

# **Suunnitteluohjeet rakennushankkeen ääneneristykseen**

**Vuonna 2018 voimaan tullut uusi ääneneristysasetus**

Olli Heikkala

Opinnäytetyö

Toukokuu 2019

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Heikkala, Olli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä pp.kk.vvvv
	Sivumäärä 53	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Suunnitteluohjeet rakennushankkeen ääneneristykseen</b> Vuonna 2018 voimaan tullut uusi ääneneristysasetus		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Työn ohjaaja(t) Korpinen, Jussi; Lähdesmäki, Pekka		
Toimeksiantaja(t) Sitowise Oy / Jyväskylä; Huttunen, Veli-Matti, Rakennetekniikka		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Asetus rakennusten ääniympäristöstä, Suomen rakentamismääräyskokoelma, asetusuudistus, rakennusten ääniympäristö		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Uusi Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä tuli voimaan vuoden 2018 alussa. Se kumosi vanhan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 ja D2. Opinnäytetyössä vertailtiin uutta ja vanhaa lainsäädäntöä rakennesuunnittelijan näkökulmasta. Asetusuudistuksen merkittävimmät muutokset olivat uudet ilmaään- ja askeleeneneristykseen mittasuureet. Uudet mittasuureet eivät tiukentaneet juurikaan määräyksiä vaan ne muuttuivat tarkoituksenmukaisempaan suuntaan.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin ainoastaan asetusuudistuksen mukana tulleita muutoksia rakennesuunnittelijan näkökulmasta. Tutkimuksessa ei perehdytä varsinaiseen äänimitoitukseen. Tutkimuksessa vertailtiin A 796/2017 ja Rakentamismääräyskokoelman osia C1 ja D2.</p> <p>Tutkimus toteutettiin rakennesuunnittelijan näkökulmasta. Arkkitehtuuriin ja LVIS-suunnitteluun liittyvät asiat rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Opinnäytetyö taulukkomitotusta eikä ota kantaa mallinnettuun ääniympäristöön.</p> <p>Opinnäytetyössä kehitettiin Excel-pohjainen taulukkomitotusohjelma Sitowise Oy:lle. Ohjelma on tarkoitettu rakennesuunnittelijoiden käyttöön helpottamaan käytännön suunnittelutyötä esimerkiksi rakennetyyppien valinnassa. Suunnittelutyökalu on tarkoitettu tavannaisten uudisrakennushankkeiden kuten asuin- ja työpaikkarakennusten, majoitus- ja hoitolaitosrakennusten sekä julkisten rakennusten kuten päiväkotien ja koulurakennusten äänisuunnittelun taulukkomitotukseen.</p>		
Muut tiedot		

Author(s) Heikkala, Olli	Type of publication Bachelor's thesis	Date dd.mm.yyyy
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 53	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Design instructions for structures sound environment</b> The new sound regulations 2018		
Degree programme Civil Engineering		
Supervisor(s) Korpinen, Jussi; Lähdesmäki, Pekka		
Assigned by Sitowise Oy / Jyväskylä; Huttunen, Veli-Matti, Structural Engineering		
Abstract  <p>As of the beginning of 2018 a new regulation on the sound environment of buildings came into effect. This regulation replaces the C1 and D2 part of the old National Building Code of Finland. The thesis compared the new and old regulations on the sound environments of buildings from the structural design point of view. The most significant changes in the regulation reform are new units for measurements in sound insulation and impact sound insulation. With the new regulation, the new units of measurement did not tighten the regulations became more appropriate.</p> <p>The thesis investigated only the changes introduced in the setup reform from the perspective of the structural designer were examined. The study does not cover the actual sound measurement. The study was compared regulation A 796/2017 and National Building Code of Finland part C1 and D2.</p> <p>The research was carried out from the perspective of a structural designer, and it did not take a stand on architecture or the position of HVAC designers. Thesis work deals only with table presentation and does not comment on the modeled sound environment.</p> <p>An Excel-based spreadsheet program for Sitowise Oy was developed in the thesis. The program is intended for use by structural designers to facilitate practical design work, for example in the choice of construction types. The design tool is designed as a tabular presentation of the sound design of conventional new building projects such as residential and workplace buildings, residential and residential buildings, public buildings such as nursery and school buildings.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Regulation of building sound environment, The National Building Code of Finland, Regulation reform, sound environment of buildings		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	8
1.1	Tutkimuksen tausta, tavoitteet ja aiheen rajaus.....	8
1.2	Tutkimuksen toteutus .....	9
1.3	Sitowise Oy.....	10
2	Rakennuksen ääneneristys.....	10
2.1	Yleistä .....	10
2.2	Äänen ominaisuudet, siirtyminen ja kokeminen.....	11
2.3	Ilmaäänieristys .....	16
2.4	Askeläänieristys.....	20
3	Rakennusten ääniympäristön kehittyminen .....	24
3.1	Historia .....	24
3.2	Suomen RakMk Osa C1: Ääneneristys.....	26
4	Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017.....	28
4.1	Uudet mittayksiköt.....	29
4.2	Korjausrakentaminen .....	30
4.3	Rakennus- ja tilatyypit.....	31
4.4	Talotekniikka .....	32
4.5	Meluntorjunta ulkovaipassa.....	35
4.6	Runkoäänien- ja tärinäntorjunta .....	36
4.7	Tulkinnan varaiset kohdat .....	37
5	Muutokset verrattuna vanhaan Rakentamismääräyskokoelman osaan C1.....	38
5.1	Rakenteelliset erot .....	38
5.2	Mittasuureet .....	40
5.3	Huoneakustiikka .....	42
5.4	Ulkoalueet, parvekkeet ja viheralueet .....	44
5.5	Asunnot, majoitus- ja potilashuoneet.....	45
5.6	Talotekniikan muutokset.....	45
5.7	Korjausrakentaminen .....	45
6	Ohjeistus rakennushankkeiden ääniympäristön suunnitteluun .....	47
7	Pohdinta.....	49

7.1	Asetusuudistus .....	49
7.2	Excel valintataulukko.....	50
	Lähteet.....	51

## Kuviot

Kuvio 1. A-painotustaulukko (Kylliäinen 2011, kuva 1.1, 14). .....	14
Kuvio 2. $R_w$ – arvon tulkitseminen vertailukäyrämenettelyllä (Kylliäinen 2011, 17)... ..	18
Kuvio 3. Äänen etenemisreitit rakennuksessa (Ääneneristys puutalossa 2010, 11)... ..	19
Kuvio 4. Askeläänitasoluvun mittaaminen askeläänikojeella (Ääneneristys puutalossa 2010, 13). .....	23
Kuvio 5. Omakotitalon kulmahuoneen 25m <sup>2</sup> rakennusosien ääneneristysmitoitus. Ikkiunoiden pinta-ala ulkoseinäalasta 20-25 % (Ympäristöopas 108, taulukko 4) .....	36
Kuvio 6. Meluvaatimuksen asemakaavamerkintä .....	36
Kuvio 7. Rakentamismääräyskokoelman asettelu .....	38
Kuvio 8. Kuviota 7 vastaava kohta uudesta asetuksesta.....	39
Kuvio 9. Ilmaneristävyyden R ja standardisoidun äänitasoeron $D_{nT}$ erotus vastaanottohuoneen syvyyden z funktiona (Takala 2013. 23).....	40
Kuvio 10. Ohjeavot jälkikaiunta-aikaan ja puheensiirtoindeksiin .....	44
Kuvio 11. Kuvankaappaus Excel-taulukosta .....	48

## Taulukot

Taulukko 1. Erilaisten äänilähteiden äänenpainetasoja. (Kylliäinen 2011, taulukko 1.2., 14) .....	13
Taulukko 2. Äänenpainetason muutokset (McMullan 2007, 163-164).....	14
Taulukko 3. Rakennepaksuuksien muutokset vuosina 1955-2008 (Asuinkerrostalojen ääneneristävyiden vertailu vanhojen mittaustulosten perusteella, Jesse Lietzén ja Mikko Kylliäinen 2014, 31.).....	25
Taulukko 4. Suositusten ja määräysten kehittyminen vuosina 1955-2008 (Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2013). .....	27
Taulukko 5. Vaatimukset meluntorjunnalle (A 796/2017 5§).....	33
Taulukko 6. Huonevaimennus (Ympäristöministeriön ohje 2018. taulukko 3).....	34

## Käsitteistö

Suomen RakMk	Suomen rakentamismääräyskokoelmassa määritellään rakentamista koskeva lainsäädäntö. Vuonna 2018 vanhenivat rakentamismääräyskokoelman osat A-G ja tilalle tulivat asetukset.
Akustiikka	Akustiikka on tieteen ja tekniikan haara, jossa tutkitaan äänen ominaisuuksia ja vaikutuksia.
Ilmaaäni	Ilmateitse kulkeutuvat ääniaallot.
Runkoääni	Ääniaaltojen kulkureitti väliainetta pitkin.
Äänenpainetaso	Tulos ääniaaltojen aiheuttamista ilmanpaineen muutoksista ilmassa. Yksikkönä desibeli.
Desibel (dB)	Äänenpainetta ilmaiseva logaritminen asteikko.
Äänentaajuus	Ääniaaltojen värähtelyä sekunnissa. Kuvaa äänen korkeutta. Yksikkönä hertsi (Hz)
Sivutiesiirtymä	Ääniaaltojen kulkemista tilasta toiseen, jostain muuta reittiä pitkin kuin tarkasteltavaa rakennusosaa.
Absorptio	Äänen "imeytyminen" aineeseen.
Standardisoitu askeläänitasoluku $L_{nT,w}$	Standardisoitu askeläänitasoluku kuvaa askeläänikojeella tuotetun äänen voimakkuutta toisessa tilassa, jonka jälkikaiunta-aika

on 0,5 s. Askeläänitasoluku lasketaan taajuusalueella 100 – 3150 Hz mitatuista askeläänitasoista  $L'_{nT}$ . (Ympäristöministeriön ohje. 2018)

Standardisoitu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$	Taajuuskaistoittain taajuusalueella 100 – 3150 Hz mitatuista tai mallinnetuista äänitasoeroista $D_{nT}$ laskettu mittasuure. (Ympäristöministeriön ohje. 2018)
Spektripainotusermi $C_{1,50-2500}$	Spektripainotusermi $C_{1,50-2500}$ laajentaa askelääneneristävyyden mitattavaa taajuusaluetta taajuuskaistoille 50, 63 ja 80 Hz sekä ottaa huomioon yksittäisillä taajuuskaistoilla koko taajuusalueella esiintyvät suuret poikkeamat vertailukäyrästä. Spektripainotusermi otetaan huomioon vain silloin, kun sen arvo on suurempi kuin nolla. (Ympäristöministeriön ohje. 2018)
Jälkikaiunta-aika	Aika, jonka kuluessa äänilähteen huoneeseen tuottama äänenpainetaso äänilähteen vaietua alenee 60 dB. Jälkikaiunta-ajat esitetään tavallisesti taajuuskaistoittain. Jälkikaiunta-ajan vaatimuksella tarkoitetaan pisintä oktaavikaistoilla 250, 500, 1 000 ja 2 000 hertsiä esiintyvää jälkikaiunta-aikaa normaalisti kalustetussa huoneessa. (Ympäristöministeriön ohje. 2018)

## Puheensiirtoindeksi STI

Mittalaitteella mitattavissa tai laskennallisesti arvioitavissa oleva mittaluku, joka kuvaa huonetilan puheenerotettavuutta ja ottaa huomioon tilan kaiun, taustäänitason puhetta peittävän vaikutuksen ja puheen äänenvoimakkuuden. Puheensiirtoindeksin arvo 0 tarkoittaa, että tilassa satunnaisesti luetelluista tavuista ei yhdestäkään saada selvää ja arvo 1, että jokaisesta tavusta saadaan selvää. (Ympäristöministeriön ohje. 2018)

# 1 Opinnäytetyön lähtökohdat

## 1.1 Tutkimuksen tausta, tavoitteet ja aiheen rajaus

Opinnäytetyössäni tavoitteena on tutkia rakennuksen ääniympäristön vaatimusten muuttumista Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan C1: Ääneneritys ja Ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen ääniympäristöstä 796/2917 välillä. A 796/2017 sitovien määräysten ja sitä tarkentavan Ympäristöministeriön ohjeen perusteella on tarkoitus suunnitella ja toteuttaa Excel-pohjainen työkalu rakennetyyppien valitsemiseen nimenomaan äänenerityksen näkökulmasta. Kuten Kylliäinen (2011, 9) toteaa, tarkoituksenmukaisten ääniolosuhteiden toteuttaminen on rakennuksen suunnittelu- ja toteutusvaiheessa halvempaa kuin jälkikäteen korjatessa. Excel-pohjaisen työkalun tarkoituksena on huomioida akustiikkaan liittyvät vaatimukset jo suunnitteluvaiheessa. Työn tavoitteena on helpottaa suunnittelijan työtä esimerkiksi rakennetyyppien valinnassa uuden asetuksen asettamien vaatimusten mukaisesti. Työn pääasiallinen tutkimuskysymys on etsiä lainsäädännön uusiutumisen tuomat muutokset rakennuksen ääniympäristön suunnitteluun.

Rakennesuunnittelussa akustiikan merkitys on erityisen tärkeää viihtyvyyden kannalta. Tieteen ja tekniikan alana akustiikka tutkii ääntä ja ääneen liittyviä ilmiöitä. Rakennesuunnittelussa ääni on sekä myönteinen että kielteinen asia. Sen vuoksi on tärkeää tiedostaa rakennuksen käyttötarkoitus: esimerkiksi opetustiloissa huoneakustiikan vaatimukset eroavat kerrostaloasumuksen vaatimuksista. (Kylliäinen 2011, 7.)

Akustiikka jaetaan neljään osa-alueeseen. Tämän tutkimuksen kannalta merkittävin osa-alue on ääneneristys. Äänenerityksen tarkoituksena on tutkia äänen siirtymistä tilasta toiseen. Ääneneritys jaetaan kahteen osaan. Ilmaääneneristyksellä tarkoitetaan keinoja, joilla pyritään estämään ilmaan synnytetyn äänen siirtymistä tilasta toiseen esimerkiksi kerrostalossa. Askelääneneristys puolestaan koskee rakennuksen

runkoon kohdistuvia iskuja, kuten kävelyä ja sen aiheuttaman äänen siirtymistä. (Kylläinen 2011, 8.)

Asetus rakennusten ääniympäristöstä 796/2017 tuli voimaan 1.1.2018 ja kumosi vanhan RakMk:n osat C1 ja D2. Uusi asetus toteutettiin reilun kuukauden siirtymäajalla, jolloin rakennusvalvonta ja muut toimijat ovat samalla viivalla, eikä kummallakaan ole juurikaan käytännön kokemusta, miten asetusta tulkittaisiin. Uudet määräykset ja niiden muuttuneet mittasuureet aiheuttivat ongelmia rakennesuunnittelussa, etenkin rakennetyyppien valinnassa eri tilojen välillä. Uuden asetuksen voimaantulon jälkeen tilaaja koki tilanteen epäselväksi ja kaipasi selkeitä näkemyksiä asiaan.

Opinnäytetyöaihe oli kiinnostava, koska se selkeyttää käytännön suunnittelutyötä ja se on myös työelämässä hyödyllinen. Aiheena ääniympäristö on erittäin laaja ja moniulotteinen sisältäen oman suunnittelualan akustiikan. Valitsin aihealueen, koska opinnoissa tämä teema on jäänyt hieman käsittelemättä.

Äänestä ja akustiikasta löytyy paljon tutkimuksia, mutta ne ovat pääsääntöisesti vanhan lainsäädännön aikaan, ennen vuotta 2018, tehtyjä. Takala (2013) tutki ilmaääneneristystä parhaiten kuvaavaa mittayksikköä osana uutta ääniympäristöasetusta. Takalan tutkimuksella oli merkitys uusien mittasuureiden valinnassa.

## 1.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksessa perehdytään uuteen ääneneristysasetukseen ja sen ohella ääneneristykseen historiaan. Opinnäytetyön aineistonkeruumenetelmänä käytetään kirjallisuuskatsausta, koska aiheesta on tehty paljon tutkimuksia ja siitä löytyy runsaasti kirjallisuutta. Opinnäytetyö on hypoteesiton. Tutkimus on kvalitatiivinen, koska tutkimusongelmana ovat uuden asetuksen tuomat muutokset (Laaksovirta 1988, 59).

Kirjallisuuskatsauksen pohjalta tutkimuksen pääaineistona käytetään uutta 2018 voimaan tullutta asetusta rakennuksen ääneneristyksestä, Ympäristöministeriön laatimaa ohjetta ja kumottua Suomen RakMk osaa C1.

Kirjallisuuskatsauksen pohjalta saatavat tiedot ovat valideja, koska ne ovat pääsääntöisesti Suomen valtion hallintoelimen Ympäristöministeriön laatimia kokonaisuuksia.

### 1.3 Sitowise Oy

Opinnäytetyö tehdään Sitowise Oy:n toimeksiantona. Sitowise Oy sai alkunsa, kun Sito Oy ja Wise Group Finland Oy fuusioituivat alkuvuodesta 2017. Sitowise Oy on suurin suomalaisomisteinen rakennusalan suunnittelu- ja konsultointitoimisto. Tällä hetkellä Sitowise Oy toimii 19 eri paikkakunnalla Suomessa ja työllistää yli 1400 henkeä eri asiantuntijatehtäviin. Sitowise Oy:llä on tytäryhtiöt Norjassa ja Virossa. Sitowise Oy tarjoaa asiakkailleen kaikki rakennetun ympäristön suunnittelu-, asiantuntija- ja digitaaliset palvelut. Vuonna 2018 yrityksen liikevaihto tulee olemaan n. 130 miljoonaa euroa. (Sitowise N.d.)

Sitowise Oy:n Jyväskylän toimipisteen rakennetekniikan osastossa, jonne tämä työ ensisijaisesti tilattiin, työskentelee n. 60 henkeä. Sitowise Oy:n akustisesta suunnittelusta vastaa ensisijaisesti Sitowise-konserniin kuuluva Helimäki Akustikot Oy (Sitowise n.d). Jyväskylän toimipisteessä ei ole äänitekniistä asiantuntijaa, minkä vuoksi tämä työ tehdään tukemaan suunnittelijoita ensisijaisesti rakennetyyppien valitsemiseen. Jyväskylän toimipisteen tavoitteena on tulevaisuudessa markkinoida ääniasiantuntijapalveluita.

## 2 Rakennuksen ääneneristys

### 2.1 Yleistä

Ääntä on tutkittu jo antiikin ajoista lähtien. Ääni onkin välttämätön ja tärkeä osa päivittäistä elämys- ja kokemusmaailmaa, koska suurin osa päivittäisestä kanssakäymisestä ihmisten välillä tapahtuu puheen ja kuuloaistin avulla. Nykyisin ihmiskunta tuottaa suuren osan ympärillä vallitsevasta ääniympäristöstään itse; saman aikaan elävien olentojen ja luonnon osuus ääniympäristöstä vähenee. (Kylliäinen 2009, 5.)

Ääntä tutkivan tieteenalan nimi on ollut 1600-luvulta lähtien akustiikka, joka on peräisin kreikan kielen kuulemista vastaavasti sanasta ακουειν. Akustiikan tavoitteena on selvittää mitä ääni on, mitä tapahtuu kuuloaistimuksessa ja kuinka ääni leviää. Akustiikka pyrkii selvittämään ääni-ilmiöitä ja luomaan niistä teorioita. Akustiikka voidaan yhdistää moneen tieteen lajiin, esimerkiksi filosofiaan, ympäristö- ja sosiaalitieteisiin. Se voidaan lukea myös tekniikan alaksi, jonka avulla muokataan ääniympäristöä. (Kylliäinen 2009, 5.)

## 2.2 Äänen ominaisuudet, siirtyminen ja kokeminen

Ääni on fysikaalisesti määriteltynä ilmanpaineen vaihtelua staattiseen ilmanpaineeseen nähden, esimerkiksi ihmisen äänihuulet aiheuttavat ympäristössä värähtelyllään harventumia ja tihentymiä. Äänen kulkiessa ilmaäänenä, kuten äänihuulten värähtelyssä, ilmahiukkasten liike saa seuraavat hiukkaset liikkeeseen, jolloin syntyy äänen pitkittäisaaltoja, joita pitkin ääni siirtyy ääniympäristöön. Korvan rumpukalvo reagoi ilmanpaineen vaihteluun värähtelemällä, jolloin syntyy kuuloaistimus. Rumpukalvon tiheä värähtely koetaan korkeaksi ääneksi ja harva värähtely koetaan matalaksi ääneksi. Äänennopeuden voidaan todeta pysyvän vakiona taajuudesta riippumatta. (Kylliäinen 2011, 12–13.) Ilmaäänänen nopeus on 343 m/s, kun lämpötila on 20°C (MAOL 2011, 91).

Äänen siirtymistä väliaineen, kuten esimerkiksi ilman, kautta voidaan kutsua rakentamisessa runkoääneksi. Runkoääntä muodostuu, kun ilmaääni saa rakenteet värähtelemään, jolloin se etenee erityisesti taivutusaaltoina rakenteen rungossa. Runkoäänänen lähteenä voi olla esimerkiksi runkoon kiinnitetty värähtelyä aiheuttava kone tai laite, rakenteeseen kohdistuvat iskut, kuten kävely. Suuri runkoäänänen tuottaja on askeläänet, esimerkiksi lasten leikkiminen, kävely, tavaroiden tippuminen lattialle ja kalusteiden raahaaminen tuottavat askelääniä. Rakenteessa vallitseva runkoääni saa vieressä olevan ilman värähtelemään, minkä ihminen aistii ilmaäänenä. Runkoääniä kuljettavia taivutusaaltoja voidaan hallita eri materiaaleilla ja niiden ominaisuuksilla,

koska toisin kuin ilmaäännessä runkoäänennopeus ei ole vakio kaikilla materiaaleilla. (Kylliäinen 2011, 13.) Runkoäänien eristyskykyä voidaan laskea eri materiaalien mukaan yksinkertaisen massateorian avulla eri taajuuksilla (Ääneneristys puutalossa 2010, 18).

Ihmisen äänenä tulkitsemat ilmanpaineen vaihtelut ovat hyvin pieniä verrattuna staattisen ilmanpaineeseen. Ihmiskorvan kuulokynnys, eli äänenpaineenmuutos, jonka ihminen aistii, eli  $20 \mu\text{Pa}$ , on hyvin pieni, kun verrataan esimerkiksi ilmanpaineeseen ilmakehässä, joka on noin  $100 \text{ kPa}$ . Ilmanpaineen muutoksesta käytetään termiä  $p$  [Pa]. Äänenvoimakkuutta kuvataan kuitenkin yleisemmin termillä  $L_p$  [dB], joka tarkoittaa äänenpainetasoa. Pienin äänenpainetaso, jonka ihmiskorva kuulee, on  $0 \text{ dB}$  kun taas  $120 \text{ dB}$  on ihmisen kokema kipuraja (ks. taulukko 1). (Kylliäinen 2011, 13.) Pienin muutos, jonka ihminen havaitsee äänenpainetasossa on  $1 \text{ dB}$ , kun taas  $10 \text{ dB}$  lisäys äänenpainetasoon tuntuu äänen voimakkuuden tuplaantumiselta eli asteikko on logaritminen (ks. taulukko 2) (McMullan 2007, 163-164).

Ihmisen kuuloalue on  $20\text{--}20000 \text{ Hz}$  ja se pienenee iän myötä. Verrattuna joihinkin nisäkkäisiin ihmisen kyky kuulla matalia taajuuksia on heikko. Esimerkiksi myyrät kuulevat jopa  $1 \text{ Hz}$  taajuudella olevia ääniä (Young & Freedman 2004. 592). Herkimmillään ihmisen kuuloaisti on kuitenkin  $2000\text{--}5000 \text{ Hz}$  alueella, jonka molemmiin puolin olevilla taajuuksilla ihmiskorvan kuulon herkkyys pienenee. Akustisia ilmiöitä rakennuksissa mitataan ja lasketaan käyttämällä tarkasteltavan suureen suhdetta taajuuteen. Koska ihmisen herkin kuuloaisti on rajallinen, ei ole järkevää tarkastella kaikkia taajuusalueita samoin perustein. Tätä varten on kehitetty A-painotus, joka ottaa huomioon kuuloaistille herkät alueet eri tavalla. A-painotus lisätään keskitaajuuksittain  $L_p$  äänenpainetasoihin, esimerkiksi jos keskitaajuudella  $20 \text{ Hz}$ , vaikuttaa  $L_p = 65 \text{ dB}$ , voidaan A-painotus huomioon ottaen todeta keskiäänitasoksi  $65 - 50 = 15 \text{ dB}$  (kuvio 1.). Edellä mainittu lukuarvo  $-50$  luetaan A-painotuskäyrältä tarkasteltavan keskitaajuusalueen kohdalta (ks. kuvio 1). Koska tämä toimenpide on työläs käytännön suunnittelutyöhön, käytetään A-painotettujen (kuvion 1) äänispektrien ilmoittamiseen yhtä

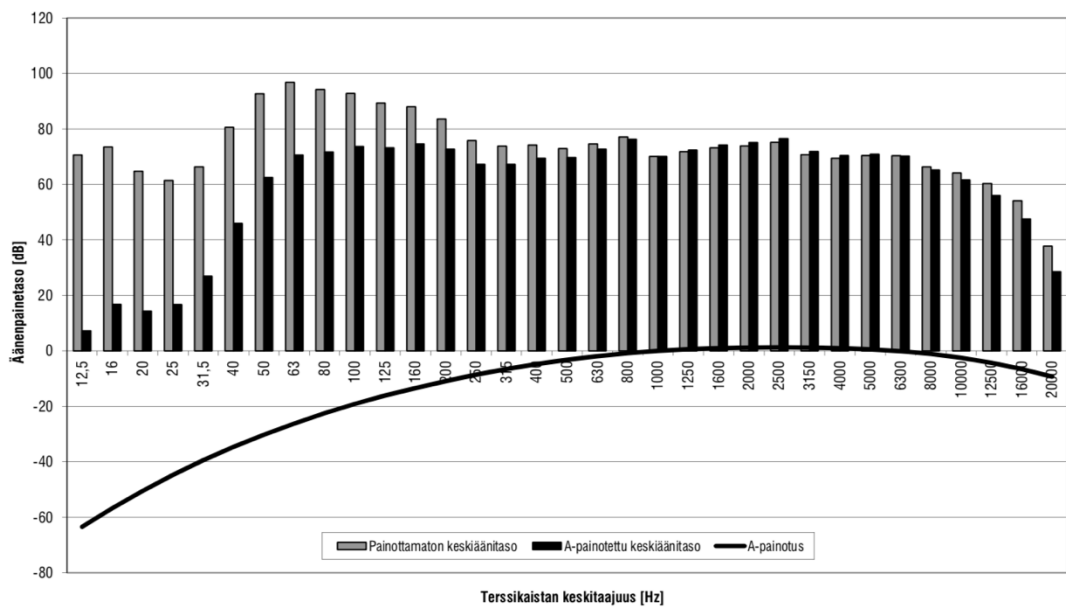
lukua  $L_A = 86$  dB, joka kuvastaa äänen vaikutusta ihmiseen paremmin, kuin todelliset äänenpainetasot taajuuskaistoittain. (Kylliäinen 2011, 13-14.)

Taulukko 1. Erilaisten äänilähteiden äänenpainetasoja. (Kylliäinen 2011, taulukko 1.2., 14)

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

Taulukko 2. Äänenpainetasen muutokset (McMullan 2007, 163-164).

Äänitason muutos	Miltä tuntuu?
$\pm 1$ dB	Olematon
$\pm 3$ dB	Melkein huomaamaton
+ 10 dB	Tuplasti voimakkaampi
- 10 dB	Puolet hiljaisempi
+ 20 dB	Nelinkertainen voimakkuus
- 20 dB	Neljäsosa voimakkuudesta



Kuvio 1. A-painotustaulukko (Kylliäinen 2011, kuva 1.1, 14).

Ihmisen subjektiiviset kokemukset ovat riippuvaisia äänen kestosta. Yleensä hetkellisesti vaikuttavat voimakkaat äänet koetaan häiritsevämmäksi kuin pitkäkestoinen matala humina, kuten tuulivoimala (Kylliäinen 2011, 15.). Tuulivoimalan aiheuttamaa

infraääntä ei ole kuitenkaan yhdistetty haitallisiin terveysvaikutuksiin (Tuulivoimaloiden tuottaman äänen vaikutukset terveyteen 2017, 114). Äänen keston subjektiivisten kokemusten vaikutusten takia keskiäänitaso jaetaan kahteen eri mittalukuun: hetkellisen enimmäisäänitasoon  $L_{A,max}$  [dB] ja pitkäaikaiseen keskiäänitasoon  $L_{A,eq,T}$  [dB] (Kylliäinen 2011, 15).

Ääniaallot kulkevat myös runkoääninä ja tärinä. Runkoäänellä tai tärinällä tarkoitetaan rakennuksen koneiden tai laitteiden värähtelystä siirtyvää ääntä. Se voi myös siirtyä myös maaperän kautta esimerkiksi liikenne- tai raidetärinän takia. Maaliikenteen aiheuttamat tärinät siirtyvät maaperän välityksellä rakennuksen perustuksien kautta tilojen ääniympäristöön runkoääninä. Maaperäinen tärinä ja runkoääni otetaan huomioon suunniteltaessa rakennuksia liikenneväylien läheisyyteen. Maaperän kautta kulkeutuvat äänen voivat olla erityisen haitallisia terveydelle erityisesti lepoon ja nukkumiseen käytettävissä huoneissa. (Ympäristöministeriön ohje. 2018. 32.)

## 2.3 Ilmaäänieristys

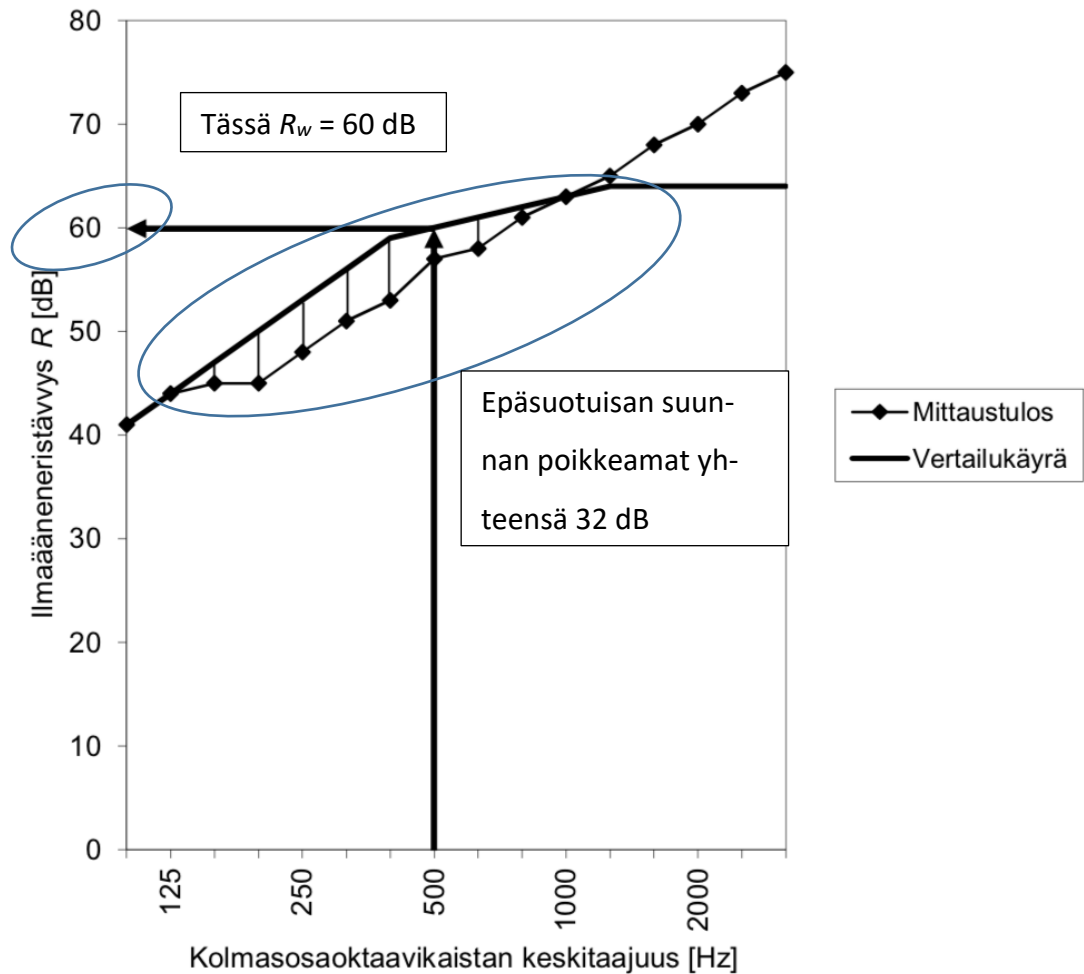
Ilmaäänieristys on kehitetty estämään ilmaäänen siirtymistä tilasta toiseen (Kylliäinen 2011, 17). Sen perustana on rakenteen massa, joka toimii yksinkertaisessa rakenteessa massalain mukaan (RIL 129-2003, 9–10). Äänilähde, joka tuottaa ilmaääntä saa ympäröivän ilman värähtelemään, jolloin äänilähteen tuottama ääniteho saa ympäröivät rakenteet värähtelemään. Rakenteet siirtävät äänitehon viereiseen tilaan, jolloin sinne syntyy jokin ääniteho. Rakenteiden ilmaääneneristystä kuvataan termillä  $R$ , joka kuvaa rakenteen pinnalle kohdistuvan äänen läpäisykykyä kyseisessä rakenteessa. Se määritellään laboratorio-olosuhteissa logaritmisesti lähetys- ja vastaanottilan äänitehon avulla. Ilmaääneneristävyys on muiden akustiikan suureiden mukaan taajuusriippuvainen. (Kylliäinen 2011, 17.) Eri rakenteilla on omat rajataajuudet, jolloin rakenteen käyttäytyminen muuttuu (Kylliäinen 2006, 47).

Rakenteen tärkein ilmaääneneristävyysvaikuttava tekijä on rakenteen massa. Yksinkertainen rakenne toimii massalain mukaan, jolloin rakenteen ilmaääneneristävyys paranee 6 dB taajuuden tai rakenteen pintamassan kaksinkertaistuessa. Poikkeuksen lähes lineaariseen massalain käyrään tekee koinsindenssi-ilmiö. Ilmiössä ääniaallot läpäisevät rakenteen, jolloin rakenteen ääneneristävyys ei ole verrattavissa massalakiin. (Kylliäinen 2011, 18–19.) Koinsindenssi-ilmiön taajuusalueilla rakenteen ääneneristävyys riippuu rakenteen häviömekanismeista. Jokaisella yksinkertaisella rakenteella on oma koinsindenssi rajataajuus  $f_c$  [Hz], jolloin taivutusaallon nopeus rakenteessa on yhtä suuri kuin äänennopeus ilmassa. Tällä rajataajuudella äänienergia kulkee vaivattomasti rakenteen puolelta toiselle, jolloin ääneneristävyys on huono. Koinsindenssin rajataajuus  $f_c$  tulisi olla 100 – 3150 Hz ulkopuolella ihmisen optimaalisen kuuloalueen takia. Koinsindenssi-ilmiön vaikutuksia rakenteisiin on syytä tutkia tarkemmin, kun kyseessä on yksinkertainen kevyt kivirakenne. (Ääneneristys puutalossa 2010, 21.) Koinsindenssi-ilmiöstä johtuvia ainepaksuuksia on esimerkiksi kipsilevylle ominainen paksuus 13mm ja lasin paksuus harvoin, joka on harvoin yli 6mm, täl-

löin materiaalien  $f_c$  rajataajuudet ovat ääneneristävyyden kannalta optimaalisia. Ras-  
kaiden kivirakenteiden ääneneristävyys on hyvällä tasolla varsinkin matalilla taajuus-  
alueilla. (Kylliäinen 2011, 19–20.)

Rakenteen ilmaääneneristysluku  $R_w$  saadaan vertailukäyrämenettelyllä, jossa y-akse-  
lin lukuarvot ovat taajuuskohtaisia ilmaääneneristyslukuja, joista käytetään termiä  $R$ .  
Vertailukäyrän muoto on saatu tekemällä suuri määrä mittauksia eri kerrostaloissa ja  
haastatteleamalla niiden asukkaita ääneneristykseen kokemuksista. Tulosten perus-  
teella muodostuva vertailukäyrä koetaan hyväksi puheääntä vastaan. Rakenteen il-  
maääneneristysluku  $R_w$  voidaan lukea 500 Hz kohdalta, kun vertailukäyrän alapuo-  
lella olevat taajuuskohtaiset epäsuotuisan suunnan poikkeamat ovat yhteensä 32 dB  
(ks. kuvio 2.). (ISO 717–1:2013.) Kenttämittauksissa käytetään termiä  $R'_w$ , joka määri-  
tetään samalla tavalla, kuin teoreettinen  $R_w$  mutta laboratoriomittausten perusteella  
tullut  $R$ -arvo muuttuu kenttämittausarvoksi  $R'$ , joka saadaan kaavalla 3 (Asuinraken-  
nusten äänitekniikan täydentävä suunnitteluohje 2009, 10).

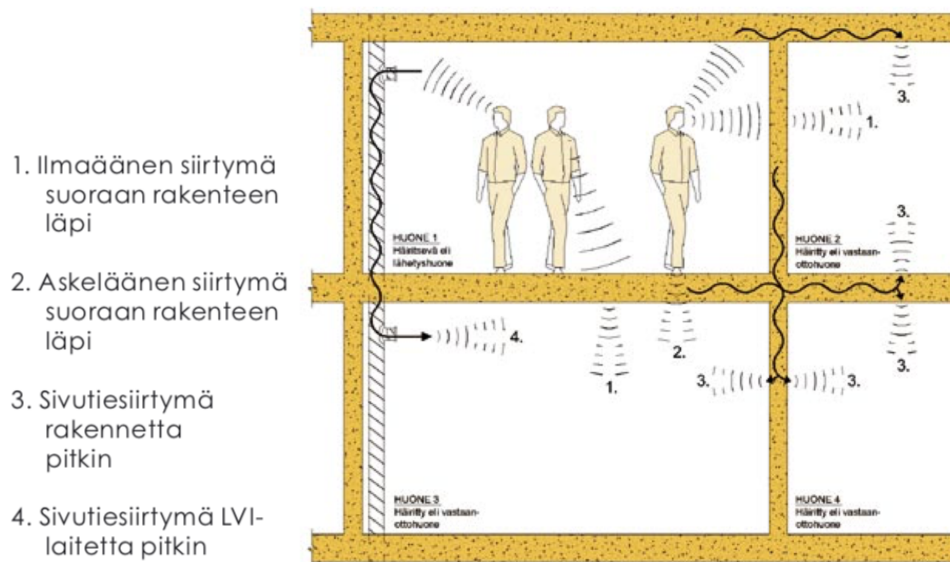
Ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017 mukaan  
ilmaääneneristykseen mittayksikkö on tilojen välinen standardisoitu äänitasoeroluku  
 $D_{nT,w}$ , joka voidaan laskea rakenteen ilmaääneneristysluvulla  $R_w$  (Ympäristöministe-  
riön ohje 2018. 19).



Kuvio 2.  $R_w$  – arvon tulkitseminen vertailukäyrämenettelyllä (Kylliäinen 2011, 17).

Ääniongelmia voivat myös johtaa rakenteiden huonosta tiiveydestä, esimerkiksi betonielementtirakenteisen kerrostalon saumavalujen epäonnistuminen voi johtaa rakkoihin rakenteiden välille, tällöin pienikin rako (jopa 0,1mm) vaikuttaa olennaisesti rakenteiden ääneneristykseen negatiivisesti, esimerkiksi 2500mm pitkä, yhden millimetrin leveä rako aiheuttaa 180mm väliseinässä jopa 17 dB tiputuksen ilmaääneneristävyydessä. (Kylliäinen 2011, 26.)

Äänen siirtymistä tilasta toiseen muuten kuin tiloja erottavan seinän avulla kutsutaan sivutiesiirtymäksi. Sivutiesiirtymä voi kulkea esimerkiksi LVIS-järjestelmää pitkin, välipohjaa pitkin, ulkoseinän runkoa pitkin, ulkoseinästä väliseinää pitkin ja välipohjasta (kts. kuvio 3). Tiloja erottava ääneneristysluku voi olla jopa useita kymmeniä desibellejä huonompi kuin tiloja erottavan rakenteen ääneneristysluku. Suunnitteluvaiheessa sivutiesiirtymä voidaan arvioida kokeelliseen tietoon perustuvalla laskentamenetelmällä. (Kylliäinen 2011, 29.) Nykyinen ääneneristystä koskeva asetus ottaa kantaa tilojen väliseen ääneneristävyteen (A 796/2017).



Kuvio 3. Äänen etenemisreitit rakennuksessa (Ääneneristys puutalossa 2010, 11).

## 2.4 Askeläänieristys

Askeläänieristyksen arviointi eroaa ilmaääneneristyksestä siten, että askelääneneristävyyttä mitataan standardisoidulla askeläänikojeella. Askeläänikojeen avulla tuotetuista iskuista mitataan vastaanottotilassa äänenpainetasot  $L_i$  [dB] (kts. kuvio 4). Ilmaääneneristävyyden mittauksissa mitataan äänitasoja  $L$  [dB] tilojen välillä. (Kylliäinen 2011, 53.) Askeläänieristystä voidaan arvioida kenttämittauksena  $L'_{nT,w}$  ja laboratoriokokeina  $L_{nT,w}$  ja sen tulokset esitetään yhtenä lukuarvona, joka saadaan vertailukäyrämenettelyllä. Tämä huomioi taajuusalueet 100 – 3150 Hz. Ihmiskorvan subjektiivinen kokemus häiritsevästä äänestä tiloissa muodostuu yleensä matalalla taajuudella etenevästä kuminasta, joka on yleensä 100 Hz alapuolella, joka ei näy askeläänitasoluvussa. Sen takia on olemassa spektripainotusermi  $C_{i,50-2500}$ , joka laajentaa mitattavaa taajuusaluetta kriittisille taajuuskaistoille, jossa kuminaa ja töminää esiintyy. Spektritasapainotuskerroin voidaan ottaa huomioon vain, jos sen arvo on suurempi kuin nolla. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 8.) Tarkasteltavan taajuusalueen laajeneminen 50 Hz asti johtuu esimerkiksi puurakenteisten lattioiden päällysrakenteen matalasta ominaistaajuudesta, joka yhdistettynä kävelyn aiheuttamaan herätevärähtelyyn aiheutti valituksia asukkaissa, vaikka rakenteet olivat ääneneristysmääräysten mukaisia. Ihminen kuulee matalan ominaistaajuuden ja kävelyn herätevärähtelyn yhteisvaikutuksesta syntyvän resonanssin matalana kuminana. Haitallisen matala ominaistaajuutena voidaan pitää alle 100 Hz taajuudella olevia ääniä. (Kylliäinen 2011, 55.)

Standardisoidussa askeläänitasoluvussa  $L'_{nT,w}$  on otettu huomioon lattianpäällysteen parannusvaikutus luku  $\Delta L_w$ . Lattiapäällysteen parannusvaikutus on lattiapäällystevalmistajan ilmoittama suure, joka kertoo massiivisen välipohjan askeläänitasoluvun pienenemisluvun (Kylliäinen 2011, 57). Asuinrakentamisessa käytetään yleensä  $\Delta L_w = 17-20$  dB lattiapäällysteitä ja niiden porrashuoneissa  $\Delta L_w = 2-14$  dB. Pehmeisiin lattia-rakenteisiin perustuvia välipohja ratkaisuja voidaan käyttää vain, jos parannusluku tiedetään. Yksinkertainen edellä mainittu laskentamalli toimii betoniin massiivi- ja

ontelolaatta välipohjiin, mutta ei sovellu puurakenteisiin välipohjiin, eikä kelluviin lattiarakenteisiin. Kelluvien lattioiden  $\Delta L_w$  on yleensä suurempi kuin 25 dB. (RIL 243-1-2007, 120 – 122.)

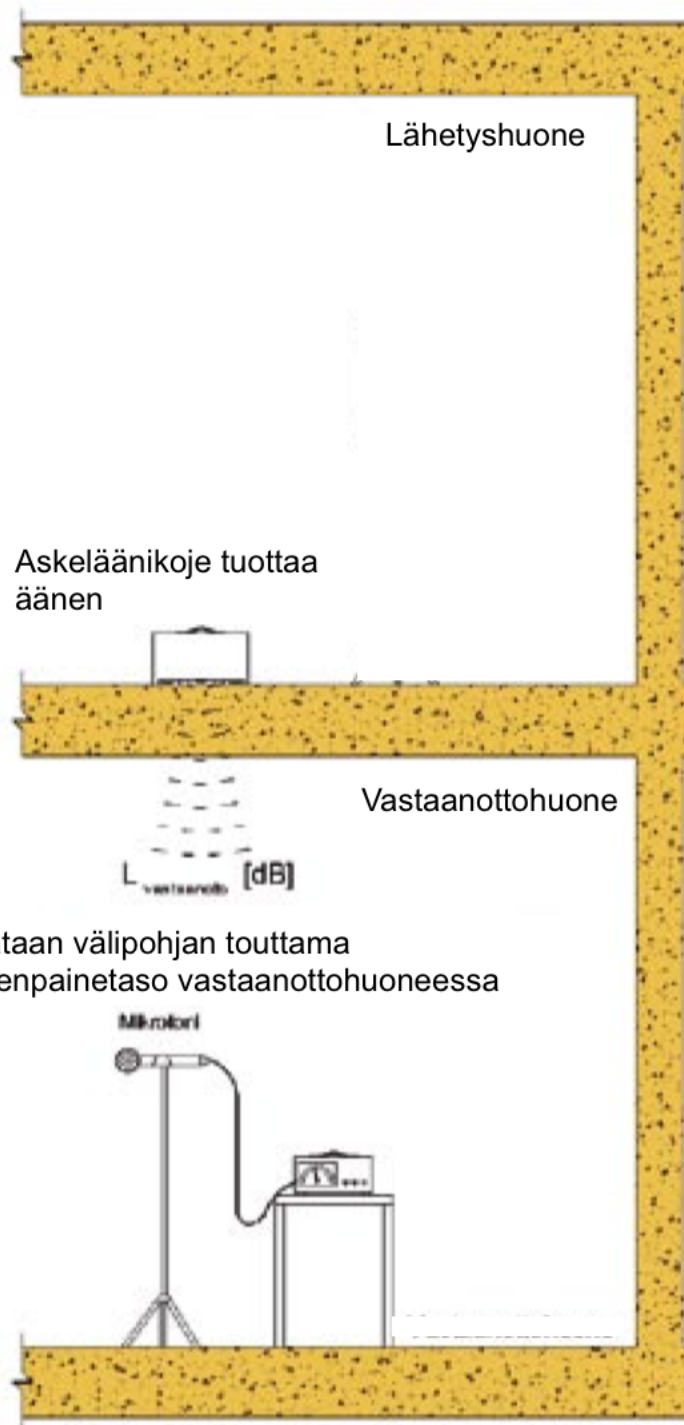
Nykyiset asuinrakennusten askelääneneristysvaatimukset edellyttävät kelluvan lattian käyttöä, jos esimerkiksi massiivibetonilaatan lattiapäällysteenä on alustaansa liimattava parketti tai kovapintainen materiaali kuten laatta. Kelluvien lattiarakenteiden ääneneristysominaisuudet ovat yleensä parempia kuin muiden välipohjaratkaisujen. Kelluvassa lattiarakenteessa on yleensä noin 80 mm pintabetonilaatta, joka on irti reunoiltaan ja läpivienneiltä, eristekerros esimerkiksi mineraalivilla ja kantava rakenne esimerkiksi ontelo- tai massiivilaatta. Kelluvan laatan tärkeimpiä ominaisuuksia akustisen toiminnan kannalta on sen ominaistaajuus  $f_0$ , joka riippuu pitkälti rakenteen eristekerroksen dynaamisesta jäykkyydestä  $s'$  [ $\text{MN}/\text{m}^3$ ], pintalaatan massasta  $m'$  [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ] ja kantavan rakenteen massasta sekä jäykkyydestä. Kelluva lattiarakenne toimii akustisesti paremmin, mitä pienempi ominaistaajuus  $f_c$  on. Ominaistaajuuden arvoa voidaan pienentää esimerkiksi lisäämällä pintarakenteen massaa  $m'$  tai pienentämällä eristeen dynaamista jäykkyyttä  $s'$ . Asuinrakentamisessa ominaistaajuuden  $f_c$  tulisi olla alle 50 Hz, jotta rakenteesta ei koituisi asukkaille subjektiivisia haittoja. Kelluvien lattioiden päällystemateriaalilla ei ole läheskään niin suurta parantavaa vaikutusta askelääneneristykseen kuin yksinkertaisella rakenteella, jolloin se antaa enemmän mahdollisuuksia materiaalivalintoihin. (Kylliäinen 2011, 61–63.)

Alakaton vaikutus askelääneneristykseen on pieni verrattuna pehmeisiin lattiapäällysteisiin, koska osa askeläänistä kulkee sivutiesiirtymiä pitkin tilasta toiseen. Alakaton parantava vaikutus askelääneneristyslukuun on luokkaa 3–5 dB. (RIL 243-1-2007, 125.)

Äänen häiritsevyyden arviointi on haasteellista, koska subjektiivinen (koettu) ja objektiivinen (mitattu) näkemys eroavat toisistaan (Asumisterveysopas 2009, 88). Asumisterveysohjeessa (2003, 40–41) määritellään haittakynnyksen osalta seuraavasti; ”jos asuntojen välinen ilmaääneneristysluku  $R'_w$  on merkittävästi huonompi kuin 52

dB tai askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ylittää merkittävästi 58 dB, melun kulkeutuminen asunnosta toiseen voi olla niin suurta, että naapuriin kuuluvista normaaleista asuinisäänistä saattaa koitua haittaa”. Asetus ääniympäristöstä 796/2017 antaa raja-arvot uudiskohteille.

Askelääneneristävyys on sitä parempi mitä pienempi tilojen välinen askeläänitasoluku on  $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$  (Ympäristöministeriön ohje. 2018. 19).



Kuvio 4. Askeläänitasoluvun mittaaminen askeläänikojeella (Ääneneristys puutalossa 2010, 13).

## 3 Rakennusten ääniympäristön kehittyminen

### 3.1 Historia

Ensimmäiset ääneneristystutkimukset ovat vuodelta 1949, jolloin Valtion teknillinen tutkimuslaitos (VTT) suoritti ensimmäiset vertailevat ääneneristystutkimukset Helsingissä sijaitsevaan kerrostaloon. Vaikka tulokset mitattiin alkeellisella laitteistolla, voitiin todeta, että ääneneristys on huono, jolloin lisäselvityksen tarve todettiin ilmeiseksi. Ääneneristystutkimukset tulivat 1950-luvulla VTT:n tutkimusohjelmaan mukaan. Tutkimuksissa on mitattu ilma- ja askeläänieristävyttä. Tutkimustulokset eivät ole vertailukelpoisia nykyajan mittauksille, mutta ääneneristyksen kehittymisestä on tehty tutkimus, mikä saattaa eri aikakausina tehdyt mittatulokset vertailukelpoisiksi. Tutkimuksen ajankohtana oli voimassa Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa C1 ääneneristys. (Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2013)

Ensimmäinen ehdotus äänimääräysten laatimisesta tuli vuonna 1948. 1950- ja 1960-luvulla annettiin myös ehdotuksia määräyksistä. Suomen rajalliset mahdollisuudet akustiikan tutkimiseen aiheuttivat sen, että tutkijoiden ja yritysten piti käyttää muissa maissa olevaa tietoa rakennusakustiikasta. Suomessa otettiin käyttöön muun muassa saksalaisten standardien esittämä vertailukäyrämenettely 1950- ja 1960-luvulla. 1955 julkaistiin ensimmäiset suositukset ääneneristykseen, jotka perustuivat kuitenkin suomalaisen tutkimustietoon. (Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2013.) Ääneneristysvaatimukset määriteltiin sanallisesti, jolloin eri osapuolet muodostivat omia käsityksiä tyydyttävästä ääneneristyksestä subjektiivisesti, mikä aiheutti erimielisyyksiä (Kerrostalojen ääneneristystutkimus 1955).

Vuonna 1967 julkaistiin ensimmäiset ääneneristysnormit, jolloin tulivat ensimmäiset mittaluvut asuinhuoneistojen väliseen ääneneristykseen, ja nämä luvut olivat suositusten asemassa, jolloin harkintavalta suositusten noudattamiseen oli paikallisilla rakennusvalvonnoilla. Ääneneristysnormien mittaluvut annettiin ensimmäistä kertaa

ilmääneneristys- ja askeläänitasolukuina, kun edelliset suositukset olivat jälkikäytä-aikaan standardisoituja äänitasoero- ja askeläänitasolukuina. 1976 voimaan tulleessa Suomen rakentamismääräyskokoelmassa oli osa C1: Ääneneristys, ja se oli ensimmäinen säädöstason määräys ääneneristykseen. Määräykset ovat uudistuneet 1985 ja 1998, joka oli voimassa vuoteen 2017 asti. (Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2013.) Rakennusten äänimääräysten kehittyminen näkyy myös rakennepakuuksissa (ks. taulukko 3).

Ympäristöministeriön uusi asetus 796/2017 kumoo vanhan Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1:n.

Taulukko 3. Rakennepakuuksien muutokset vuosina 1955-2008 (Asuinkerrostalojen ääneneristävyyden vertailu vanhojen mittautulosten perusteella, Jesse Lietzén ja Mikko Kylliäinen 2014, 31.)

Vuodet	Huoneistojen väliset seinät		Huoneistojen väliset massiivibetonivälipohjat		Huoneistojen väliset ontelolaattavälipohjat	
	[mm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[mm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[mm]	[kg/m <sup>2</sup> ]
1955–1959	167	420	–	–	–	–
1960–1967	160	400	150	380	–	–
1967–1976	180	450	181	450	–	–
1976–1999	176	440	213	530	265	380
2000–2008	187	470	300	750	370	510

### 3.2 Suomen RakMk Osa C1: Ääneneristys

Suomen rakentamismääräyskokoelma oli kokoelma täydentäviä ohjeita ja määräyksiä maankäyttö- ja rakennuslakiin, sekä kyseessä olevaan asetukseen. Määräykset koskivat pääasiassa uudisrakentamista, ellei kyseessä ollut esimerkiksi rakennuksen käyttötavan muutos. Määräykset koskivat kaikki osapuolia. Rakentamismääräyskokoelmaa ylläpiti Ympäristöministeriö. Rakentamismääräyskokoelma sisälsi yhteensä seitsemän eri osaa:

- A Yleinen osa
- B Rakenteiden lujuus
- C Eristykset
- D LVI ja energiatalous
- E Rakenteellinen paloturvallisuus
- F Yleinen rakennesuunnittelu
- G Asuntorakentaminen (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2016.)

Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C1 on julkaistu ensimmäisen kerran vuonna 1975 ja tullut voimaan 1.7.1976. Se asetti vaatimustason asuinrakennusten ääneneristykselle. Määräystä on uudistettu kahteen otteeseen: vuonna 1984 ja vuonna 1998. Ne tulivat voimaan 1.7.1985 ja 1.1.2000. Täydentävä julkaisu: Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C5, julkaistiin vuonna 1978 ja uudistus vuonna 1984, joissa esitettiin ohjeita hyväksyttäviin ratkaisuihin. (Lietzén, J. Kylliäinen, M. 2014, 12.) RakMk osa C1 julkaistiin puutteellisilla tutkimustiedoilla ja sisälsi vain määräyksiä asunnoista ja muista rakennetyypeistä oli vain suppeita ohjeita.

Suomen rakentamiskokoelman määräyksissä vuonna 1975 otettiin ensimmäisen kerran kantaa teknisiin mittalukuihin. Asuinhuoneistojen ääneneristyksen vaatimustasot eivät kuitenkaan muuttuneet ääneneristysnormeista, jotka esitettiin vuonna 1967. Mittaluvut tulivat määrittää ISO-standardien mukaan. ISO-standardi on kansainvälinen standardisoimisjärjestö, kun suomen vastaava on SFS-standardi (SFS, EN, ISO?).

N.d.) Ensimmäinen määräyksen päivitys sisälsi: suositeltavia esimerkkirakenteita, päivitetyjä käsitteitä ja mittausmenetelmiä. Viimeiseksi jäänyt määräysten päivitys oli vuonna 1998, jolloin rakentamismääräyskokoelman osa C5 kumottiin. Osan C5 sisältämät ohjeet sisällytettiin päivitettyyn C1 osaan. Rakentamismääräyskokoelman C1 osan täydentäväksi osaksi tuli Ympäristöministeriön laatima Ympäristöopas 99. Viimeinen Rakentamismääräyskokoelman uudistus 1998 korotti ääneneristysvaatimuksia ensimmäistä kertaa sitten vuoden 1967 (ks. taulukko 4). Vuonna 1998 tullut määräykset ja ohjeet koskevat meluntorjuntaa ja rakenteellista ääneneristystä uudisrakennuksessa. Määräyksen keskeisimmät mittayksiköt olivat ilmaääneneristävyyttä kuvaava ilmaääneneristysluku  $R'_w$  ja askeläänieristävyyttä kuvaava  $L'_{n,w}$ . (Lietzén, J. Kylliäinen, M. 2014, 12-17.) Ilmaääneneristävyyttä koskevaan ilmaääneneristyslukuun tuli vuonna 2009 Rakennusteollisuuden suositus, jonka Rakennustarkastusyhdistys hyväksyi. Suositus koski maksimaalista tilan kokoa ääneneristystä arvioitaessa, joka on 60 m<sup>3</sup>. (Johtokunnan kokous 04/2009. 2009.)

Taulukko 4. Suositusten ja määräysten kehittyminen vuosina 1955-2008 (Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2013).

Vuosi	Ilmaääneneristysluku $R'_w$ vaakasuunnassa	Ilmaääneneristysluku $R'_w$ pystysuunnassa	Akeläänitasoluku $L'_{n,w}$
1955	51 dB	52 dB	62 dB
1960	52 dB	53 dB	56 dB
1967	52 dB	53 dB	58 dB
1971	52 dB	53 dB	58 dB
1975	52 dB	53 dB	58 dB
1984	52 dB	53 dB	58 dB
1998	55 dB	55 dB	53 dB

## 4 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017

Uusi asetus ääniympäristö on tullut astunut voimaan 1.1.2018. Asetus koskee kaikkia sen soveltamisalan rakennuksia, joiden rakennuslupa on haettu 1.1.2018 jälkeen.

*Asetuksessa 796/2017 säädetään rakennusten ääneneristyksestä, melun- ja värinäntorjunnasta ja ääniolosuhteista sekä rakennusten piha- ja oleskelualueiden ja oleskeluun käytettävien parvekkeiden meluntorjunnasta ja ääniolosuhteista.*

*Tätä asetusta sovelletaan rakennuksiin, joissa on asuntoja, majoitus- tai potilashuoneita, taikka opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta- tai toimistotiloja.*

*Tätä asetusta sovelletaan uuden rakennuksen rakentamiseen, rakennuksen korjaus- ja muutostyöhön sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muuttamiseen maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaisessa rakentamisen suunnittelussa, lupamenettelyssä ja valvonnassa. (A 796/2017, 1 §.)*

Asetuksen tavoitteena on

- saattaa rakennuksen meluntorjuntaa ja ääneneristystä koskevat vaatimukset Maankäyttö- ja rakennuslain vaatimalle tasolle (Ympäristöministeriön muistio 2017. 7.), joka asetti 1.1.2013 alkaen Suomen rakentamismääräyskokoelman julkaisujen soveltamisajaksi enintään viisi vuotta jollei uutta säädöstä aseteta ennen sitä (L 958/2012, 126 a§).
- selkeyttää rakennusten ääniympäristöä koskevaa lainsäädäntöä sekä edistää säännösten vaikuttavuutta ja yhtenäisyyttä.
- tuoda uudet äänen eristystä koskevat indikaattorit, sekä laajentaa askeläänen eristyksen taajuusaluetta 50 Hz asti 100 Hz sijasta.
- tuoda uudet paremmin subjektiivista kokemusta tukevat ulkovaipan ääneneristysvaatimuksen.
- ottaa kantaa huoneen jälkikaiunta-aikaan sekä puheenerottuvuuteen (Ympäristöministeriön muistio 2017. 7).

## 4.1 Uudet mittayksiköt

Uusi asetus ilmoittaa ilmaäänien siirtymisen raja-arvot huonetilan välisenä äänitasoerona  $D_{nT,w}$  [dB]. Mitä pienempi arvo on, sitä huonommin tiloja erottavat rakenteet eristävät ilmaääntä. Uuteen mittalukuun siirryttiin, koska haluttiin eroon niin sanotusta isotilaongelmasta, joka johtui edellisen ilmaääneneristysluvun laskentataavasta, joka ei ottanut huomioon huoneiden tilavuuksia ja niistä syntyviä jälkikaiunta-aikoja (Kylliäinen, Takala & Hongisto 2015. 158). On todettu, että 0,5 sekunnin jälkikaiunta-aikaan standardisoidut äänitasoeroluvut kuvaavat parhaiten huoneesta toiseen siirtyviä äänitasoja. Suomalaisten asuinhuoneistojen keskimääräinen absorptioala on tyypillisesti  $20 \text{ m}^2$ , joten ISO 717-1 määrittelemä kolmas vaihtoehto ilmaääneneristykseen mittaluvuksi normalisoitu äänitasoeroluku  $D_{n,w}$  ei käy, koska se on sidottu  $10 \text{ m}^2$  vertailuabsorptioalaan. Uuden standardisoidun äänitasoeron pitäisi vastata paremmin subjektiivisista kokemuksesta ääneneristyksestä. (Kylliäinen ym. 2015. 158–161.) Uusi mittaluku antaa parempia tuloksia varsinkin isoissa huonetiloissa ( $>30 \text{ m}^3$ ) mutta pienissä huonetiloissa heikompia tuloksia (Takala 2013, 25).

Askeläänieristykseen mittaluvut annetaan uudessa asetuksessa muodossa  $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ . Mittaluku koostuu standardisoidusta askeläänitasoluvusta ja matalien taajuuksien spektritasapainotusermistä. Se on sidottu tilojen jälkikaiunta-aikoihin samoista syistä kuin ilmaääneneristysluvun kanssa. Uusi mittaluku perustuu siihen, että ihmisten subjektiivinen kokemus hyvästä askeläänieristyksestä ei vastannut vanhojen määräysten raja-arvoja varsinkaan matalien alle 100 Hz alueella olevien äänien osalta.

## 4.2 Korjausrakentaminen

Uusi asetus rakennusten ääniympäristöstä velvoittaa korjausrakennuskohteita pitämään vähintään saman ääneneristystason, kuin mitä se on ollut aikaisemmin eli ääneneristystä ei saa heikentää missään tapauksessa rakennusluvan myöntämisen ajankohtaisesta lainsäädännöstä. Rakennuksen käyttötarkoitusta muutettaessa on ääniolosuhteet toteutettava ja suunniteltava siten, että ääniympäristöstä ei aiheudu asukkaille haittaa. Asetus koskee rakennuksen melun- ja värinäntorjuntaa, ääneneristystä, ääniolosuhteita, piha- ja oleskelualueiden sekä parvekkeiden meluntorjuntaa. (A 796/2017, 7 §.)

Korjausrakennuskohteissa, joissa tehdään isoja muutoksia rakenteisiin, voidaan vaatimuksenmukaisuus arvioida lupamenettelyvaiheessa tapauskohtaisesti. Merkittävänä muutoksina ääniympäristön kannalta voidaan pitää;

- julkisivu- tai ikkunakorjaus
- keittiön siirtäminen toisen asunnon makuuhuoneen päälle
- lattiapäällysteen vaihtaminen
- uuden saunan, hissin, ilmanvaihto- ja viemärijärjestelmän asentaminen

Merkittävien muutosten mahdollisesti laukaisemaa ääneneristysvaatimusta ei tarvitse huomioida sivuavissa rakenteissa tai muissa rakennuksen ominaisuuksissa. Vaatimuksia ei sovelleta suojeltuihin rakennuksiin, joihin muutokset aiheuttaisivat suojeltujen osien osalta merkittäviä muutoksia, jotka eivät ole rakennuksen hengen kannalta hyväksyttäviä. (Ympäristöministeriön ohje. 2018. 40–41.)

Rakennuksen käyttötavan muutos vaatii aina rakennusluvan (MRL 5.2.1999/132, 125 §). Suunnittelussa huomioidaan asumisterveysasetuksen antamat vaatimukset. Vaatimuksen mukaisuus voidaan todeta ja määrittää lupamenettelyn yhteydessä. Kriittisiä korjausrakennuskohteita on esimerkiksi:

- rakennuksen julkisivun/ulkovaipan vaihto ja korjaus

- käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä tuleva välipohjan ääneneristys (Ympäristöministeriön ohje. 2018. 41.)

### 4.3 Rakennus- ja tilatyypit

Uusi asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017 koskee kaikkia rakennuksia, joissa huonetilaan muodostuva melu tai puutteellinen ääniympäristö aiheuttaa viihtyisyys-, terveys- tai muuta haittaa. Edellä mainituiksi tiloiksi luokitellaan:

- asunnot (ei koske soluasuntojen välistä seinää, koska ne eivät ole erillisiä huoneistoja)
- majoitus- ja potilashuoneet (käyttötarkoituksena asuminen)
  - o Ei koske leirikeskuksia, motelleja tai muuta vastaavia tiloja
  - o Ei koske tutkimushuoneita, vastaanottohuoneita, terapia- ja toimenpidehuoneita tai vastaavia tiloja
- opetus- ja kokoustilat sisältäen auditoriot
- ruokailutilat
- hoitotiloja (tiloja, joissa ei ole kyse potilaiden asumisesta)
- harrastustiloja (kerhotilat ja liikuntatilat)
- toimistotiloja (Ympäristöministeriön muistio 2017. 11 – 12).

Jos samassa rakennuksessa on useita eri tiloja, joista yksikin on asetuksen 796/2017 soveltamisalaa, tulisi sen noudattaa rakentamisessa ja suunnittelussa asetuksen säädöksiä. Määräyksiä noudatetaan kunkin tilan mukaisilla arvoilla. (Ympäristöministeriön muistio 2017. 11.)

Piha- ja oleskelualueiden sekä oleskeluun käytettävien viherhuoneiden ja parvekkeiden keskiäänitasomitoituksessa ja todentamisessa tulee noudattaa ensisijaisesti kaavamääräyksissä annettavia lukuarvoja ja toissijaisesti asetukseen 796/2017 perustuvia raja-arvoja. Arvot eivät saa ylittää keskiäänitason osalta kello 7-22 aikaista raja-arvoa. (Ympäristöministeriön ohje. 2018. 38.)

Porrashuoneiden ja uloskäytävien osalta asetus velvoittaa maksimi jälkikäyntiaikaan  $T = 1,3$  sekuntia, rakennusten osalta missä on majoitus-, asumis- ja potilashuoneita. (Ympäristöministeriön ohje. 2018. 38.)

Ilmaääneneristyksen vaatimukset uloskäytävälle koskee vain tiloja, joissa on uloskäytävän ja tarkasteltavan tilan välillä on ovi. Ilmaääneneristävyyden vaatimukset eivät koske myöskään toissijaisten, vähemmän oleskeltujen tilojen välistä seinää, kuten wc-wc tai kylpyhuone-sauna välistä seinää asuntojen välillä. (Ympäristöministeriön ohje. 2018. 20 – 21.)

Talotekniikan aiheuttamat melun raja-arvot (kts. taulukko 5) koskevat ulkotilan osalta hissi- ja talotekniikan aiheuttamien äänien kantautumista piha- ja virkistysalueille, avattavien ikkunoiden ja erilaisten tuuletusluukkujen läheisyydessä olevia oleskeluun käytettyjä parvekkeita ja piha- ja virkistysalueita. Melutasot huoneistoissa, oleskelutiloissa tai majoitus- ja potilastiloissa eivät myöskään saa ylittyä sallituista raja-arvoista.

#### 4.4 Talotekniikka

Talotekniset laitteet, hissit, niiden äänitasot ja asennukset eivät saa ylittää annettuja raja-arvoja, joita uusi asetus antaa (kts. taulukko 5).

Taulukko 5. Vaatimukset meluntorjunnalle (A 796/2017 5§)

Huone- ja ulkotila	Jatkuva laajakaistainen ääni		Impulssimainen tai kapeakaistainen ääni	
	Keskiäänitaso $L_{Aeq,T}$ [dB]	Enimmäisäänitaso $L_{AFmax,T}$ [dB]	Keskiäänitaso $L_{Aeq,T}$ [dB]	Enimmäisäänitaso $L_{AFmax,T}$ [dB]
Asuin- majoitus- tai potilashuone	28	33	25	30
Asunnon keittiö tai rakennuksen harrastustila	33	38	30	35
Porrashuone tai tulokäytävä	38	43	25	40
Ulkotila	45	50	40	45

Rakennuksessa oleskelevien lepo ja uni eivät saa häiriintyä. Rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen toiminta pitää olla mahdollista ääniolosuhteiden puolesta. (MRL 5.2.1999/132, 117f §). Mitatut äänenpainetasot kuvaavat kaikkien laitteiden yhteisvaikutusta ja raja-arvot koskevat normaalisti kalustettuja tiloja, joiden ikkunat ja ovet ovat suljettuja. Raja-arvot eivät koske koekäytettäviä laitteita, kuten varavoimalaitoksia. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 24.)

Talotekniikkaa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, mihin tilaan laitteita asennetaan. Eri tiloilla on oma huonevaimennusluku, joka vaikuttaa joko positiivisesti tai negatiivisesti valmistajan antamaan normalisoituun äänitehotasoon (kts. taulukko 6). Taloteknisten laitteiden ääneneristystä voidaan hoitaa erilaisilla alakatto- ja kotelo- ratkaisuilla. Ilmanvaihtokanavisto ei saa heikentää kahden eri asunnon välistä ääneneristystä. Useampaan eri tilaan kulkevaan kanavistoon on asennettava äänenvaimentimia, joilla pyritään estämään asumismelun ja puheäänien siirtymistä. Suora-kaidekanavilla on huonompi ääneneristys kuin pyöreillä kierresaumakanavilla ja niiden suunnittelussa pitäisi kiinnittää erityistä huomiota ääneneristykseen. Rakennuksen rungon värähtelyn kanssa pitäisi kiinnittää erityistä huomiota keveiden välipoh-

jien, kuten puu- ja teräsorsirunkoisten asennustekniikkaan ja värinäneritykseen. Taloteknisiä laitteita tulisi huoltaa säännöllisesti, jotta niiden valmistajien ilmoittamat äänitasot eivät nousisi liian voimakkaiksi. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 25 – 26.)

Taloteknisiin laitteisiin luokitellaan esimerkiksi:

- ilmanvaihtokoneet
- jäähdytys- ja lämmityslaitteet
- kompressorit
- keskuspölynimuri, mattoimuri
- talopesulan laitteet: pesukoneet, mankelit ja kuivauspuhaltimet
- vesi- ja viemärointi laitteet.

Taulukko 6. Huonevaimennus (Ympäristöministeriön ohje 2018. taulukko 3)

Tilatyyppi	Huonevaimennus [dB]
Asuinhuone, tilavuus 30 m <sup>3</sup>	4
Asuinhuone, tilavuus 60 m <sup>3</sup>	7
Keittiö	2
Kylpyhuone, WC	-4...-7
Toimistohuone	3
Potilashuone	2
Opetustila	10

#### 4.5 Meluntorjunta ulkovaipassa

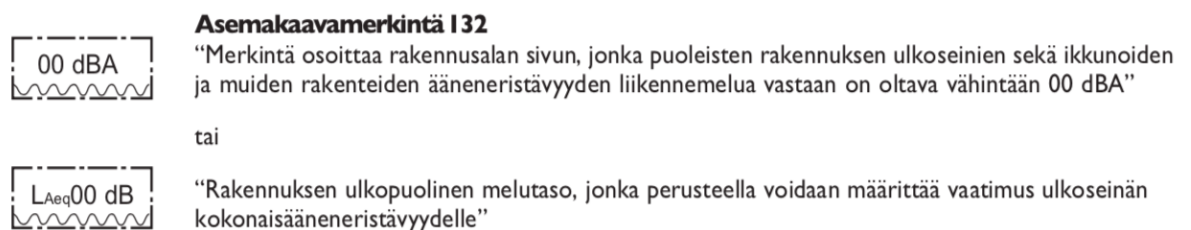
Rakennukset, joissa on asuntoja, majoitus- tai potilashuoneita pitää suunnitella ja toteuttaa siten, että ulkovaipan ääneneristys  $\Delta L$  on vähintään 30 desibeliä. Impulssimaisen, pienitaajuisen tai kapeakaistaisen melun keskiäänitaso ei saa ylittää 25 desibeliä lepoon tai nukkumiseen käytettävissä huoneissa. (A 796/2017.) Ulkovaipan ääneneristyksellä tarkoitetaan äänierotaso, mikä lasketaan julkisivuun kohdistuvan melun ja sallitun sisämelutason erotuksena. Julkisivun melukuormasta ei voida vähentää julkisivuheijastusta. Julkisivuun kohdistuva melukuorma kerrotaan yleensä asemakaavassa (kts. kuvio 6.) tai kohteesta tehdään melututkimus. Sisämelutason raja-arvot tulee täyttyä niin päivä-, kuin yöaikaan niitä vastaavilla meluarvoilla. Ulkomelutasot perustuvat yleensä laskentatuloksiin, mutta se voidaan mitata poikkeustapauksissa melumittauksella. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 24.)

Ulkovaipan ääneneristävyys muodostuu kokonaisuudesta, jonka muodostavat: itse seinärakenne ja siihen liittyvät rakennusosat, kuten ikkunat ja ovet, huoneen ja rakennusosien mitat. Äänitasoero tulee laskea jokaiselle huonetilalle erikseen ja se tulee olla vähintään yhtä suuri joka huoneessa kuin mitä kaavamääräys tai asetus 796/2017 5§ määrittää. Ulkovaipan ääneneristys voidaan laskea Ympäristöoppaan 108 mukaan. Ulkovaipan ääneneristykseen tulee kiinnittää erityistä huomiota, kun ulkoseinärakenteen ilmaääneneristysluku  $R_w + C_{tr}$  on alle 40 desibeliä. Ulkovaipan mitoituksessa tulee ensisijaisesti soveltaa kaavamääräyksissä annettuja melukuormia ja toissijaisesti asetuksen 796/2017 tai tapausharkintamenettelyn lukuarvoja. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 27–28.)

Betonirakenteisella ulkoseinällä ja MSE-ikkunoilla päästään helposti asetuksen vaatimaan  $\Delta L = 30$  dB lukuarvoon (kts. kuvio 5). Jäykkiä lämmöneristeitä ulkovaipassa sisältäviä rakenteita tulisi tarkastella erityisen huolella ääneneristysten osalta. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 28.)

Tie- ja raudeliikenne	Lento- tie- ja raudeliikenne	Äänitasoero	Seinä rakenne	Ikkuna	Ulkoilma-venttiili
$L_{A,eq,u 7-22}$ [dB]	$L_{A,max}$ [dB]	$\Delta L$ [dB]	$R_w + C_{tr}$ [dB]	$R_w + C_{tr}$ [dB]	$D_{n,e,w} + C_{tr}$ [dB]
60	70	25	$\geq 36$	$\geq 30$	$\geq 38$
65	75	30	$\geq 41$	$\geq 35$	$\geq 43$
70	80	35	$\geq 46$	$\geq 40$	$\geq 48$
75	85	40	$\geq 51$	$\geq 45$	$\geq 53$

Kuvio 5. Omakotitalon kulmahuoneen 25m<sup>2</sup> rakennusosien ääneneristysmitoitus. Ikkunoiden pinta-ala ulkoseinäalasta 20-25 % (Ympäristöopas 108, taulukko 4)



Kuvio 6. Meluvaatimuksen asemakaavamerkintä

#### 4.6 Runkoäänien- ja värinäntorjunta

Asetuksessa 796/2017 todetaan, että rakennuksen ääniympäristön tekninen vaatimus täyttyy, jos on huolehdittu rakennuksen ääneneristyksen, ääniolosuhteiden sekä värinän- ja meluntorjunnan osalta ääniteknisestä suunnittelusta ja se on toteutettu tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen. Runkoäänien- ja värinäneristys täytyy suunnitella ja toteuttaa siten, että saavutetaan toimintaa vastaava riittävän hyvä ääniympäristö huomioon ottaen tilan käyttötarkoitus. Rakennuslupamenettelyn

yhteydessä voidaan poiketa edellä mainituista teknisistä vaatimuksista vain, jos rakennushankkeeseen ryhtyvä pystyy esittämään rakennuslupamenettelyn yhteydessä, että suunniteltu tila täyttää tekniset vaatimukset esimerkiksi ulkopuolisen erityisen ääniympäristön takia tai tilan- ja käyttäjäryhmän erityisyyden takia. (A 796/2017 §3) Näitä tilanteita ovat esimerkiksi tavallisesta poikkevat tilat tai melu- tai värähtelylähteen voimakkuus, jolloin vaadittavaa ääniympäristö ei voisi muuten saavuttaa (Ympäristöministeriön ohje 2018. 18).

Ympäristöministeriön ohje (2018, 32) antaa liikennetäriinän ohjearvoksi  $v_{w,95} \leq 0,30$  mm/s. Maaperäisen runkomelutason, jonka aiheuttaa yleensä läheisen tien tai junaradan liikenne ohjearvoksi annetaan määperän runkoäänen tunnusluku  $L_{prm} = 30$  dB ja avoratojen läheisyydessä oleviin rakennuksiin 35 dB.

#### 4.7 Tulkinnan varaiset kohdat

Ulkovaipan äänitasoero vaatimus  $\Delta L = 30$  dB pitäisi täyttyä kaikilla asuntoja, potilas- tai majoitushuoneita sisältävillä uudisrakennuksilla mutta on mahdollista hakea tapaus tarkintamenettelyyn, jolloin vaatimuksista voidaan keventää esimerkiksi hiljaisella syrjäseudulla ja voidaan osoittaa, että todellinen tekninen vaatimus täyttyy. Valtioneuvoston oppaita jää vielä käyttöön, jolloin ristiriitaa syntyy eri mittaluvuista ja suureista.

Korjausrakennuskohteissa missä ääniympäristö on suunniteltu paremmaksi kuin aikansa vaatimukset, ovat joutuvat ristiriitaan, kun asetuksessa kerrotaan, että korjausrakennuskohteissa rakennuksen ääniympäristöä ei saa heikentää mutta toisaalla todetaan, että näissä tilanteissa vallitsee rakentamisajankohdan lainsäädäntö.

## 5 Muutokset verrattuna vanhaan Rakentamismääräyskokoelman osaan C1

### 5.1 Rakenteelliset erot

Ohje- ja selostustekstit vanhasta RakMk C1-osasta on korvattu uudessa asetuksessa perustelumustiolla ja kokoaan erillisenä ohjeena (kts. kuvio 7). Vanha asetus koostui sitovasta määräystekstistä ja sen viereen on tehty ohjekappale, joka kertoo täsmen-  
täviä ohjeita määräykseen liittyen. Vanha asetus sisälsi myös selostuskappaleen, jonka tarkoitus oli tarkentaa ohjetta entisestään ja tuoda kriittisiä kohtia esiin (kts. kuvio 7).

Suurimmat sallitut askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ (dB) arvot	dB	Ohje
– Asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muuhun asuinhuoneeseen, yleensä	53	<b>Ohjeteksti</b> Vaatimus ei koske mittausta satunnaisesti käytettävistä huolto- ja varasto-tiloista, 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.
<i>Sitova määräys</i>		<b>Selostus</b> <i>Kevyet rakenteet läpäisevät matalia ääniä, joita askeläänitasoluvun <math>L'_{n,w}</math> määräyksessä ei huomioida. Nämä äänet saattavat kuulua häiritsevänä kuminana.</i>

Kuvio 7. Rakentamismääräyskokoelman asettelu

Uusi asetus ääniympäristöstä (796/2017) sisältää ainoastaan sitovia määräyksiä koskien ääniympäristöä (kts. kuvio 8). Asetuksen rinnalle on julkaistu Ympäristöministeriön ohje (2018, 2) ääniympäristöstä, jonka tarkoituksena on edesauttaa ja selkeyttää

rakennuksen ääniympäristön toteutumista vaatimusten mukaisesti. Ohje opastaa suunnittelijoita, rakennushankkeeseen ryhtyviä, urakoitsijoita ja rakennusvalvonnan viranomaisia ääniympäristön suunnitteluun ja sen todentamiseen oikeilla menetelmillä, jotta ne vastaisivat ympäristöministeriön asetuksessa 796/2017 kerrottavia vähimmäisvaatimuksia rakennuksen ääniympäristölle. Ympäristöministeriön ympäristöoppaan 99 Ääneneristys rakennuksessa korvataan uudella ääniympäristö ohjeella.

Perustelumuistio vähentää epäselvyyksiä esimerkiksi siitä, mitä erilaiset huonetilat ovat ja miten ne luokitellaan. Se pyrkii myös selventämään sitovan asetuksen ja suositeltavien ratkaisujen rajapintaa. Uutta asetusta ja sen ohjetta tulisi käyttää yhtenä kokonaisuutena, jotta päästään parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen. Uusi asetus velvoittaa suunnittelijoita ilmoittamaan rakennuslupaa haettaessa uusien mittalukujen vastaiset ääneneristysluvut suunnitelma-asiakirjoissa. Perustelumuistio on juridisesti pätevämpi kuin soveltava ohje.

#### 4 §

##### Vaatimukset uuden rakennuksen ääneneristykselle

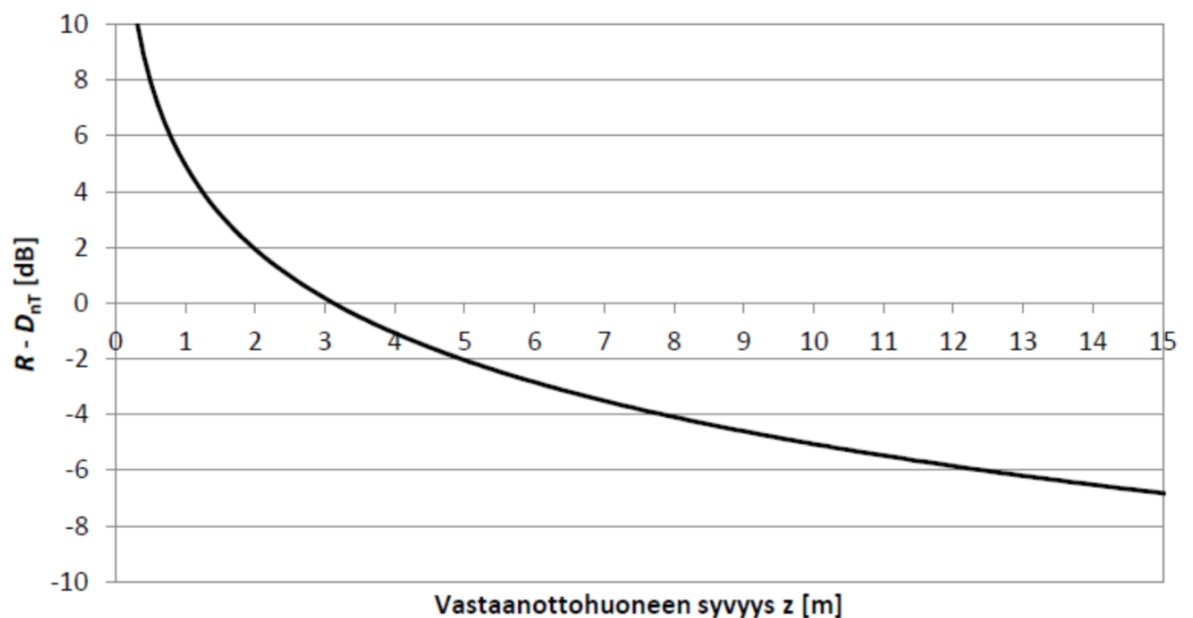
Asuntojen sekä majoitus- ja potilashuoneiden ilma- ja askelääneneristyksen suunnittelussa ja toteutuksessa on noudatettava seuraavia lukuarvoja:

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

Kuvio 8. Kuviota 7 vastaava kohta uudesta asetuksesta.

## 5.2 Mittasuureet

Ääneneristyksen mittasuureet muuttuivat, kun asetus 796/2017 velvoittaa uudeksi mittayksiköksi ilmaääneneristyksen osalta standardisoitua äänentasoeroa  $D_{nt,w}$  (kaava 1), joka perustuu mitattavien tilojen äänitasojen erotukseen ja vastaanottotilan jälkikaiunta-aikaan. Vanha mittasuure  $R'_w$  (kaava 2) kuvasi äänitasojen erotusta tilojen välillä sekä huomioi vastaanottotilan absorptioalan sekä tilavuuden. Etenkin tilavuuden huomioon ottaminen on todettu aiheuttavan ristiriitaista subjektiivista kokemuksia verrattain RakMk osa C1 määräyksiin (Kylliäinen, Takala & Hongisto, 2015). Uuden asetuksen mukainen ilmaääneneristyksen äänitasoeroluku antaa yli 3,1m pitkissä huoneissa huonomman lukuarvon, kuin vanha mittasuure (kts. kuvio 9). Määräykset eivät kiristy vaan ne muuttuvat enemmän tarkoituksenmukaisiksi.



Kuvio 9. Ilmaneristävyden R ja standardisoidun äänitasoeron  $D_{nT}$  erotus vastaanottohuoneen syvyyden z funktiona (Takala 2013. 23)

Kuitenkin edelleen on validia käyttää SFS 5907 standardia, joka määrittelee eri tilojen akustiset luokat A-D. Luokka C vastaa kutakuinkin RakMk osa C1 määräyksiä. Luokka A on puolestaan kaikista vaativin ja luokka D lievin vaatimuksiltaan. Luokka D koskee ainoastaan vanhoja rakennuksia eikä sitä voida soveltaa uudisrakennuksiin. SFS 5907 standardin mittasuureet ovat esitetty vielä vuonna 2018 ilmaääneneristyslukuna  $R'_w$ , joka aiheuttaa ristiriitaa, kun rakennuslupa vaiheessa mittasuureet vaaditaan yleensä asetuksen 796/2017 mukaan. Standardi on ohjeellinen mutta se on yleisesti käytetty esimerkiksi sopimusasiakirjojen vaatimustasona. (SFS 5907:2004)

Askeläänieristyksen mittasuureessa on siirrytty käyttämään standardisoitua askeläänitasolukua  $L'_{nt,w}$  (kaava 3) johon lisätään mukaan matalat taajuudet huomioiva spektripainotusermi  $C_{1,50-2500}$ . Vanha mittasuure oli normalisoitu askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  (kaava 4), josta luovuttiin samoista syistä kuin ilmaääneneristysluvusta. Suurin ero tulee siitä, miten uudet mittaluvut huomioivat alle 100 Hz matalat taajuudet. Uusi asetus huomioi siis entistä paremmin ihmisen subjektiivisen kokemuksen äänien tuottamasta haitasta. (Kt. Kempainen & Kylliäinen 2017, 131). Aiemmin määräysten mukaisista ratkaisuista huolimatta keveillä lattiarakenteilla on saattanut kuulua askeleista tulevaa kuminaa, jota esiintyy matalilla taajuuksilla, alle 100 Hz. Tällöin ei kuitenkaan rakennusmääräysten puitteissa vaadittu asiaan ratkaisua. Määräykset eivät kiristy vaan ne muuttuvat enemmän tarkoituksenmukaisiksi.

$$\text{KAAVA 1: } D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{T}{T_0}$$

$$\text{KAAVA 2: } R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A}$$

$$\text{KAAVA 3: } L'_{nT} = L_i - 10 \lg \frac{T}{T_0}$$

KAAVA 4:  $L'_n = L_i - 10 \lg \frac{A}{A_0}$

KAAVA 5:  $A = 0,16 \times \frac{V}{T}$

$L_1$  = lähetyshuoneen mitattu askeläänitaso (dB)

$L_2$  = vastaanottohuoneen mitattu askeläänitaso (dB)

$T$  = vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika (s)

$T_0 = 0,5s$

$S$  = erottavan rakenteen pinta-ala

$A$  = vastaanottohuoneen absorptioala

$L_i$  = vastaanottohuoneessa mitatut askeläänitasot (dB)

$V$  = vastaanottohuoneen tilavuus

### 5.3 Huoneakustiikka

Asetus 796/2017 velvoittaa suunnittelemaan tilat ja huoneet siten, että niissä saavutetaan käyttötarkoitus huomioon ottaen riittävä puheenerottuvuus. Porrashuoneen ja uloskäytävän jälkikaiunta-aika on rajoitettu 1,3 sekuntiin. Rakennuksen virkistykseen käytettävät oleskelu- ja piha-alueet sekä oleskeluun käytettävät parvekkeet täyttyy suunnitella ja toteuttaa siten, että päiväsaikaan klo 7-22 keskiäänitaso ei ylitä 55 desibeliä ja viherhuoneet siten, ettei keskiäänitaso ylitä 45 desibeliä. (A 796/2017 6§)

Ympäristöministeriön ohjeen (2018, 35) mukaan puheenerottuvuus kuvaa tilan ja sen äänikentän vaikutusta puheen selvyyteen. Puheen selvyyteen vaikuttaa esimerkiksi tilan muoto, absorptiomateriaali ja sen sijoittelu, puheen kovuus, jälkikaiunta-aika,

etäisyys puhujan ja kuulijan välillä ja tilassa vallitseva taustamelutaso. Puheensiirtindeksin STI arvolla 0 on huonoin mahdollinen puheenerottuvuus ja arvolla 1 on paras mahdollinen puheenerottuvuus, jolloin jokaisesta tavusta saa selkeästi selvää. Tavoiteltava puheensiirtotaso määräytyy kohteen käyttötarkoituksen mukaan, esimerkiksi opetustiloissa pyritään mahdollisimman hyvään puheenerottuvuuteen, kun taas avoimistossa pyritään huonoon puheenerottuvuuteen. Suunnitteluvaiheessa puheensiirtindeksin tarkka laskeminen vaatii huoneakustisen laskentaohjelman, mutta Ympäristöministeriön ohjeessa (2018, taulukko 5) on taulukoita jälkikaiunta-ajan saavuttamiseen tarvittavasta absorptiivasta materiaalista ja sen pinta-alasta, jotka vaikuttavat olennaisesti puheensiirtoluvun täyttymiseen. Ympäristöministeriön ohjeessa (2018, 34–35) annetaan ohjearvoja tarkentamaan ilmaisua riittävä puheenerottuvuus, siinä otetaan myös kantaa ohjeellisiin jälkikaiunta-aikoihin (kts. kuvio 10).

Jälkikaiunta-aika kuvaa aikaa, jossa ääniaallot vaimenevat tilassa enimmäkseen absorptiolla. Absorptio kuvaa ääniaallon vaimenemista väliaineessa tai sen rajapinnoissa, jolloin absorptiivisia materiaaleja voidaan käyttää tehokkaasti jälkikaiunnan vähentämiseen ja tällä tavoin parantaa tilan huoneakustiikkaa. Eri absorptiomateriaalit ja paksuudet vaimentavat eri taajuudella olevia ääniä eri tavalla. Tarvittavan absorptiomateriaalin määrä ja laatu voidaan katsoa valmistajien taulukoista ja se ilmoitetaan yleensä prosentuaalisena osuutena lattiapinta-alasta. Jälkikaiunta-aika on suuri tiloissa, jotka ovat suuria ja niiden pinnat ovat ääntä heijastavia. Jälkikaiunta-aikaan vaikuttavat tilan mitat ja muodot, seinäpintojen materiaali ja tilassa olevat kalusteet. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 34–35.)

Huonetila	Jälkikaiunta- aika T [s]	Puheensiirto- indeksi STI
Opetus- tai kokoustila	0,5-0,7	≥ 0,7
Ruokailu- tai liikuntatila	≤ 1,2	≥ 0,6
Potilashuone, hoito- tai harrastustila	≤ 0,8	≥ 0,6
Toimistotila	≤ 0,6	≤ 0,5

Kuvio 10. Ohjearvot jälkikaiunta-aikaan ja puheensiirtoindeksiin

Rakennusvalvonta tai tilaaja voi vaatia vaativissa kohteissa suunniteltujen ääniolosuhteiden todentamista tilan valmistuttua. Se tehdään käyttämällä ISO 3382-2 tai ISO 3382-3 standardia kohteen käyttötarkoituksesta riippuen. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 38.)

Avo- ja monitoimitiloissa, joissa ohjearvona puheensiirtoindeksille on alle 0,5 voi tulla haasteita suunniteltaessa tilojen muuntojoustavuutta, tilojen visuaalista avoimuutta ja taloudellisista näkökulmaa ajatellen, jos esimerkiksi joudutaan asentamaan sähköinen peiteäänijärjestelmä.

#### 5.4 Ulkoalueet, parvekkeet ja viheralueet

Asetuksessa 796/2017 on otettu kantaa vain päiväajan klo 7-22 melun aiheuttamiin keskiäänitasoihin virkistykseen käytettävillä piha- ja ulkoilualueilla, oleskeluun käytettävillä parvekkeilla ja viherhuoneissa. Virkistykseen käytettävillä piha- ja ulkoilualueilla sekä oleskeluun tarkoitetuilla parvekkeilla on  $L_{Aeq,T} = 55$  dB vaatimus ja viherhuoneilla vastaava luku on 45 dB. Asetusta 796/2017 voidaan tiukentaa kaavamääräyksellä. Kattoterassien, viherhuoneiden ja sisäänvedettyjen parvekkeiden ääneneristys on suunniteltava siten, ettei ääniympäristöstä aiheudu haittaa sen käyttäjille.

## 5.5 Asunnot, majoitus- ja potilashuoneet

Majoitus- ja potilashuoneet rinnastetaan nyt asuntojen kanssa samaan kategoriaan. Ulkovaipan ääneneristysvaatimuksia lisätään asemakaavaan suuremmissa määrin, kun rakennetaan lähemmäs melulähteitä, kuten esimerkiksi teitä. Se aiheuttaa asetusta 796/2917 suurempia ääneneristysvaatimuksia kuin ulkovaipalta vaadittava 30 desibelin äänierotaso. Kaavoituksella on iso rooli tarkasteltaessa liikenteen kehittymistä, kun asemakaavaa laaditaan. Tilat, jotka tuottavat erityisen voimakasta tai pientaajuista ääntä, tulee suunnitella erityisellä huolella.

## 5.6 Talotekniikan muutokset

Majoitus- ja potilashuoneet nostetaan samaan kategoriaan asuntojen kanssa. Myös harrastetilaa koskeva määräys on lisätty taloteknisten laitteiden ja hissien meluntorjunta taulukkoon. Asumisterveysasetuksessa 545/2015 aiemmin olleet impulssimaisen ja kapeakaistaisen äänen määräysarvot talotekniikalle ovat nyt ääniympäristöasetuksessa 796/2017. Taloteknisten laitteiden ulkomelua koskeva määräys on rajattu niin, että se koskee asuinrakennuksia ja avattavia ikkunoita, kun taas vanhassa RakMk osa C1 oli esitetty yleisvaatimus kaikkiin rakennuksiin eikä ikkunoiden avattavuuteen otettu kantaa. Äänitasojen ohjearvo eri tiloille ja rakennustyypeille on huomattavasti aiempaa pienempi, kun vanha RakMk osa D2 ei ole enää voimassa.

## 5.7 Korjausrakentaminen

Asetusta 796/2017 sovelletaan myös korjausrakentamisessa siten, että:

*”Rakennuksen ääneneristystä, melun- ja tärinätorjuntaa, ääniolosuhteita sekä virkistykseen käytettävien rakennuksen piha- ja oleskelualueiden sekä oleskeluun käytettävien parvekkeiden meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita ei saa rakennuksen korjaus- tai muutostyössä heikentää.”  
(A 796/2017 §7)*

Muutettaessa rakennuksen käyttötarkoitusta tulee edellä mainitut rakennuksen tekniset vaatimukset suunnitella ja toteuttaa siten, että ääniympäristöstä ei aiheudu asukkaille haittaa (A 796/2017 §7). Korjausrakennuskohteita koskee silloisen rakennusvuoden lainsäädäntö koskien ääniympäristöstä. Määräysten soveltamisesta vastaa rakennuslupaviranomainen.

Korjausrakentamista ei aiemmin ollut huomioitu ollenkaan RakMk osa C1 ja se on nyt kirjattu asetukseen 796/2017 tekstimuodossa. Ristiriitaa aiheuttaa asumisterveysohjeessa (2013) määritelty haittakynnys ääneneristyksen kannalta, mikä ei aina välttämättä toteudu korjausrakennuskohteissa.

## 6 Ohjeistus rakennushankkeiden ääniympäristön suunnitteluun

Opinnäytetyön tarkoitus on helpottaa rakennesuunnittelijoiden työtä varhaisessa suunnitteluvaiheessa esimerkiksi rakennetyyppien valitsemisessa ääniympäristö huomioiden. Tämän avulla kohde saadaan heti oikeaan suuntaan, eikä tarvitse jatkuvasti muuttaa esimerkiksi arkkitehdiltä tulleita piirustuksia. Tämä ohjeistus toteutettiin Excel-pohjaiseen työkaluun (ks. liite 1), joka toimitetaan toimeksiantajan käyttöön. Suunnitteluohjeet on rajattu koskemaan vain rakennuksen ääniympäristöä ja sen raja-arvoja. Työkalu on suunniteltu ns. nopeaan käyttöön, jolloin se on yksinkertainen käyttää ja antaa selkeät raja-arvot rakenteille. Työkalu rakentui asetuksen (796/2017), Ympäristöministeriön ohjeen ja Ympäristöministeriön perustelumuiiston raja-arvojen varaan. Vaihtoehtoiset raja-arvot (SFS 5907) on lisätty tilaajan toiveesta omalle välilehdelle, koska kyseinen standardi on vielä käytössä.

Työkaluun syötetään tarvittaessa kohteen perustiedot ja luetaan ohjeet huolellisesti, minkä jälkeen siirrytään halutun laskentapohjan välilehdelle. Vaihtoehtoisia laskentapohjavälilehtiä on kaksi, joista toinen on asetukseen, ohjeeseen ja perustelumuiistoon perustuva ja toinen on SFS 5907 standardiin perustuva. Näiden kahden erona on ilmaäänen- ja askelääneneristävyyden mittasuureet. Laskentapohjavälilehdelle valitaan alavetovalikosta tarkasteltavat tilat, jonka jälkeen työkalu antaa tilojen välisen rakenteen ääneneristys vaatimukset halutussa muodossa. Työkalu kommentoi valittuja raja-arvoja niiden vaativuuden perusteella, jolloin suunnittelijan on kiinnitettävä erityistä huomiota niiden tulkinnassa.

SITOWISE				22.2.2019	
Kohde:			Projektinnumero:		
A 796/2017			*Katso havainnekuva tilojen sijoittelusta ja tuloksista alemmaa		
YM ohje ääniympäristöstä 2018					
Tila 1:	Asunto		Tila 2:	Teknisen työn opetustila	
Vaatus yleensä ilmaääni:	55		Vaatus yleensä ilmaääni:	-	
Saman käyttötarkoituksen tilaan, välissä ovi	-		Saman käyttötarkoituksen tilaan, välissä ovi	48	
Käytävään tai aulaan, kun välissä on ovi	-		Saman käyttötarkoituksen tilaan, välissä ovi	42	
Askeläänitasoluku	53		Askeläänitasoluku	49	
Pienin sallittu tilojen välinen ilmasteneritys $D'_{nt,w}$				55	HUOM!!!!
Suurin sallittu tilojen välinen askeläänitasoluku $L'_{nt,w} + C_{l,50-2500}$				53	Tavanomainen
<b>Havainnekuva:</b>					
Tila 2		Teknisen työn opetustila			
49		$L'_{nt,w} + C_{l,50-2500}$			
Tila 1		Asunto		Tila 2	
55		D'nt,w		Teknisen työn opetustila	
53		$L'_{nt,w} + C_{l,50-2500}$			
Tila 2		Teknisen työn opetustila		*Tarkista lukemat, jos erottavassa rakenteessa on ovi	

Kuvio 11. Kuvankaappaus Excel-taulukosta

## 7 Pohdinta

### 7.1 Asetusuudistus

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia ja lisätä rakennesuunnittelijoiden osaamista akustisessa suunnittelussa lakimuutoksen jälkeen. Tutkimuksen teoriaosuus käsittelee myös ääneneristykseen historiaa, teoriaa ja lainsäädäntöä.

Asetus 796/2017 tuli voimaan vuoden 2018 alusta ja se julkaistiin 27.11.2017, jolloin rakennusvalvonta ja rakennusteollisuus olivat samalla viivalla määräysten tulkitsemisessa ja niiden käytäntöön viemisessä. Tämä aiheutti sen, että rakennusvalvonnalla ei ollut vakiintuneita tulkintoja eikä puolestaan rakennusteollisuudella ollut vakiintuneita ratkaisuja mahdollisiin ongelmiin. Asetusuudistus ääniympäristön osalta perustui vanhoista mittasuureista aiheutuneisiin subjektiivisen kokemuksen ongelmiin ääniympäristöstä ja maankäyttö- ja rakennuslain määrittämän Suomen rakentamismääräyskokoelman kokonaisvaltaiseen uudistamiseen vuosina 2013-2017.

Uusi asetus huomioi paremmin ihmisen subjektiivista kokemusta ääniympäristöstä, mutta määräykset eivät ole kuitenkaan juurikaan tiukentuneet vaan ne ovat enemmän tarkoituksenmukaisia ja mittasuureet vastaavat paremmin subjektiivista kokemusta. Uusien määräysten mukaisilla rakenteilla pitäisi tulla vähemmän negatiivisia subjektiivisia kokemuksia esimerkiksi askeläänistä, koska tarkasteltavaa taajuusaluetta on laajennettu.

Tutkimus selkeyttää rakennesuunnittelijan työtä määräysten muuttuessa ja tuo konkreettisesti esille muuttuneet käytännöt ja määräykset. Tutkimus keskittyi pääasiassa vanhaan RakMk osa C1 (1998), uuteen asetukseen 796/2017 ja Ympäristöministeriön uuteen ohjeeseen. Määräysten välillä on ollut 20 vuotta, mikä on aiheuttanut rakennusvalvonnassa toimenpiteitä jo aikaisemmin, jolloin ohjeistus on ollut useammassa paikkaa. Mielestäni uusi asetus selkeyttää ja helpottaa suunnittelijoiden työtä juuri siksi, että tieto löytyy yhdestä paikkaa ja tieto on ennen kaikkea ajantasainen.

## 7.2 Excel valintataulukko

Tutkimuksen tärkein osuus tilaajan mielestä on Excel-pohjainen valintataulukko, joka on suunniteltu pääasiassa rakennetyyppien kasauksen avuksi kertomaan tilan ääneneristysvaatimukset. Taulukon lukuarvot perustuvat A 796/2917, Ympäristöministeriön ohjeen (2018) ja asetuksen perustelumuistion lukuarvoihin. Asetuksen rinnalla pyörii myös rakennusteollisuudessa käytetty SFS 5907, jonka perusteella nähtiin tarpeelliseksi lisätä kyseisen standardin lukuarvot omille välilehdille. Excel-tilin käyttäjällä on siis käytössä useampi käytettävä standardi.

Excel-tilin koekäyttö on osoittanut sen käytettävyyden olevan tarpeeksi helppo asioiden nopeaan tarkastamiseen. Lisää kokemuksia saadaan, kun taulukko on saatu tilaajan käyttöön koko laajuudessa. Tähänastisten kokemusten perusteella taulukko vastaa tilaajan tarpeita ja tulee olemaan hyödyllinen.

## Lähteet

A 796/2017. 2017. Ympäristöministeriön asetusrakennuksen ääniympäristöstä. Julkaistu 24.11.2017. Viitattu 29.11.2018.

ISO 717–1. 1996. Acoustics – rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Géneve, International Organization for Standardization.

Kempainen, M & Kylliäinen M. 2017. Spektripainotusterman  $C_{1,50-2500}$  vaikutus askelääneneristävyyden arviointiin. Akustiikkapäivät 2017. Esitelmät, 129-134.

Kerrostalojen ääneneristystutkimus. 1955. Helsinki, Valtion teknillinen tutkimuslaitos, rakennusteknillinen laboratorio.

Kylliäinen, M. 2011. Kivitalojen ääneneristys. Tampere: Suomen Rakennusmedia Oy.

Kylliäinen, M & Takala, J & Hongisto, V. 2015. Ilmaääneneristysluku sekä standardisoitu ja normalisoitu äänitasoeroluku huoneistojen välisen ilmaääneneristävyyden kuvaajina. Akustiikkapäivät 2015. Esitelmät, 158–161.

Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos. Tampere.

Kylliäinen M, Kansainväliset yhteydet vuoden 1967 ääneneristysnormien muotoutumisessa, Tekniikan Waiheita, Helsinki 3(2009), 29–47.

Kylliäinen, M. 2009. Mitä ääni on? Akustiikan vaiheita antiikin ajatuksista nykyaikaisen äänenhallinnan alkuun. Verkkojulkaisu. Tekniikan Waiheita, 2/09, 5-17, Viitattu 5.10.2018. <https://journal.fi/tekniikanwaiheita/article/view/63917/25225>

L 958/2012. 2012. Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta. Julkaistu 21.12.2012. Viitattu 25.11.2018.

Laaksovirta, T. 1988. Tutkimuksen lukeminen ja tekeminen. Helsinki: Kirjastopalvelut Oy.

Lietzén, J & Kylliäinen, M. 2013. Asuinhuoneistojen välisen ääneneristyksen kehittyminen vuosina 1955-2008. Teoksessa (toim.) M. Hiipakka, H. Tahvanainen ja T.Lokki. Akustiikkapäivät 2013. Esitelmät, 123-128.

McMullan R. 2007. Environmental Science in Building. Sixth Edition. Yhdysvallat. New York: Palgrave MacMillan.

MRL 5.2.1999/132. Maankäyttö- ja rakennuslaki. Annettu 1.1.2000. Viim. muutos 27.11.2018. Viitattu 4.12.2018. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/>

- Johtokunnan kokous 04/2009. 2009. Pöytäkirja 24.4.2009.  
Rakennustarkastusyhdistys RTY. Asiakirja RTY:n internetsivuilla.
- RIL 129–2003. 2003. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL R.Y.
- RIL 243–1–2007. 2017. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL R.Y.
- SFS, EN, ISO?. N.d. Julkaisu Suomen standardisoimisliiton SFS ry:n www-sivuilla.  
Viitattu 6.11.2018.  
[https://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/standardi\\_tutuksi/sfs\\_en\\_iso](https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/sfs_en_iso)
- Sitowise. N.d. Sitowise Oy:n verkkosivut. Viitattu 4.2.2018.  
<https://www.sitowise.com/fi/sitowise/yritys>.
- Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita. 2003. Asumisterveysohje – Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Ohje. Julkaistu 1.5.2003. Viitattu 4.12.2018. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201504224167>
- Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1: Ääneneristys – Määräykset, Helsinki, sisäasiainministeriö, 1975. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Viitattu 1.10.2018  
<http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>.
- Takala, J. 2013. Suomalaisten asuinhuoneiden ääniolosuhteet ja ääneneristävyiden mittaustapa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, tuotantotalouden ja rakentamisen tiedekunta, rakennustekniikan koulutusohjelma. Viitattu 3.12.2018.  
<http://URN.fi/URN:NBN:fi:tyy-201310231369>
- Tuulivoimaloiden tuottaman äänen vaikutukset terveyteen. 2017. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö.
- Ympäristöministeriön muistio. 2017. Vastuhenkilö A. Saarinen.  
Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. Perustelumustio. Julkaistu 24.11.2017. Viitattu 25.11.2018. [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoe/ma/Meluntorjunta\\_ja\\_aaniolosuhteet](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoe/ma/Meluntorjunta_ja_aaniolosuhteet)
- Ympäristöministeriön ohje. 2018. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä . Ohje. Julkaistu 28.6.2018. Viitattu 21.11.2018.  
[http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoe/ma/Meluntorjunta\\_ja\\_aaniolosuhteet](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoe/ma/Meluntorjunta_ja_aaniolosuhteet)
- Ympäristö ja Terveys-lehti. 2009. Asumisterveysopas. Ympäristö ja Terveys-lehti. Vaasa.
- Young, H., Freedman, R. 2004 University Physics with Modern Physics, 11. painos. Pearson. Englanti.

Ääneneristys puutalossa. 2010. Puuinfo suunnitteluohje. Wood Focus Oy. Viitattu 5.10.2018.

<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>