

ASUINKERROSTALOJEN ÄÄNENERISTÄVYYDEN KEHITTYMINEN SUOMESSA VUOSINA 1955–2008

Jesse Lietzén ja Mikko Kylliäinen

Ääneneristävyys asuinkerrostalohuoneistojen välillä on tärkeä asumisviihtyisyyteen vaikuttava tekijä. Asumisesta syntyvällä melulla voi olla myös terveysvaikutuksia. Näistä syistä asuinrakennusten ääneneristävyyttä on säännelty Suomessa rakentamismääräyksissä esitetyin teknisin mittaluvuin vuodesta 1976. Ennen tätä oli olemassa ääneneristävyyttä koskevia mittalukuina annettuja suosituksia sekä sanallisesti määriteltyjä melua koskevia säädöksiä. Määräysten ja suositusten laatijoina olivat akustiikan ja rakennustekniikan asiantuntijat, joiden toteuttamat ääneneristystutkimukset vaikuttivat määräystason muodostumiseen. Tutkimusten tarkoituksena oli selvittää, millainen asuinkerrostalokannan ääneneristävyys on ja millaisin rakenneratkaisuin määräys- tai suositustaso voidaan saavuttaa. Asiantuntijoiden julkaisemien tutkimusraporttien perusteella voidaan seurata uusien asuinrakennusten ääneneristävyyden kehittymistä 1950-luvulta nykytilanteeseen.

Asuinhuoneistojen ääneneristävyys muodostuu kahdenlaisten äänien eristämisestä: ilmaääneneristykseen tarkoituksena on estää erilaisten ilmaan synnyttyjen äänien, kuten puheen, laulun tai äänentoistolaitteiden kulkua huoneistosta toiseen; askelääneneristykseen tarkoituksena on vaimentaa rakenteisiin kohdistuvien iskujen toisessa huoneistossa aiheuttamia ääniä, joista tavallisin syntyy kävelyistä. Kun ilma- tai askelääneneristävyyttä mitataan rakennuksessa, mittaustulokseen sisältyy äänen siirtyminen tilasta toiseen kaikkia mahdollisia äänen kulkureittejä pitkin. Sekä ilma- että askelääneneristävyys ovat äänen taajuudesta riippuvia suureita, joten asuinrakennuksessa ääneneristävyyttä mitataan laajalla taajuusalueella 100–3150 Hz. Eri taajuuksilla saaduista mittaustuloksista lasketaan mittaluvut, ilmaääneneristysluku R'_w ja askeläänitasoluku $L'_{n,w}$.¹ Ilmaään-

neneristävyys tilojen välillä on sitä parempi, mitä suurempi ilmaääneneristysluku on, ja askelääneneristävyys sitä parempi, mitä pienempi askeläänitasoluku on. Nykyiset rakentamismääräykset edellyttävät, että ilmaääneneristysluvun R'_w arvo on asuinhuoneistojen välillä vähintään 55 dB ja askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ arvo enintään 53 dB.²

Suomessa asuinhuoneistojen välistä ääneneristävyyttä yritettiin selvittää mittauksin ensi kertaa vuonna 1949. Tuolloin Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen rakennusteknillinen laboratorio teki mittauksia Helsingissä Mannerheimintien varrelle rakennetuissa taloissa, mutta puutteellisen mittauskaluston vuoksi tutkimuksessa ei pystytty tuottamaan käytännön rakentamisessa hyödynnettävää tietoa. Ääneneristävyys voitiin kuitenkin todeta tutkituissa taloissa niin huonoksi, että aiheen tutkimuk-

sen liittäminen VTT:n tutkimusohjelmaan katsottiin tarpeelliseksi.³ Niinpä 1950-luvun alkupuoliskolla toteutetun kerrostalojen ääneneristystutkimuksen perusteella VTT saattoi antaa suosituksensa asuinhuoneistojen väliselle ääneneristävyydelle asetettavista rajoista. Samalla VTT esitti suosituksensa käytettävästä mittausten menetelmästä, joka vastasi Saksassa käytössä ollutta mittaustapaa. Ilmaääneneristävyydelle asetetut raja-arvot vastasivat Saksan vaatimuksia, mutta askelääneneristävyydelle toimikunta katsoi perustelluiksi asettaa 6 dB ankaramman rajan.⁴

Vuosina 1952–1955 toteutettu kerrostalojen ääneneristystutkimus oli Suomessa alallaan ensimmäinen hanke, jonka tulokset vaikuttivat asuinkerrostalojen rakentamistapaan. Sitten VTT on toteuttanut useita muita asuinkerrostalojen ääneneristystä koskevia tutkimuksia,⁵ joiden tarkoituksena oli tuottaa tietoa muun muassa ääneneristysnormien laatimiseksi. Ehdotus ääneneristysnormeiksi julkaistiin vuonna 1960,⁶ ja vuonna 1967 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry julkaisi ääneneristysnormit,⁷ jotka saivat yleisen hyväksynnän ja säädöksen aseman rakennusvalvontaviranomaisen alkaessa vaatia niiden noudattamista.⁸ Ääneneristysnormien syntymisen kannalta oleellisia olivat teknologian siirrot erityisesti Pohjoismaista ja Saksasta,⁹ mutta rakennustekniikan ja akustiikan asiantuntijat muodostivat suosituksissa ja normeissa oman näkemyksensä sopivasta ääneneristävyydestä ulkomaisten ja kotimaisten tutkimustulosten perusteella. Kotimaisten tutkimusten yhtenä tavoitteena oli selvittää, millaisin rakentein suosituksissa, normiehdotuksissa ja määräyksissä esitetyt ääneneristysvaatimukset rakennuksissa saavutetaan ja millainen ääneneristävyys uudisrakennuksissa on. Näitä seikkoja selvitettiin tekemällä ääneneristysmittauksia vasta valmistuneissa asuinkerrostaloissa. Näin ollen eri aikoina tehdyt tutkimukset kuvaavat juuri tuona

ajankohtana valmistuneen rakennuskannan ääneneristävyttä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on saada tietoa asuinhuoneistojen välisen ilma- ja askelääneneristävyyden kehittymisestä Suomessa. Rakennuksissa tehtyjen ääneneristysmittausten tulosten lisäksi ääneneristävyyden kehittymistä kuvaavat ääneneristysmääräyksissä ja -suosituksissa annettujen vaatimusten sekä asuinkerrostalohuoneistoja erottavien rakennusosien paksuuksien muutokset. Lisäksi selvitetään, kuinka suuri suhteellinen osuus mittaustuloksista vastaa kulloinkin voimassa olleita, ääneneristystä koskevia säädöksiä.¹⁰ Tutkimusraporteissa esitettyjen kysely- ja haastattelututkimusten tulosten perusteella arvioidaan myös muutoksia asukkaiden tyytyväisyydessä asutunjensa ääneneristävyyteen. Tutkimus perustuu VTT:n ja muiden organisaatioiden¹¹ vuosina 1955–2008 julkaisemiin tutkimuksiin ja tällä ajanjaksolla voimassa olleisiin asuinrakennusten ääneneristystä koskeviin säädöksiin sekä niitä edeltäneisiin normiluonnoksiin ja suosituksiin.¹² Useimpiin VTT:n tutkimusraportteihin sisältyy katsaus aiempaan tutkimukseen, mutta tulkintaa siitä, miten asuinkerrostalojen ääneneristävyys tai sitä koskevat vaatimukset ovat kehittyneet, niissä ei ole tehty. Julkaistujen tutkimusraporttien lisäksi käytetään VTT:n arkistossa 1960-luvulta säilyneitä testausselostuksia ääneneristysmittauksista, joiden tilaajana useimmiten on ollut jokin rakennusliike tai yleishyödyllinen rakennuttaja.¹³

Asuinkerrostalokannan ääneneristävyyden kehittyminen on viime vuosina tullut Euroopassa akustiikan tutkijoiden mielenkiinnon kohteeksi. Tämä johtuu siitä, että vuodesta 2010 on ollut käynnissä Euroopan unionin rahoittama hanke rakennusten ääneneristävyyttä kuvaavien mittalukujen yhtenäistämiseksi unionin alueella. Hankkeen tarkoituksena on unionin tavoitteiden mukaisesti kilpailun esteiden vähentäminen.¹⁴ Lisäksi päämääränä on tuottaa tietoa myös

siitä, millainen ääneneristävyys asuinkerrostalohuoneistojen välillä on tarkoituksenmukainen ja riittävä sekä mahdollisesti edelleen harmonisoida eri maiden soveltamat erilaiset vaatimustasot yhtenäisiksi.¹⁵ Joitakin selvityksiä asuinkerrostalojen ääneneristävyiden kehittymisestä viime vuosikymmeninä on hiljattain julkaistu, joten suomalaisten asuinkerrostalojen ääneneristävyiden kehittymistä voidaan verrata kerrostaloihin Alankomaissa, Italiassa, Serbiassa ja Virossa.¹⁶ Hieman aiemmin on julkaistu tutkimustuloksia myös asuinkerrostalojen ääneneristävydestä Itävallassa.¹⁷

TUTKIMUSKIRJALLISUUDESSA ESITETTYJEN ÄÄNENERISTYSARVOJEN TULKINTA

Ääneneristävyiden mittaamisessa käytettävien menetelmien, äänilähteiden ja mittalukujen laskentatapojen kehitys alkoi monissa maissa 1930-luvulla, jolloin myös tehtiin ensimmäiset ehdotukset ääneneristysmääräyksiksi ja mittaustapojen standardoimiseksi.¹⁸ Ääneneristysmittausmenetelmien kehittämiseen vaikutti paitsi mittalaitteiden luotettavuuden parantuminen, myös uudenlaisten melulähteiden ilmaantuminen asuntoihin. Radio ja gramofoni herättivät monissa maissa keskustelua siitä, kuinka paljon melua naapurin voidaan hyväksyä tuottavan viereiseen asuinhuoneistoon.¹⁹ Myös uusien rakennusmateriaalien yleistyminen ja muutokset rakennusten kantavissa rakenteissa synnyttivät tutkimustarvetta.²⁰ Vielä 1930-luvulla mittausten menetelmät eivät kuitenkaan vakiintuneet, vaan eri maissa käytettiin erilaisia menetelmiä.²¹

Ääneneristysmittaukset standardoitiin kansainvälisesti 1960-luvulla.²² Nykyisin käytössä olevilla mittausten menetelmillä on siten takanaan noin 50 vuoden historia. Tänä aikana mittausten peruseräkkeet ovat säilyneet samoina. Ilmaääneneristävyttä mita-

taan sijoittamalla voimakasta kohinaa tuottava äänilähde yhteen huoneeseen, jossa sen synnyttämät äänenpainetasot mitataan. Lisäksi mitataan äänenpainetasot toiseen huoneistoon kuuluvassa huoneessa. Näiden erotusten perusteella voidaan laskea ilmaääneneristävyys eri taajuuksilla, kun otetaan huomioon äänen väimäminen vastaanottohuoneessa kalustuksen ja muiden ääntä absorboivien pintojen sekä tilavuuden perusteella. Askeläänilähteenä käytetään kojetta, joka pudottelee lattiaan 40 mm korkeudelta teräksisiä lieriöitä, joiden massa on 500 g. Suomessa ilmaääneneristysluvun R'_w ja askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ laskenta mittaustuloksista on 1950-luvulta saakka tehty pääpiirteittäin samalla tavalla, mutta jokaisen kansainvälisen standardiuudistuksen ja Suomessa kansallisten rakentamismääräysten uudistamisen yhteydessä on tehty pieniä muutoksia.²³

Tieteen ja tekniikan historiassa, joiden tarkoituksena on tehdä menneisyyden tiedettä ja tekniikkaa ymmärrettäväksi nykyihmisille, ongelmana on usein se, että ilmiöt on aikanaan kuvattu sanallisesti toisin kuin nykyisin, tai matemaattisessa muodossa olevat kaavat tai teoriat on formuloitu eri tavoin tai esitetty toisenlaisella notaatiolla kuin nykyisin on käytäntönä. Mahdollista on myös se, että sama matemaattinen merkintä voi tarkoittaa erilailla määriteltyä suuretta.²⁴ Nämä seikat koskevat myös artikkelin lähteenä olevia suomalaisia rakentamismääräyksiä, mittausraportteja ja tutkimuskirjallisuutta. Esimerkiksi nykyisin voimassa olevissa, vuoden 1998 rakentamismääräyksissä määriteltyjen ilmaääneneristyslukujen R'_w ja askeläänitasolukujen $L'_{n,w}$ laskenta mittaustuloksista poikkeaa edellisissä, vuoden 1985 määräyksissä määritellyistä luvuista, vaikka suureiden merkintä on täysin sama.²⁵ Toisaalta taas vuoden 1975 rakentamismääräyskokoelmassa asetetaan askelääneneristävyydelle kerrostalohuoneistojen välille vaatimus askeläänentasoindeksinä I_b , jon-

ka arvon tuli olla enintään 63 dB. Vuoden 1985 rakentamismääräyskokoelmassa askeläänentasoindeksiin korvasi askeläänitasoluku $L'_{n,w}$, jonka arvo sai olla enintään 58 dB. Näyttäisi siis siltä, että vaatimus on vuonna 1985 kiristynyt 5 dB. Näin ei kuitenkaan ole, vaan 5 dB ero vaatimuksissa johtui mittalukujen määrittelystä. Askeläänitasolukuna $L'_{n,w}$ määriteltynä vuoden 1975 vaatimus on myös 58 dB eli sama kuin kymmenen vuotta myöhemmin.²⁶

Asuinkerrostalojen ääneneristykseen kehittymistä ei mittalukujen määrittelyssä tapahtuneiden muutosten vuoksi ole mahdollista arvioida vertaamalla tutkimuskirjallisuudessa ja mittausraporteissa esitettyjä mittalukuja suoraan toisiinsa. Vertailu edellyttää näiden mittalukujen tulkintaa, joka on mahdollista, koska tapa, millä itse mittaus rakennuksessa on suoritettu, on säilynyt ennallaan 1950-luvulta saakka. Luontevin ratkaisu on varhaisemmassa tutkimuskirjallisuudessa esitettyjen mittalukujen muuntaminen vastaamaan voimassa olevissa, vuoden 1998 rakentamismääräyksissä esitettyjä mittalukuja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että aiemmissa tutkimusraporteissa taajuuksittain esitetystä ilmaääneneristävyyksistä tai askeläänitasoista on laskettu uudelleen ilmaääneneristysluvat R'_w ja askeläänitasoluvat $L'_{n,w}$ nykyisten määritelmien mukaisesti.²⁷ Myös eri aikakausien suosituksissa ja määräyksissä esitetyt raja-arvot asuinhuoneistojen väliselle ilma- ja askelääneneristävyydelle on muunnettu vastaavalla tavalla, jotta myös ne olisivat vertailukelpoisia. Tällä tavalla saadaan tietoa siitä, mikä oli vuosikymmeniä sitten valmistuneen rakennuskannan ääneneristävyys silloin, kun rakennukset olivat uusia.

Eri-ikäisten asuinrakennusten ääneneristävyyttä voitaisiin tutkia myös tekemällä ääneneristysmittauksia. Mittaustulos kertoisi tällöin kuitenkin rakennuksen ääneneristävyydestä nyt. Verrattuna rakennuksen ääneneristävyyteen uutena mittaustulos voi

olla huonompi tai parempi. Vanhoissa rakennuksissa esimerkiksi lattianpäällysteitä voi olla monta kerrosta päällekkäin, jolloin lattia on muuttunut hyvin joustavaksi ja askelääneneristävyys parantunut. Toisaalta jotkut rakenteet ovat voineet huollon puutteessa heikentyä. Esimerkiksi ovien tiivisteet ovat voineet kulua ja hapertua niin, että ne eivät enää eristä ääntä. Tekemällä vanhoissa rakennuksissa mittauksia ei siten saataisi kovin helposti tietoa siitä, kuinka uudisrakennukset ovat valmistuessaan vastanneet ääneneristysmääräyksiä. Rakennusten ääneneristävyyttä on mahdollista myös mallintaa laskennallisesti. Näin on menetelty Italiassa tehdyssä tutkimuksessa, jonka tavoitteena oli arvioida italialaisten asuinrakennusten ääneneristävyyden kehittymistä vuodesta 1950 nykyhetkeen. Laskennallisesti on kuitenkin vaikeaa arvioida tarkasti suunnittelu- tai rakennusvirheiden vaikutusta asuinhuoneistojen väliseen ääneneristävyyteen.²⁸ Ilman virheiden vaikutusta laskennalliset tulokset kuvaisivat lähinnä rakennusten teoreettisesti saavutettavaa enimmäisääneneristävyyttä eikä tällä tavoin saataisi kattavasti tietoa siitä, kuinka suuri osuus rakennuksista on täyttänyt ääneneristysmääräykset. Näistä syistä tässä tutkimuksessa on päädytty käyttämään vanhaa tutkimuskirjallisuutta ja vanhoja mittausraportteja.

AINEISTON VALINTA JA JAOTTELU

Vanhoissa tutkimusraporteissa esitettyjen ääneneristysmittaustulosten muuntaminen vastaamaan voimassa olevaa mittalukujen laskentamenettelyä edellyttää sitä, että tutkimusraportissa on ilmoitettu riittävän paljon tietoa mittauksista. Pelkästään askeläänitasolukuja ja ilmaääneneristyslukuja tai niiden edeltäjiä ei ole mahdollista muuntaa, vaan tulosten muuntamiseksi tarvitaan taajuuksittain ilmoitetut ilmaääneneristävyydet

tai askeläänitasot. Lisäksi vuotta 1967 edeltävänä aikana mittausraportista pitää ilmetä ilmaääneneristysmittaustulosten muuntamiseksi vastaanottohuoneen tilavuus ja tiloja erottavan rakennusosan pinta-ala sekä askelääneneristysmittaustulosten muuntamiseksi vastaanottohuoneen tilavuus.²⁹ Osasta käytettävissä olevasta tutkimuskirjallisuudesta nämä tiedot puuttuvat. Näin ollen tässä tutkimuksessa ei voida hyödyntää vuonna 1955 julkaistua tutkimusraporttia *Kerrostalojen ääneneristystutkimus*, koska tarvittavat tiedot huoneiden tilavuuksista ja niitä erottavien rakenteiden pinta-aloista puuttuvat. Vuonna 1965 julkaistun tutkimusraportin *Uusien ja erikoisesti elementtirakenteisten asuinrakennusten ääneneristys* tuloksia ei voida käyttää, koska raportissa ei ole esitetty mitaustuloksia taajuuksittain eikä mittalukuja siten voida laskea uudestaan.

Asuinhuoneistojen ääneneristystutkimukset voidaan jakaa viiteen eri ryhmään sen perusteella, millaiset ääneneristysmääräykset tai -suositukset ovat olleet voimassa ja millaisia mittausmenetelmiä on käytetty silloin, kun tutkimus on tehty. Tässä tutkimuksessa käsitellään ajanjaksoa, joka ulottuu 1950-luvulta 2000-luvulle. Tänä aikana ääneneristysmääräykset ja -suositukset ovat muuttuneet viidesti. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat sellaiset tutkimukset, jotka on tehty ennen vuonna 1960 julkaistua ehdotusta ääneneristysmääräyksiksi. Tälle ajanjaksolle sijoittuu kaksi tutkimusta. Valtion teknillinen tutkimuslaitos raportoi vuonna 1957 kuudessa Tapiolaan rakennetussa uudessa asuinkeuhkotalossa vuosina 1955–1957 tehtyjen ääneneristysmittausten tulokset. Mittausraportissa esitettiin ilma- ja askelääneneristävyyden mitaustuloksia päällekkäin sijaitsevien asuinhuoneistojen väliltä. Vuonna 1959 VTT julkaisi tiedotus-sarjassaan tutkimuksen, jonka tarkoituksena oli selvittää, onko betonirakenteinen asuinkeuhkotalo ääneneristysominaisuuksiltaan heikompi kuin tiilitalo. Tutkimuskohteena

oli vuonna 1958 valmistunut 12-kerroksinen betonitalo, jossa mitattiin ilma- ja askelääneneristävyyttä asuinhuoneistojen välillä vaaka- ja pystysuunnassa. Molemmissa tutkimuksissa mitaukset tehtiin VTT:n vuonna 1955 julkaisemien suositusten mukaan.³⁰

Vuonna 1967 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry julkaisi ääneneristysnormit, joissa mittausmenetelmät noudattelivat valmisteilla olevissa kansainvälisissä ISO-standardeissa esitettyjä periaatteita.³¹ Ääneneristysnormit ja vuoden 1960 ehdotus ääneneristysmääräyksiksi rajaavat toisen ryhmän. Tältä ajanjaksolta asuinkeuhkotalojen ääneneristysmittaustuloksia on saatavissa VTT:n arkistossa säilyneistä testausselostuksista.³² Seuraava ryhmä ajoittuu vuosille 1967–1976. Ajanjakson päätösvuonna 1976 astuivat voimaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 määräykset asuinhuoneistojen välisestä ääneneristävyydestä.³³ Tältä ajanjaksolta mitaustuloksia on saatavissa VTT:n testausselostuksista sekä kahdesta, vuosina 1977 ja 1979 julkaistusta tutkimusraportista.³⁴ 1970-luvun tutkimukset liittyivät vuonna 1970 julkaistun betonielementtirakenteisten asuinkeuhkotalojen rakentamistavan standardoimiseen BES-järjestelmän kehittämiseen ja laatutason seurantaan.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1 uudistettiin vuosina 1985 ja 1998.³⁵ Koska muutokset mittalukujen määrittelyssä vuonna 1985 eivät vaikuttaneet vaatimustasoon, neljänteen ryhmään sijoittuvat siten asuinkeuhkotalot, joiden ääneneristysmittaukset on tehty vuosina 1976–1999. Tältä ajanjaksolta käytettävissä on vuonna 1979 julkaistu tutkimusraportti.³⁶ Viidennen ryhmään sijoittuvat rakennukset, joiden rakennuslupa on haettu vuoden 1999 jälkeen. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1 uudistettiin vuonna 1998 ja sen määräykset astuivat voimaan vuoden 2000 alusta.³⁷ Tällöin ääneneristävyydelle asetetut vaatimukset muuttuivat. Tältä ajanjaksolta

Taulukko 1. Aineiston jaottelu ryhmiin sekä kunkin ajanjakson ajalta käytettävissä oleva aineisto ja mittaustulosten määrät

Ajanjakso	Aineisto (tutkimusraportin otsikko)	Ilmaääneneristys pystysuuntaan	Ilmaääneneristys vaakasuuntaan	Askelääneneristys pystysuuntaan
1955–1959	Ääneneristystutkimuksia Tapiolan asuinrakennuksissa (1955–1957) Betonikerrostalon ääneneristystä koskevia tutkimuksia (1959)	15 kpl	21 kpl	21 kpl
1960–1967	Testausselostukset VTT:n arkistosta (1961–1967)	–	19 kpl	66 kpl
1967–1976	Testausselostukset VTT:n arkistosta (1967–1968) Ääneneristys kerrostaloissa (1977) Asukas-BES: Kerrostalojen ääneneristys (1979)	22 kpl	6 kpl	33 kpl
1976–1999	Ääneneristys kerrostaloissa (1977) Asukas-BES: Kerrostalojen ääneneristys (1977)	46 kpl	22 kpl	20 kpl
2000–2008	Effects on new sound insulation requirements on concrete floors in Finland (2003) Betonirakenteisten kerrostalojen ääniolot (2005) Lausunto koskien rakennuksen ääneneristävyttä ja sen mittausta ja tulkintaa (2008)	38 kpl	14 kpl	127 kpl

on käytettävissä kolme tutkimusraporttia, joissa on esitetty tuloksia asuinhuoneistojen ilma- ja askelääneneristävyiden mittaustuloksista.³⁸ Näissä raporteissa on selvitetty erityisesti sitä, millä tavoin vuoden 2000 alusta voimaan tulleet määräykset ovat vaikuttaneet asuinkerrostalojen ääneneristykseen ja kuinka vaatimustaso on toteutunut.

Aineiston jaottelu viiteen ryhmään ääneneristysmääräysten ja -suositusten perusteella on esitetty kootusti taulukossa 1. Taulukossa on myös esitetty tutkimusraportit ja muut lähteet, jotka sijoittuvat kullekin ajanjaksolle. Lisäksi taulukkoon on koottu tiedot käytettävissä olevien ääneneristysmittausten määrästä kullakin ajanjaksolla. Eniten mittaustuloksia on askelääneneristyksestä, joskin verrattuna 1950-luvulta 2000-luvulle valmistuneeseen rakennuskantaan mittausten määrä on pieni. Käytettävissä olevat tutkimusraportit ja testausselostukset muodostavat kuitenkin ainoan julkisesti saatavilla olevan aineiston, jonka perusteella tällainen selvitys on mahdollista tehdä.³⁹ Toisaalta kansainvälisesti vertaillen käytettävissä olevien mittaustulosten määrää voi pitää suurempana, sillä esimerkiksi Italiassa vastaavia

julkisissa tutkimusraporteissa esitetyt mittaustulokset on ajalta ennen vuotta 1990 käytettävissä 18 kpl.⁴⁰

ÄÄNENERISTYSMÄÄRÄYSTEN KEHITTYMINEN

Säädöstasoisia, teknisinä mittalukuina annettuja ääneneristysmääräyksiä Suomessa on ollut vuodesta 1976, kun Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 määräykset astuivat voimaan.⁴¹ Käytännössä säädösten asemassa olivat kuitenkin jo vuoden 1967 ääneneristysnormit, jotka olivat saaneet yleisen hyväksynnän.⁴² Tätä ennen käytössä olivat VTT:n vuonna 1955 antamat suositukset ja ehdotus ääneneristysmääräyksiksi vuodelta 1960. Koska mittalukujen määrittely on muuttunut, määräyksissä ja suosituksissa esitetyt raja-arvot ilma- ja askelääneneristävydelle on muunnettu vastaamaan nykyisiä menetelmiä (taulukko 2).

Vuoden 1955 suositukseen verrattuna nykyiset ääneneristysmääräykset edellyttävät asuinhuoneistojen välille 4 dB parempaa ilmaääneneristävyttä ja 9 dB parempaa as-

Taulukko 2. Nykyisin käytössä olevia mittalukujen laskentamenetelmiä vastaaviksi muunnetut vaatimukset ja suositukset asuinhuoneistojen väliselle ääneneristävyydelle vuosina 1955–2000. Taulukossa on esitetty vuosi, jolloin määräykset astuivat voimaan.

Vuosi	Ilmaääneneristysluku vaakasuunnassa R'_{w}	Ilmaääneneristysluku pystysuunnassa R'_{w}	Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$
1955	51 dB	51 dB	62 dB
1960	52 dB	52 dB	56 dB
1967	52 dB	53 dB	58 dB
1971	52 dB	53 dB	58 dB
1976	52 dB	53 dB	58 dB
1985	52 dB	53 dB	58 dB
2000	55 dB	55 dB	53 dB

kelääneneristävyyttä. Muutokset vuodesta 1955 eivät ole tapahtuneet suoraviivaisesti siten, että vaatimukset olisivat kasvaneet määräysten uudistusten yhteydessä. Sitä vastoin vuosina 1960–1967 ehdotus ääneneristysmääräyksiksi edellytti 2 dB alhaisempaa eli parempaa askeläänitasolukua kuin vuoden 1967 ääneneristysnormit. Vuosina 1967–1999 asuinkerrostalohuoneistojen väliselle ääneneristykselle asetetuissa vaatimuksissa ei tapahtunut muutoksia. Vuoden 2000 alusta voimaan tulleiden määräysten myötä ilmaääneneristävyydelle asetetut vaatimukset kasvoivat 2–3 dB ja askelääneneristävyydelle asetetut vaatimukset 5 dB.

ASUINKERROSTALOJEN RAKENTEIDEN MUUTOKSET

Ääneneristysvaatimusten muutokset määräyksissä ja suosituksissa vaikuttavat asuinkerrostalojen rakenteisiin ja esimerkiksi vuoden 1967 ääneneristysnormeissa esitetiin rakennesuosituksia, samoin Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeosissa 1970- ja 1980-luvuilla.⁴³ Ohjeissa esitetyt rakenteet eivät välttämättä täysin vastaa käytännön rakentamisessa käytettyjä rakenneratkaisuja. Siksi tässä tutkimuksessa on

selvitetty rakenteiden kehittymistä samoista tutkimusraporteista kuin ääneneristävyyden kehittymistä.

Asuinhuoneistojen välisten ääntä eristävien rakenteiden kehittymisen tutkimiseksi on valittava jokin suure, jonka perusteella rakenteet ovat vertailukelpoisia. Valtaosa tutkimuksen käsittävällä ajanjaksolla käytetyistä ja tutkimusraporteissa esitetyistä rakenteista oli betonirakenteisia: väliseinä-rakenteista betonin osuus oli 76 % ja välipohjista 91 %. Betonirakenteen ääneneristävyys on melko suoraan verrannollinen rakenteen massaan, joten tässä tutkimuksessa vertailusuureiksi on valittu rakenteiden paksuus (mm) ja pintamassa (kg/m^2). Muita rakenteita kuin betonirakenteita ei niiden pienemmän määrän johdosta tarkastella. Betonirakenteista tarkastellaan välipohjia, joissa on kantavan rakenteen päälle eristekerroksen varaan tehty kelluva lattia, ontelolaatastoja ja paikalla valettuja laattoja. Välipohjien tiedot on esitetyt askelääneneristysmittausten ja väliseinien tiedot ilmaääneneristysmittausten perusteella.

Asuinkerrostalohuoneistoja erottavien rakenteiden paksuuksien ja pintamassojen keskiarvot on esitetty taulukossa 3. Taulukon mukaan huoneistoja erottavien väliseinien paksuus on 1950-luvulta 2000-luvulle

Taulukko 3. Asuinkerrostalohuoneistoja erottavien rakenteiden paksuuden ja massan kasvu vuosina 1955–2008. Kelluvista lattioista on esitetty kantavan rakenteen ja kelluvan rakenteen paksuudet sekä kantavan rakenteen pintamassa.

Ajanjakso	Väliseinät		Paikalla valetut laatat		Ontelolaatat		Kelluvat lattiat	
	mm	kg/m ²	mm	kg/m ²	mm	kg/m ²	mm	kg/m ²
1955–1959	167	420	-	-	-	-	150+85	375
1960–1967	160	400	150	380	-	-	159+50	400
1967–1976	180	450	181	450	-	-	163+53	410
1976–1999	176	440	213	530	265	380	160+60	400
2000–2008	187	470	300	750	370	510	-	-

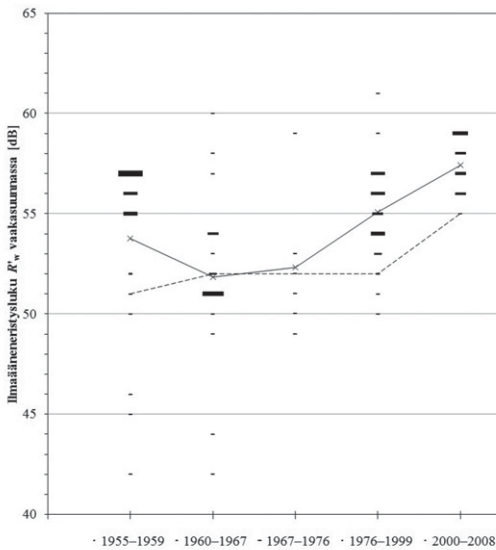
kasvanut 20 mm ja pinta-massa 50 kg/m². Välipohjien mitoissa tapahtuneet muutokset ovat suurempia, koska askelääneneristysvaatimukset ovat muuttuneet enemmän kuin ilmastoineristysvaatimukset. Paikalla valettujen betonivälipohjien paksuus ja massa ovat 1960-luvulta 2000-luvulle kaksinkertaistuneet. Laskennallisesti tämä tarkoittaisi noin 6 dB kasvua ääneneristävyydessä, jos äänen oletettaisiin kulkevan huoneistosta toiseen vain huoneistoja erottavan välipohjan kautta. Tämä vastaa suunnilleen muutosta, joka asuinhuoneistoja koskevissa ääneneristysmääräyksissä on vastaavana aikana tapahtunut (taulukko 2). Ontelolaatastoja alettiin käyttää asuinkerrostalojen välipohjarakenteina 1970-luvun alussa. Ontelolaatastojen massa on kasvanut 1970-luvun lopulta 2000-luvulle tultaessa 130 kg/m².

ASUINKERROSTALOHUONEISTOJEN ÄÄNENERISTÄVYYDEN KEHITYMINEN

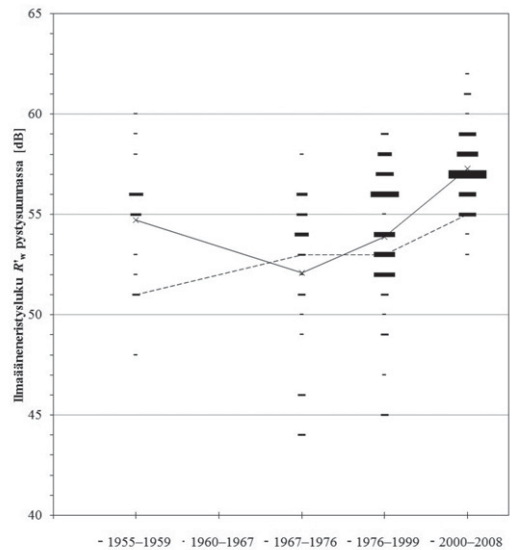
Kaavioissa 1–3 on esitetty tutkimusraporteissa kuvattujen, vaaka- ja pystysuuntaan asuinhuoneistojen välillä ilmastoineristysmittausten ja pystysuuntaan tehtyjen askelääneneristysmittausten tulokset muunnettuna vastaamaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 vuonna 1998 määriteltäviä mittalukuja. Mittaustu-

lostojen jakauma on esitetty siten, että pienin palkki kuvaa tiettyä mittaluvun arvoa vastaavaa yhtä mittaustulosta ja mittaustulosten määrän kasvaessa palkin koko kasvaa. Yhtenäisellä jatkuvalla viivalla on esitetty mittaustulosten keskiarvot eri aikakausina. Kunkin aikakauden vaatimukset suositusten ja määräysten mukaan on esitetty kaavioissa katkoviivalla. Taulukoissa 4–6 on lisäksi esitetty eri ajanjaksoilla vaatimus- tai suositusarvot täyttävien mittaustulosten osuudet sekä mittaustulosten keskiarvot ja keskihajonnat.

Kaavion 1 perusteella ilmastoineristävyys asuinhuoneistojen välillä vaaka-suuntaan on kasvanut 1950-luvun lopulta, mutta kehitys ei ole ollut tasaista. Vuosina 1960–1976 vaaka-suuntaan mitatut ilmastoineristysluvut olivat noin 2 dB pienempiä kuin vuosina 1955–1959, jolloin ne olivat keskimäärin hieman alle 54 dB. Vuosina 1960–1976 vain puolet mitatuista rakenteista täytti vaatimukset, kun 1950-luvulla vastaava osuus oli ollut noin 80 % (taulukko 4). Tämä selittyy osittain sillä, että taulukon 3 mukaan huoneistojen väliset betoniseinät olivat 1950-luvulla paksumpia. Toisaalta 1960-luvulla saatujen tulosten jäämistä suositusarvojen heikommalle puolelle voi selittää myös elementtirakentamisen yleistyminen 1960-luvulla, joskin vuonna 1965 julkaistussa tutkimuksessa elementtirakenteisten kerrostalojen ääneneristyksestä to-



Kaavio 1. Asuinhuoneistojen välillä vaakasuuntaan tehtyjen ilmastueneristysmittausten tulokset muunnettuna vastaamaan ilmastueneristyslukua R'_w . Kunkin aikakauden tulosten keskiarvot on yhdistetty yhtenäisellä viivalla ja vaatimukset katkoviivalla.



Kaavio 2. Asuinhuoneistojen välillä pystysuuntaan tehtyjen ilmastueneristysmittausten tulokset muunnettuna vastaamaan ilmastueneristyslukua R'_w . Kunkin aikakauden tulosten keskiarvot on yhdistetty yhtenäisellä viivalla ja vaatimukset katkoviivalla.

dettiin, että elementtitaloissa vuoden 1960 suositukset asuinhuoneistojen välisestä ääneneristävyydestä toteutuivat hieman paremmin kuin muulla tavoin rakennetuissa asuinkeuhkotaloissa. Molemmissa ryhmissä kuitenkin oli runsaasti puutteita, sillä suositukset täyttäneiden ilmastueneristävyyksmittaustulosten osuus oli kaikkiaan 77 %.⁴⁴

Vuosina 1976–1999 asuinhuoneistojen välillä vaakasuuntaan mitattu ilmastueneristävyys nousi aikaisemmasta tasosta niin, että ilmastueneristysluku oli keskimäärin noin 55 dB. Myös suurin osa mittaustuloksista täytti rakentamismääräyskokoelman vaatimukset. 2000-luvulla kaikki tämän tutkimuksen lähteinä olleissa tutkimusraporteissa esitetyt mittaustulokset ilmastueneristävyydestä vaakasuunnassa huoneistojen välillä ovat täyttäneet rakentamismääräyskokoelman määräykset ilmastueneristysluvun keskiarvon ollessa yli 57 dB.

Asuinhuoneistojen välinen ilmastueneristävyys pystysuunnassa on kaavion 2 ja taulukon 5 mukaan ollut vuosina 1967–1999 heikompi kuin vuosina 1955–1959 ja 2000–2008. Vuosina 1955–1959 tutkimuksissa pystysuuntaan tehtyjen mittausten tuloksista määritetyt ilmastueneristysluvut olivat keskimäärin hieman alle 55 dB ja vaatimukset täyttävien rakenteiden osuus kaikista tutkituista rakenteista oli yli 90 %. Sen sijaan vuosina 1967–1976 ääneneristystutkimuksissa esitetyistä tuloksista alle kaksi kolmasosaa täytti vaatimukset ja niille saadut ilmastueneristysluvut olivat lähes 3 dB pienempiä kuin aikaisemmin. Vuosina 1976–1999, jolloin ontelolaattojen käyttäminen välipohjarakenteissa yleistyi, vaatimusten täyttävien osuus oli samaa luokkaa kuin vuosina 1967–1976, vaikka tulosten keskiarvo oli noin 2 dB näiden vuosien keskimääräistä tasoa suurempi. 2000-luvulla

Taulukko 4. Asuinhuoneistojen välillä vaakasuntaan tehtyjen ilmasteneristysmittausten tulosten lukumäärät, keskiarvot ja keskihajonnat sekä vaatimukset ja vaatimukset täyttävien ilmasteneristyslukujen osuudet aikakausittain.

Aikakausi	Tulosten määrä	Keskiarvo	Keskihajonta	Vaatus	Vaatimukset täyttävien osuus
1955–1959	21 kpl	53,8 dB	4,4 dB	51 dB	81,0 %
1960–1967	19 kpl	51,8 dB	4,1 dB	52 dB	47,4 %
1967–1976	6 kpl	52,3 dB	3,3 dB	52 dB	50,0 %
1976–1999	22 kpl	55,1 dB	2,5 dB	52 dB	91,0 %
2000–2008	14 kpl	57,4 dB	1,3 dB	55 dB	100,0 %

tehdyissä tutkimuksissa lähes 95 % mittauksista täyttivät vaatimukset tulosten keskiarvon ollessa 57 dB eli 2 dB enemmän kuin rakentamismääräyskokoelman määräykset ovat edellyttäneet. 2000-luvulla välipohjien paksuudet ja massat ovatkin olleet huomattavasti suurempia kuin aikaisemmin.

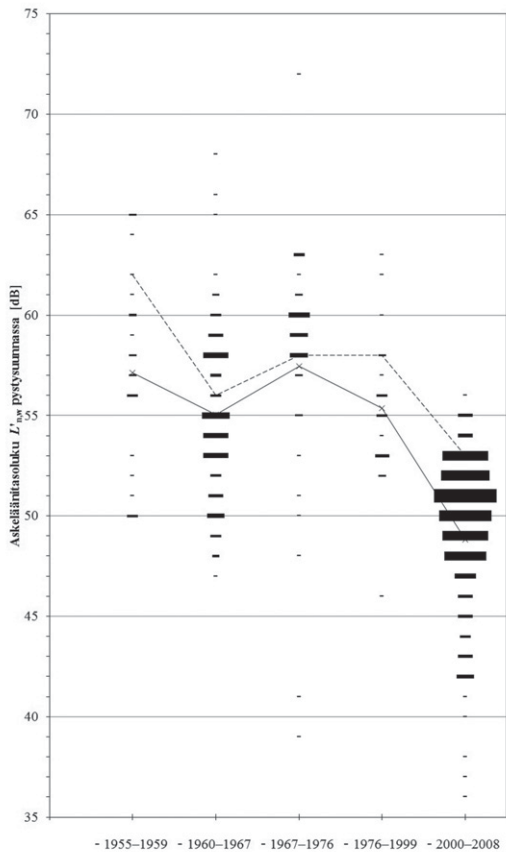
Askelääneneristävyyden päällekkäisten asuinhuoneistojen välillä mitattaessa ylhäältä alas on 2000-luvulla parantunut huomattavasti aikaisempien vuosikymmenten tasosta (kaavio 3). Vuosina 1955–1959 ja 1967–1976 mitatut askeläänitasoluvut olivat noin 57 dB, mutta vastaavasti vaatimusten täyttävien rakenteiden osuudet kaikista tutkituista rakenteista olivat 85 % ja 45 % (taulukko 6). Vaatimusten täyttymisen erot johtuvat siitä, että vuosina 1967–1976 suurin sallittu askeläänitasoluku oli 4 dB aiempaa pienempi. Myös vuosina 1960–1967 ja 1976–1999 tut-

kimuksissa mitatut askeläänitasoluvut ovat olleet samansuuruiset, noin 55 dB. Vuosina 1960–1967 tutkituista rakenteista noin 65 % täytti vaatimukset, kun taas vuosina 1976–1999 osuus oli vastaavasti noin 85 %, koska vuosina 1976–1999 vaatimus suurimmasta sallitusta askeläänitasoluvusta oli noin 2 dB lievempi. Vuosina 2000–2008 tutkimuksissa mitattujen välipohjien askeläänitasoluvut ovat keskimäärin olleet alle 49 dB. Tällöin tutkituista rakenteista noin 93 % on täyttänyt vaatimukset.

Kaikkien mittaustulosten keskihajonta on taulukoiden 4–6 mukaan vuosikymmenien aikana pienentynyt, mikä viittaa siihen, että rakennusvirheitä tapahtuu asuinkeuhkalojen rakennusvaiheessa vähemmän kuin aiemmin. Myös suunnitteluratkaisut on vakioitu, mikä vähentäneet suunnitteluvirheiden määrää. Pienintä hajonta on

Taulukko 5. Asuinhuoneistojen välillä pystysuntaan tehtyjen ilmasteneristysmittausten tulosten lukumäärät, keskiarvot ja keskihajonnat sekä vaatimukset ja vaatimukset täyttävien ilmasteneristyslukujen osuudet aikakausittain.

Aikakausi	Tulosten määrä	Keskiarvo	Keskihajonta	Vaatus	Vaatimukset täyttävien osuus
1955–1959	15 kpl	54,7 dB	3,1 dB	51 dB	93,3 %
1967–1976	22 kpl	52,1 dB	4,0 dB	53 dB	63,6 %
1976–1999	46 kpl	53,9 dB	3,4 dB	53 dB	69,6 %
2000–2008	38 kpl	57,3 dB	1,9 dB	55 dB	94,7 %



Kaavio 3. Asuinhuoneistojen välillä pystysuuntaan ylhäältä alas tehtyjen askelääneneristysmittausten tulokset muunnettuna vastaamaan askeläänitasolukua $L'_{n,w}$. Kunkin aikakauden tulosten keskiarvot on yhdistetty yhtenäisellä viivalla ja vaatimukset katkoviivalla.

edellyttämää paremman askelääneneristävyyden, mikä kasvattaa mittaustulosten keskihajontaa.

ASUKASTYYTYVÄISYDEN KEHITTYMINEN

Taulukossa 1 on esitetty tutkimusraportit, joista on saatu muunnettavia mittaustuloksia ääneneristävyyden kehittymisen arvioimiseksi. Näistä raporteista kolmessa on esitetty myös tuloksia asukkaille tehdystä, asuinhuoneistojen ääneneristävyyttä koskevista kysely- ja haastattelututkimuksista.⁴⁵ Näiden lisäksi kysely- ja haastattelututkimusten tuloksia on saatavissa vuonna 1955 julkaistusta *Kerrostalojen ääneneristystutkimuksesta* ja vuonna 1965 julkaistusta raportista *Uusien ja erikoisesti elementtirakenteisten asuinrakennusten ääneneristys*.⁴⁶ Kyselyiden ja haastatteluiden avulla tutkijat pyrkivät saamaan tietoa siitä, kuinka suuri osa asukkaista oli tyytyväinen huoneistonsa ääneneristykseen ja mitä ääniä asukkaat pitivät häiritsevinä. Tämän artikkelin kannalta kiinnostavaa on, kuinka ääneneristykseen tyytymättömien ja tyytyväisten osuus on muuttunut. Koska kyselytutkimuksissa vastausvaihtoehdot ovat muuttuneet, on vastausten vertailemiseksi tehty joitakin tulkintoja, joiden avulla vastaukset on jaoteltu kahteen osaan, tyytyväisten ja tyytymättömien asukkaiden osuuksiin.

Vuonna 1955 julkaistun *Kerrostalojen ääneneristystutkimuksen* yhteydessä toteutetulla haastattelututkimuksella pyrittiin saamaan ääneneristävyyttä koskevia suosituksia var-

ollut vuosina 1976–2008, jolloin Suomen rakentamismääräyskokoelma on säännellyt asuinrakennusten ääniolosuhteita. Askeläänitasolukujen hajonta on 2000-luvulla ollut suurempaa kuin edellisen ajanjakson aikana. Keskihajonnan kasvu ei kuitenkaan tarkoita sitä, että vaatimukset eivät täytyisi, koska mitattujen askeläänitasolukujen keskiarvo on ollut 4 dB pienempi kuin suurin sallittu askeläänitasoluku. Rakennus- ja suunnitteluvirheet eivät siten ole lisääntyneet, vaan kysymys on siitä, että viime vuosikymmenen aikana on tullut käyttöön enemmän rakenneratkaisuja, joilla askelääneneristysvaatimukset voidaan täyttää. Osa näistä rakenteista tuottaa huomattavasti määräysten

Taulukko 6. Asuinhuoneistojen välillä pystysuuntaan ylhäältä alas tehtyjen askelääneneristysmittausten tulosten lukumäärät, keskiarvot ja keskihajonnat sekä vaatimukset ja vaatimukset täyttävien askeläänitasolukujen osuudet aikakausittain.

Aikakausi	Tulosten määrä	Keskiarvo	Keskihajonta	Vaatus	Vaatimukset täyttävien osuus
1955–1959	21 kpl	57,1 dB	4,7 dB	62 dB	85,7 %
1960–1967	66 kpl	55,0 dB	4,3 dB	56 dB	65,2 %
1967–1976	33 kpl	57,5 dB	6,1 dB	58 dB	45,5 %
1976–1999	20 kpl	55,4 dB	3,7 dB	58 dB	85,0 %
2000–2008	127 kpl	48,8 dB	3,9 dB	53 dB	92,9 %

ten tietoa siitä, mikä olisi riittävä ääneneristävyyden asuinhuoneistojen välille. Tutkimuksessa ei ilmoitettu ääneneristävyyden tyytyväisten asukkaiden osuuksia, mutta yleisesti väliseinien ääneneristykseen oltiin tyytyväisiä. Sitä vastoin askelääneneristävyyden voitiin todeta olevan riittävä vain silloin, kun 1950-luvulla yleisesti käytetyn kelluvan lattian eristekerroksena oli käytetty mineraalivillaa tai korkkia. Tutkimuksen perusteella tutkijat päätyivät siihen, että kotimaisissa ääneneristysuosituksissa vaatimus ilmajääneneristävyydelle voidaan asettaa vastaamaan Saksan DIN-standardia, mutta vaatimus askelääneneristävyydelle asetettiin 6 dB Saksan standardin vaatimusta paremmaksi.⁴⁷

Valtion teknillinen tutkimuslaitos julkaisi vuonna 1959 *Betonikerrostalojen ääneneristystä koskevia tutkimuksia*.⁴⁸ Tutkimusten yhteydessä oli tehty haastattelututkimus, jonka mukaan asuinhuoneistoissa asukkaat pitivät häiritsevimpinä asumisen ääninä muista asuinhuoneistoista kuuluvaa musiikkia sekä yläpuolelta kuuluvia askelääniä. Kyselylomake oli laadittu siten, että haastateltujen piti arvioida asuntonsa ääneneristys joko erittäin hyväksi, hyväksi tai tyydyttäväksi. Kaikkiaan 26 % vastanneista piti asuntonsa ääneneristystä vain tyydyttävänä. Tässä artikkelissa tämän vaihtoehdon on tulkittu vastaavan tyytymättömien osuutta vastanneista.

Vuonna 1965 julkaistussa tutkimuksessa *Uusien ja erikoisesti elementtirakenteisten asuinrakennusten ääneneristys* asukkaat arvostelivat asuntonsa ääneneristykseen joko erittäin hyväksi, hyväksi, tyydyttäväksi tai huonoksi.⁴⁹ Tässä artikkelissa on oletettu erittäin hyväksi tai hyväksi arvostelleiden osuuden vastaavan tyytyväisten asukkaiden osuutta. Täten tehdyn haastattelututkimuksen mukaan noin 60 % vastaajista oli tyytyväisiä asuntonsa ääneneristykseen. Tutkimukseen vastasi yhteensä 262 asukasta.

1970-luvulla toteutettuihin kerrostalojen ääneneristystutkimuksiin liittyen tehtiin Suomessa toistaiseksi laajin asuinhuoneistojen ääneneristystä koskeva kyselytutkimus.⁵⁰ Kyselyyn vastasi yhteensä 1182 perhettä. Tutkimuksen mukaan asukkaita häiritsevimmät asumismelulähteet muista huoneistoista olivat askeläänet, huonekalujen siirtelystä johtuva melu ja musiikki. Toisaalta lasten äänet ja kylpyhuoneesta kantautuva melu olivat helpommin kuultavissa. Tutkimuksen perusteella kolmasosa asukkaista koki asuinhuoneiston sisäisen ääneneristykseen huonoksi. Tämän osuuden on tässä artikkelissa oletettu vastaavan ääneneristykseen tyytymättömien osuutta.

Betonirakenteisten kerrostalojen äänieristys koskevassa vuonna 2005 julkaistussa tutkimuksessa haastattelututkimukseen vastasi yhteensä 118 asukasta. Häiritsevimpinä asumismelun tyyppeinä vastanneet asukkaat

pitivät naapurista kuultavia kopinoita, vie-
reisistä huoneistoista kuultavissa olevaa pu-
hetta ja musiikkia, lemmikkieläinten ääniä ja
askelääniä. Haastattelututkimukseen vastaa-
jista 93 % ilmoitti olevansa joko erittäin tyy-
tyväisiä tai tyytyväisiä ja 7 % joko tyytymät-
tömiä tai erittäin tyytymättömiä asuntonsa
äänioloihin. Äänioloihin tyytymättömien ja
erittäin tyytymättömien osuuden on oletet-
tu vastaavan ääneneristykseen tyytymättö-
mien osuutta.⁵¹

Ääneneristystutkimuksissa tehtyjen
haastattelututkimusten mukaan asuinhuo-
neistonsa äänioloihin tyytyväisten ja tyyty-
mättömien osuudet ja vastaajien määrät on
esitetty taulukossa 7. Aukkaiden tyytyväi-
syys asuntonsa ääneneristykseen voidaan
taulukon perusteella arvioida kasvaneen.
Toisaalta osassa tutkimuksista vastaajien
määrä on ollut varsin pieni eikä tutkimus-
tulos siten välttämättä ole kovin hyvin yleis-
tettävissä.

ASUINKERROSTALOJEN ÄÄNEN- ERISTÄVYYS SUOMESSA VERRATTUNA MUIHIN MAIHIN

Asuinrakennusten ääneneristävyttä kuvaavien
mittalukujen yhtenäistämiseen kansal-
lisissa rakentamismääräyksissä ja äänene-
ristävyyden vaatimustason harmonisointiin
tähtäävän eurooppalaisen tutkimushank-
keen yhteydessä tutkijat ovat selvittäneet,

millaisia vaatimuksia Euroopan eri maissa
tällä hetkellä asetetaan.⁵² Eri maissa käy-
tettävät mittaluvut eivät kaikissa tilanteissa
ole vertailukelpoisia, mutta maat voidaan
karkealla tasolla jakaa ryhmiin ilma- ja aske-
lääneneristävyydelle asetettavien vaatimus-
ten mukaan.⁵³ Päälekkäisten huoneistojen
väliselle ilmääneneristysluvulle R'_w asetet-
tavien vähimmäisvaatimusten perusteella
maat jakautuivat vuonna 2011 seuraaviin
ryhmiin:

≥ 56 dB	Skotlanti
≥ 55 dB	Islanti, Itävalta, Liettua, Norja, Suomi, Tanska, Viro
≥ 54 dB	Belgia, Latvia, Saksa
≥ 53 dB	Alankomaat, Bulgaria, Ranska, Ruotsi, Tšekin tasavalta
≥ 52 dB	Irlanti, Kroatia, Serbia, Slovakia, Slovenia, Sveitsi
≥ 51 dB	Puola, Romania, Unkari
≥ 50 dB	Espanja, Italia., Portugali
≥ 45 dB	Englanti ja Wales

Ilmääneneristävyydelle asetettujen
vaatimusten perusteella Suomi kuuluu
maihin, joissa asuinhuoneistoille asetet-
tut vaatimukset ovat korkeimmat. Vain
Skotlannissa asetetaan tätä korkeammat
vaatimukset. Samantasoisia tai muutamaa
desibeliä alhaisempia vaatimuksia kuin Suo-
messä asetetaan asuinhuoneistoille muissa
Pohjoismaissa, Baltian maissa sekä Alan-
komaissa, Itävallassa ja Saksassa. Etelä- ja

Taulukko 7. Haastattelu- ja kyselytutkimuksissa kerrostaloasuntonsa ääneneristävyyteen tyytyväis-
ten ja tyytymättömien vastaajien osuudet ja vastausten määrät.

Vuosi	Vastausten määrä	Tyytyväisten osuus	Tyytymättömien osuus
1959	59 kpl	74 %	26 %
1965	262 kpl	60 %	40 %
1977	1182 kpl	67 %	33 %
2005	118 kpl	93 %	7 %

Itä-Euroopan maissa vaatimustaso on 3–5 dB alhaisempi. Ääripäät vaatimuksille ovat Iso-Britanniassa, jossa Skotlannin vaatimukset ovat ankarimmat ja Englannin ja Walesin lievimmät ja muuhun Eurooppaan verrattuna huomattavasti vaatimattomamat. Päällekkäisten huoneistojen väliselle askelääneneristävyydelle asetettavan suurimman sallittavan askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ perusteella Euroopan maat voidaan jakaa seuraavasti ryhmiin:

- ≤ 48 dB Itävalta
- ≤ 53 dB Bulgaria, Islanti, Liettua,
Norja, Saksa, Suomi, Sveitsi,
Tanska, Viro
- ≤ 54 dB Alankomaat, Latvia
- ≤ 55 dB Tšekin tasavalta, Unkari
- ≤ 56 dB Ruotsi, Skotlanti
- ≤ 58 dB Belgia, Puola, Ranska,
Slovakia, Slovenia
- ≤ 60 dB Kroatia, Portugali, Serbia
- ≤ 62 dB Englanti ja Wales, Irlanti
- ≤ 63 dB Italia
- ≤ 65 dB Espanja

Askelääneneristävyydelle asetetuissa vaatimuksissa on ankarimman ja lievimmän vaatimuksen välillä Euroopan maissa 17 dB ero. Itävallan vaatimus on 5 dB ankarampi kuin seuraavan ryhmän, johon kuuluu erityisesti Baltian maita ja Pohjoismaita mukaan luettuna Suomi. Etelä- ja Itä-Euroopan maissa vaatimukset askelääneneristävyydelle ovat huomattavastikin lievemmät. Monissa maissa askelääneneristävyydelle asetettu vaatimus on huomattavasti lievempi kuin ilmaääneneristävyydelle asetettu.

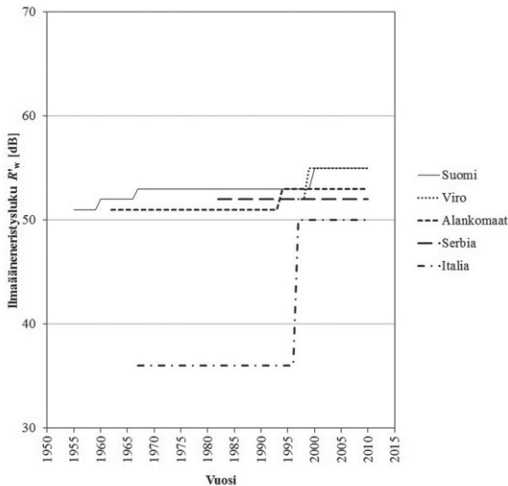
Monissa maissa asuinhuoneistojen ääneneristävyydestä julkaistiin standardi tai sille asetettiin vaatimuksia säädöksissä 1960-luvulla, kun ääneneristävyyden mittausten menetelmien koskevat kansainväliset ISO-standardit oli julkaistu.⁵⁴ Näin ollen on mahdollista vertailla ääneneristävyyden vaatimustasoa Suomessa muihin maihin,

joskaan ääneneristysvaatimusten kehityksestä ei ole kovin monessa maassa julkaistu. Tällaisia tietoja on saatavissa Alankomaista, Italiasta, Serbiasta ja Virosta.⁵⁵ Kaavioissa 4 ja 5 on esitetty rakentamismääräyksissä esitettyjen ääneneristysvaatimusten kehittyminen näissä maissa. Kaavioiden perusteella Italian vaatimukset ovat poikenneet huomattavasti muista maista, joissa ilmaääneneristävyydelle asetetut vaatimukset ovat poikenneet toisistaan enintään 3 dB ja askelääneneristävyydelle asetetut 1980-luvulla 2 dB ja 2000-luvulla 7 dB. Vertailtavina olevista maista Suomen ääneneristysvaatimukset ovat olleet jatkuvasti ankarimmat, mutta muissa maissa vaatimuksia on kiristetty niin, että ne ovat lähentyneet Suomen tasoa.

Taulukoissa 4–6 on esitetty ääneneristysvaatimusten toteutuminen Suomessa eri aikoina. Vastaavia tutkimustuloksia on saatavilla Alankomaista, Italiasta, Itävallasta, Serbiasta ja Virosta.⁵⁶ Muista maista käytävissä on tuloksia vain Englannista ja Walesista 1990-luvun lopulta, jolloin ääneneristysvaatimukset vierekkäisten huoneistojen välillä toteutuivat 75 % tapauksista ja päällekkäisten huoneistojen välillä 60 % tapauksista, vaikka määräysten vaatimukset ovat olleet huomattavasti muuta Eurooppaa lievemmat.⁵⁷ Rakennus- ja suunnitteluvirheidensä määrä on siten Englannissa ja Walesissa ollut huomattavan suuri. 1990-luvun lopulla käynnistettiin hanke rakennus- ja suunnitteluvirheidensä vähentämiseksi. Tavoitteena oli saada määräykset täyttävien rakennusten osuus kymmenessä vuodessa nousemaan lukuun 95 %. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi asetettiin määräyksissä vaatimus, jonka mukaan vuosittain valmistuneessa asuntokannassa ääneneristysarvot on mitattava joka kymmenenestä huoneistosta. Myös suunnittelun ja rakentamisen ohjeistusta parannettiin. Näillä keinoilla tavoite on vuosina 2009–2011 tehtyjen mittausten perusteella saavutettu.⁵⁸

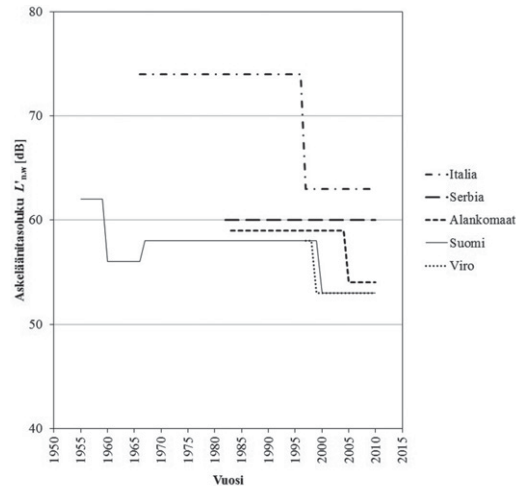
Suomessa ja monissa muissakaan mais-

Kaavio 4. Pällekkäisten asuinhuoneistojen väliselle pienimmälle sallitulle ilmaaneneristysluvulle R'_{w} asetetut rajat eri maissa.



sa asuinhuoneistojen ääneneristysmittaukset eivät ole pakollisia eikä niitä määräyksissä vaadita. Suomessa määräykset täyttävien mittaustulosten osuus on kasvanut 1960- ja 1970-lukujen noin 60 prosentista viime vuosikymmenen yli 90 prosenttiin. Alankomaissa askelääneneristysvaatimukset täyttävien rakennusten osuus on ollut 1990-luvun alusta saakka lähes 100 %, mutta ilmaaneneristysvaatimukset täyttävien rakennusten osuus oli vielä 1980-luvulla noin 60 %. Viimeisen vuosikymmenen aikana sekkin on ylittänyt 90 %. Myös Itävallassa ilma- ja askelääneneristysvaatimukset ovat toteutuneet 1990-luvulta saakka yli 90 % mittauksista. Italiassa vaatimukset olivat pitkään niin lievät, että ne toteutuivat lähes kaikissa huoneistoissa. Määräystason noustua 1990-luvun lopulla vaatimukset täyttävien mittaustulosten osuus on supistunut noin 50 prosenttiin. Virossa vaatimukset täyttävien mittaustulosten osuus vuosina 1990–2010 rakennetuissa taloissa on ollut 50–60 %. Serbiassa ilmaaneneristysvaatimukset ovat toteutuneet noin 77 % asuinhuoneistoista ja askelääneneristysvaatimukset noin

Kaavio 5. Asuinhuoneistojen väliselle suurimmalle sallitulle askeläänitasoluvulle $L'_{n,w}$ asetetut rajat eri maissa.



puolella. Kun otetaan huomioon määräystaso, toteutunut ääneneristys on näistä maista ollut jo pitkään paras Suomessa, Alankomaissa ja Itävallassa.

ASUINKERROSTALOJEN AKUSTINEN LAATU SUOMESSA

Suomessa ei ole ollut säädöstasoisia, mitalukuina annettuja ääneneristysmääräyksiä ennen kuin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 vaatimukset astuivat voimaan vuonna 1976, tosin käytännössä Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n vuonna 1967 julkaisemat ääneneristysnormit saavuttivat merkittävän aseman rakentamisen ohjauksessa. Määräysten kehitys alkoi 1950-luvulla, jolloin asuinrakennusten ääneneristystä koskevia säädöksiä oli olemassa vain sanallisessa muodossa.⁵⁹ Tällaisten säädösten velvoittavuus koettiin 1950-luvulla puutteelliseksi, koska eri osapuolet saattoivat muodostaa käsityksensä tyydyttäväksi määritellystä ääneneristyksestä subjektiivisesti, jolloin näkemykset yleensä myös poikkesivat toisistaan.⁶⁰

Ensimmäiset suositukset asuinkerrostalohuoneistojen väliselle ääneneristävyydelle julkaistiin vuonna 1955. Voimassa oleviin, vuonna 2000 voimaan tulleisiin rakentamismääräyksiin verrattuna vuoden 1955 suositukset määrittivät ilmaääneneristävyyden asuinhuoneistojen välillä 4 dB ja askelääneneristävyyden 9 dB alhaisemmaksi. 1950-luvulla asuinhuoneistojen välillä tehdyt ääneneristysmittaukset täyttivät suosituksissa annetut raja-arvot noin 80–90 % tapauksista. Seuraavalla vuosikymmenellä osuus laski 50–60 prosenttiin, mutta Suomen rakentamismääräyskokoelman julkaisemisen jälkeen osuus on kasvanut ja on nykyisin 93–100 %.

Vastavalmistuneen suomalaisen asuinkerrostalokannan toteutunut ääneneristävyys on 1950-luvulta 2000-luvulle parantunut kahdella tapaa: ääneneristävyydelle asetetut vaatimukset ovat määräyksissä kiristyneet, mikä on vaikuttanut toisaalta rakenteiden paksuksiin ja massaansa kasvattaen ääneneristävyyttä. Samaan aikaan mittaus tulosten välillä havaittava keskihajonta on vähentynyt, mistä voidaan päätellä suunnittelu- ja rakennusvirheiden vähentyneen. Kerrostaloasukkaiden tyytyväisyys asuntonsa ääneneristävyyteen on kasvanut noin 60–70 prosentin tasolta 1960- ja 1970-luvuilla yli 90 prosenttiin vuonna 2005.

Tällä hetkellä Suomi kuuluu Euroopan maiden joukossa siihen ryhmään maita, joissa asuinkerrostalohuoneistojen välille asetetut vaatimukset ovat korkeimmat. Suppeaan neljän maan muodostamaan vertailujoukkoon verrattuna Suomen määräykset ovat jo pitkään olleet vaativat. Samoin toteutunut ääneneristävyys on suomalaisissa kerrostaloissa ollut muihin maihin verrattuna pitkään korkealla tasolla, vaikka otetaan huomioon se, että Suomessa määräykset täyttäneiden mittaus tulosten osuus oli 1960- ja 1970-luvuilla kahden kolmasosan luokkaa.

Englannissa ja Walesissa onnistuttiin 2000-luvulla kymmenessä vuodessa nostamaan sikäläiset määräykset täyttävien asuinhuoneistojen osuus vuosittain valmistuvasta asuntokannasta lähelle 100 %. Merkittävimmäksi syyksi tälle kehitykselle on arvioitu olevan se, että ääneneristysmittaukset määrättiin pakolliseksi osassa asuntoja.⁶¹ Suomessa ääneneristysmittauksia ei ole määriteltä pakollisiksi missään säädöksessä. Tästä huolimatta vaatimukset täyttäneiden asuinkerrostalohuoneistojen osuus on 1970-luvulta kasvanut. Tämä johtuu ilmeisesti kahdesta seikasta: Suomen rakentamismääräyskokoelman määräysten julkaisemisesta vuonna 1976 ja rakennusteollisuuden omin voimin tapahtuneesta asuinkerrostalojen rakennuskaisujen vakioimisesta 1970-luvulla. Suomalaisen asuinkerrostalojen ääneneristävyyden kehittyminen vuosikymmenten kuluessa osoittaakin mielenkiintoisella tavalla, kuinka rakennustekniikan ja akustiikan asiantuntijoiden työ on vaikuttanut ihmisten jokapäiväisiin elinolosuhteisiin ja niiden paranemiseen.

Tekn. kand. Jesse Lietzén työskentelee tutkimusapulaisena ja tekn. lis. Mikko Kylliäinen yliassistenttina Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitoksella rakennusakustiikan tutkimusryhmässä.

Tämä artikkeli on vertaisarvioitu. *Tekniikan Waiheita* kiittää vertaisarvioijia arvokkaista kommentista.

¹ Tässä artikkelissa ei ole tarkoituksenmukaista selvittää seikkaperäisesti sitä, miten mittaluvut johdetaan mittaus tuloksista. Nämä seikat ovat luettavissa akustiikan oppikirjoista, esim. Kylliäinen & Hongisto 2007, s. 58–67 ja 115–119. Kansainväliset ISO-standardit mahdollistavat mittaukset myös taajuusalueella 50–5000 Hz.

² Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1998.

³ Kerrostalojen ääneneristystutkimus 1955, johdanto; Michelsen 1993, s. 157; Kylliäinen 2009a, s. 36.

⁴ Kerrostalojen ääneneristystutkimus 1955, s. 18.

⁵ Parjo 1959; Parjo 1965; Malinen 1977; Malinen & Sneek 1978; Sipari et al. 2005; Apilo et al. 2008.

⁶ Ehdotus ääneneristysmääräyksiä. 1960.

- ⁷ RIL 55–1967.
- ⁸ Ampuja 2007, s. 151; Kylliäinen 2009a, s. 29.
- ⁹ Kylliäinen 2009a, s. 41–42.
- ¹⁰ Asuinrakennusten ääneneristävytydessä on kyse myös siitä, kuinka hyvin säädöksissä esitetyt objektiiviset mittaluvut vastaavat asukkaiden subjektiivisia kokemuksia ääneneristävytydestä. Tämä seikka on kuitenkin artikkelin aihepiirin ulkopuolella. Tarkoituksena on siten tutkia asuinrakennuksissa toteutunutta ääneneristävyttä ja verrata sitä säädöksissä esitettyihin vaatimuksiin.
- ¹¹ Asuntosäätiö. 1957; Laakso 1960; BES – Tutkimus avoimen elementtijärjestelmän kehittämiseksi 1969; Halme 1979; Kylliäinen & Helimäki 2003.
- ¹² Kerrostalojen ääneneristystutkimus 1955; Ehdotus ääneneristysmääräyksiksi 1960; RIL 55-1967; RIL 55b-1971; Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1975; Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1985; Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1998.
- ¹³ Aineenkoetusselostukset 1961–1968, Akustiikan ja ilmatekniikan yksikkö, Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT.
- ¹⁴ Rasmussen & Rindel 2010, s. 179.
- ¹⁵ Rasmussen 2010, s. 382–383.
- ¹⁶ Beentjes 2011; Nannipieri & Secchi 2012; Mijić et al. 2012; Ründva 2012.
- ¹⁷ Schönback et al. 2006, s. 41–47.
- ¹⁸ Chrisler 1930, s. 175–180; Knudsen 1930, s. 129–140; Kaye 1936, s. 168–173; Hofbauer 1935, s. 109–111; Gastell 1936, s. 34–35; Laakso 1937, s. 270–276; Schönback et al. 2006, s. 41; Kylliäinen 2009b, s. 39–40.
- ¹⁹ Thompson 2002, s. 144–157; Männistö-Funk 2008; Bijsterveld 2008, s. 161–171.
- ²⁰ Bijsterveld 2008, s. 164; Kylliäinen 2009a, s. 34.
- ²¹ Sabine 1932, 232–244.
- ²² ISO R 717-1968; Kylliäinen 2009a, s. 39–41.
- ²³ Kylliäinen 2009a, s. 29 ja 39–40; Lietzén 2011, s. 10–18 ja 38–56.
- ²⁴ Kragh 2003, s. 95–100. Esim. Ampujan väitöskirjassa (2007, s. 151) on lueteltu viime vuosikymmenten rakentamismääräyksissä esitetyt vaatimukset asuinhuoneistojen väliselle ääneneristävyydelle, mutta tulkintaa siitä, mitä mittaluvut tosiasiallisesti tarkoittavat ja mitkä ovat niiden erot, ei ole tehty.
- ²⁵ Lietzén 2011, s. 51–56.
- ²⁶ Kylliäinen & Keronen 1999, s. 16–18; Lietzén 2011, s. 47–51.
- ²⁷ Mittaustulosten muuntamisen teknisiä yksityiskohtia ei ole tarpeen käsitellä yksityiskohtaisesti tässä artikkelissa. Muuntomenetelmät ja perustelut niille on esitetty tarkemmin Lietzénin kandidaatintyössä (2011), s. 23–25 ja 38–58.
- ²⁸ Nannipieri & Secchi 2012, s. 100 ja 108–111.
- ²⁹ Lietzén 2011, s. 17–18.
- ³⁰ Asuntosäätiö 1957; Laakso 1960. Vuonna 1960 T. K. Laakso laski vuonna 1957 julkaistut tulokset uudelleen vuoden 1960 ääneneristysnormiehdotuksen mukaisesti; Parjo 1959.
- ³¹ Kylliäinen 2009a, s. 39–41.
- ³² Aineenkoetusselostukset 1961–1967, Akustiikan ja ilmatekniikan yksikkö, Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT.
- ³³ Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1975.
- ³⁴ Aineenkoetusselostukset 1967–1968, Akustiikan ja ilmatekniikan yksikkö, Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT; Malinen 1977; Halme 1979.
- ³⁵ Suomen rakentamismääräyskokoelman, osa C1-1985; Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1998.
- ³⁶ Halme 1979.
- ³⁷ Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1998.
- ³⁸ Kylliäinen & Helimäki 2003; Sipari et al. 2005; Apilo et al. 2008.
- ³⁹ Myös yksityisillä suunnittelu- ja konsulttitoimistoilla on ääneneristysmittausten tuloksia, joillakin 1970-luvulta saakka, mutta nämä eivät ole muiden kuin yritysten itsensä käytettävissä.
- ⁴⁰ Nannipieri & Secchi 2012, s. 101.
- ⁴¹ Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1975.
- ⁴² Ampuja 2007, s. 151; Kylliäinen 2009a, s. 29.
- ⁴³ RIL 55-1967; Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C5-1978; Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C5-1985.
- ⁴⁴ Parjo 1965.
- ⁴⁵ Parjo 1959; Malinen & Sneck 1978; Sipari et al. 2005.
- ⁴⁶ Kerrostalojen ääneneristystutkimus 1955; Parjo 1965.
- ⁴⁷ Kerrostalojen ääneneristystutkimus 1955, s. 18.
- ⁴⁸ Parjo 1959.
- ⁴⁹ Parjo 1965.
- ⁵⁰ Malinen & Sneck 1978.
- ⁵¹ Sipari et al. 2005.
- ⁵² Rasmussen 2010, s. 377; Rasmussen 2011, s. 1795.
- ⁵³ Jaottelu on tehty ilmaääneneristyslukujen $R'w$ ja askeläänitasolukujen $L'_{n,w}$ mukaan. Osa maista käyttää hieman eri tavalla määriteltyjä mittalukuja, jotka vastaavat ilmaääneneristyslukuja ja askeläänitasolukuja, kun huoneen tilavuus on noin 30 m³. Rasmussenin artikkeleissa (2010, s. 377 ja 2011, s. 1795) esitetyt mittaluvut on muunnettu vastaamaan tällaista huonetta. Kaikista maista tietoa ei ole käytettävissä. Alankomaiden mittaluvut poikkeavat muista Euroopan maista, mutta Bentjesin artikkelissa (2011, s. 1351) on esitetty niiden vastaavuudet ilmaääneneristysluvun ja askeläänitasoluvun kanssa.

Iso-Britannia on jaettu osiin, koska Skotlannissa on erilaiset vaatimukset kuin Englannissa ja Walesissa. Serbiassa on noudatettu entisen Jugoslavian määräyksiä vuodelta 1982. Ruotsissa määräykset koskevat ilma- ja askelääneneristävyyttä alle 100 Hz taajuuksilla, joten Ruotsin vaatimustaso ei ole kaikissa tapauksissa suoraan vertailtavissa muiden maiden kanssa.

⁵⁴ Esim. Kylliäinen 2009a, s. 39–41; Schönback et al. 2006, s. 41. Itävallassa määräykset annettiin jo vuonna 1936, mutta näin varhaisten mittalukujen muuntaminen nykyään käytössä olevia vastaaviksi ei ole mahdollista.

⁵⁵ Beentjes 2011, s. 1351; Nannipieri & Secchi 2012, s. 100; Mijić et al. 2012, s. 1254; Ründva 2012, s. 1243. Ennen vuotta 1997 Virossa noudatettiin Neuvostoliiton aikaisia määräyksiä, joista ei ole tätä artikkelia kirjoitettaessa ollut saatavilla tietoa. Italiassa määräykset koskivat vain vuokra-asuntoja. Alankomaisissa käytössä ollut askelääneneristävyyden mittaluku ei ennen vuotta 1983 ole muunnettavissa vastaamaan askeläänitasolukua $L'_{n,w}$.

⁵⁶ Beentjes 2011, s. 1351; Nannipieri & Secchi 2012, s. 111–115; Schönback et al. 2006, s. 41–47; Mijić et al. 2012, s. 1256–1257; Ründva 2012, s. 1245–1246.

⁵⁷ Grimwood 2012, s. 1196.

⁵⁸ Grimwood 2012, s. 1197–1998.

⁵⁹ Kylliäinen & Hongisto 2007, s. 23.

⁶⁰ Kerrostalojen ääneneristystutkimus 1955, johdanto.

⁶¹ Grimwood 2012, s. 1200.

LÄHTEET:

Arkistolähteet

Valtion teknillinen tutkimuslaitos (VTT)
Akustiikan ja ilmatekniikan yksikkö
Aineenkoetusselostukset 1961–1968

Painetut lähteet

APILO, L., NYKÄNEN, H. & SIPARI, P. 2008. Lausunto koskien rakennuksen ääneneristävyyttä ja sen mittausta ja tulkintaa. Espoo, VTT, Tutkimusselostus VTT-S-03879-08.

ASUNTOSÄÄTIÖ. 1957. Vuosina 1955–1957 Tapiolan uudisrakennuksissa suoritettujen ääneneristystutkimusten tulokset. Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT, rakennusteknillinen laboratorio.

BES – Tutkimus avoimen elementtjärjestelmän kehittämiseksi. 1969. Helsinki, Suomen betoniteollisuuden keskusjärjestö.

CHRISLER, V. L. 1930. Measurement of sound transmission. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 1(2), pp. 175–180.

Ehdotus ääneneristysmääräyksiksi. 1960. Helsinki, Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT, tiedotus 42.

GASTELL, A. 1936. Schalldämmmessungen in der Praxis und vorschläge zur Normung des Schallschutzes von Wohnungstrennwänden und Decken. Akustische Zeitschrift. Vol. 1(1), s. 24–35.

HALME, A. 1979. Asukas-BES: Kerrostalojen ääneneristys. Helsinki, Suomen betoniteollisuuden keskusjärjestö.

HOFBAUER, G. 1935. Ein Trittschallmaßstab. Gesundheitsingenieur. Vol. 58, s. 109–111.

ISO R 717-1968. Rating of sound insulation for dwellings. Switzerland, International Organization for Standardization.

KAYE, G. W. C. 1936. The acoustical work of the national physical laboratory. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 7(3), s. 167–177.

Kerrostalojen ääneneristystutkimus. 1955. Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT, rakennustekniikan laboratorio.

KNUDSEN, V. O. 1930. Measurement and calculation of sound-insulation. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 2(1), s. 129–140.

KYLLIÄINEN, M. & HELIMÄKI, H. 2003. Effects of new sound insulation requirements on concrete floors in Finland. Ultragarsas, nr. 2(47) s. 16–20.

LAAKSO, T. K. 1937. Rakennusten akustisista kysymyksistä. Teknillinen Aikakauslehti. Nro 7–8, s. 259–276.

LAAKSO, T. K. 1960. Ääneneristystutkimuksia Tapiolan asuinrakennuksissa. Rakennustaito. Nro 4–5, s. 97–109.

MALINEN, U. 1977. Ääneneristys kerrostaloissa. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT, rakennustekniikan laboratorio, tiedonanto 37.

MALINEN, U & SNECK, T. 1978. Viihtyvyyden ja ääneneristävyyden kerrostaloissa. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT, rakennustekniikan laboratorio, tiedonanto 41.

PARJO, M. 1959. Betonikerrostalon ääneneristystä koskevia tutkimuksia. Helsinki, Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT, tiedotus 42.

PARJO, M. 1965. Uusien ja erikoisesti elementtirakenteisten asuinrakennusten ääneneristys. Helsinki, Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT, rakennustekniikan laboratorio.

RIL 55-1967. Ääneneristysnormit. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 55 b-1971. Ääneneristysnormit. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SABINE, P. E. 1932. Acoustics and architecture. New York, McGraw-Hill Book Company.

SIPARI, P., NYKÄNEN, E. & HEINONEN, R. 2005. Betonirakenteisten kerrostalojen äänoliot. Helsinki, Suomen ympäristö 777, ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.

- Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1975: Ääneneristys – Määräykset. 1975. Helsinki, sisäasiainministeriö.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1985: Ääneneristys – Määräykset. 1985. Helsinki, ympäristöministeriö.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1-1998: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa – Määräykset ja ohjeet. 1998. Helsinki, ympäristöministeriö.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C5-1978: Ääneneristys – Ohjeet. 1978. Helsinki, sisäasiainministeriö.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C5-1985: Ääneneristys – Ohjeet. 1985. Helsinki, ympäristöministeriö.
- Tutkimuskirjallisuus**
- AMPUJA, Outi. 2007. Melun sieto kaupunkielämän välttämättömyytenä: melu ympäristöongelmana ja sen synnyttämien reaktioiden kulttuurinen käsittely Helsingissä. Helsinki, Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Bibliotheca Historica 110.
- BEENTJES, W. G. M. 2011. Sound insulation in the Netherlands from 1970 to 2010: solutions and frequent problems. Proceedings of Forum Acusticum 2011. Aalborg, June 27 – July 01, s. 1377–1382.
- BIJSTERVELD, K. 2008. Mechanical sound – Technology, culture, and public problems of noise in the twentieth century. Cambridge, The MIT Press.
- GRIMWOOD, C. 2012. Can the house building industry ever achieve full compliance with the sound insulation requirements of national building regulations and create truly sustainable homes? Proceedings of the 8th European Conference on Noise Control Euronoise 2012. Prague, June 10–13, pp. 1196–1201.
- KRAGH, H. 2003. An introduction to the historiography of science (5. p.). Cambridge, Cambridge University Press.
- KYLLIÄINEN, M. 2009a. Kansainväliset yhteydet vuoden 1967 ääneneristysnormien muotoutumisessa. Helsinki, Tekniikan Waiheita. Nro 3, s. 29–47.
- KYLLIÄINEN, M. 2009b. Tämä akustiikka on niin uutta! Akustiikkapäivät 2009. Vaasa, 14.–15.5. Akustinen Seura ry, s. 36–41.
- KYLLIÄINEN, M. & HONGISTO, V. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu: akustiikan perusteet. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL 243-1-2007.
- KYLLIÄINEN, Mikko & KERONEN, Asko. 1999. Lisärakentamisen rakennetekniset mahdollisuudet lähiöiden asuinkerrostaloissa. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikan laboratorio, julkaisu 97.
- LIETZÉN, J. 2011. Asuinhuoneistojen välisen ääneneristyksen kehittyminen Suomessa vuosina 1955–2008. Kandidaatintyö. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos.
- MICHELSEN, Karl-Erik. 1993. Valtio, teknologia, tutkimus – VTT ja kansallisen tutkimusjärjestelmän kehitys. Espoo, Painatuskeskus Oy.
- MIJIĆ, M., PAVLOVIĆ, D. Š. & TODORVIĆ, D. 2012. Sound insulation between dwellings in existing housing stock in Serbia. Proceedings of the 8th European Conference on Noise Control Euronoise 2012. Prague, June 10–13, pp. 1254–1259.
- MÄNNISTÖ-FUNK, T. 2008. Säveltulva kaupungissa – gramofonimusiikki uudenlaisena kaupungin äänenä ja makukysymyksenä. Ennen ja nyt. Nro 3-4.
- NANNIPIERI, E. & SECCHI, S. 2012. The evolution of acoustic comfort in Italian houses. Building Acoustics. Vol. 19(2), s. 99–118.
- RASMUSSEN, B. & RINDEL, J. 2010. Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe. Applied Acoustics. Vol. 71(3), s. 171–180.
- RASMUSSEN, B. 2010. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. Applied Acoustics. Vol. 71(4), s. 373–385.
- RASMUSSEN, B. 2011. Sound insulation between dwellings – overview of the variety of descriptors and requirements in Europe. Proceedings of Forum Acusticum 2011. Aalborg, June 27 – July 01, s. 1793–1798.
- RÜNDVA, M. 2012. Sound insulation of newly-built residential housing stock in Estonia. Proceedings of the 8th European Conference on Noise Control Euronoise 2012. Prague, June 10–13, s. 1242–1257.
- SCHÖNBÄCK, W., LANG, J. & PIERRARD, R. 2006. Schallschutz im Wohnungsbau. Wien, Technische Universität Wien, Department für Raumentwicklung, Infrastruktur- und Umweltplanung.
- THOMPSON, Emily. 2004. The soundscape of modernity: architectural acoustics and the culture of listening in America, 1930–1933 (2. p.). Cambridge, The MIT Press.