

Mika Thomasson

Ilma- ja askeläänien huomioon ottaminen rakennesuunnittelussa

Opinnäytetyö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Mika Thomasson
Työn nimi	Ilma- ja askeläänien huomioon ottaminen rakennesuunnittelussa
Toimeksiantaja	Sitowise Oy
Vuosi	2021
Sivut	48 sivua
Työn ohjaaja(t)	Jani Pitkänen, Juha Karvonen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda ohjeistus askel- ja ilmaäänien torjumiseksi asuinkerrostalossa rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Ohjeistuksen lähtökohtana toimi tarve selkeyttää ääniteknisesti epäselvien rakenteiden ja kokonaisuuksien suunnittelua.

Opinnäytetyö tehtiin kvalitatiivisena tutkimuksena käyttäen apuna kirjallisuutta sekä asukkaiden kokemuksia ja kommentteja. Opinnäytetyö koostuu teoria- ja tutkimusosista. Teoriaosassa käytettiin tutkimusmenetelmänä kirjallisuustutkimusta, jonka avulla tutustuttiin akustiikan perusteisiin ja vaatimuksiin sekä rakenteiden ja materiaalien akustisiin ominaisuuksiin. Tutkimusosassa perehdyttiin käytettyihin rakennetyyppeihin, detaljeihin ja ongelmia aiheuttaneisiin rakenteisiin ja luotiin näiden pohjalta ohjeistus rakennesuunnittelun tueksi

Työn tuloksena syntyi erillinen ohje, jonka avulla suunnittelija pääsee tarkastelemaan rakenteille ja tiloille asetettuja vaatimuksia sekä valitsemaan tilanteeseen sopivat ratkaisut. Vaatimukset perustuvat ympäristöministeriön asetukseen 976/2017, joka on tullut voimaan 1. tammikuuta 2018. Vielä melko uuden asetuksen esittelyn katsottiin vielä olevan tarkoituksenmukaista tässä opinnäytetyössä. Opinnäytetyössä laadittu ohje on toimeksiantajan ominaisuutta, eikä sitä julkaista opinnäytetyön julkisessa versiossa.

Asiasanat: Akustiikka, ääni, rakennesuunnittelu, askelääni, ilmaääni

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Mika Thomasson
Thesis title	Taking air- and step noise into account in structural design
Commissioned by	Sitowise Oy
Time	2021
Pages	48 pages
Supervisor	Jani Pitkänen, Juha Karvonen

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to create guide for combating step and air noises in residential buildings for structural engineers. The guidance was based on the need to clarify the design of structures and entities that are unknown in terms of sound technology

The thesis was carried out as a qualitative study using literature, as well as experiences and comments from residents. The thesis consists of a theoretical part and a research part. The theoretical part used literature research as a research method to familiarize designers with the basics and requirements of acoustics, as well as the acoustic properties of structures and materials. The research part focused on the types of structures and details that have caused problems, and based on these, guide was created to support structural design.

The result of the work was a separate guide that allows designers to view the requirements for structures and spaces, and to choose the appropriate solutions for the situation. The requirements are based on Act 976/2017 of the Ministry of the Environment, which entered into effect on January 1, 2018. It was also considered appropriate to present the fairly new regulations in this thesis. The guide drawn up in the thesis is property of the commissioner of the work and is not published in the public version of the thesis.

Keywords: acoustics, step tones, air tones, structural design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ÄÄNI FYSIKAALISENA ILMIÖNÄ.....	7
2.1	Akustiikan peruskäsitteet ja äänen ominaisuudet	7
2.1.1	Taajuus.....	8
2.1.2	Äänenpaine ja A-painotus.....	8
2.1.3	Keskiaänitaso ja enimmäisäänitaso	9
2.1.4	Ääniteho ja äänitehotaso	10
2.1.5	Äänen intensiteetti	11
2.1.6	Resonanssi.....	12
2.2	Akustisen suunnittelun lähtökohdat ja tavoitteet	12
2.3	Suunnittelua koskevat määräykset ja ohjeet.....	13
2.4	Ilmaäänieristävyys	17
2.4.1	Äänen absorptio.....	18
2.4.2	Ilmaääneneristysluku	20
2.4.3	Äänitasoeroluku	21
2.4.4	Spektrisovitustermit.....	22
2.4.5	Massalaki.....	22
2.5	Askeläänieristys.....	25
2.5.1	Askeläänten mittaus ja askeläänikoje	26
2.5.2	Kelluvat rakenteet	28
2.5.3	Kaksinkertainen rakenne	30
2.5.4	Kevyet välipohjat ja alakatot	32
2.5.5	Koinsidenssi-ilmiö	34
2.5.6	Riskit kelluvien rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa.....	35
2.6	Askeläänitasolukujen laskenta.....	35
3	HUONEAKUSTIIKKA.....	38
3.1	Diffuusi äänikenttä	40

3.2	Huoneakustinen suunnittelu.....	41
4	AKUSTINEN OHJEISTUS RAKENNESUUNNITTELIJALLE.....	42
5	POHDINTA JA TULOSTEN TULKINTA.....	44
	LÄHTEET.....	47

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajan Sitowise Oy:n toiveena oli luoda yksinkertaistettu ohjeistus rakennesuunnittelun avuksi akustisesti haastavissa tapauksissa, keskittyen pääosin askel- ja ilmaäänien torjumiseen asuinkerrostalossa. Oman haasteen rakennesuunnitteluun tuovat yleistyvät liike- ja toimistotilat asuinkerrostalon yhteydessä. Niissä rakenteet ja detaljitason ratkaisut voivat poiketa normaalista ja hyväksi todetusta.

Työn tarkoitus ei kuitenkaan ole korvata ulkopuolisen konsultin tarvetta, vaan parantaa rakennesuunnitteluun keskittyvän suunnittelutoimiston valmiuksia ehkäistä ongelmien syntymistä ja tätä kautta myös ehkäistä mahdollisia reklamaatioita. Vaikka toimivia rakennetyyppejä voi kierrättää kohteesta toiseen, on silti tarpeen ymmärtää niiden akustinen toiminta eri tilanteissa ja olosuhteissa. Esimerkiksi runkoääni voi kulkea huomattavan pitkiä matkoja rakenteissa, mikäli sitä ei ole asianmukaisesti estetty.

Akustinen suunnittelu on läsnä jokaisessa uudiskohteessa, huolimatta onko kohteeseen nimetty erillistä akustista suunnittelijaa. Akustisen suunnittelijan mukanaolo vähentää vastuuta muilta suunnittelualoilta, mutta mikäli kohteessa ei ole nimetty erillistä akustista suunnittelijaa, vastuu rakenteiden toiminnasta jää arkkitehdin vastuulle. Tässä tapauksessa tulee arkkitehdin yhteydessä ensisijaisesti rakenne- ja LVI-suunnittelijoiden kanssa varmistaa rakenteiden ja LVI-laitteiden vaatimustenmukaisuus sekä toiminta. Tämän opinnäytetyön keskeinen sisältö liittyy rakennesuunnitteluun, joten LVI-laitteiden toiminnasta aiheutuvia vaikutuksia ei ole tarkasteltu, muuta kuin niiltä osin, kun se on katsottu tarpeelliseksi.

Akustisen suunnittelun yhteydessä käytetty termi fysiologinen haitta on myös pyritty huomioimaan, sillä vaikka rakenne sellaisenaan täyttäisi sille asetetut vaatimukset, sitä voidaan silti pitää subjektiivisesti häiritseväenä. Käytettyjen rakenteiden ja asukkailta saadun palautteen pohjalta on pyritty löytämään fysiologisille haittojen yhdistäviä tekijöitä, jotta niitä voitaisiin parhaan mukaan suunnittelulla ehkäistä.

2 ÄÄNI FYSIKAALISENA ILMIÖNÄ

2.1 Akustiikan peruskäsitteet ja äänen ominaisuudet

Ääni on ilmassa tai muussa väliaineessa tapahtuvaa värähtelyä. Värähtelyn aiheuttamat muutokset staattiseen ilmanpaineeseen nähden aistitaan äänenä. Värähtelyn synnyttävää tekijää kutsutaan herätteeksi. (RIL 243-1-2007, 35.)

Havaitun äänen suuruus määritellään äänen intensiteettitason kautta, jonka yksikkö desibeli on. Intensiteettitaso on esitetty logaritmisella asteikolla, ja sille on määritetty tietty referenssitaso, jonka suuruus on ennalta määritetty. Vertaamalla äänen lähtötason suhdetta referenssitasoon, ja ottamalla siitä 10-kertainen logaritmi, voidaan ilmaista intensiteettitaso desibelinä. (RIL 243-1-2007, 42.)

Logaritmisen asteikon tarkoitus on vastata paremmin aistittavaa havaintoa äänentasosta. Intensiteetin kasvaessa 10-kertaiseksi, muutos intensiteettitasossa on 10 dB. Kun taas intensiteetin kasvaessa 1000-kertaiseksi, kasvaa intensiteettitaso 30 dB. Intensiteetti määritellään ääniaallon kuljettamana tehona pinta-alaa kohden, kun taas intensiteettitaso on dimensioton suure. (RIL 243-1-2007, 42.)

Rakenteiden suunnittelun kannalta kahtena keskeisimpänä termeinä voidaan pitää ilmaääntä, sekä askelääntä. Rakennuksissa yleisimpiä ilmaäänien lähteitä ovat puhe, musiikki, tekniset järjestelmät sekä äänentoistojärjestelmät. Rakenteeseen kohdistuva ilmaääni saa rakenteen värähtelemään, jonka seurauksena ääni siirtyy viereiseen tilaan. Ilmaääneneristyksen ensisijainen tehtävä on estää edellä mainittujen äänilähteiden aiheuttama äänenpaineen siirtyminen viereisiin tiloihin. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 19.)

Askeläänet liittyvät vahvasti rakennuksen välipohjaan. Välipohjaan kohdistuvat iskut aiheuttavat värinää rakenteissa, mikä puolestaan kulkeutuu joko suoraan tai liittyvien rakenteiden kautta viereiseen tilaan, jossa iskun aiheuttama energia aistitaan ilmaääninä. Tavallisimmin välipohjaan iskun aiheuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi kävely, huonekalujen siirtely ja esineiden putoaminen. Myös alapuolisessa tilassa syntyvät askeläänet voivat siirtyä ylempään tilaan.

Hyvänä esimerkkinä tästä on alemman kerroksen liikehuoneistossa tapahtuva tavarantoimitus, jonka seurauksena ääni siirtyy rakenteita pitkin ylemmässä kerroksessa olevaan asuntoon. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 19.)

2.1.1 Taajuus

Äänen taajuus f [Hz] tarkoittaa värähtelyjen määrää sekunnissa. Äänen taajuus vaikuttaa siihen, kuinka ääni aistitaan. Tiheä värähtely aistitaan korkeana äänenä, ja vastaavasti hitaasti tapahtuva värähtely matalana äänenä. (RIL 243-1-2007, 35.)

Äänen taajuus voidaan määrittää yhtälöstä 1.

$$f = \frac{n}{T} \quad (1)$$

jossa	f	äänen taajuus	[Hz]
	n	värähtelyjen määrä	[-]
	T	aikajakso	[s]

Ihminen kykenee aistimaan ääniä taajuudella 20 Hz – 20000 Hz, ja tätä matalammat taajuudet havaitaan tärinä.

2.1.2 Äänenpaine ja A-painotus

Äänenpaineella p tarkoitetaan aistittavaa, äänestä johtuvaa ilmanpaineen muutosta. Koska äänestä johtuvat ilmanpaineen muutokset ovat verrattain pieniä, on tarkoituksenmukaista suhteuttaa äänenpaine ihmisen kuulokynnykseen p_0 . Kuulokynnyksen suurus on likimain 20 μ Pa, eli 20×10^{-6} Pa. Tällöin äänen voimakkuutta voidaan kuvata äänenpainetasona L_p [dB]. (RIL 243-1-2007, 36.)

Äänenpainetaso voidaan määrittää yhtälöstä 2.

$$L_p = 10 \times \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \quad (2)$$

jossa	L_p	äänepainetaso	[dB]
	p	äänepaine	[Pa]
	P_0	äänepaineen vertailuarvo	

Yhtälö voidaan myös esittää muodossa $L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0}$.

Äänenpainetasolla L tai L_p kuvataan fyysikaalisen äänenpainon voimakkuutta. Ihmisen kuuloalue on herkimmillään 2000–5000 Hz:n taajuusalueella, ja tämän alueen ulkopuolella kuulon herkkyys alenee. A-painotuksella huomioidaan herkimpien kuuloalueiden ulkopuolelle jäävät taajuudet vähentämällä niiden vaikutusta. Toisin sanoen A-painotuksen vaikutus yksittäisen oktaavikais-tan A-painotettuun äänitasoon on pieni 2000–5000 Hz:n taajuusalueilla, ja vastaavasti suuri pienillä ja suurilla taajuuksilla. (RIL 243-1-2007, 37.)

A-painotettu äänenpainetaso määritellään yhtälön 3 mukaisesti

$$L_A = 10 \times \log_{10} = \sum 10^{L_{A,i}/10} \quad (3)$$

jossa	L_A	A-painotettu äänenpainotaso	[dB]
	$L_{A,i}$	äänepainetaso tietyllä taajuudella	[dB]

2.1.3 Keskiäänitaso ja enimmäisäänitaso

Sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1-1998 että ympäristömi-nisteriön asetus 796/2017 esittävät määräykset suurimmille sallituille äänita-solle asunnoissa. Määräykset koskevat keskiäänitasoa, sekä

enimmäisäänitasoa. Keskiäänitasolla tarkoitetaan jatkuvaa äänitasoa, joka on yhtä suuri kuin vaihtelevan äänitason logaritminen keskiarvo tietyllä mittausaikavälillä T .

Keskiäänitaso voidaan laskea lyhytkestoisten mittausten perusteella, mikäli pitkäkestoista mittausta ei ole mahdollista suorittaa. Tällöin hetkellistä äänitasoa $L_{A,i}$ tulee verrata vastaavaan ajankohtaan T . Rakennusten ulkopuolisen melun raja-arvot esitetään keskiäänitasoina päiväajalle $L_{A,eq,07-22}$ ja yöajalle $L_{A,eq,22-07}$. Standardi SFS 5907 suosittelee kuitenkin pitkäaikaista seuranta-mittausta, mikäli ei voida olla varmoja, että äänitilanne on mittaushetkellä keskiarvoa edustava. (SFS 5907-2004, 5.)

Keskiäänitaso halutulla ajanjaksolla saadaan yhtälöstä 4

$$L_{A,eq,T} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \sum_i T_i 10^{L_{A,i}/10} \right\} \quad (4)$$

jossa	$L_{A,eq,T}$	keskiäänitaso	[dB]
	T	koko tarkasteluaika	[h]
	T_i	hetkellisen äänitason kesto	[h]
	$L_{A,i}$	hetkellinen äänitaso	[dB]

Enimmäisäänitasoa $L_{A,max}$ mitataan 250ms:n jaksoissa, sillä tämän on todettu vastaavan hyvin sitä, kuinka kuuloaisti arvioi lyhytaikaisten äänien voimakkuutta. Enimmäisäänitaso on F-aikapainotettu, ja siitä käytetään myös termiä $L_{A,fast,max}$. Vaihtelevaa ääntä tuottavan äänilähteen enimmäisäänitaso on suurin mittausajanjakson kuluessa havaittu äänitaso. Epäsäännöllisesti toimivien laitteiden ei oleteta toimivan tai olevan käynnissä samaan aikaan. Normaalissa asuinkerrostaloissa epäsäännöllisesti toimivia laitteita ovat esimerkiksi hissi tai WC. (RIL 243-1-2007, 41.)

2.1.4 Ääniteho ja äänitehotaso

Ääniteholla tarkoitetaan äänilähteen tuottamaa kokonaisenergiaa sekuntia kohden. Äänitehon yksikkö on watti [W]. Ääniteho ei ole riippuvainen esimerkiksi mittausetäisyydestä tai kaiunnasta, vaan se pysyy vakiona, mikäli

äänilähteen tuottama energia pysyy myös vakiona. Vakiona pysyvä ääniteho sen sijaan antaa äänenpaineelle eri arvoja, riippuen huoneen ominaisuuksista, mittausetäisyydestä tai äänilähteen suuntauksesta. Samaan tapaan kuin äänenpaine, myös ääniteho järkevää esittää äänitehotasona L_w , jonka vertailuarvona toimii W_0 . (RIL 243-1-2007, 42.)

Äänitehotaso saadaan yhtälöstä 5.

$$L_w = 10 \times \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad (5)$$

jossa	L_w	äänitehotaso	[dB]
	W	ääniteho	[W]
	W_0	äänitehon vertailuarvo	[W]

Missä äänitehon vertailutaso $W_0 = 10^{-12}$ W.

2.1.5 Äänen intensiteetti

Ääniteho määritellään intensiteetin kautta. Äänilähteen intensiteetti I määritellään ääniaallon kuljettamana tehona pinta-alaa kohti. Intensiteetin yksikkö on $[\frac{W}{m^2}]$. Äänen intensiteetti voidaan myös esittää logaritmisella asteikolla, jolloin siitä käytetään nimitystä intensiteettitaso L_I [dB]. Logaritmisella asteikolla intensiteetin kasvaessa 10-kertaiseksi, intensiteettitaso kasvaa 10 desibeliä. Vastaavasti intensiteetin kasvaessa 1000-kertaiseksi, intensiteettitaso kasvaa 30 desibeliä. Intensiteettitasolle on annettu ennalta määrätty vertailutaso I_0 , johon äänen intensiteettiä verrataan. Vertailutasona voidaan pitää ääntä, jonka ihminen havaitsee 1000 Hz:n taajuudella. Vertailutaso I_0 suuruus on $10^{-12} \frac{W}{m^2}$. Vertailutaso vastaa ihmisen kuulokynnystä. (RIL 243-1-2007, 42.)

Intensiteettitaso saadaan yhtälöstä 6.

$$L_i = 10 \times \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (6)$$

jossa	L_i	äänen intensiteettitaso	[dB]
	I	Äänen intensiteetti	$[\frac{W}{m^2}]$
	I_0	vertailutaso äänen intensiteetille	$[\frac{W}{m^2}]$

2.1.6 Resonanssi

Rakenteilla on tietty ominaistajuus, joilla se pyrkii värähtelemään poikkeutettaessa tasapainotilastaan, tai kun sille annetaan hetkellinen alkuheräte. Jaksollisen herätteen osuessa rakenteen ominaistajuudelle, rakenne alkaa värähdellä voimakkaasti kyseessä olevalla taajuudella. Voimakas värähtely johtuu siitä, että värähtelysystemi saa jatkuvasti lisää energiaa siihen kohdistuvista ääniaalloista. Tätä ilmiötä kutsutaan resonanssiksi. Resonanssi-ilmiö voi myös syntyä rakenteen resonanssitaajuusalueella, joka määritellään alimman resonanssitaajuuden mukaisesti. (Ääneneristys puutalossa 2004, 20.)

Resonanssitaajuusalue saadaan yhtälöstä 7.

$$\frac{f_0}{\sqrt{2}} \dots f_0 \sqrt{2} \quad (7)$$

jossa	f_0	rakenteen ominaistajuus	[Hz]
-------	-------	-------------------------	------

2.2 Akustisen suunnittelun lähtökohdat ja tavoitteet

Akustisen suunnittelun lähtökohtana toimii melun terveydellinen vaikutus ihmiseen, sekä tilojen viihtyisyys. Ihmisen havaitsema ääni määritellään meluksi, kun se on tarpeettoman voimakasta, tai se häiritsee käynnissä olevaa

toimintaa. Melu määritellään aina epämiellyttäväksi ja ei toivotuksi. Akustisen suunnitteluun tuo haasteita ihmisen subjektiivinen kokemus melusta, sillä vaikka ääni olisi määräysten asettamissa rajoissa, se voidaan silti kokea häiritsevänä. Myös eri tilannetekijät voivat vaikuttaa negatiivisesti koettuun ääniympäristöön. Negatiivisesti vaikuttavia tilannetekijöitä on esimerkiksi mieliala, viireystila ja äänen kontrolloitavuus. (RIL 243-1-2007, 10.)

Äänen häiritsevyyteen voidaan akustisella suunnittelulla kuitenkin vaikuttaa luomalla tilalle tarkoituksenmukaiset ääniolosuhteet. Nämä lähtökohdat toimivat pohjana myös akustisen suunnittelun kolmelle keskeisimmälle tavoitteelle, terveellisyydelle, viihtyisyydelle sekä tilan tarkoituksenmukaisuudelle. (RIL 243-1-2007, 11.)

Melulla on terveydelle haitallisia vaikutuksia ja se heikentää hyvinvointia kokonaisvaltaisesti. Melun aiheuttamia vaikutuksia terveydelle ovat mm. väsymys, ärtyneisyys, päänsärky ja tapaturma-alttius. Jatkuva melu saattaa myös altistaa tinnitukselle, ääniyliherkkyydelle ja pahimmassa tapauksessa johtaa sydän- ja verenkiertoelinten sairauksiin. (THL 2021.)

Liiallinen altistuminen melulle voi johtaa kuulovaurion syntymiseen, mikäli altistuminen on pitkäaikaista, toistuvaa tai melun äänitaso on korkea. Alle 80 dB jäävät äänitasot eivät aiheuta ihmisen kuulolle haittaa. Altistuminen yli 85 dB:n äänitasolle aiheuttaa riskin kuulovauriolle, mikäli altistuksen kesto on yli 8 tuntia. Desibeliasteikon ollessa logaritminen, jokainen 3 dB:n nousu äänitasossa puolittaa aikarajan, jolloin kuulovaurio voi syntyä. Toisin sanoen, äänitason ollessa 100 dB, jo 15 minuutin altistus voi aiheuttaa kuulovaurion. (Kuuloliitto.)

2.3 Suunnittelua koskevat määräykset ja ohjeet

Rakenteiden akustiseen suunnitteluun vaikutetaan sekä lainsäädännön että määräysten kautta. Lainsäädännön keskiössä on melun aiheuttamien haitta-vaikutusten torjunta. Tärkeimpänä määräyksenä toimii ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017, joka sisältää viranomaisen määrittämät lukuarvot niin pienimmän sallitun äänitasoeroluvun kuin suurimman sallitun askeläänitasoluvun kannalta. Asetuksen määrittämät raja-arvot ovat velvoittavia. Samalla asetuksen 796/2017 katsotaan olevan

vähimmäistaso rakennuksen ääneneristys- ja meluntorjuntavaatimuksille. Tämä ei kuitenkaan poissulje vaihtoehtoisia keinoja osoittaa, että rakenne täyttää sille asetetut vaatimukset. Ympäristöministeriön asetus 796/2017 korvaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 esitetyt määräykset asuinrakennuksen ääneneristävydestä, sekä sallittavat äänitasot LVI-laitteiden osalta, jotka on esitetty osassa D2.

Standardin SFS 5907 Rakennusten akustinen luokitus on tarkoitus toimia täydentävänä ohjeena Suomen rakentamismääräyskokoelman osalle C1. Standardi 5907 antaa ohjeita vaadittavaan ääneneristyksen toteutumisesta eri rakennetyypeissä, äänentasoista sekä huoneakustiikasta yleisesti. Standardi pyrkii määrittämään tavoitteet teknisinä lukuarvoina, jotta niitä voidaan soveltaa käytännössä. On kuitenkin huomionarvoista, että standardi viittaa vanhentuneeseen määräykseen, joten standardissa esitetyt lukuarvot on tarkistettava uudistetusta asetuksesta 796/2017. Standardin lukuarvojen äänitasojen osalta katsotaan toteutuvan, kun tilojen jälkikaiunta-aika ja absorptioalat noudattavan kyseisessä standardissa esitettyjä vaatimuksia. Huoneakustiikkaa koskevilla käsitteillä standardi on sovellettavissa, mikäli tilan tilavuus on korkeintaan 1500m³. (SFS 5907, 5.)

Standardi jakaa rakennukset akustisiin luokkiin A, B, C, ja D, joista luokka A on vaativin. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1:n asettamat määräykset vastaavat Standardin akustista luokitusta C.

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennukselle ääneneristykselle on määritetty tietyt raja-arvot, joita täytyy rakenteiden suunnittelussa noudattaa. Näitä raja-arvoja noudattaen, voidaan perustellusti olettaa rakennuksen ääniympäristön teknisten vaatimuksen toteutuvan, mikäli tilan käyttötarkoitus on tarkoituksenmukainen.

Huonetila	Pienin sallittu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ (dB)	Suurin sallittu askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{l, 50-2500}$ (dB)
Asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä	55	53
Uloskäytävästä asuin-, majoitus- tai potilashuoneeseen	39	63

Kuva 1. Uudiskohteelle asetetut vaatimukset ääneneristyksen suhteen (Ympäristöministeriön asetus 796/2017)

Kuvassa 1 on esitetty pienimmät sallitut äänitasoeroluvut $D_{nT,w}$ asuntojen välillä, sekä asunnon ja ulkopuolisen käytävän välillä. Ympäristöministeriön asetus ei anna määrystä esimerkiksi asunnon ja toimistotilan väliselle äänitasoeroluvulle. Standardi SFS 5907 puolestaan antaa ohjearvon kyseiselle tilalle akustisissa luokissa A, B, C ja D. Minimisuositusarvo voidaan lukea luokasta C.

Tila	Luokka A $R'_{w} + C_{50-3150}$	Luokka B $R'_{w} + C_{50-3150}$	Luokka C R'_{w}	Luokka D R'_{w}
Asuinhuoneiston ja rakennuksessa olevan liike-, toimisto-, ravintola-, tai muun meluisan tilan tai autotallin välillä	68	63	60	60
Asuinhuoneiston ja rakennuksessa ¹⁾ olevan yökerhon, tanssiravintolan tai muun vastaavan tilan välillä	75	75	70	70
Kahden asuinhuoneiston välillä ja asuinhuoneiston ympäröivien tilojen välillä yleensä	63	58	55	49
Asuinhuoneiston ja toista huoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä, kun välissä on ovi ²⁾	44	39	39	34
Vähintään yhden asuinhuoneiston huoneen ja asuinhuoneiston muiden tilojen välillä	48	43	–	–

¹⁾ Kohdan 5.1.5 sallittuja äänitasoja koskevien arvojen on toteuduttava. Asumisterveysohjeessa on annettu matalataajuisesta melusta ja asuntoihin kuuluvasta musiikkimelusta ohjearvoja, joiden on myös toteuduttava

²⁾ Saavutettava ääneneristys riippuu oven ja seinärakenteen ilmaääneneristysluvuista ja pinta-aloista. Luokissa B ja C asuinhuoneiston porrastaso-ovena käytetään ovea tai ovihdistelmää, jonka ilmaääneneristysluku R_w laboratoriossa mitattuna on vähintään 37 dB. Luokassa A on käytettävä paremmin eristäviä ovia

Kuva 2. Ohjeistavat arvot ääneneristävyydelle (Standardi SFS 5907)

Kuvassa 2 on esitetty standardin SFS 5907 määrittelemät pienimmät sallitut ilmaääneneristysluvut R'_{w} ja ilmaääneneristysluvun ja spektrisovitustermin $C_{50-3150}$ summat eri akustisissa luokissa. Standardin arvot luokassa C vastaavat ympäristöministeriön asetuksen asettamia arvoja niiltä osin kuin ne ovat

määritetty. Näiden lisäksi standardissa on ohjeavot eri tapauksille, joihin ympäristöministeriön asetus ei ota kantaa. Standardin määrittämät ohjeavot eivät ole velvoittavia, mutta luovat hyvän lähtökohdan akustiselle suunnittelulle. Huomionarvoista on kuitenkin, että standardissa on esitetty arvot ilmaääneneristyslukuna, kun ympäristöministeriön asetuksen asettama vaatimus ilmoitetaan äänitasoerolukuna.

Ilmaäänieristysluvun lisäksi standardi 5907 määrittelee suurimmat sallitut askeläänitasoluvut $L'_{n,w}$ ja askeläänitasoluvun ja spektrisovitustermin $C_{I,50-2500}$ arvot eri akustisissa luokissa.

Tila	Luokka A $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$	Luokka B $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$	Luokka C $L'_{n,w}$	Luokka D $L'_{n,w}$
Rakennuksessa olevasta liike-, toimisto-, ravintola-, tai muusta meluisasta tilasta tai autotallista asuinhuoneistoon	43	43	49	49
Rakennuksessa olevasta tanssiravintolasta, yökerhosta tai muusta vastaavasta tilasta asuinhuoneistoon	33	38	43	43
Asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista asuinhuoneeseen tai keittiöön, yleensä ¹⁾ , ²⁾	43	49	53	63
Toista huoneistoa palvelevasta uloskäytävästä asuinhuoneistoon	49	53	63	68
Asuinhuoneiston tiloista vähintään yhteen huoneeseen asuinhuoneiston sisällä	58	63	–	–
¹⁾ Spektrisovitustermin $C_{I,50-2500}$ käyttö on suositeltavaa myös luokassa C. ²⁾ Vaatimus ei koske mittausta satunnaisesti käytettävistä huolto- ja varastotiloista, autosuojista tai vastaavista tiloista eikä mittausta asuinhuoneistoon kuuluvista pienistä wc-, kylpyhuone- ja löylyhuonetiloista. Näistä tiloista asuntoon mahdollisesti aiheutuva meluhäiriö on otettava huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa niin, että asuinhuoneistossa saavutetaan edelleen hyvät ääniolosuhteet.				

Kuva 3. Ohjeistavat arvot askeläänieristykselle (Standardi SFS 5907)

Siinä missä ilmaääneneristävyyden merkintä eroaa standardin ja ympäristöministeriön ohjeissa, niin askeläänieristävyys on esitetty molemmissa asiakirjassa askeläänitasoluvun sekä askeläänitasoluvun ja spektrisovitustermin summana.

Edellä mainittujen määräysten ja ohjeiden lisäksi on julkaistu ympäristöministeriön ohje ääniympäristöstä (2018), jonka tarkoituksena on selkeyttää asetuksen asettamia vaatimuksia, sekä antaa paremmat valmiudet rakenteiden suunnittelulle sekä toteutukselle. Päivitetty ympäristöministeriön ohje korvaa vuonna 1999 julkaistun Ympäristöoppaan 99.

Ympäristöministeriön täydentävä ohje ei sisällä määräyksiä, vaan toimii täydentävänä ohjeena ympäristöministeriön asetukselle 796/2017. Ympäristöministeriön ohje ja asetus näin ollen toimivat yhtenä kokonaisuutena, joka ohjaa rakenteiden valintaa, suunnittelua ja toteutusta. Samaan tapaan kuin standardi SFS 5907, ympäristöministeriön ohje esittää ohjaavia lukuarvoja tapauksille, joita ei asetuksessa 796/2017 määrätä.

Tilatyyppi	Ohjearvo Askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ (dB)
Oppilaitosrakennuksessa kerrosten välillä yleensä	63
Teknisen työn opetustilasta ympäröiviin tiloihin	49
Musiikinopetustilasta ympäröiviin tiloihin	46
Sairaalassa, terveysasemalla yms. kerrosten välillä yleensä	63
Liikuntatilasta ympäröiviin tiloihin	46
Toimistorakennuksessa kerrosten välillä yleensä	63

Kuva 4. Ohjearvot askeläänitasoluvulle eri tiloissa (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2017)

Ohjeesta löytyy ohjearvoja myös sairaala- sekä opetustiloihin. Näiden taulukkoarvojen lisäksi ohjeesta löytyy suosituksia asuinrakennuksen äänitaso- sekä askeläänitasolukuun esimerkiksi liiketilojen ja asunnon välillä.

2.4 Ilmaäänieristävyys

Ilmaääneneristävyydellä tarkoitetaan huonetiloja erottavan rakenteen kykyä eristää ilman välityksellä kulkeutuvaa ääntä. Ilmaääneneristävyys R [dB] määritellään rakenteen kohdanneen ja läpäisseen äänitehon suhteen kymmenkantisena logaritmina (RIL 129-2003, 9).

Näin ollen ilmaääneneristävyys saadaan yhtälöstä 8.

$$R = 10 \times \log \frac{W_i}{W_t} \quad (8)$$

jossa	R	ilmaääneneristävyys	[dB]
	w_i	rakenteeseen kohdistuva ääniteho	[W]
	w_t	rakenteen toiselle puolelle kulkeutuva ääniteho	[W]

Yhtälön 8 mukaisesti ilmaääneneristävyys paranee, kun äänitehojen W_i ja W_t suhde kasvaa. Taulukossa 1 on havainnollistettu äänitehojen suhteen vaikutus ilmaääneneristävyyteen R .

Taulukko 1. Äänitehojen suhteita (RIL 129–2003, 9)

R (dB)	$\frac{W_i}{W_t}$
10	0,1
20	0,01
30	0,001
40	0,0001
50	0,00001
60	0,000001

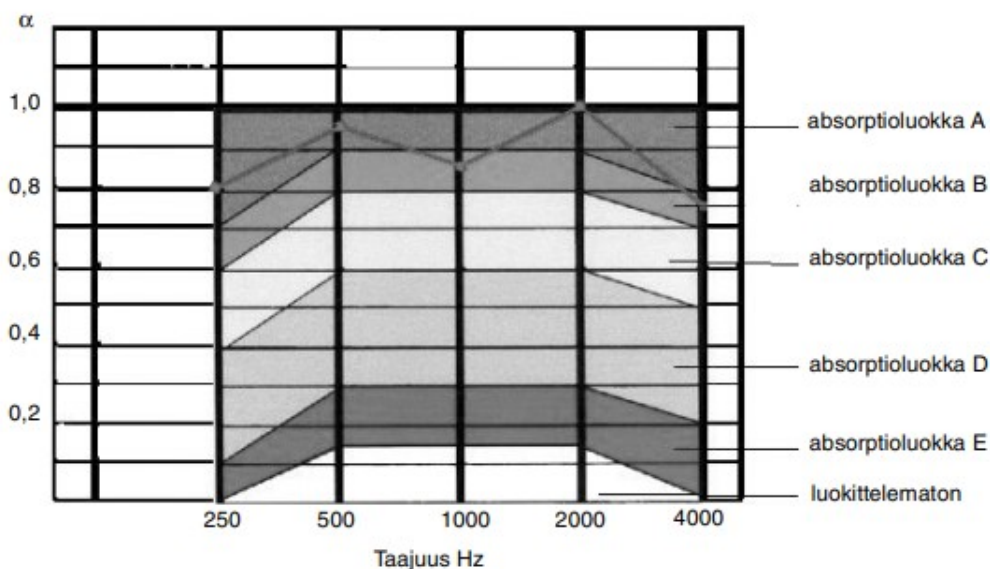
Siinä missä osa rakennetta kohdanneesta äänitehosta kulkeutuu rakenteen toiselle puolelle, osa myös heijastuu takaisin. Rakenteesta takaisin heijastunutta äänitehosta käytetään termiä W_t . Rakenteeseen kohdistuvan ääniteho, ja takaisin heijastuvan äänitehon erotuksen suhdetta rakenteeseen kohdistuvaan äänitehoon kutsutaan äänen absorptiosuhteeksi α . (RIL 243-1-2007, 49.)

2.4.1 Äänen absorptio

Äänen absorptiolla tarkoitetaan rakenteen kykyä vaimentaa huonetilan sisällä kulkevaa ääntä. Äänen absorptiosuhteella arvosta saadaan vertailukelpoinen eri rakenteiden ja materiaalien välillä. Absorptiosuhdetta voidaan käyttää sellaisenaan tuoteominaisuutena, ja se vaihtelee välillä 0...1. Mitä suurempi arvo

on, sitä vähemmin materiaali heijastaa ääntä takaisin. Absorptiosuhde riippuu vahvasti äänen taajuudesta, sekä rakenteen pintamateriaalista. Esimerkiksi huokoisen materiaalin tulee olla paksuudeltaan vähintään neljäsosa aallonpituuteen verrattuna, jotta materiaali absorboi ääntä toivotulla tavalla. Toisin sanoen, 30 mm paksu mineraalivillakerros absorboi parhaiten ääniä, joiden aallonpituus on alle 120 mm. Matalimmilla, suuremman aallonpituuden omaavilla äänillä absorptiosuhdetta voidaan parantaa jättämällä ilmarako seinärakenteen ja huokoisen materiaalin väliin. (RIL 243-1-2007, 49.)

Standardissa EN 11654 esitetään luokitus absorptiomateriaaleille. Luokituksen tarkoitus on jakaa materiaalit absorptiosuhteensa perusteella viiteen eri luokkaan, ja näin helpottaa tuotteiden valintaa. Materiaalit on jaettu luokkiin A-E, joista A on paras ja E on huonoin. Luokittelu tehdään oktaavikaistoittain taajuuksille 125–4000 Hz. Käytännössä tämä tarkoittaa, että mittaus tehdään 125, 250, 500, 1000, 2000 ja 4000 Hz taajuuksilla. Kuvassa 5 on esitetty standardin EN 11654 asettamat vertailukäyrät, sekä esimerkkikäyrä. Absorptioluokille on määritetty 0.1 yksikön toleranssi. Mikäli materiaalin yhteenlaskettu alitusten summa mitattavilla taajuuksilla jää alle toleranssin, voidaan materiaali hyväksyä kyseiseen luokkaan. Vertailukäyrän ylityksiä ei kuitenkaan hyväksytä. (SFS 5907, 31.)



Kuva 5. Absorptiomateriaalien luokitus (Standardi SFS 5907)

Kuvasta 5 on myös havaittavissa materiaalin absorptiosuhteen muutos eri taajuusalueilla. Materiaalin kyky absorboida ääntä on vahvasti riippuvainen äänen taajuudesta.

Absorptioalalla tarkoitetaan huoneessa olevan absorptiomateriaalin pinta-alaa neliömetreissä, olettaen että materiaalin absorptiosuhde on 1. Mikäli absorptiomateriaalin absorptiosuhde on alle 1, niin absorptioala on materiaalin absorptiosuhteen ja materiaalin pinta-alan tulo. Absorptioalan yksiköstä käytetään merkintää [$m^2 - Sab$]. Koko huonetta tarkisteltaessa, sen kokonaisabsorptioala on kaikkien pintamateriaalien absorptioalojen summa. (RIL 243-1-2007, 49.)

2.4.2 Ilmaääneneristysluku

Pelkkä ilmaneristävyys R ei ole riittävä arvo arvioimaan äänen eristävyyttä, vaan on huomioitava myös eri taajuusalueet. Ilmaääneneristysluku esitetään yleensä vähintään 100–3150 Hz:n taajuuksilla. On myös suositeltavaa huomioida matalat taajuudet 50 Hz:iin asti, sekä korkeammat taajuudet 5000 Hz:iin asti. Ilmaääneneristysluku R_w määritellään standardin ISO 717-1 mukaisesti. Standardissa ISO 717-1 on esitetty vertailukäyrä, joka perustuu puheäänien taajuusjakaumaan, sekä korvan herkkyyteen ja kuuloalueisiin. Ilmaääneneristysluku kertoo kuinka hyvin rakenne eristää ilmaääntä, ja erityisesti puheääntä asuntohuoneistojen välillä. Vertailukäyrässä on huomioitu A-painotus. (RIL 243-1-2007, 59.)

Ilmaääneneristysluku R_w on laboratoriossa mitattu arvo, kun taas kenttäolosuhteissa mitatusta ilmaääneneristysluvusta käytetään merkintää R'_w . Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1-1998 esittää pienimmät sallitut ilmaääneneristysluvut R'_w arvoina. Rakennuksen tilojen sisällä mitattu R'_w arvo on käytännössä aina alhaisempi kuin rakennusosan laboratorioarvo R_w , sillä rakenteen sisällä ääni siirtyy myös muita reittejä kuin suoraan tiloja erottavien rakenteiden välityksellä. LVIS-järjestelmien ohella suurimmat sivutiesiirtymät tapahtuvat rakennuksen rungon kautta. Tilassa toimiva äänilähde aiheuttaa rakenteiden pinnalla värähtelyä, joka etenee runkoäänenä ennalta määräämätöntä reittiä pitkin. Runkoäänien energia on riippuvainen runkoliitoksen tyyppistä, sekä liitoksen massasta ja jäykkyydestä. (RIL 243-1-2007, 66.)

Suomessa ympäristöministeriö asetuksen 796/2017 mukaisesti määräykset koskevat standardoitua äänitasoerolukua $D_{nT,w}$. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 korvannut asetus muuttaa ilmaääneneristävyyden merkintää, ja ottaa käyttöön standardoidun äänitasoeroluvun vanhentuneen ilmaääneneristysluvun tilalle. Standardisoidun äänitasoeroluvun käyttöönottoa on perusteltu sen paremmalla ominaisuudella vastata ihmisen kokemaa ilmaääneneristävyyttä. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 19.)

2.4.3 Äänitasoeroluku

Äänitasoeroluvun tarkoitus on määrittää todellinen ero äänitasoissa rakenteen ulko- ja sisäpuolella. Äänitasoeroluvun määrittämiseksi mitataan äänitaso lähetys- ja vastaanottohuoneissa, sekä vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika. Jälkikaiunta-aika suhteutetaan ennalta määrättyyn normaalihuoneen jälkikaiunta-aikaan tai absorptioalaan. Ilmaääneneristysluku ei ota kantaa edellä mainittuihin tekijöihin. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 6.)

Äänitasoeroluvulle on mahdollista käyttää kahta eri mittaus- ja laskentamethodia. Normalisoitu äänitasoeroluku $D_{n,w}$ perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1-1998 liitteeseen. Opastavassa liitteessä todetaan: ”*Rakennuksessa äänitaso mitataan keskellä tavanomaisesti kalustettua huonetta 1,2...1,5 metrin korkeudella lattiasta. Mittaustulokset korjataan tarvittaessa 10m² äänenabsorptiota vastaaviksi. Tyhjässä huoneessa saatavat mittaustulokset ovat noin 3 dB korkeammat kuin kalustetussa huoneessa.*” Normalisoidun äänitasoeroluvun käytön ongelmaksi muodostuu ennalta määritetty absorptioala, joka ei vastaa suurilta osilta normaalia absorptioalaa suomalaisessa asuinhuoneistossa. (Rakennusteollisuus 2009, 27.)

Standardisoitu äänitasoeroluku ei ole riippuvainen huoneen absorptioalasta, vaan siinä huomioidaan tilan jälkikaiunta-aika. Jälkikaiunta-ajalle on annettu ennalta määritetty arvo, eli standardisoitu jälkikaiunta-aika, joka on 0,5 sekuntia. Standardisoidussa äänitasoeroluvussa jälkikaiunta-aika siis normalisoidaan standardisoidun jälkikaiunta-ajan mukaan. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 6.)

Standardisoitu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ lasketaan tai mallinnetaan standardin SFS-EN-ISO 717-1 mukaisesti, ja se perustuu mitattuihin äänenpaineroihin lähetys- ja vastaanottohuoneissa. Standardisoitu äänitasoero D_{nT} ilmaisee erotuksen äänenpaineissa tilojen välillä. Mittaus toteutetaan standardin SFS-EN-ISO 16283-1 mukaisesti. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 21.)

2.4.4 Spektrisovitustermit

Suomessa yleisimmin käytetyt spektrisovitus tai -painotus termit ovat C ja C_{tr} . Spektrisovitustermejä käytetään, jotta ilmoitettu eristysluku vastaisi paremmin koettua ääneneristyskykyä. Melulähteen taajuusjakauman poiketessa huomattavasti esimerkiksi puheen taajuusjakaumasta, voidaan käyttää spektripainotustermiä C . Tieliikennemelulle käytetty spektrisovitustermi on C_{tr} . Sovitustermeille C ja C_{tr} on ennalta määrätty taajuusalueet 100–3150 Hz:n välille. Mikäli merkitsevät taajuusalueet jäävät tämän alueen ulkopuolelle, tulee taajuusalueet merkitä erikseen spektrisovitustermin yhteyteen. Suurin taajuusväli, jolla sovitustermejä käytetään, on 50–5000 Hz. Tällöin taajuusväli esitetään sovitustermin yhteydessä, esimerkiksi $C_{50-5000}$. (RIL 243-1-2007, 118.)

Nykyiset voimassa olevat vaatimukset edellyttävät spektrisovitustermin käyttöä. Suurin sallittu askeläänitasoluku ilmoitetaan askeläänitasoluvun ja spektrisovitustermin $C_{I,50-2500}$ summana. Akustisissa luokissa A ja B vaatimukset ilmaneristävyydelle esitetään ilmaäänieristysluvun ja spektrisovitustermin $C_{50-3150}$ summana. (SFS 5907, 7.)

2.4.5 Massalaki

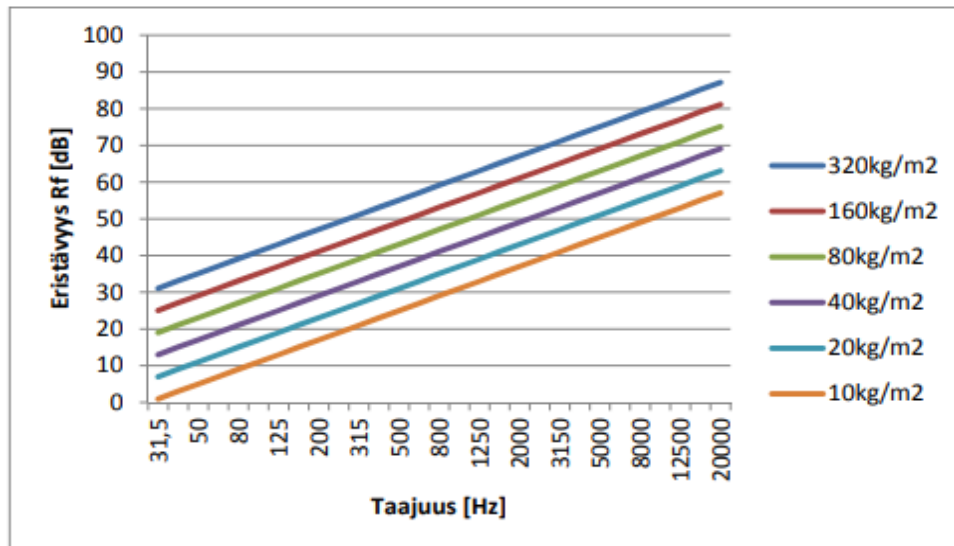
Yksinkertaisissa rakenteissa ääneneristävyyden teoreettinen maksimiarvo voidaan määritellä suoraan rakenteen massasta. Teoreettisesti massan kaksinkertaistuminen tarkoittaa ääneneristävyyden arvon paranevan 6 dB, mutta todellisuudessa resonanssi ja koinsidenssi heikentävät teoreettista ääneneristävyyttä. Yksinkertaisena rakenteena toimivat useimmat tasa-aineiset levyt ja rakenteet kuten betoni, kipsi ja puu. Myös ontelolaatoilla toteutettuja, sekä tiheällä palkistolla varustettuja välipohjarakenteita voidaan pitää yksinkertaisina rakenteina tietyillä reunaehdoilla. Yksinkertaisen rakenteen ääneneristyksen toiminta perustuu rakenteen massaun, ja näin ollen rakenteen kykyyn

vastustaa värähtelyä. Mitä suurempi rakenteen massa on, sitä vähemmän se heilahtelee ja aiheuttaa värähtelyä, eli ääntä rakenteen toiselle puolelle. Massan lisäksi ääneneristävyyteen vaikuttaa rakenteen jäykkyys, rakenteen häviöt, sekä paksummissa rakenteissa aineen aaltovastus. (RIL 129-2003, 9.)

Massalain mukainen ääneneristävyys R_f voidaan laskea yhtälöstä 9.

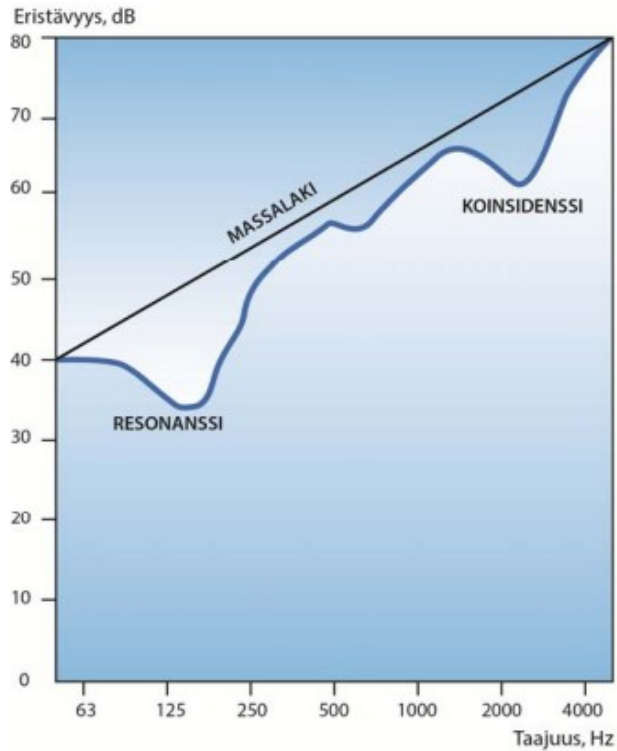
$$R_f = 20 \log(mf) - 49 \quad (9)$$

jossa m rakenteen pintamassa [kg/m²]
 f taajuus [Hz]



Kuva 6. Massalain mukainen ääneneristävyys (Liikennevirasto 2014)

Kuvassa 6 on esitetty massalain mukaiset teoreettiset ääneneristävyydet massoitain erisuurille rakenteille. Todellisuudessa resonanssi, koinsidenssi ja sivutiesiirtymät heikentävät ääneneristävyyttä niille ominaisilla taajuuksilla. Resonanssin ja koinsidenssin vaikutukset teoreettiseen maksimiääneneristävyyteen on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Resonanssin ja koinsidenssin vaikutus massalain mukaiseen ääneneristävyyteen (Liikennevirasto 2014)

Kuvasta 7 on havaittavissa resonanssin vaikutus resonanssitaajuusalueella, sekä koinsidenssin vaikutus. Resonanssi vaikuttaa yleensä matalilla taajuuksilla, kun taas koinsidenssi puolestaan korkeilla taajuuksilla (Liikennevirasto 2014, 10).

Massalain mukaiseen ääneneristävyyteen voidaan päästä vain, mikäli rakenteet ovat tarpeeksi tiiviitä. Lähtökohtaisesti voidaan olettaa, että materiaalit kuten betoni, tiili, metalli, lasi, vaneri ja lastulevy täyttävät tiiveysvaatimukset, mikäli niiden liitokset on toteutettu asianmukaisesti. Huokoisten materiaalien tiiveys tulee erikseen varmistaa erillisellä pintakerroksella, kuten rappauksella, tai tiiviillä rakennuslevyllä. (RIL 129-2003, 10.)

Mikäli seinään jää rakoja tai aukkoja, heikentää se seinän ääneneristävyyttä. Ohuissa seinissä raon vaikutus ääneneristävyyteen on suurempi kuin paksuissa seinissä, missä kitkan aiheuttamat häviöt lisäävät raon ääneneristävyyttä hieman. Kuitenkin hyvinkin eristettynäkin rakojen ääneneristävyys on maksimissaan noin 20–30 dB:ä. (RIL 129-2003, 9.)

Rakojen vaikutus ääneneristävyyteen voidaan arvioida yhtälöstä 10

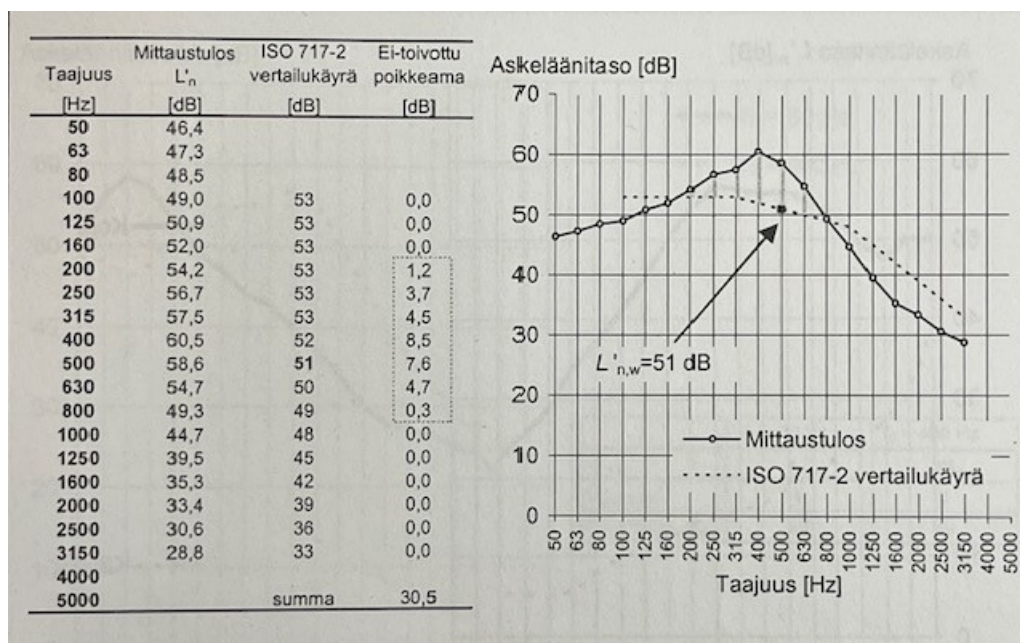
$$R_{yhteis} = 10 \log_{10} \frac{S_1 S_2}{S_1 \times 10^{-R_1/10} + S_2 \times 10^{-R_2/10}} \quad (10)$$

jossa	R_{yhteis}	ääneneristys raot huomioiden	[dB]
	S_1	rakenteen pinta-ala	[m ²]
	S_2	raon pinta-ala	[m ²]
	R_1	rakenteen ääneneristävyys	[dB]
	R_2	raon ääneneristävyys	[dB]

Ääneneristävyyteen vaikuttaa siis raon ääneneristävyys ja sen koko. Mikäli rako on huonosti tiivistetty, se voi saada ääneneristävyyden arvoksi 0 (RIL 129-2003, 14).

2.5 Askeläänieristys

Siinä missä ilmaäänieristys arvioidaan lähetys- ja vastaanottohuoneen äänitehojen suhteena, askeläänieristys arvioidaan käyttämällä standardisoitua askeläänikonetta. Askeläänikone aiheuttaa rakenteeseen runkoäänen, jonka äänenpainetaso mitataan vastaanottohuoneessa kolmannesoktaavikaistoilla taajuusalueella 100–3150 Hz. Standardi ISO 717-2 määrittelee askeläänitasoille vertailukäyrän, jonka perusteella voidaan määrittää askeläänitasoluku $L'_{n,w}$. Vertailukäyrän ja mitattujen askeläänitasojen ei-toivottujen poikkeamien arvojen summa ei saa ylittää 32 desibeliä. Ei-toivotulla poikkeamalla tarkoitetaan mitattujen askeläänitasojen ylittymistä vertailukäyrällä. Toisin sanoen mitattu askeläänitaso määrittelee vertailukäyrän sijainnin, jolta askeläänitaso luetaan 500 Hz:n kohdalta. (RIL 243-1-2007, 117.)



Kuva 8. Standardin ISO 717-2 mukainen vertailukäyrä (RIL 243-1-2007, 117)

Kuvassa 8 standardin ISO 717-2 mukainen vertailukäyrä, ja mitatut askeläänitasoluvun arvot kolmannesoktaavikaistoittain. Mitä pienemmän arvon askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ saa, sitä parempi askeläänieristävyys on.

2.5.1 Askeläänten mittaus ja askeläänikoje

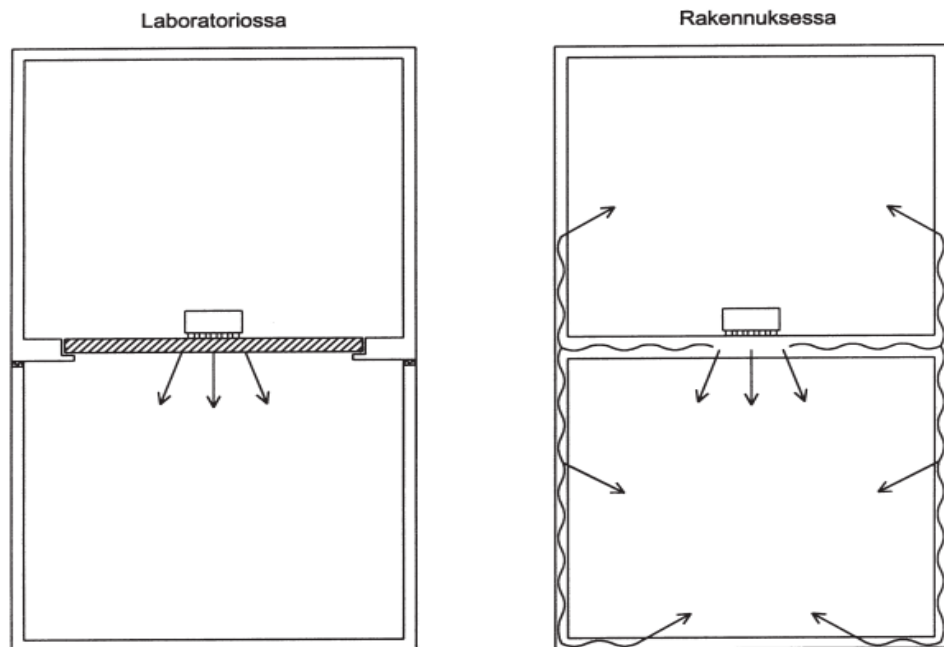
Askeläänten mittaus perustuu standardoidun askeläänikojeen aiheuttamien äänenpainetasojen mittaamiseen vastaanottotilassa. Askeläänikojeen viisi vasaraa pudotetaan kukin kahdesti sekunnin aikana, jolloin sekunnin aikana koje kohdistaa lattiaan 10 iskua. Askeläänieristystyksen mittaus voidaan suorittaa laboratoriossa tai rakennuksessa. Laboratoriossa mitattu askeläänikojeen aiheuttama äänenpainetaso vastaanottohuoneessa merkitään tunnuksella L , ja rakennuksen sisällä mitattua äänenpainetasoa L' . (RIL 243-1-2007, 116.)

Standardien mukaisesti vastaanottohuoneen äänenpainetaso on mitattava neljästä eri kohtaa, sekä askeläänikoje on myös vastaavasti asetettava neljään eri kohtaan. Eri kohdista mitattuja äänenpainetasoja merkitään tunnuksella L_j , ja niiden perusteella voidaan laskea energiakeskiarvo L_i , kun eri kohdista mitattuja äänenpainetasoja on n kappaletta. (RIL 243-1-2007, 116.)

Näin ollen askeläänikojeen aiheuttama energiakeskiarvo voidaan määrittää yhtälöstä 11.

$$L_i = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \right) \quad (11)$$

jossa	L_i	energiakeskiarvo	[dB]
	L_j	mitatut äänenpainetasot	[dB]
	n	mitattujen äänenpainetasojen määrä	[-]



Kuva 9. Askeläänieristyksen mittaus laboratoriossa ja rakennuksessa (RIL 243-1-2007, 116)

Kuvasta 9 on havaittavissa ero laboratoriossa ja rakennuksessa tehtävästä mittauksesta. Rakennuksessa, missä liitokset ja rakenneratkaisut mahdollistavat sivutiesiirtymät, energia siirtyy liittyviä rakenteita pitkin viereisiin tiloihin, joissa se havaitaan matalataajuisena äänenä. Laboratoriossa tehdyssä mittauksessa sivutiesiirtymät on pyritty minimoimaan, ja mitattu äänenpainetaso vastaanottohuoneessa vastaa paremmin iskun aiheuttamaa energiaa, kun energia ei kulje satunnaista reittiä pitkin vastaanottohuoneeseen. (RIL 243-1-2007, 116.)

Rakennuksissa tapahtuvaa sivutiesiirtymää voidaan jonkin verran hallita rakenneratkaisuilla. Kasvattamalla sivuavien rakenteiden massaa, voidaan

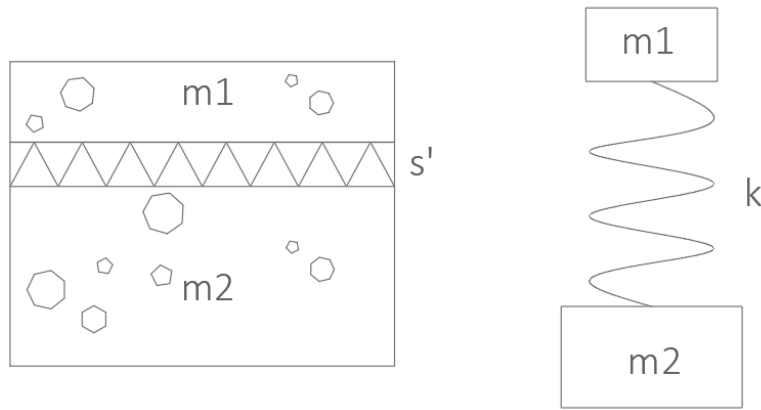
parantaa eristävyttä tilojen välillä. Liittyvien massojen ollessa likimain sama, sivutiesiirtymät heikentävät eristävyttä vain 1 dB:n verran. Esimerkiksi massiivisen väliseinän liittyessä ulkoseinän ei-kantavaan sandwich-elementtiin, massojen suhde on suuri, joten sivutiesiirtymät on otettava huomioon liitoksessa. Sivuava rakenne voidaan myös katkaista liitoksen kohdalla joustavalla saumalla, jolloin se ei välitä energiaa toiseen tilaan. Tällöin on mahdollista liitoksen osalta päästä 2 dB:n päähän optimaalisesta ääneneristävydestä. Liittyvään tilaan voidaan myös asentaa alakattorakenne, joka vähentää sivutiesiirtymien aiheuttamaa energian säteilyä. (RIL 129-2003, 15.)

2.5.2 Kelluvat rakenteet

Betonisesta rakenteesta voidaan käyttää termiä kelluva, kun kantavan rakenteen päällä on joustava kerros, kuten mineraalivilla ja tämän päällä toinen tiivis kerros, kuten esimerkiksi betonilaatta. Kantavana rakenteena käytetään usein paikallavalettua betonilaattaa tai ontelolaattaa. Kelluvien rakenteiden keskeinen ajatus on irrottaa pintalaatta kokonaan rungosta tai rakennuksen putkituksesta. Kelluva rakenne vähentää voiman siirtymistä kantavaan runkoon, mikä puolestaan vähentää värähtelyn syntymistä viereisissä huoneissa. (RIL 243-1-2007, 122.)

Kelluvien rakenteiden, kuten myös alakattojen toiminta perustuu kaksinkertaiseen rakenteeseen. Kaksinkertaisen rakenteen muodostaa kaksi toisistaan erillään olevaa rakennetta ja niiden välissä oleva välitila. Välitila voi olla täytettyä pehmeällä materiaalilla, ja edellä mainituissa tapauksissa rakenteiden välillä on eriste. Joustavaa väliainetta voidaan käsitellä jousena, ja sen jousto-ominaisuutta kuvaa dynaaminen jäykkyys s' . (RIL 243-1-2007, 122.)

Rakenteen massan lisäksi kelluvan rakenteen tärkein ominaisuus on sen ominaistajuus f_0 , joka on riippuvainen rakenteen pintamassasta m' ja eristekerroksen dynaamisesta jäykkyydestä s' .



Kuva 10. Kelluvan rakenteen periaate

Kuvassa 10 on esitetty kelluvan rakenteen periaate. Välitila toimii jousena kahden toimivan massan välillä. Jousen jäykkyys määräytyy eristekerroksen dynaamisen jäykkyyden mukaisesti.

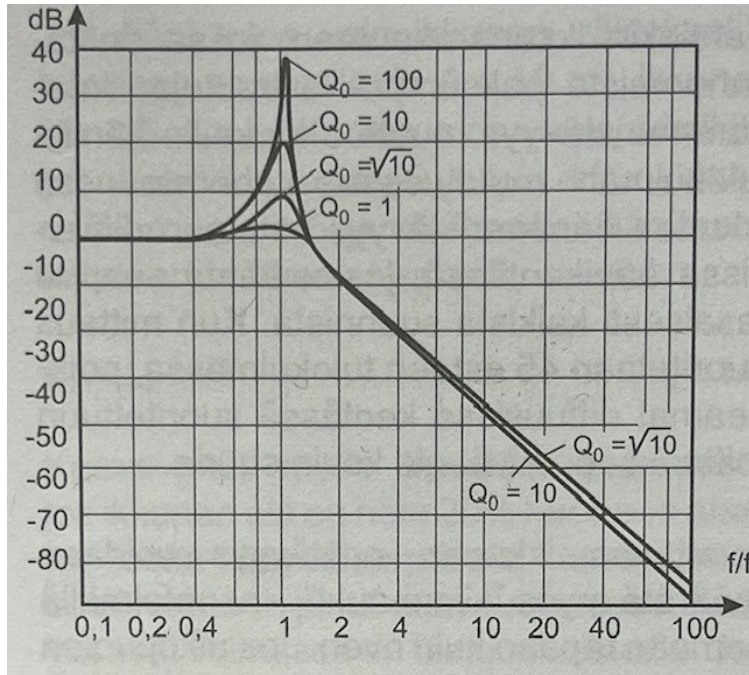
Kelluvan rakenteen ominaistajuus f_0 voidaan määrittää yhtälöstä 12.

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \quad (12)$$

jossa	f_0	kelluvan rakenteen ominaistajuus	[Hz]
	s'	eristeen dynaaminen jäykkyys	[MN/m ³]
	m'	rakenteen pintamassa	[kg/m ²]

Vaikka kantava- ja kelluva rakenne muodostavat kaksinkertaisen rakenteen, usein pelkän kelluvan rakenteen massan tunteminen riittää, sillä kantavan rakenteen massa sekä jäykkyys ovat huomattavasti kelluvaa rakennetta suurempia. Normaalissa asuinkerrostalorakentamisessa käytetään yleisesti kelluvissa rakenteissa askeläänieristelevyjä, joiden dynaaminen jäykkyys on alle 25MN/m³. Yhdessä 80 mm paksun betonisen pintalaatan kanssa päästään lähelle asukkaiden kokemaa, subjektiivisesti hyväksyttävissä olevaa askeläänieristyskykyä. Kelluvan rakenteen ominaistajuutena tämä tarkoittaa alle 50 Hz:n taajuuksia. (RIL 243-1-2007, 123.)

Kelluvan rakenteen energiansiirtosuhte on vahvasti riippuvainen sen ominaistajuudesta.



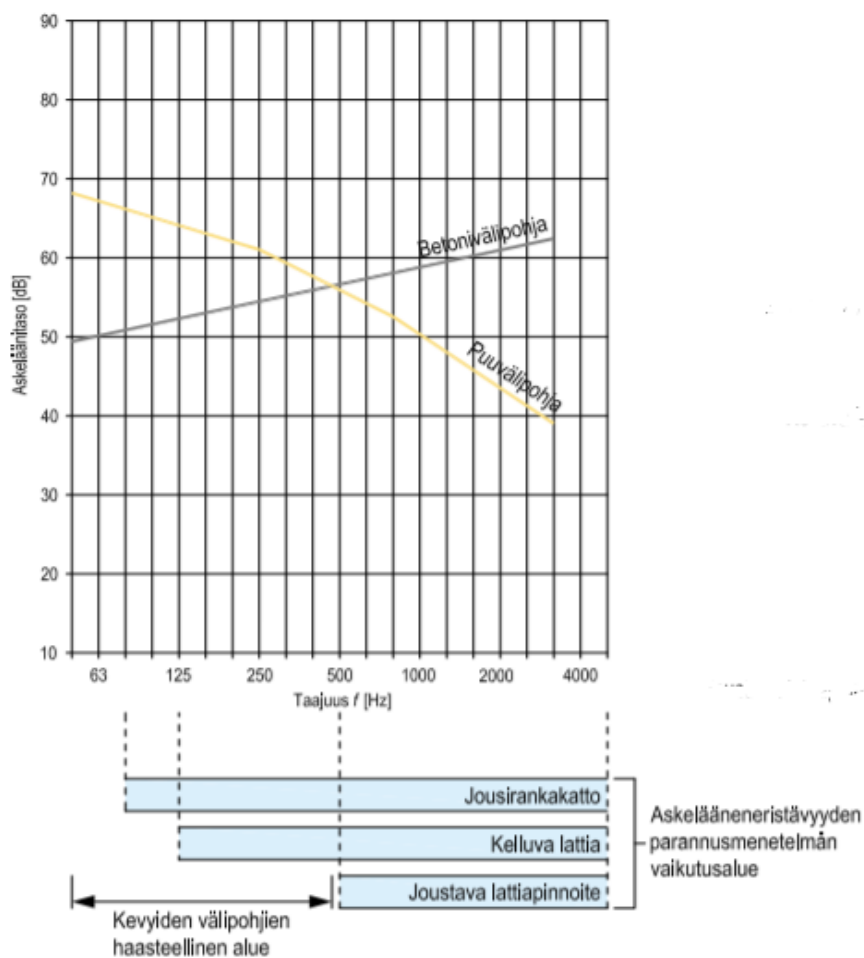
Kuva 11. Kelluvan rakenteen energiansiirtosuhte (RIL 129-2003, 263)

Kuvassa 11 on esitetty kelluvan rakenteen energiansiirtosuhte eri herätteen taajuuksilla suhteessa rakenteen ominaistaajuuteen nähden. Herätteen osuessa rakenteen ominaistaajuudelle, energian siirto kasvaa huomattavasti. Herätteen taajuuden ollessa pienempi kuin rakenteen ominaistaajuus, energia pysyy likimain samana. Herätteen taajuuden ollessa suurempi kuin $f_0\sqrt{2}$, eristävyys kasvaa 12 dB:ä herätteen taajuuden noustessa oktaavin. Toisin sanoen, kelluvan rakenteen ominaistaajuuden ollessa esimerkiksi 50 Hz, ääneneristävyys paranee taajuudesta $50\sqrt{2} = \sim 71$ Hz:stä ylöspäin. (RIL 129-2003, 263.)

2.5.3 Kaksinkertainen rakenne

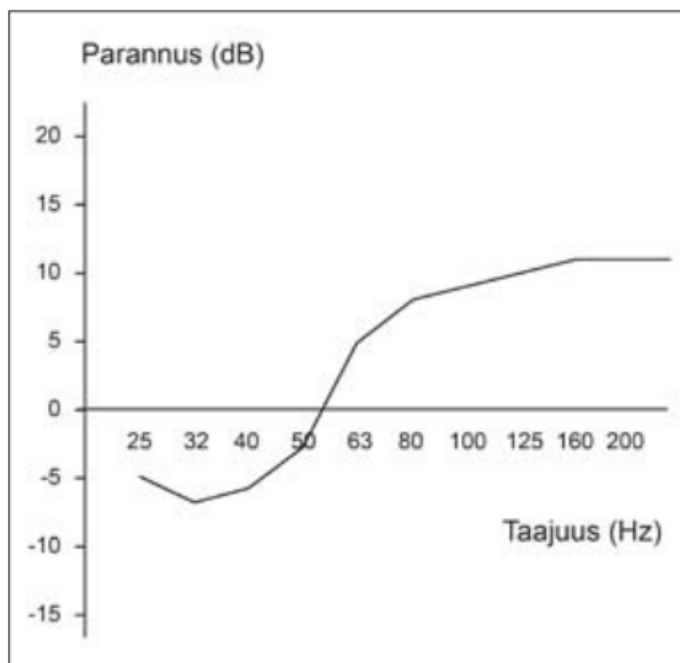
Kevyiden välipohjarakenteiden toiminta perustuu kaksinkertaisen seinän tapaan jousi-massa-yhdistelmään, missä yläpuolisen massan ja alapuolisen levytyksen välissä toimiva ilmatila toimii energiaa välittävänä jousena. Suhteellisen kevyen pintamassan takia, rakenne vaatii lähes poikkeuksetta jousirankojen varaan rakennetun alakaton täyttääkseen sille asetetut vaatimukset ääneneristävyuden suhteen. Kevyinä välipohjarakenteina voidaan pitää rakenteita, joiden kantavana rakenteena on teräsprofiilit, tai puiset rakenteet, jonka massa on kaikkine rakennekerroksineen alle 100 kg/m^2 . (Ääneneristys puutalossa 2004, 28.)

Siinä missä korkeamman massan omaavassa välipohjassa askeläänepainetasot ovat korkeilla taajuuksilla korkeita, sekä matalilla taajuuksilla alhaisia, on tilanne kevyissä välipohjarakenteissa päinvastainen. Tämä aiheuttaa sen, ettei kelluvalla rakenteella ole kevyissä välipohjarakenteissa samaa parannusvaikutusta korkeiden taajuuksien eristämiseksi. (Ääneneristys puutalossa 2004, 28.)



Kuva 12. Askeläänepainotasoja eri välipohjatyypeissä (Ääneneristys puutalossa, Puuinfo 2021, 38)

Kuvassa 12 on esitetty kevytrakenteisen puuvälipohjan, sekä massiivisen betonivälipohjan askeläänitasoja. Kevyissä välipohjissa matalat, alle 250 Hz:n taajuudet voivat muodostua ongelmaksi, ja esimerkiksi jousirankojen varaan asennettu alakatto voi vaikuttaa negatiivisesti askeläänieristävyyteen alle 50 Hz:n taajuuksilla. (Ääneneristys puutalossa 2004, 29.)



Kuva 13. Alakattolevytyksen parannusvaikutus askelääneneristävyyteen (Ääneneristys puutalossa, 29)

Kuvassa 13 on esitetty edellä mainittu parannusvaikutus, kun käytetään jousirankojen varaan asennettua alakattolevytystä. Parannusvaikutuksen voidaan katsoa alkavan vasta noin 50 Hz:n taajuuksilla.

2.5.4 Kevyet välipohjat ja alakatot

Kevyissä välipohjarakenteissa, kuten puuvälipohjissa pintalaatta voidaan toteuttaa suoraan välipohjan kannen päälle, jolloin pintalaatan päällä tulee olla riittävän joustava lattiapäällyste. Vaihtoehtoisesti rakenne voi olla kelluva, jossa pintalaatta lepää askeläänieristyslevyn päällä. Samaan tapaan kuin betonisissa välipohjissa, pintalaatan massa vaikuttaa eristeen dynaamisen jäykkyyden ohella suuresti askelääneneristävyyteen. On siis suositeltavaa käyttää kelluvassa rakenteessa vähintään 60 mm paksua pintalaattaa matalien taajuuksien eristämisen vuoksi. (Ääneneristys puutalossa 2004, 32.)

Lattapäällysteellä voidaan huomattavasti parantaa kevyen välipohjan askeläänieristävyyttä, mikäli päällyste asennetaan kiinteän pintalaatan päälle. Lattapäällysteen parannusluku ΔL_w on sovellettavissa myös kevytrakenteisille välipohjille, vaikka parannusluku on tarkoitettu betonivälipohjille. Lattapäällysteellä ei ole samaa vaikutusta kevyissä välipohjarakenteissa, ja esimerkiksi lattiapäällysteen, jonka parannusluku $\Delta L_w = 18dB$ parantaa kelluvalla

pintalaatalla varustetun kevyen välipohjan askeläänieristävyttä erittäin huonosti, vain noin 0–2 dB. Kiinteällä pintalaatalla vastaavalla lattiapäällysteellä voidaan kuitenkin jo saavuttaa 8–10 dB:n parannus askeläänieristävyteen. (Ääneneristys puutalossa 2004, 32.)

Samaan tapaan kuin kelluvissa rakenteissa, välipohjan ääneneristävyys kasvaa resonanssitaajuuden yläpuolella. Kevyessä välipohjarakenteessa toimivien massojen välillä on usein välipohjapalkit, joiden mekaaninen kiinnitys heikentää ääneneristävyttä taajuuden kasvaessa verrattuna betonirakenteisiin välipohjiin. Kaksinkertaisessa kevyessä välipohjassa alin resonanssitaajuus määritellään jousirankojen varaan rakennetulle alakattolevytykselle, sekä pintalaatalle. Levyrankaisissa rakenteissa alimpaan resonanssitaajuuteen vaikuttaa toimivien massojen, eli pintarakenteen ja alapuolisen levyn massa, sekä ilmatilan paksuus. (Ääneneristys puutalossa 2004, 33.)

Alakattolevytyksen alin resonanssitaajuus saadaan tällöin yhtälöstä 13.

$$f_0 = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2 d}} \quad (13)$$

jossa	f_0	alakattolevytyksen alin resonanssitaajuus [Hz]	
	m_1	alakattolevytyksen paino [kg/m ²]	
	m_2	muun välipohjan paino [kg/m ²]	
	d	ilmatilan paksuus	[m]

Pintalaatan alimpaan resonanssitaajuuteen vaikuttaa eristekerroksen dynaamisen jäykkyyden lisäksi sekä pintalaatan että välipohjan massa.

Pintalaatan alin resonanssitaajuus saadaan yhtälöstä 14.

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}} \quad (14)$$

jossa	f_0	pintalaatan alin resonanssitaajuus [Hz]
	s'	askeläänieristeen dynaaminen jäykkyys [MN/m ²]
	m_1	pintalaatan paino [kg/m ²]
	m_2	välipohjan paino (ei sisällä pintalaattaa) [Kg/m ²]

Alakattolevytyistä käytettäessä on myös huomioitava koinsidenssi-ilmiö. Koin-
sidentsitaajuus pyritään saamaan mahdollisimman korkeaksi, jottei sillä olisi
niin suurta vaikutusta ääneneristävyyteen. Koinsidenssitaajuuteen voidaan
vaikuttaa käyttämällä levytyksessä ohuita rakennuslevyjä. (Ääneneristys puu-
talossa 2004, 34.)

2.5.5 Koinsidenssi-ilmiö

Koinsidenssiksi tai myötävärähtelyksi kutsutaan tilannetta, jossa teoreettisesti
ääretön levymäinen rakenne alkaa myötävärähdellä siihen kohdistuvan äänen
takia siten, että ääni läpäisee levyrakenteen lähinnä vain materiaalin sisäisten
häviöiden vuoksi (Ääneneristys puutalossa 2004, 9).

Koinsidenssitaajuus on pienin ilmantaajuus, jolla levymäisen rakenteen koin-
sidsi on teoreettisesti mahdollinen. Koinsidenssitaajuudella ilmaäänien no-
peus on yhtä suuri kuin levyrakenteessa etenevän taivutusaallon nopeus.
Koinsidenssitaajuus määräytyy rakenteen kimmomoduulin ja Poissonin vakion
eli suppeumaluvun mukaan. Lisäksi koinsidenssiin vaikuttaa rakenteen pinta-
massa ja paksuus. Paksuilla betonirakenteilla koinsidenssin rajataajuus esiin-
tyy 100Hz:n alueella. (Ääneneristys puutalossa 2004, 22.)

2.5.6 Riskit kelluvien rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa

Toimiakseen suunnitellusti kelluvan rakenteen pintalaatan on oltava kokonaan irti kantavasta runkorakenteesta. Rakenne on toteutettava niin, ettei pintalaatan ja kantavan rakenteen välille muodostu kiinteää yhteyttä, ja pintalaatta on irrotettu irrotuskaistalla viereisistä seinistä. Kiinteä yhteys kantavan rakenteen ja pintarakenteen välillä mahdollistaa energian sivutiesiirtymän ja näin ollen aiheuttaa äänenä havaittavan värinän viereisissä tiloissa. (RIL 243-1-2007, 122.)

Pintalaatan kuivumiskutistuma voi aiheuttaa kaareutumista laatan reunoille, etenin suuremmilla paksuuksilla. Tämän vuoksi on suositeltavaa suunnitella maksimissaan 80 mm paksuja kelluvia pintalaattoja. Laatan kaareutuminen voi aiheuttaa kiinteän yhteyden laatan ja seinärakenteen välille.

Kelluvan rakenteen joustava välikerros on myös suunniteltava riittävän paksuksi, sillä välikerroksen dynaaminen jäykkyys on kääntäen verrannollinen sen paksuuteen. Toisin sanoen kerroksen ohentuessa myös eristävyys heikkenee. Normaalisissa asuinkerrostalorakentamisessa, missä eristeen dynaaminen jäykkyys on alle 25MN/m^3 , on 30 mm:n eristekerros usein riittävä. (RIL 243-1-2007, 123.)

2.6 Askeläänitasolukujen laskenta

Standardi EN 12354-2 esittää yksinkertaistetun menetelmän askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ laskemiseksi. Menetelmässä arvioidaan päällystämättömän välipohjan pintamassan perusteella välipohjan ekvivalentti askeläänitaso $L_{n,w,eq}$, jossa huomioidaan lattiapäällysteen askeläänieristävyyden parannusluku ΔL_w , sekä sivutiesiirtymän huomioiva arvo K . Standardin yhtälöä voidaan soveltaa, kun välipohjan massa on $100\text{--}600\text{ kg/m}^2$. (RIL 243-1-2007, 129.)

Päällystämättömän välipohjan ekvivalentti askeläänitasoluku $L_{n,w,eq}$ saadaan yhtälöstä 15.

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log_{10} \frac{m'}{1\text{kg/m}^2} \quad (15)$$

jossa	$L_{n,w,eq}$	ekvivalentti askeläänitasoluku	[dB]
	m'	pintalaatan massa	[kg/m ²]

Laskennallisesti sivutiesiirtymät ja lattiapäällysteen vaikutuksen huomioiva askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ soveltuu lähinnä päällystettyjen välipohjien askeläänitasolukujen arviointiin. Esimerkiksi kelluvilla välipohjarakenteilla askeläänitasoluku on suositeltavaa todeta laboratorio- tai kenttämittauksin. Sivutiesiirtymiä huomioiva muuttuja K [dB] on riippuvainen välipohjan sekä sivuavien rakenteiden massasta. Sivuavien seinien osalta kevyiden väli- ja ulkoseinien massa jätetään huomioimatta. Askeläänieristävyyden parannus eli askeläänienpainetaso alenema ΔL [dB] mitataan standardin EN ISO 10140-3-2010 mukaisesti. Lattiapäällysteen parannusluku ΔL_w määritellään puolestaan standardin EN ISO 717-2-1996 mukaisesti. (RIL 243-1-2007, 130.)

Askelääneneristävyyden luku rakennuksessa $L'_{n,w}$ lasketaan ekvivalentin askeläänitasoluvun kautta ottamalla huomioon edellä mainitut tekijät yhtälön 16 mukaisesti.

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad (16)$$

jossa	$L'_{n,w}$	askeläänitasoluku	[dB]
	$L_{n,w,eq}$	ekvivalentti askeläänitasoluku	[dB]
	ΔL_w	lattiapäällysteen parannusluku	[dB]
	K	sivutiesiirtymät huomioiva arvo	[-]

Sivutiesiirtymät huomioiva arvo K saadaan taulukosta 2

Taulukko 2. Sivutiesiirtymät huomioivan tekijän K arvot eri välipohjan ja sivuavien rakenteiden massoilla (RIL 243-1-2007, 130)

Välipohjalaatan massa [kg/m ²]	Sivuavien rakenteiden massa [kg/m ²] keskimäärin								
	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

Suurimmillaan sivutiesiirtymät huomioiva arvo K on, kun välipohjan massa on suuri verrattuna sivuavien rakenteiden massaan. Tapauksissa, joissa sivuavien rakenteiden massa on suurempi kuin välipohjalaatan massa, muuttuja K saa arvoksi 0–1 dB. Arvo vaihtelee 0–6 dB:n välillä, riippuen massojen suhteesta.

Laskennallisella metodilla voidaan saavuttaa suhteellisen tarkkoja tuloksia äänentasoluvun suhteen, mutta standardin 12354–2 mukaisesti tuloksiin on jätettävä ± 2 dB:n varmuusvara. Standardin mukaisella laskentakaavalla päästään 60 % tapauksista tämän varmuusvaran sisään tuloksissa. Kaikissa mitatuissa ja lasketuissa tapauksissa ero askeläänitasoluvun suhteen on ollut ± 4 dB:ä. Suurimmat erot mitattuihin tuloksiin voidaan selittää erityyppisillä välipohjarakenteilla, esimerkiksi ontelolaatalla päästään parempiin askeläänitasolukuihin kuin vastaavan massan omaavalla paikallavaletulla välipohjarakenteella. (RIL 243-1-2007, 130.)

3 HUONEAKUSTIIKKA

Huoneakustiikan keskeisin tarkoitus on hallita tilojen sisällä tapahtuvaa äänen liikettä, ja luoda tilan käyttötarkoitusta vastaavat ääniolosuhteet. Äänen liikkeillä tarkoitetaan äänen kulkua, heijastumista sekä vaimentumista tilojen sisällä. Tilojen ääniolosuhteet on suunniteltava käyttötarkoituksen mukaan, ja mietittävä halutaanko esimerkiksi puheääntä vaimentaa vai korostaa. (RIL 243-1-2007, 158.)

Vastaanottajan kuulemaa ääntä voidaan lähtökohtaisesti tarkastella kolmessa osassa. Suoraan äänilähteestä tuleva ääni saavuttaa kuulijan ensimmäisenä, jota seuraa aikaiset heijastukset. Viimeisenä havaitaan vaimeneva kaiunta-ääni. (RIL 243-1-2007, 159.)

Heijastuessaan seinä-, lattia- tai kattopinnoista ääni menettää osan energiasaatan absorption kautta, mutta ”normaaleissa” tiloissa heijastusten määrä on suuri, jolloin suurin osa kuulijan vastaanottamasta äänestä syntyy heijastusten kautta, vaikkakin äänenpainetaso laskee jokaisen heijastumisen yhteydessä. Heijastukset voidaan mitata ja eritellä toisistaan ensimmäisen 100 millisekunnin aikana herätteestä, jonka jälkeen tilassa vallitsee diffuusi äänikenttä, ja äänenpainetaso vaimenee Sabinen yhtälön mukaisesti. (RIL 243-1-2007, 160.)

Ihmisen kuulon kannalta 50 ms aikana saapuvat heijastukset koetaan samana äänenä, ja tämän rajan jälkeen saapuvat heijastukset tulkitaan eri äänenä. Tästä saadaan huoneakustiikan yksi perusperiaate tilojen muotojen suhteen, kun tiedetään äänen kulkevan normaalissa lämpötilassa noin 17 metriä 50 ms:n aikana. Suoraan havaitun äänen ja varhaisen heijastuksen reitin pituusero ei saisi olla enempää kuin 17 metriä. Tätä voidaan soveltaa esimerkiksi esiintymistiloissa, jolloin sen akustinen suunnittelu on yksinkertaisempaa. Monimuotoisimmissa ja suuremmissa tiloissa heijastuksia voidaan ohjata heijastinrakenteilla haluttuun suuntaan. (RIL 243-1-2007, 160.)

Ääni heijastuu sileästä pinnasta samassa kulmassa kuin se siihen osuu. Tätä periaatetta voidaan hyödyntää tilojen suunnittelussa. Suorakulman muotoisessa tilassa heijastukset jakautuvat tasaisemmin sivuseinillä koko tilan pituuden. Pyöreät ja kaarevat muodot tiloissa voivat aiheuttaa heijastusten

keskittymisen tiettyyn pisteeseen, eikä ne tällöin jakaudu tasaisesti tilan sisällä. (RIL 243-1-2007, 161.)

Äänen heijastumiseen voidaan tilojen muotojen lisäksi vaikuttaa pinnan rakenteella ja muodolla. Siinä missä sileä pinta heijastaa äänen takasin samassa kulmassa kuin se siihen osuu, rikottu ja epämääräisen muotoinen pinta heijastaa äänen ennalta määräämättömästi takasin tilaan, kuitenkin silti noudattaen periaatetta, missä ääniaalto noudattaa samaa lähtö- ja tulokulmaa kuin sileässä pinnassa. (RIL 243-1-2007, 162.)

Tärkeimpänä huoneakustiikan terminä voidaan pitää jälkikaiunta-aikaa, jolle Ympäristöministeriön asetus 796/2017 myös antaa tietyn raja-arvon. Ympäristöministeriön asetuksessa todetaan ”*Rakennus, jossa on asuntoja, majoitustai potilashuoneita, on suunniteltava ja toteutettava siten, että porrashuoneen ja uloskäytävän jälkikaiunta-aika on enintään 1,3 sekuntia*”.

Jälkikaiunta-ajalla tarkoitetaan aikaa, jonka kuluessa äänitaso laskee 60 dB äänilähteen lopetettua toimintansa. Jälkikaiunta-aika riippuu mitattavan tilan tilavuudesta, kokonaisabsorptioalasta, ja absorptiomateriaalin sijoittelusta. Äänikentän ollessa diffuusi, jälkikaiunta-ajalla, tilavuudella ja absorptioalalla on Sabinen yhtälön mukainen yhteys. Sabinen yhtälöä voidaan soveltaa tiloihin, joissa absorptioala on jakautunut tasaisesti huonetilan sisällä. Tilavuuksiltaan suurissa tiloissa, joissa absorptioala on myös suuri ja epämääräisesti sijoitettu on käytettävä tarkempia menetelmiä. (RIL 243-1-2007, 167.)

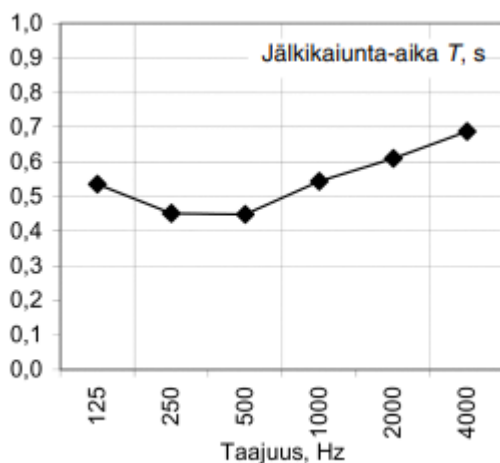
Jälkikaiunta-aika äänikentän ollessa diffuusi saadaan Sabinen yhtälöstä

$$T = 0.16 \frac{V}{A}$$

jossa	T	Jälkikaiunta-aika	[s]
	V	Äänikentän tilavuus	[m ³]
	A	Absorptioala	[m ²]

Jälkikaiunta-aika paranee, mitä suurempi absorptioala on huoneen tilavuuteen nähden. Jälkikaiunta-ajan parantuessa ääni vaimenee nopeammin, eikä

esimerkiksi puheääni jää kaikumaan. Koska absorptiosuhteen arvo riippuu äänen taajuudesta, on jälkikaiunta-aika laskettava oktaavikaistoittain 125–4000 Hz:n välillä. Jälkikaiunta-aika voidaan esittää graafisesti eri oktaavikaistoilla. (RIL 243-1-2007, 164.)



Kuva 14. Jälkikaiunta-aika oktaavikaistoittain (Standardi SFS 5907)

Kuvassa 15 on esitetty jälkikaiunta-aika oktaavikaistoittain 125–4000 Hz:n välillä. Kuvasta on havaittavissa jälkikaiunta-ajan riippuvuus taajuudesta.

3.1 Diffuusi äänikenttä

Edellä mainitun mukaisesti äänikenttä on diffuusi, kun kaikissa huoneen pisteissä vallitsee sama äänenpainetaso. Tämä toteutuu, kun tila on kuutiomainen, kova- ja sileäpintainen ja tilan dimensiot ovat huomattavasti tarkasteltavaa äänen aallonpituutta suuremmat. Äänikentälle voidaan määrittää rajataajuus, jonka alapuolella tarkasteltava äänikenttä ei enää ole diffuusi. Käytännössä tämä voi muodostua ongelmaksi tiloissa, jossa tilavuus on pieni. (RIL 243-1-2007, 50.)

Diffuusin äänikentän rajataajuus f_s voidaan määrittää yhtälön 17 mukaisesti.

$$f_s = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}} \quad (17)$$

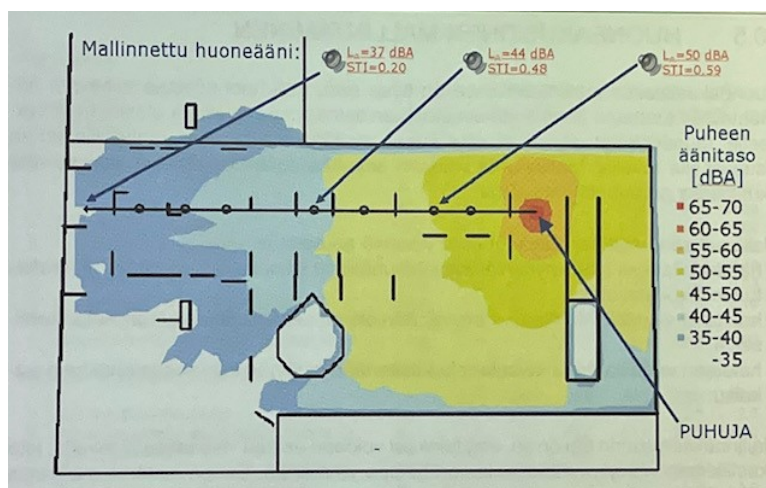
jossa	f_s	äänikentän raja-arvo	[Hz]
	T	jälkikaiunta-aika	[s]
	V	tilavuus	[m ³]

Rajataajuus f_s muodostuu harvoin ongelmaksi normaalissa asuinrakentamisessa, missä tilavuus on riittävän suuri, eikä ominaisvärähtelyllä ole suurta merkitystä tilan tarkoituksenmukaiseen käyttöön. Akustisen suunnittelun kannalta pyritään kuitenkin minimoimaan ominaistajuuden sekä tärykaiun vaikutus sillä ne voidaan kokea häiritseviksi, mikäli tilan olosuhteet ja dimensiot ovat ilmiöille otolliset. Tärykaiulla tarkoitetaan ilmiötä, jossa ääni heijastuu samansuuntaisista kovista pinnoista edestakaisin samassa kohtaa. (RIL 243-1-2007, 160.)

3.2 Huoneakustinen suunnittelu

Akustisesti haastavissa tiloissa, kuten konserttisaleissa tai avotoimistoissa suunnittelu tapahtuu lähtökohtaisesti mallintamalla. Mallintamisella tarkoitetaan tiloissa esiintyvien äänilähteiden simuloimista, sekä simulaation tuloksien esittämistä visuaalisessa muodossa. Mallinnuksen tuloksista voidaan laskea lukuarvot ääniolosuhteille, sekä vertailla eri vaihtoehtoja akustisille ratkaisuille. (RIL 243-1-2007, 169.)

Mallinnuksen tuloksena saadaan äänikartta, jossa on esitetty haluttu tieto. Puheen äänitaso on esitetty värikoodein, ja kuvasta voidaan havaita äänitason putoaminen ääntä eristävän tai heijastavan seinäkkeen kohdalla. Mallinnuksessa mihin tahansa pisteeseen voidaan lisätä mallinnetun tilan huoneäänen kuuntelumahdollisuus. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että halutussa pisteessä voidaan kuunnella äänilähteen ääni sellaisena kuin se varsinaisessa tilassa kuuluisi. Menetelmää kutsutaan myös nimellä auralisointi. (RIL 243-1-2007, 170.)



Kuva 15. Äänikartta esimerkkitalosta. (RIL 243-1-2007, 170)

Kuvassa 15 on esitetty esimerkkitalan äänikartta. Kyseinen tila on avotoimisto, ja kuvasta voidaan edellä mainitun lisäksi havaita umpinaisten seinien vaikutus äänitasoon. Seinien ja seinäkkeiden sijoittelulla voidaan vaikuttaa tilan lopulliseen ääniympäristöön, jotta siitä saadaan käyttötarkoitusta vastaava.

Äänitason lisäksi voidaan mallinnuksen perusteella laskea puheensirtoindeksi STI. Puheensirtoindeksi mittaa puheen ymmärrettävyyttä ottaen huomioon tilan ominaisuudet, kuten absorptiomateriaalit, akustiset laitteet ja tilan muodot. Puheensirtoindeksi kertoo kuinka suuri osa tavuista, sanoista ja lauseista on ymmärrettävissä. Puheensirtoindeksi voi saada arvon 0...1 väliltä, missä suurempi arvo tarkoittaa parempaa puheen erottumattomuutta. (INTO concept, 2018.)

Puheensirtoindeksi on suunnittelussa hyvä arvo, kun suunnitellaan erilaisia hiljaisia tiloja tai puhelinkoppeja toimistoihin. Näissä tiloissa on tärkeää, että puheesta on vaikea erottaa yksittäisiä sanoja tai lauseita, ja näin ollen tila vastaa sille asetettua tarkoitusta. (INTO concept, 2018.)

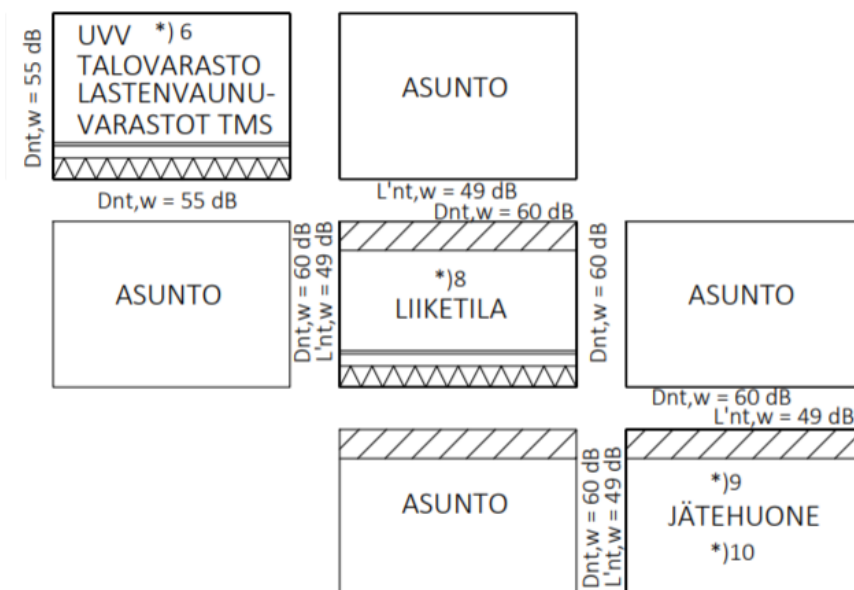
4 AKUSTINEN OHJEISTUS RAKENNESUUNNITTELIJALLE

Tämän opinnäytetyön keskeinen sisältö on luoda ohjeistus rakennesuunnittelijan käyttöön. Tämä ohjeistus toimii työkaluna, jonka avulla rakennesuunnittelija pystyy valitsemaan hyväksi ja toimiviksi todettuja rakenneratkaisuja kohteeseen. Ohjeistus ei anna suositusta esimerkiksi käytettävästä rakennetypistä, vaan vaatimusten kautta on pyritty löytämään oikeat ratkaisut

tarkasteltavaan tilaan. Ohjeessa esitetyt ratkaisut perustuvat opinnäytetyön ulkopuolella tehtyihin mittauksiin, hyväksi todettuihin ratkaisuihin sekä ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 vaatimuksiin, sekä ympäristöministeriön ohjeeseen ääniympäristöstä (2018). Opinnäytetyössä laadittu ohje on tilaajan omaisuutta, eikä sitä julkaista julkisessa versiossa.

Ohjeeseen valittiin 9 tilaa, jotka ovat aiheuttaneet, sekä tulevat aiheuttamaan ongelmia, mikäli suunnittelussa ei osata kiinnittää huomiota oikeisiin asioihin. Ohjeen on tarkoitus toimia suunnittelun apuna tarjoamalla hyväksi todettuja ratkaisuja eri tilanteisiin, sekä toimia eräänlaisena muistilistana tarkistettaville asioille. Ohje on yleispätevä normaaliin uudisrakennustuotantoon, ja sitä voidaan soveltaa eri kohteissa. Normaaleissa uudisrakennuskohteissa tilat pysyvät likimain samoina, vaikkakin arkkitehdin muuttuvat tilaratkaisut tuovat oman haasteen akustiseen suunnitteluun.

Tällä on pyritty vastaamaan työn tilaajan tarpeeseen selkeyttää epäselviä kokonaisuuksia, ja tiivistää olemassa oleva tieto yhteen ohjeeseen. Tilaajan toive vaatimusten esittämisestä ohjeessa on myös huomioitu. Näiden yhdeksän tilan ääneneristyksen vaatimukset suhteessa asuntoon on myös esitetty ohjeessa. Tämä palvelee suunnittelua hyvin, ottaen huomioon, että vaatimukset ja ohjaavat arvot ovat esitetty eri paikoissa.



Kuva 16. Kuvankaappaus ohjeesta

Kuvassa 16 on kuvankaappaus ohjeesta, joka havainnollistaa sen visuaalista ulkoasua ja toimintaa. Ohjeistus on toteutettu AutoCad 2020 -ohjelmistolla, ja tulosten pohjana toimii 1 A3-kokoinen arkki. Ohjeesta on luettavissa tarkasteltavan tilan vaatimukset viereisiin asuntoihin, sekä mahdolliset lisähuomiot, joilla voi olla vaikutusta käytettäviin suunnitteluratkaisuihin.

*) 11 = KYLPYHUONE ASUINHUONEEN
PÄÄLLÄ. ASUINHUONEESSA TULEE
HUOMIOIDA YLEMPI KPH ESIM.
ALAKATTORAKENTEELLA. KOSKEE MYÖS TALOSAUNAA,
MUTTA ERITYISESTI TILANTEITA MISSÄ KYLPYHUONEET
PORRASTAA KERROSTEN VÄLILLÄ

Kuva 17. Kuvankaappaus ohjeesta

Kuvassa 17 on esitetty esimerkki huomiosta, joka koskee kylpyhuoneita ja talosaunaa. Vastaavilla huomioilla on pyritty ottamaan jokaisen tarkisteltavan tilan erikoispiirteet ja vaatimukset.

Ohjeistus on tarkoitus esitellä tilaajan järjestämässä tilaisuudessa alkuvuodesta 2022, jonka jälkeen se pyritään ottamaan laajempaan käyttöön, mikäli nähdään, että siitä on hyötyä suunnittelutyössä. Ohje on tehty helposti muokattavaan ja täydennettävään muotoon, ja sitä on tarkoitus jalostaa suunnittelijoiden toiveiden mukaisesti.

5 POHDINTA JA TULOSTEN TULKINTA

Rakennusten akustinen suunnittelu on laaja kokonaisuus, joka vaatii suunnittelijoilta erityistä osaamista muuttuvissa ympäristöissä ja olosuhteissa, sekä materiaalien ja rakenteiden toiminnan ymmärrystä. Akustisen suunnittelijan neljänä keskeisimpänä tehtävänä asuinrakennuksen suunnittelussa voidaan pitää huoneakustiikkaa, rakennusakustiikkaa, meluntorjuntaa ja tärinäeristykseen toteuttamista. Näistä neljästä tehtävästä rakennusakustiikan, joka kattaa ilma- sekä askeläänet, ja tärinäeristykseen on oltava myös rakennesuunnittelijalla hallussa, jotta voidaan ennaltaehkäistä mahdollisia ongelmia projektin aikana ja sen valmistuttua.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli keskittyä edellä mainittuihin ilma- ja askelääniin. Näiden kahden termin ymmärtäminen, sekä näille asetettujen vaatimusten tunteminen antaa hyvän pohjan rakennesuunnittelun onnistumiselle akustisesta näkökulmasta. Todetaan vielä kerran, tämä opinnäytetyö on tehty nimenomaisesti rakennesuunnittelijan näkökulmasta, ja se tulee rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Huoneakustiikka ja meluntorjunta ovat erikoissuunnittelijan tehtäviä, eikä rakennesuunnittelijan ole tarpeellista näihin puuttua.

Opinnäytetyön teoriaosassa käydään läpi aiheeseen liittyvät termit ja käsitteet. Näiden avaaminen ja ymmärtäminen oli tärkeää, jotta pystytään ymmärtämään miksi rakenteet toimivat, ja mihin niiden toiminta perustuu. Rakenteiden ja tilojen väliset vaatimukset oli myös tarpeen selvittää, vaikka ympäristöministeriön asetuksessa esitetään ainoat määräävät vaatimukset. Näiden lisäksi ohjaavia arvoja on esitetty eri standardeissa ja ohjeissa, joten oli tarkoituksenmukaista esittää ne yhdessä paikkaa. Uusien vaatimusten tullessa voimaan vuonna 2018, oli vielä tarpeen muistuttaa näiden olemassaolosta. Vanhan rakentamismääräyskokoelman mukaiset vaatimukset koskevat vielä ennen 1.1.2018 alkaneita kohteita, mutta uusissa kohteissa tulisi jo siirtyä ympäristöministeriön asetuksen mukaisiin vaatimuksiin.

Opinnäytetyön kannalta tärkeimmät termit, eli ilma- ja askeläänieristys on pyritty avaamaan hieman tarkemmin, koska opinnäytetyön toinen osio keskittyy juuri näihin. Ilmaäänieristävyyden kannalta on tärkeintä ymmärtää, millä rakenteilla päästään vaadittuun äänitasoerolukuun, eli vanhan määräyksen mukaiseen ilmaääneneristyslukuun. Vaadittuun askeläänieristykseen on mahdollista päästä eri rakenteilla ja metodeilla. Vaadittu askeläänieristys voi perustua esimerkiksi kelluvaan rakenteeseen, tai ääntä eristävään päällysteeseen ja alusmateriaaliin.

Opinnäytetyön toisen osan, eli akustisen ohjeistuksen tekeminen oli opinnäytetyön keskeinen sisältö tilaajan kannalta. Työn tavoitteena oli löytää ratkaisuja ja rakenteita haastaviin tilanteisiin, ja ohje oli tarkoitus ottaa ainakin jossain määrin mukaan päivittäiseen projektityöhön. Yksi haaste tämän tyyppisen ohjeen tekemisessä on saada tietoa riittävästi tiivistettyä, jotta pystytään vastaamaan suunnittelijoiden tarpeeseen. Kokemuksen perusteella, liian laajat ja yksityiskohtaiset ohjeet jäävät usein hyödyntämättä, ja ohjeen sijasta

turvaudutaan esimerkiksi RIL:n kirjaan. Tämän perusteella, työn pohjaksi valikoitui yksi A3-kokoinen arkki, johon on pyritty tiivistämään rakennesuunnittelun kannalta olennainen tieto.

Ohjeistuksen keskeisin sisältö liittyy tiloihin, jotka ovat aiheuttaneet eniten kysymyksiä, sekä ongelmia. Ohjeeseen valittiin yhteensä 9 tilaa, joiden ääneneristykseen on haettu ratkaisuja. Tilojen vertailukohtana toimii aina asunnon ääneneristävyys, ja ohjeessa on huomioitu asuntojen eri sijainti verrattuna käsiteltävään tilaan.

Työn lopputuloksen lopulta määrittelee se, kuinka hyvin ohjeistus saadaan mukaan osaksi suunnitteluprosessia. Toisaalta ohjeistuksesta voi myös olla hyötyä uransa alkuvaiheessa olevalle suunnittelijalle, kun pohditaan mitä akustiikka tarkoittaa rakennesuunnittelussa. Samaan aikaan ohje toimii pelkistetyn ulkoasunsa vuoksi hyvänä muistilistana eri tilanteita tarkasteltaessa.

LÄHTEET

INTO concept 2018. Huoneakustiikka ja desibeliarvot. WWW-sivut. Saatavilla: <https://intoconcept.com/fi/huoneakustiikka-ja-desibeliarvot> [viitattu 5.5.2021].

Kuuloliitto. Vapaa-ajan melu. WWW-sivut. Saatavilla: <https://www.kuuloliitto.fi/vapaa-ajan-melu/> [viitattu 11.3.2021].

Liikennevirasto 2014. Ikkunoiden ääneneristävyysominaisuudet ja niiden vaikutus julkisivujen ääneneristävyyteen. WWW-sivut. Saatavilla: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2014-52_ikkunoiden_aaneneristavyysominaisuudet_web.pdf [viitattu 16.2.2021].

Rakennusteollisuus 2009. Asuinrakennuksen äänitekniikan täydentävä suunnitteluohje. WWW-sivut. Saatavilla: https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/21797/Suunnitteluohje_final_osa1.pdf [viitattu 14.5.2021].

RIL 129-2003. 2003. Ääneneristykseen toteuttaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 243-1-2007. 2007. Rakennuksen akustinen suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SFS 5907. 2004. Rakenteiden akustinen luokitus. Helsinki: Suomen Standardoimistoliitto SFS.

THL 2021. Ympäristöterveys. WWW-sivut. Saatavilla: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys> [viitattu 5.5.2021].

Ympäristöministeriön ohje 2018. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. WWW-sivut. Saatavilla: <https://www.ym.fi/download/name/%7B2852D34E-DA43-4DCA-9CEE-47DBB9EFCB08%7D/138568> [viitattu 4.3.2021].

Ääneneristys puutalossa 2004. Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyyden suunnitteluohje. Wood Focus Oy. WWW-sivut. Saatavilla:

<https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/aaneneristys-puutalossa/> [viitattu 5.2.2021].

Ääneneristys puutalossa 2021. Puuinfo Oy. WWW-sivut. Saatavilla: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Aanikirja_kokonainen-1.pdf [viitattu 30.5.2021].