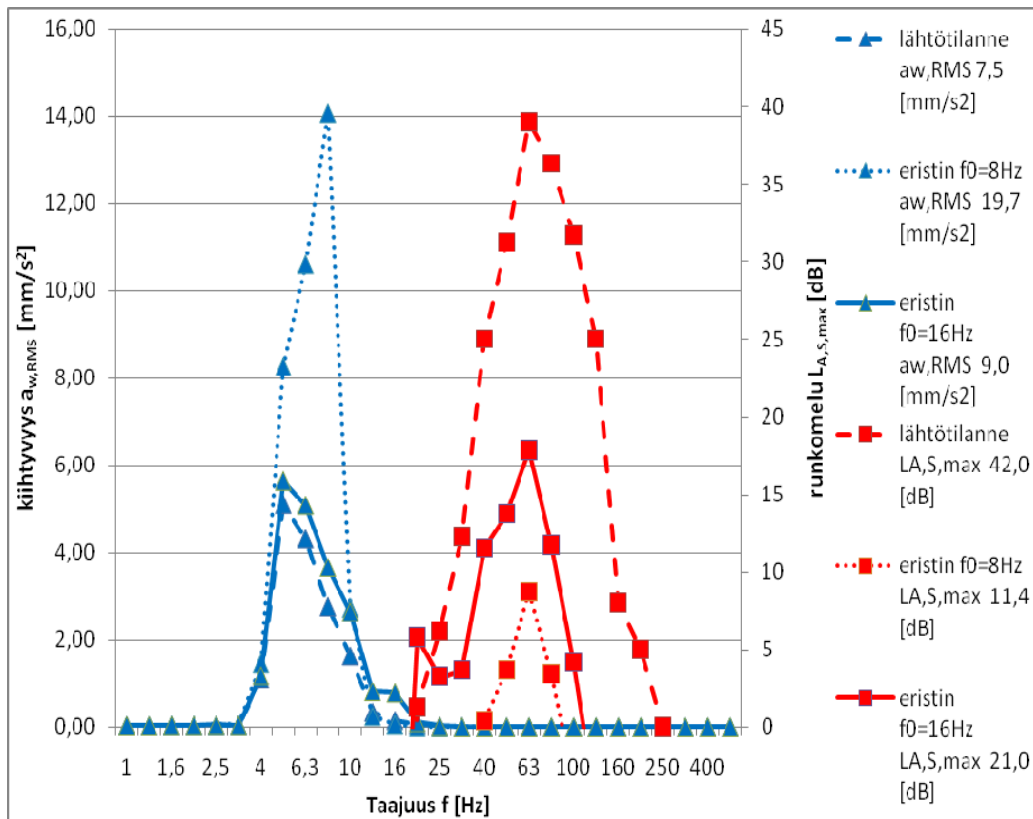
Kohteeseen eli rakennukseen sijoitettavat vaimennusratkaisut perustuvat rakennuksen irrottamiseen maaperästä eristimiä käyttämällä. Eristimillä rakennus irrotetaan yleensä perustuksistaan mutta tarvittaessa voidaan erityisesti toteuttaa myös esimerkiksi autohallin ja asuinkerrosten välissä. Eristiminä käytetään joko eristinmattoja tai teräsjousia. Tällöin eristämiseen käytettävä rakenne ja rakennuksen massa muodostavat jousi-massa-järjestelmän, jolla on tietty ominaistaajuus. Tällainen järjestelmä vaimentaa värähtelyä vain taajuuksilla, jotka ovat huomattavasti ominaistaajuutta korkeampia. Ominaistaajuuden läheisyydessä värähtely sen sijaan voimistuu. Kuvassa 1.18 on esitetty eristimen vaste kun ominaistaajuus on 8 Hz tai 16 Hz.



Kuvassa 1.18. Yhden vapausasteen järjestelmän vaste, kun ominaistaajuus on 8 Hz (pisteiviiva) tai 16 Hz (katkoviiva). Ominaistaajuuden läheisyydessä värähtely ei

vaimene vaan päinvastoin voimistuu. Vasteen vaimennusalueelle siirrytään vasta, kun taajuus on $\sqrt{2}$ kertaa ominaistajuus.

Koska runkomelun kannalta merkitsevät taajuudet ovat yleensä huomattavasti korkeampia kuin tärinän kannalta merkitsevät taajuudet, tulee runkomelun eristämiseen suunniteltavan järjestelmän ominaistajuus usein sijoittumaan suhteellisen lähelle tärinän kannalta merkitsevimpiä taajuuksia. Tällöin mitoituksessa tulee varmistaa, ettei järjestelmä aiheuta ongelmia tärinätasojen liiallisen voimistumisen seurauksena. Lisäksi tulee huomioida, että järjestelmällä on eri ominaistajuus pysty- sekä vaakasuuntaan. Jotta eristinrakenteella saavutetaan oikeanlainen lopputulos, tulee lähtötilanteen tärinä- sekä runkomelutasojen olla selvillä taajuuskaistoittain. Lisäksi eristimien mitoitukseen vaikuttaa oleellisesti niille tuleva kuormitus, jolloin kuormien laskeminen tulee tehdä perinteistä suunnittelua tarkemmin. Kuvassa 1.19 on esitetty vasteet esimerkkitapauksessa tärinä- ja runkomelutasoihin, kun eristiminä on käytetty kuvan 1.18 eristimiä ominaistajuuksiltaan 8 Hz ja 16 Hz. Esimerkin alkutilanteessa (katkoviiva) runkomelutaso on liian korkea mutta tärinätaso on hyväksyttävä. Mikäli käytetään eristinrakennetta, jonka ominaistajuus on 8 Hz (pisteviiva) alenee runkomelutaso riittävästi (21 dB) mutta samalla tärinätaso nousee liikaa (yli 2,5 kertaa korkeammaksi kuin lähtötilanteessa). Valitsemalla eristinrakenne, jonka ominaistajuus on 16 Hz (yhtenäinen viiva) saavutetaan sekä tärinän että runkomelun osalta hyväksyttävät tasot. Vaihtoehtoisesti voidaan valita eristin, jonka ominaistajuus olisi selkeästi myös tärinän merkitsevimpien taajuuksien alapuolella. Tämä johtaisi kuitenkin teknisesti huomattavasti haastavampaan toteutukseen, joka olisi myös taloudellisesti kalliimpi.



Kuva 1.19. Tärinä- ja runkomelutasot kuvan 1.18 mukaisilla eristinrakenteilla verrattuna lähtötilanteeseen. Kyseisessä tapauksessa eristin, jonka ominaistajuus on 8 Hz, pahentaa tärinätasoa oleellisesti lähtötilanteeseen verrattuna eikä siten ole toteutuskelpoinen vaihtoehto. Toteutukseen pitäisi tässä tapauksessa valita eristin, jonka ominaistajuus on 16 Hz, jolloin sekä tärinä- että runkomelutasot ovat riittävän alhaiset.

Eristinrakenne rajaa rakennuksen aina eristettyyn sekä eristämättömään osaan, jolloin näiden puoliskojen välillä ei saa olla yhtään jäykkää kytköstä, joka aiheuttaisi akustisen kytkeytymisen (ns. äänisilta) puoliskojen välillä. Tällöin kaikki LVIS-asennukset tulee akustisesti katkaista eristysalueen rajalla. Katkaisuissa käytettävien tekniikoiden tulee olla vastaavalla ääniteknisellä tasolla kuin rakennuksen eristämiseen käytettyjen ratkaisuiden. Tästä syystä toteutus vaatii aina erillisen kohdekohtaisen akustisen suunnittelun.

Edellä kuvatut vaimennusvaihtoehdot jaoteltiin kolmeen luokkaan, mutta ne eivät ole välttämättä toisiaan poissulkevia, jolloin tarvittaessa voidaan kohteen suunnittelussa käyttää useampaa kuin yhtä vaimennusratkaisua.

1.4 Ihmisten kokema äänitaso

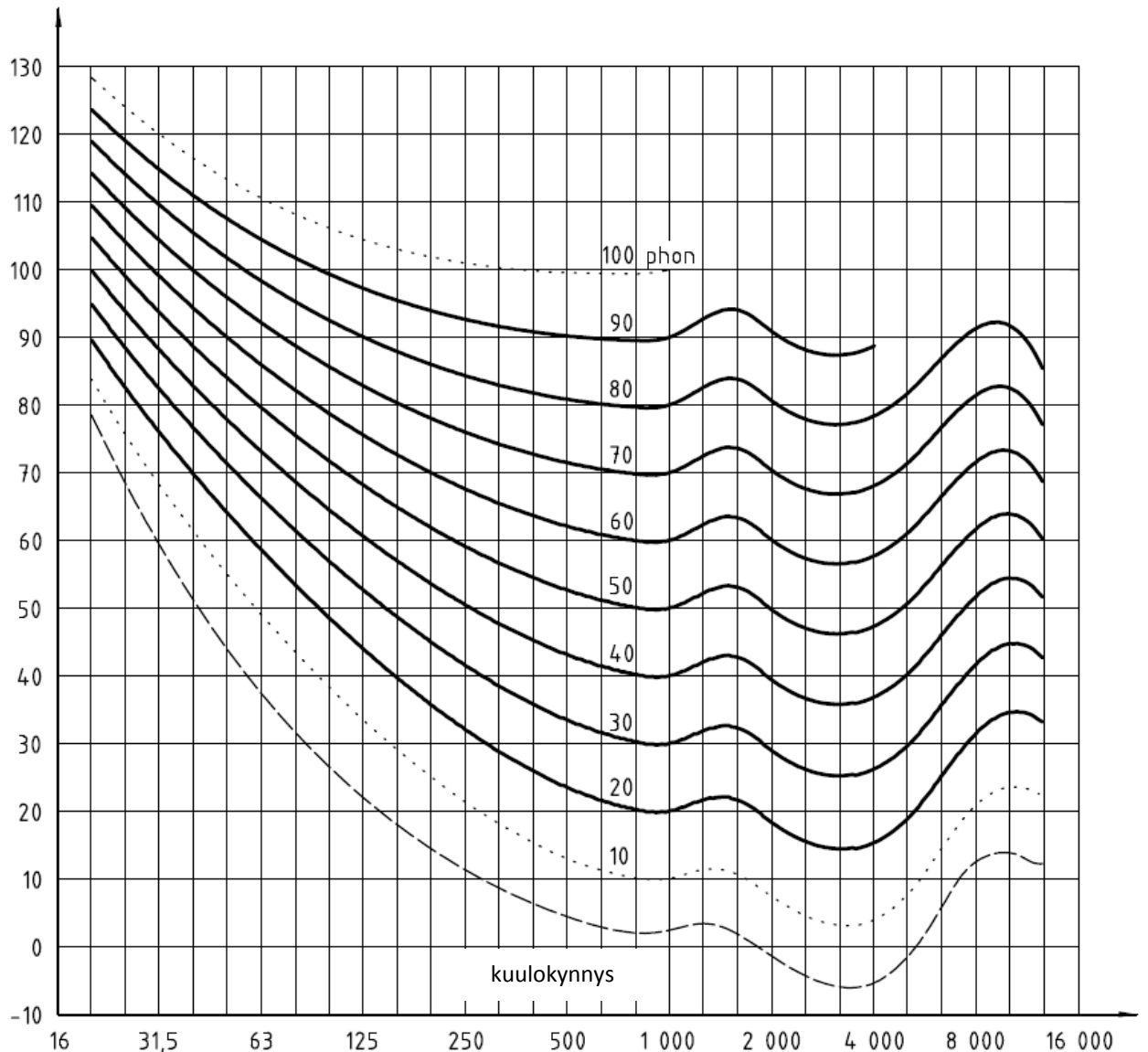
Nykyisin Suomessa voimassa olevat ääneneristävyydsmääräykset lähtevät siitä, että pääosa asukkaista kokee ääneneristävyyden riittäväksi. Määräystasoa ei ole taloudellisesti järkevää määrittää niin korkeaksi, että kaikki asukkaat olisivat tyytyväisiä. Varsinkin kun ääneneristävyyden kokemukset vaihtelevat hyvin paljon ihmisten välillä.

Koettuun eristävyyteen vaikuttaa lisäksi oleellisesti tilan kaikuisuus ja taustamelutaso. Tilassa, jossa on paljon kovia pintoja ja vähän ääntävaimentavaa materiaalia, on vähäisempi huonevaimennus kuin tilassa, jossa on paljon ääntävaimentavaa materiaalia. Vähäinen huonevaimennus johtaa siihen, että tilassa äänitaso nousee korkeammaksi kuin tilassa, jossa huonevaimennusta on paljon. Näin ollen esimerkiksi makuuhuoneessa huonevaimennus voi olla suurempi kuin niukasti kalustetussa olohuoneessa, jolloin toisesta asunnosta kuuluva ääni voi olla voimakkaampi olohuoneessa kuin makuuhuoneessa.

Tietyn tasoisen äänen erottuvuuteen puolestaan vaikuttaa suuresti asunnon taustamelutaso. Asunnoissa, joissa taustamelutaso on hyvin alhainen esimerkiksi, luokkaa 18...24 dB(A), saattaa asukas aistia hyvinkin hiljaiset äänet ja häiriintyä niistä. Yhtä voimakkaat äänet asunnossa, jossa taustamelutaso on korkeampi, eivät välttämättä saman asukkaan mielestä ole edes erotettavissa. Asunnoissa taustamelutaso muodostuu yleensä ilmanvaihdon ja ulkoa kantautuvan liikenteen kohinasta tai asunnon sisäisistä laitteista ja toiminnoista.

Ääneneristävyydsmääräykset nykyisellään käsittävät vain taajuusalueen 100...3150 Hz. Ihmisen kuuloaisti ulottuu kuitenkin matalilla taajuuksilla noin 20 Hz asti. Vaikka ihmisen kuuloaistin herkkyys matalilla taajuuksilla onkin heikompi, ei se tarkoita että asukas ei kuulisi naapurista kantautuvia matalataajuisia ääniä. Standardissa ISO 226:2003 määritetään ihmisen kokeman äänekkyiden tasa-arvokäyrät, joista selviää miten ihmiset kokevat matalataajuiset äänet (kuva 1.20).

Esimerkiksi ihmisen kuulokynnyksen ylittävän äänenpainetason tulee olla 50 Hz taajuudella noin 15 dB korkeampi kuin 100Hz taajuudella. Äänen voimistuessa erotus hieman pienenee. Kuvassa 1.20 esitetystä taajuuskaistaisesta mittaustuloksesta voidaan havaita, että äänenpainetasojen erotus 50 Hz ja 100 Hz taajuuksilla on juuri tätä luokkaa, jolloin matalampi 50 Hz taajuus koetaan yhtä äänekkääksi kuin korkeampi taajuus.



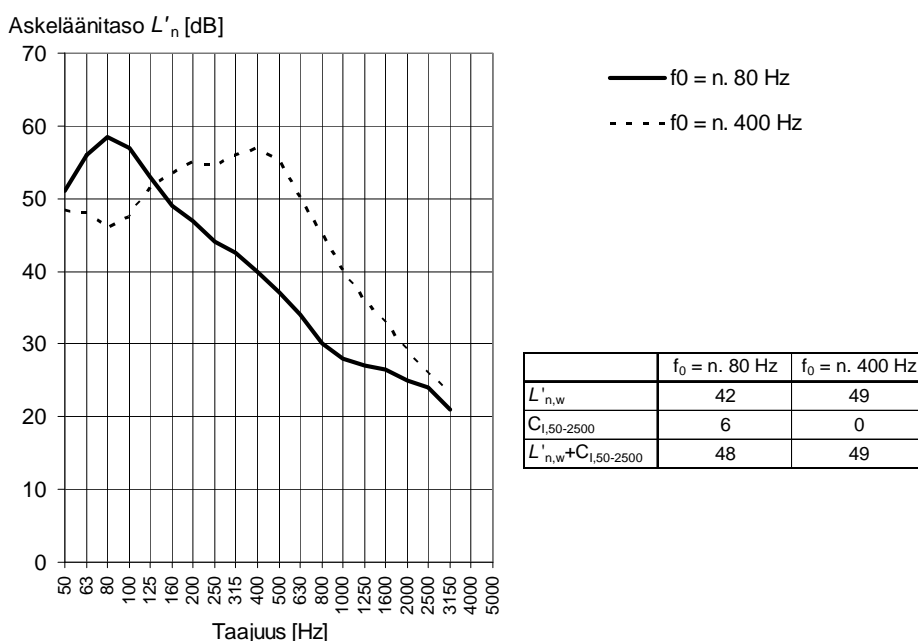
Kuva 1.20. Kuvassa on esitetty äänekkyuden tasa-arvokäyrät. Pystyakselilla äänekkyys, jonka yksikkönä foni ja vaaka-akselilla taajuus hertseinä. Kuulokynnys merkitty katkoviivalla. [ISO 226: 2003].

Kuulon herkkyys on matalilla taajuuksilla heikompi kuin keskitaajuuksilla, mutta siitä huolimatta matalataajuiset askeläänet voivat olla ihmisten subjektiivisen kokemuksen kannalta erittäin merkittäviä. Askeläänen arvioinnissa perusongelmana on se, että askeläänikojeen ja kävelyn äänispektrit eivät vastaa toisiaan ja toisaalta se, että kävelyn spektri painottuu pienille taajuuksille, mutta mittausalue alkaa 100 Hz terssikaistasta. Jos kävely on resonanssissa lattian ominaistaajuuden kanssa, se voidaan kuulla, mutta tulos voi silti olla askeläänitasolukuna hyvä. Näistä syistä esimerkiksi standardissa SFS 5907 Rakennusten akustinen luokitus suosittelee mitattavan taajuusalueen laajentamista terssikaistoille 50, 63 ja 80 Hz.

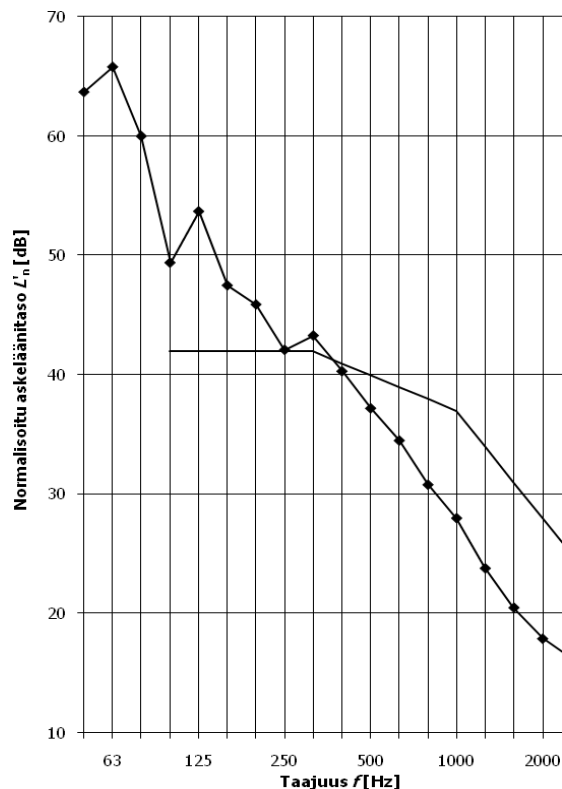
Asukkaat saattavat kokea esimerkiksi tietynlaiset kelluvat lattiarakenteet häiritsevän kumisevina, vaikka ne mittaustuloksen perusteella täyttävät määräykset. Välipohjan

kantavan rakenteen päällä olevan lattianpäällysteen ja siihen liittyvien rakenteiden ominaistaajuus f_0 on asuinrakennuksissa yleensä välillä 30...500 Hz. Ominaistaajuuden ollessa alhainen kävelyn aiheuttama heräte voi johtaa siihen, että kävely kuuluu toisessa tilassa selvästi erottuvana matalana äänenä. Osa ihmisistä pitää tällaista ääntä häiritsevänä. Usein tämä ilmiö esiintyy matalammilla taajuuksilla kuin 100 Hz, josta standardin mukainen mittausalue alkaa. Pelkästään askeläänitasoluvun $L_{n,w}$ tai $L'_{n,w}$ perusteella ei siten kaikissa tapauksissa ole mahdollista arvioida rakenteen käyttökelpoisuutta (vrt. kuva 1.21)

Jotta rakenteen äänitekniinen laatu suhteessa asukkaan kokemaan ääneneristävyyteen tulisi luotettavasti arvioitua, tulisi arvioinnissa huomioida askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ lisäksi spektripainotusermi $C_{1,50-2500}$. Joillain rakenteilla spektripainotusermi $C_{1,50-2500}$ voi olla jopa noin 14 dB (kuva 1.22).



Kuva 1.21. Askelääneneristysmittauksessa näkyy ero kahden välipohjarakenteen akustisessa toiminnassa. Rakenne, jossa kantavan rakenteen päällä on levyrakenteinen kelluva lattia (ominaistaajuus $f_0 = 80 \text{ Hz}$, tuottaa 7 dB paremman askeläänitasoluvun kuin rakenne, jonka lattianpäällysteenä on lautaparketti alusmateriaaleineen ($f_0 = 400 \text{ Hz}$). Kun otetaan huomioon spektripainotusermi $C_{1,50-2500}$, ero pienenee yhteen desibeliin.



Kuva 1.22. Erään kelluvan rakenteen mittaustulos, jolla askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ on 40 dB ja $L'_{n,w}+C_{l,50...2500}$ on $40+14=54$ dB. Kävely herättää tehokkaasti kelluvan rakenteen värähtelemään ominaistaajuudellaan, jolloin asukkaat kokevat rakenteen helposti kumisevaksi.

1.5 Vertailumittaukset

Havaittuihin ääneneristävyysoongelmiin liittyen on Rakennusteollisuus RT ry:n kokoama äänitekninen työryhmä kerännyt lisätietoa ilmiöistä suorittamalla kentällä vertailumittauksia muutamissa kohteissa. Mittausten tarkoituksena oli tuottaa lisätietoa tämän ohjeen kappaleessa kaksi suositeltavien rakennekokonaisuuksien ääneneristävyyksien laskennalliseen arviointiin. Ensimmäisissä vertailumittauksissa tutkittiin lähes valmiissa kerrostalokohteessa tilojen välisiä askel- ja ilmääneneristävyyksiä. Tuloksista tehtiin seuraavat johtopäätökset:

- Siuavien betonirakenteiden (verrattuna esim. kevytrakenteisiin väliseiniin) määrän lisääntyminen huonontaa sekä ilma- että askelääneneristävyyttä. Tulokset tukevat tältä osin sivutiesiirtymän vaikutusta erilaisilla rakennekokonaisuuksilla.
- Mittaussuunnan muutoksella pienestä isoon tilaan tai päinvastoin ei havaittu olevan eroa tai ero on mittaustarkkuuden rajoissa.
- Laskennallisesti heikoksi arvioitu vaakasuuntainen ilmääneneristävyys havaittiin kerrostaloissa myös käytännössä. Kerrostaloissa vaakasuuntainen ilmääneneristävyys ei tietyillä rakennekokonaisuuksilla eräissä tapauksissa

täytä nyky määräyksiä. Tältä osin saavutettiin luotettavuutta rakennekokonaisuuksien laskennalliseen arviointiin vaakasuuntaisen ilmaääneneristävyyden osalta.

- Laskennallisessa tarkastelussa vaikuttavat tilavuuden lisäksi myös rakenneosien liitospituudet. Suunnitteluohjeen näkökulmasta tilavuusrajoitus on kuitenkin käytännöllisempi ja mittausten perusteella tilavuuden avulla on mahdollista luokitella erilaisia huonetiloja. Tarkemmissa selvityksissä tulisi kuitenkin aina huomioida todelliset pinta-alat ja liitospituudet.
- Muodoiltaan ja rakenteiltaan samanlaisten tilojen välillä eri kerroksissa saavutettiin 3 dB:n ero askeläänitasoluvun osalta, kun välipohja päällystettiin yhdistelmällä laminaatti + Tarkoflex light 2,0mm tai parketti + Tuplex. Yhdistelmistä jälkimmäinen tuotti huonomman tuloksen. Kyseisille materiaaliyhdistelmille laboratoriossa mitatun askelääneparannusluvun ΔL_w perusteella vastaavaa eroa ei olisi pitänyt olla. Ero ei selittynyt laskennallisissa tarkasteluissa myöskään huomioimalla taajuuskaistaiset parannusarvot. Koska tulosta ei pystytty selvittämään laskennallisesti ja jäi epäselväksi, johtuiko ero päällysteestä vai alusmateriaalista, tarvittiin tältä osin lisäselvityksiä.

Toisissa mittauksissa tutkittiin eri lattiapäällysteiden vaikutusta askelääneneristävyyteen. Mittaukset suoritettiin rakenteilla olevassa kerrostalossa kolmessa päällekkäisessä samanmuotoisessa tilassa. Käytännön syistä mittaukset toteutettiin käyttämällä n. 1*1 metrin kokoisia koepaloja. Parketin ja laminaatin alusmateriaalit testattiin molempia pinnoitteita käyttämällä. Testatut yhdistelmät sekä niiden laboratoriossa mitatut askelääneparannusluvut (mikäli tiedossa) on lueteltu alla (* merkityistä ei ole saatu testausselostetta, mutta arvo on esitetty tuotetiedoissa):

- | | |
|--|----------------------------|
| • Upofloor, Tuplex 3,0mm + parketti 14mm, | $\Delta L_w=18\text{dB}$ |
| • Upofloor, Tuplex 3,0mm + laminaatti 7mm | $\Delta L_w=19\text{dB}$ |
| • Tarkett, Tarkoflex light 2,0mm + parketti 14mm | $\Delta L_w=?$ |
| • Tarkett, Tarkoflex light 2,0mm + laminaatti 7mm | $\Delta L_w=18\text{dB}$ |
| • Solmer, Provent micro pumping 3,6mm + parketti 14mm | $\Delta L_w=?$ |
| • Solmer, Provent micro pumping 3,6mm + laminaatti 7mm | $\Delta L_w=20\text{dB}$ |
| • Damtec, Standard 3,0mm + parketti 14mm | $\Delta L_w=16\text{dB}$ |
| • Damtec, Standard 3,0mm + laminaatti 8mm | $\Delta L_w=20\text{dB}$ |
| • Damtec, Whisper 5,0mm + parketti 14mm | $\Delta L_w=?$ |
| • Damtec, Whisper 5,0mm + laminaatti 8mm | $\Delta L_w=19\text{dB}$ |
| • Combi, HD 3,0mm + parketti 14mm | $\Delta L_w=16\text{dB}$ |
| • Combi, HD 3,0mm + laminaatti 7mm | $\Delta L_w=?$ |
| • Forbo, Marmoleum decibel 3,0mm (linoleum) | $\Delta L_w=20\text{dB}$ |
| • Forbo, Marmoleum decibel 3,1mm (linoleum) | $\Delta L_w=21\text{dB}$ |
| • Selit Dämntechnik GmbH, Selitac 3,0mm + parketti | $\Delta L_w=22\text{dB}^*$ |
| • Selit Dämntechnik GmbH, Selitac 3,0mm + laminaatti | $\Delta L_w=22\text{dB}^*$ |

• Selit Dämntechnik GmbH, Selitflex 1,6mm + parketti	$\Delta L_w=20\text{dB}^*$
• Selit Dämntechnik GmbH, Selitflex 1,6mm + laminaatti	$\Delta L_w=20\text{dB}^*$
• Rakonor, Parkettinalle 3,0mm + parketti	$\Delta L_w=?$
• Rakonor, Parkettinalle 3,0mm + laminaatti 7mm	$\Delta L_w=20\text{dB}$
• Hunton, Silencio (puukuitulevy) 36mm + parketti 14mm	$\Delta L_w=20\text{dB}$
• Hunton, Silencio (puukuitulevy) 36mm + laminaatti 8mm	$\Delta L_w=20\text{dB}$
• Upofloor, Upostep (muovimatto)	$\Delta L_w=20\text{dB}$
• Tarkett, TX 162 (muovimatto)	$\Delta L_w=20\text{dB}$
• Tarkett, Nordic Stabil (muovimatto)	$\Delta L_w=20\text{dB}$

Mittaustulosten perusteella tehtiin seuraavat johtopäätökset:

- Ensimmäisissä mittauksissa havaittuun 3 dB:n eron askelääneneristävyydessä yhdistelmien laminaatti + Tarkoflex light 2,0 mm ja parketti + Tuplex välillä todettiin johtuvan laminaatin ja parketin välisestä erosta, eikä alusmateriaalien välisestä erosta.
- Laminaatti tuotti kaikilla samankaltaisilla pehmeillä alusmateriaaleilla n. 3 dB paremman tuloksen kuin sama alusmateriaali parketilla.
- Lautaparketin ja laminaatin yllättävä ero selittyy mittauksien perusteella sillä, että laminaatilla ei muodostu niin selvää ja korkeaa resonanssihuippua askeläänitasokäyrässä kuin lautaparketilla.
- Koska nyt esitetyt tulokset on mitattu koepaloilla ja käyttämällä vain yhtä parketti- ja laminaatti-tyyppiä, tulisi eron varmistamiseksi suorittaa vielä lisää mittauksia eri valmistajien parketeilla ja laminaateilla sekä lopullista käyttötilannetta vastaavilla asennuksilla.
- Laboratoriomittausten perusteella laminaatin ja parketin välillä ei ole havaittu edellä kuvattua eroa. Laboratoriomittauksissa käytetään pinnoitteen päällä painoja, jotka voivat selittää nyt havaittua eroa tuloksissa.
- Kovemmilla alusmateriaaleilla (puukuitulevy, Damtecin materiaalit) ei havaittu olevan vastaavanlaista eroa parketin ja laminaatin välillä.
- Mittauksissa pyrittiin selvittämään, onko jokin parketin/laminaatin alusmateriaali kenties askelääneneristävyydeltään parempi kuin nykyisin yleisin käytetty Tuplex. Mittaustulosten perusteella Solmer Provent Micro Pumping 3,6 mm on ainakin laminaatilla n. 1...2 dB parempi kuin Tuplex.
- Mittaustulosten perusteella alusmateriaaleista ääniteknisesti lähes samanarvoiseksi tai paremmiksi Tuplex:iin verrattuna osoittautuivat Tarkoflex light 2,0 mm, Provent micro pumping 3,6 mm, HD 3,0 mm sekä Silencio 36 mm (puukuitulevy).
- Testatuista muovimatoista Upostep ja Nordic Stabil osoittautuivat ääniteknisesti lähes samanarvoiseksi kuin yhdistelmä laminaatti + Tuplex. TX162 oli puolestaan noin 3 dB parempi kuin edellä mainitut. Myös testattujen muovimattojen välillä havaittiin suurempia eroja kuin olisi voinut testausselosteiden perusteella olettaa.

- Linoleumeista ääniteknisesti paremmaksi havaittiin Marmoleum decibel 3,5 mm ja se oli lähes samanarvoinen verrattuna Upostep, Nordic Stabil ja laminaatti + Tuplex-yhdistelmään.
- Testattujen linoleumien ja muovimattojen välillä ero askelääneneristävyydessä oli paljon suurempi kuin laboratoriomittausten perusteella voisi olettaa. Tähän saattaa vaikuttaa se, että testipaloja ei liimattu alustaan. Toisaalta materiaalivalmistajat ovat kehittäneet materiaalejaan siten, että liimaus ei vaikuta askelääneneristävyyteen.

1.6 Ääneneristävyydsmääräykset Euroopassa

Taulukko 1.13. Ilmaääneneristävyyden raja-arvoja Euroopassa [Rasmussen, B. 2004].

Maa	Kerrostalot		Rivitalot	
	Vaatus [dB]	Arvio vaatimuksesta ilmaääneneristyslukuna R'_w ⁽¹⁾ [dB]	Vaatus [dB]	Arvio vaatimuksesta ilmaääneneristyslukuna R'_w ⁽¹⁾ [dB]
Tanska R'_w	≥ 55 ⁽⁹⁾	≈ 55 ⁽⁹⁾	≥ 55	≈ 55
Norja R'_w ⁽⁵⁾	≥ 55 ⁽⁵⁾	≈ 55 ⁽⁵⁾	≥ 55 ⁽⁵⁾	≈ 55 ⁽⁵⁾
Ruotsi $R'_w + C_{50-3500}$	≥ 53	≈ 55 ⁽⁶⁾	≥ 53	≈ 55 ⁽⁶⁾
Suomi R'_w	≥ 55	≈ 55	≥ 55	≈ 55
Islanti R'_w ⁽³⁾	≥ 52 ⁽³⁾	≈ 52 ⁽³⁾	≥ 55	≈ 55
Saksa R'_w	≥ 53 ⁽⁴⁾ (10)	≈ 53	≥ 57	≈ 57
Iso-Britannia $D_{nT,w} + C_{tr}$	≥ 45	$\approx 49-52$ ⁽⁶⁾	≥ 45	$\approx 49-52$ ⁽⁶⁾
Ranska $D_{nT,w} + C$	≥ 53	$\approx 53-56$	≥ 53	$\approx 53-56$
Sveitsi $D_{nT,w} + C$	≥ 54	$\approx 54-57$	≥ 54	$\approx 54-57$
Itävalta $D_{nT,w}$	≥ 55	$\approx 54-57$	≥ 60	$\approx 59-62$
Hollanti $I_{T,w}$	≥ 0	≈ 55	≥ 0	≈ 55
Belgia ⁽⁸⁾ $D_{nT,w}$	≥ 54	$\approx 53-56$	≥ 58	$\approx 57-60$
Italia R'_w	≥ 50	≈ 50	≥ 50	≈ 50
Espanja ⁽⁸⁾ $D_{nT,w} + C_{100-5000}$	≥ 50	$\approx 50-53$	≥ 50	$\approx 50-53$
Portugali $D_{n,w}$	≥ 50	$\approx 50-52$	≥ 50	$\approx 50-52$
Puola $R'_w + C$	≥ 50 ⁽⁴⁾	≈ 51	≥ 52	≈ 53
Tsekki R'_w	≥ 52	≈ 52	≥ 57	≈ 57
Slovakia R'_w	≥ 52	≈ 52	≥ 52	≈ 52
Unkari R'_w	≥ 52	≈ 52	≥ 57	≈ 57
Slovenia R'_w	≥ 52	≈ 52	≥ 52	≈ 52
Viro R'_w	≥ 55	≈ 55	≥ 55	≈ 55
Latvia R'_w	≥ 54	≈ 54	≥ 54	≈ 54
Liettua $D'_{nT,w}$ tai R'_w	≥ 55	≈ 55	≥ 55	≈ 55
Venäjä L_y	≥ 50	≈ 52	⁽⁷⁾	⁽⁷⁾

(1) Arviot ovat karkeita. Tarkkaa muunnosta suureiden välillä ei ole mahdollista tehdä.
(2) Vertailukäyrän suurin poikkeama 8dB.
(3) Suositus 55dB.
(4) Pystysuuntaan, vaakasuuntaan 1dB korkeampi.
(5) Suositellaan, että myös $R'_w + C_{50-3150}$ täyttää vaatimuksen.
(6) Oletettu raskaat rakenteet, kevyillä rakenteilla vaatimus on suurempi.
(7) Ei vaatimuksia. Mahdollisesti kerrostalojen vaatimuksia käytetään myös rivitaloille.
(8) Uusia vaatimuksia ehdotettu.
(9) Tanska muutti vaatimuksiaan 2008
(10) Saksa muuttamassa normeeraustaan $D_{nT,w}$ DIN 4109-1 2006 draft

Taulukossa 1.13 on esitetty Euroopassa käytössä olevia raja-arvoja ilmasteneristävyydelle. Ilmasteneristävyyden osalta raja-arvot on yleensä ilmoitettu joko ilmasteneristysluvun R'_w tai normalisoidun äänitasoeroluvun $D_{nT,w}$ suhteen. Mittasuureiden määrittelytavat sekä niillä saavutettavien tulosten välistä eroa on käsitelty kappaleessa 1.1.

Ruotsissa käytetään usein rakennusten akustisen luokituksen luokkaa B tavoitteena uudisrakentamisessa. Lisäksi nykyisin on vapaasti valittavissa verrataanko ilmasteneristävyytlukua vai standardoitua äänitasoerolukua määräyksiin. Yleensä, mikäli huonetilavuuden suhde erottavan rakenteen pinta-alaan on yli 3,1, mitataan standardoitu ilmasteneristävyytluku. Luokassa B vaatimuksena on $D_{nT,w} + C_{50-3150} \leq 57\text{dB}$.

Taulukossa 1.14 on esitetty Euroopassa käytössä olevia raja-arvoja askelääneneristävyydelle. Askeläänen osalta raja-arvot on yleensä ilmoitettu joko normalisoidun askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ tai standardoidun askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ suhteen. Mittasuureiden määrittelytavat sekä niillä saavutettavien tulosten välistä eroa on käsitelty kappaleessa 1.2.

Ruotsissa käytetään usein rakennusten akustisen luokituksen luokkaa B tavoitteena uudisrakentamisessa. Lisäksi nykyisin on vapaasti valittavissa verrataanko normalisoitua vai standardoitua askeläänitasolukua määräyksiin. Yleensä yli 31m^3 huonetilavuuksissa mitataan standardoitu askeläänitasoluku. Luokassa B vaatimuksena on $L'_{nT,w} + C_{150-2500} \leq 52\text{dB}$.

Taulukko 1.14. Askelääneneristävyyden raja-arvoja Euroopassa [Rasmussen, B. 2004].

Maa	Kerrostalot		Rivitalot	
	Vaatus [dB]	Arvio vaatimuksesta normalisoituna askeläänitasolukuna $L'_{n,w}^{(1)}$ [dB]	Vaatus [dB]	Arvio vaatimuksesta normalisoituna askeläänitasolukuna $L'_{n,w}^{(1)}$ [dB]
Tanska $L'_{n,w}$	≤ 53	=53 ⁽⁸⁾	≤ 53	=53
Norja $L'_{n,w}^{(2)}$	≤ 53 ⁽²⁾	=53 ⁽²⁾	≤ 53 ⁽²⁾	=53 ⁽²⁾
Ruotsi $L'_{n,w}+C_{I,50-2500}$	≤ 56 ⁽³⁾	≈56 ⁽⁵⁾	≤ 56 ⁽³⁾	≈56 ⁽⁵⁾
Suomi $L'_{n,w}$	≤ 53	=53	≤ 53	=53
Islanti $L'_{n,w}^{(2)}$	≤ 58 ⁽⁴⁾	=58 ⁽⁴⁾	≤ 53	=53
Saksa $L'_{n,w}$	≤ 53	=53	≤ 48	=48
Iso-Britannia $L'_{nT,w}$	≤ 62	≈64-57	-	-
Ranska $L'_{nT,w}$	≤ 58	≈60-53	≤ 58	≈60-53
Sveitsi $L'_{nT,w}+C_I$	≤ 50	≈52-45 ⁽⁵⁾	≤ 50	≈52-45 ⁽⁵⁾
Itävalta $L'_{nT,w}$	≤ 48	≈50-43	≤ 46	≈48-41
Hollanti I_{CO}	≥ 5	≈61-54	≥ 5	≈61-54
Belgia ⁽⁷⁾ $L'_{nT,w}$	≤ 58	≈60-53	≤ 50	≈52-45
Italia $L'_{n,w}$	≤ 63	=63	≤ 63	=63
Espanja ⁽⁷⁾ $L'_{nT,w}$	≤ 65	≈67-60	≤ 65	≈67-60
Portugali $L'_{n,w}$	≤ 60	=60	≤ 60	=60
Puola $L'_{n,w}$	≤ 58	=58	≤ 53	=53
Tsekki $L'_{n,w}$	≤ 58	=58	≤ 53	=53
Slovakia $L'_{n,w}$	≤ 58	=58	≤ 58	=58
Unkari $L'_{n,w}$	≤ 55	=55	≤ 47	=47
Slovenia $L'_{n,w}$	≤ 58	=58	≤ 58	=58
Viro $L'_{n,w}$	≤ 53	=53	≤ 53	=53
Latvia $L'_{n,w}$	≤ 54	=54	≤ 54	=54
Liettua $L'_{n,w}$	≤ 53	=53	≤ 53	=53
Venäjä L_v	≤ 67	=60	⁽⁶⁾	⁽⁶⁾

(1) Arviot ovat karkeita. Tarkkaa muunnosta suureiden välillä ei ole mahdollista tehdä.
(2) Suositellaan, että myös $L'_{n,w}+C_{I,50-2500}$ täyttää vaatimuksen.
(3) Vaatus tulee täytyä myös $L'_{n,w}$ osalta.
(4) Suositus 53 dB.
(5) Oletettu raskaat rakenteet, kevyillä rakenteilla vaatimus on suurempi.
(6) Ei vaatimuksia. Mahdollisesti kerrostalojen vaatimuksia käytetään myös rivitaloille.
(7) Uusia vaatimuksia ehdotettu.
(8) Tanskassa uudet vaatimukset 2008

1.6.1 Viimeisimmät muutokset vaatimuksissa ja asukkaiden kokemukset

Tanskassa on siirrytty samantasoiisiin määräyksiin kuin Suomessa. Saksa on siirtynyt 0,5 sekuntiin normeerattuihin arvoihin.

Asukkaan kokemus (tietoa muista maista), nimet ja vastaukset ovat VTT:n lausunnon kyselyosuudesta.

- Itävallassa (Judith Lang) havaittiin 70-luvulla, ettei R'_w ja $L'_{n,w}$ korreloi asukkaiden havaintojen kanssa. Tämän seurauksena siirryttiin käyttämään 0,5 sekunnin jälkikaiunta-aikaa, joka korreloi paremmin asukkaan subjektiivisen kokemuksen kanssa.
- Hollannissa (Eddy Gerretsen) uusittiin 70-luvulla standardit ja siirryttiin 0,5 sekunnin normeerattuihin arvoihin. Asukkaiden subjektiivinen korrelaatio mittaustuloksista parani olohuoneissa 77 % -> 89 %.
- Norjassa (Sigurd Hveem) rajoitettiin tilavuus 100 m³ tulosten laskennassa. (muuten vastaava järjestelmä kuin Suomessa).
- Ruotsissa (Klas Hagberg) rajoitetaan tilavuus 31 m³ tulosten laskennassa (käytännössä vastaa 0,5 sekunnin jälkikaiunta-aikaan normeerausta).
- Englannissa (Carl Hopkins) normeeraus 0,5 sekuntiin.
- Ranskassa (Jacques Roland) mitataan suoraan äänitasoeroja, ilman mitään normeerausta. Suosittelevat kuitenkin 0,5 sekunnin standardisointia, vertailun helpottamiseksi.

1.7 Viimeaikaiset lausunnot sekä kannanotot Suomessa

VTT on Rakennusteollisuus RT ry:n tilauksesta antanut 5.5.2008 lausunnon koskien rakennuksen ääneneristävyttä ja sen mittausta ja tulkintaa (VTT-S-03879-08). Lausunnossa todetaan, että nykyisten ääneneristävyysmääräyksien tueksi tulisi antaa tulkintaohje, jossa rakennuksien ääneneristävyksien mittauksessa vastaanottohuoneen tilavuutena käytetään enintään 60m³. Tulkintaohjeella selkeytettäisiin nykyistä tilannetta rakentajien ja asukkaiden kannalta sekä varmistettaisiin, että samanlaisia rakenteita voidaan tarkoituksenmukaisesti käyttää erikokoisissa huonetiloissa. Lisäksi lausunnossa suositellaan harkitseman määräysten osalta siirtymistä standardoituihin mittasuureisiin $D_{nT,w}$ sekä $L'_{nT,w}$, joka on ollut vallitseva trendi myös muissa Euroopan maissa viime aikoina ja joilla saatavat tulokset korreloivat paremmin kuulohavaintoon perustuvat ääneneristyskokemuksen kanssa. Ääneneristävyysmääräysten mahdollisen uusimisen yhteydessä suositellaan huomioimaan muutos suhteessa nykytasoon. Lausunnossa kannustetaan myös harkitsemaan pienillä taajuuksilla laskettavien spektripainotustermien huomioimista, koska niillä saattaa usein olla huomattava vaikutus mittaustulokseen sekä sen vastaavuuteen kuulohavainnon kanssa.

Rakennusteollisuus RT ry on lähettänyt lausuntopyynnön Helsingin kaupungin rakennusvalvonnalle 31.7.2008, siinä tiedusteltiin, että mikäli huoneistojen väliset seinät on perusteltua tehdä paremman ääneneristävyuden saavuttamiseksi paksumpana kuin 200 mm, onko mahdollista rakennusoikeutta laskettaessa ottaa huomioon vain 200 mm seinärakenteen paksuudeksi. Lausuntopyyntöön 8.9.2008 saadussa vastauksessa (99-61-08-LAU) Helsingin rakennusvalvontavirasto toteaa, että he näkevät toistaiseksi mahdollisena myöntää vähäisenä poikkeuksena rakennusluvan yhteydessä, että asuinrakennusten huoneistojen välisten seinien paksuudesta lasketaan rakennusoikeuteen vain 200 mm. Vähäisen poikkeuksen

myöntäminen edellyttää pätevän akustisen erityisuunnittelijan lausunnon, jossa perustellaan yli 200 mm paksuisen seinän käytön tarve.

Rakennusteollisuus RT ry on lisäksi pyytänyt Rakennustarkastusyhdistystä antamaan rakennusvalvontaviranomaisille suosituksen, jonka mukaan ääneneristävyttä arvioidessa tilan kokona käytettäisiin enintään 60 m³ ja että Helsingin kaupungin tulkinta huoneistojen välisen seinän paksuudesta rakennusoikeutta määriteltäessä otettaisiin käyttöön koko maassa. Rakennustarkastusyhdistyksen johtokunnan kokouksessa 24.4.2009 on päätetty hyväksyä Rakennusteollisuus RT ry:n esittämä ehdotus suosituksen antamisesta.

1.7.1 Suositusten mukainen tulosten laskenta

Rakennustarkastusyhdistyksen suosituksen mukainen tilan koon huomioiminen enintään 60 m³:oon asti vaikuttaa käytännössä mittaustulosten laskentaan kaavan (1.3) mukaisesti. Kyseisellä kaavalla lasketaan tilavuuden avulla vastaanottohuoneen absorptioala, jota käytetään puolestaan tulosten laskemiseen ilmaääneneristävyden osalta kaavalla (1.4) ja askelääneneristävyden osalta kaavalla (1.17). Suosituksen mukainen tuloksen laskenta tarkoittaa käytännössä sitä, että mikäli vastaanottohuoneen tilavuus ylittää 60 m³, sijoitetaan kaavaan tilavuuden paikalle luku 60. Tätä pienemmissä huonetiloissa käytetään aikaisempaan tapaan vastaanottohuoneen todellista tilavuutta. Kaavojen (1.3), (1.4) ja (1.17) perusteella voidaan havaita, että vaikutus on jokaisella taajuuskaistalla yhtä suuri, jolloin muutosta lopputulokseen voidaan arvioida samalla kaavalla, joka vastaa muutosta taajuuskaistoittain. Tällöin ilmaääneneristävyden osalta voidaan kaavan (1.4) perusteella muutosta arvioida kaavalla

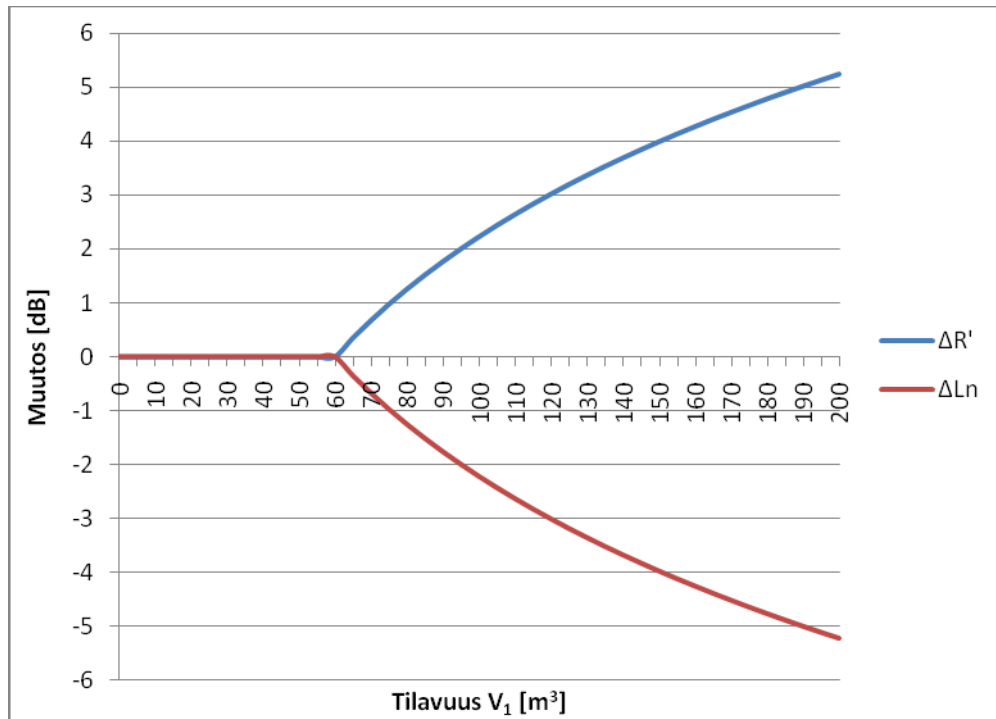
$$\Delta R' = R'_2 - R'_1 = 10 \log \left(\frac{V_1}{V_2} \right) = 10 \log \left(\frac{V_1}{60} \right) \quad (1.26),$$

jossa R'_2 on tilavuusrajoitettu ilmaääneneristävyys, jolloin siis vastaanottohuoneen tilavuus V_2 on 60m³. R'_1 vastaa ilmaääneneristävyttä ilman tilavuusrajoitusta, jolloin V_1 on siis vastaanottohuoneen todellinen tilavuus. Vastaavasti askelääneneristävyden osalta voidaan kaavan (1.17) perusteella muutosta arvioida kaavalla

$$\Delta L_n = L_{n,2} - L'_{n,1} = 10 \log \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = 10 \log \left(\frac{60}{V_1} \right) \quad (1.27),$$

jossa $L_{n,2}$ on tilavuusrajoitettu normalisoitu askeläänitaso, jolloin siis vastaanottohuoneen tilavuus on V_2 on 60m³. $L'_{n,1}$ vastaa normalisoitua askeläänitasoa ilman tilavuusrajoitusta, jolloin V_1 on siis vastaanottohuoneen todellinen tilavuus. Kuvassa 1.23 on esitetty kaavojen (1.26) ja (1.27) mukaiset muutokset tilavuuden funktiona. Kuvasta voidaan havaita, että esimerkiksi n. 75m³

tilavuudella muutos on 1 dB ja 120m³ tilavuudella 3 dB. Ilmaääneneristävyyden osalta muutos on positiivinen ja askelääneneristävyyden osalta negatiivinen. Tämä johtuu siitä, että ilmaääneneristävyyden parantuessa ilmaääneneristysluku kasvaa ja askelääneneristävyyden parantuessa taas askeläänitasoluku laskee. Ensin mainittu on siis eristävyysarvo ja jälkimmäinen äänitasoon verrannollinen suure.



Kuva 1.23. Tilavuusrajoituksen vaikutus vastaanottohuoneen todellisen tilavuuden V_1 funktiona.

Muutos mittaustulokseen on vertailukäyrämenettelystä johtuen aina tasan kokonaisluvun verran, jolloin edellä mainituilla kaavoilla saatava arvio voi pyöristyä joko ylös tai alaspäin. Mitä suurempi vastaanottohuoneen tilavuus on, sitä suuremmaksi tilavuusrajoituksen vaikutus kasvaa. Mittausraporteissa tulee aina selkeästi ilmoittaa tulosten laskennassa käytetty vastaanottohuoneen tilavuus sekä vastaanottohuoneen todellinen tilavuus.