

Riikka Mitrunen

Vanhojen välipohjarakenteiden äänitekkinen korjaussuunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

13.4.2014

Tekijä Otsikko	Riikka Mitrunen Vanhojen välipohjarakenteiden äänitekkinen korjaussuunnitelu
Sivumäärä Aika	39 sivua + 2 liitettä 13.4.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jouni Kalliomäki Toimitusjohtaja Mikko Sarasjärvi
<p>Insinööriyössä tutkittiin erilaisia keinoja parantaa vanhojen välipohjarakenteiden äänitekniikkaa. Tarkoituksena oli saada tietoa, miten erilaiset korjaustavat eroavat ääniteknisesti toisistaan ja mikä olisi rakenteita purkamatta paras keino välipohjan ääneneristämiseen. Tarkisteltaviksi välipohjiksi otettiin 1900-luvun alkuvuosista aina 1960-luvulle kerrostaloissa välipohjina toimineet erilaiset puu-, teräs- ja teräsbetonivälipohjarakenteet.</p> <p>Aihe insinööriyöhön tuli insinööritoimisto Dracon Oy:n puolelta. Yrityksellä on ollut useita korjauskohteita, joissa on korjattu välipohjan ääneneristävyttä. Tämän työn tarkoituksena oli vanhojen välipohjien äänitekniikkaa tutkimalla kerätä uutta korjaussuunnitelmissa hyödynnettävää tietoa yritykselle.</p> <p>Tutkimus aloitettiin selvittämällä kirjallisuuslähteiden avulla perusasiat äänitekniikasta ja tutkimalla minkälaisia äänitekniisiä ominaisuuksia tutkittavilla välipohjilla oli. Teoreettisten tietojen avulla selvitettiin erilaisia äänitekniisiä korjausratkaisuja välipohjille. Tutkimuksessa myös haastateltiin Helsingin rakennusvalvontaviraston asiantuntijoita siitä, mikä oli heidän näkemyksensä välipohjien korjauksista. Lopulliseen tutkimukseen otettiin yksi kohde, jonka välipohjan korjausta ja rakenteen ääniteknistä toimintaa tutkittiin. Askelääneneristävyys oli rakenteesta aiemmin jo mitattu, joten kohteeseen suoritettiin vain ilmaääneneristävyyslaskelmat.</p> <p>Laskelmien ja mittaustulosten pohjalta tarkasteltiin lopulta kahden erilaisen korjausratkaisun hyviä ja huonoja puolia. Korjausratkaisujen vertailussa todettiin, että välipohjan päälle asennettava ääneneristys askeläänimatto ja kipsilevytys on helpompi toteuttaa ja halvempi, kuin rakenteen alle asennettavat akustiset jousirangat ja kipsilevytys.</p>	
Avainsanat	äänitekniikka, rakennusakustiikka, vanhat välipohjarakenteet

Author(s) Title	Riikka Mitrunen Structural design of old floors acoustics
Number of Pages Date	39 pages + 2 appendices 13 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Jouni Kalliomäki, Senior Lecturer Mikko Sarasjärvi, CEO
<p>This thesis studied a variety of ways to improve acoustics in old floor structures. The aim was to gather information and then compare the information about different methods to improve acoustics in these structures, without dismantling them. Under examination were wood, steel and concrete floor structures in apartment buildings built between the early 1900s and 1960s.</p> <p>This thesis was commissioned by a civil engineer office, Dracon Oy. Dracon Oy has had many renovation projects in which they have also had to improve the acoustics of old floor structures. The purpose of this thesis was to collect information about old floor structures' acoustics for the company.</p> <p>The research started by studying the basics of acoustics and the acoustical features of old floor structures from relevant literature. With the help of this theoretical knowledge, the thesis moves on to exploring options for renovating these floor structures. The building control department was also interviewed to find out their opinion about the acoustic renovations. With the gathered information, different ways to improve the acoustics were discovered. One target was chosen for further inspection. The target's impact sound insulation had been measured beforehand. Therefore only the airborne sound insulation was calculated.</p> <p>Based on measured and calculated information, two different improvement methods were chosen for further inspections and comparison. This comparison shows that it is less expensive and easier to install impact sound mats and plasterboards on the structures than to install acoustic springs and plasterboards under the structures.</p>	
Keywords	audio technology, acoustics, old floors

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Äänitekniikka	2
2.1	Äänen ominaisuudet	2
2.1.1	Taajuus	2
2.1.2	Äänenpainetaso	3
2.1.3	Taajuuskaistat	4
2.1.4	A-painotus	6
2.1.5	Äänentehotaso ja intensiteetti	7
2.2	Äänen eteneminen	8
3	Akustinen suunnittelu	10
3.1	Absorptio ja ääneneristävyys	11
3.1.1	Ilmaääneneristävyys	14
3.1.2	Askelääneneristävyys	16
3.2	Sivutiesiirtymät	18
3.3	Rakennusakustiikan määräykset ja ohjeet	19
4	Vanhat välipohjarakenteet	21
4.1	Puuvälipohjat	22
4.2	I-rauta- ja ratakiskovälipohjat	23
4.3	Betonivälipohjat	24
4.4	Vanhojen välipohjarakenteiden rakennusakustiset korjaussuunnitelmat	26
5	Tutkittava välipohjarakenne	28
5.1	Äänitekniset ominaisuudet	29
5.2	Korjaussuunnitelmat	34
6	Yhteenveto	37
	Lähteet	38
	Liitteet	
	Liite 1. Rakenneosien ilmaääneneristävyys massalain mukaan	
	Liite 2. Kaksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristävyys taajuuksittain	

1 Johdanto

Tämä insinööri työ toteutetaan insinööritoimisto Dracon Oy:n toimeksiantona. Dracon Oy on Helsingissä sijaitseva suunnittelutoimisto, jonka ydinosamiseen kuuluu korjausrakentaminen. Yrityksellä on ollut monta korjausrakennuskohdetta, joissa on tarkasteltu erilaisia äänitekniisiä korjausratkaisuja. Saneerauskohteiden suunnittelun helpottamiseksi yrityksessä tarvitaan malliratkaisuja vanhojen välipohjien äänitekniisille korjauksille.

Tämän insinööri työn tarkoituksena on tutkia vanhoja välipohjarakenteita ja käydä läpi niiden erilaisia ääneneristävyyden korjausratkaisuja. Tavoitteena on tarkastella, saadanko vaatimukset ääneneristävyyden suhteen täytettyä ja minkälaisia korjaustoimenpiteitä ääneneristävyyden parantaminen rakennuksissa vaatii. Korjausten suunnittelussa otetaan huomioon vanhojen rakenteiden kantavuus, sekä yleiset terveellisyteen ja turvallisuuteen liittyvät asiat.

Tarkastelun lähtökohtana ovat kerrostalorakennukset 1900-luvun alkuvuosista aina 1960-luvulle, jolloin rakennusmateriaaleina ovat toimineet erilaiset puu-, teräs- ja teräsbetonivälipohjarakenteet. Vanhoista välipohjarakenteista mitatuista ääneneristyslukuista lähdetään tarkastelemaan rakenteiden äänitekniisiä ominaisuuksia. Näiden tietojen pohjalta tutkitaan rakenteiden korjaamista eritavoin, jotta vaaditut desibeliarvot täyttyisivät.

Lisäksi tarkoituksena on ottaa lähemmin tutkittavaksi yksi kohde, johon on jo tehty äänitekniinen korjaus. Kyseisen kohteen korjausta arvioidaan aiemmin mitattujen ja tässä työssä laskettujen arvojen perusteella ja pohditaan erilaisia lähestymistapoja, joita korjauksessa olisi voitu käyttää nyt toteutetun korjauksen sijaan. Ennen tutkimusanalyysiä työssä käsitellään äänenkulkuun oleellisesti vaikuttavia asioita perusäänitekniikasta ja siitä, minkälaisista vanhoista välipohjarakenteista on kyse. Tässä tarkastelussa rajataan teräsbetonivälipohjista pois massiivilaatat.

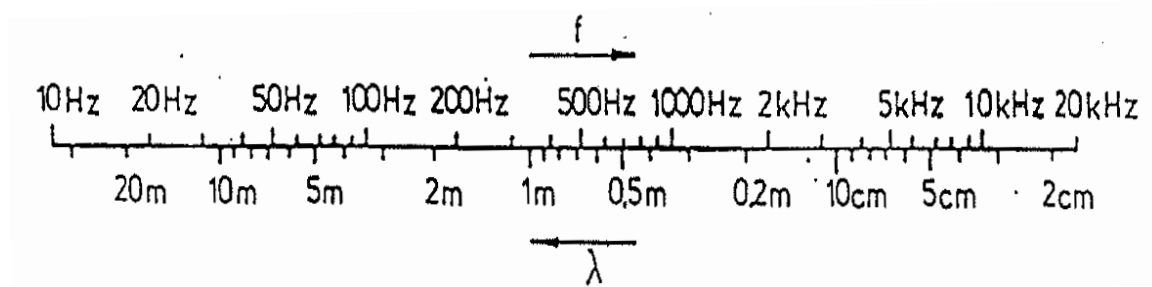
2 Äänitekniikka

2.1 Äänen ominaisuudet

Ääni on värähtelyä, joka syntyy painevaihteluina staattisessa ilmanpaineessa. Värähtelyn lähde, kuten ihminen puhuessaan, saa aikaan ilmahiukkasten tihentymiä ja harvennusia, joita kutsutaan myös ääniaalloiksi. Värähtelyn tiheys eli ääniaallon aallonpituus riippuu kuinka korkeana ääni koetaan. Mitä tiheämpää värähtely on, sitä korkeampana kuulija kokee äänen. [1, s.35.]

2.1.1 Taajuus

Äänen taajuus kuvaa värähtelyjen tiheyttä eli lukumäärää sekunnin kuluessa. Näin ollen taajuuden ollessa pieni värähtelyt koetaan matalana äänenä ja taajuuden ollessa suuri värähtelyt koetaan korkeana äänenä. Kuvasta 1 nähdään aallonpituuden λ ja taajuuden f välinen riippuvuus, kun ääni etenee ilmassa. [2, s.154.]



Kuva 1. Taajuuden ja aallonpituuden välinen suhde, kun ääni etenee ilmassa [2, s.154].

Äänen taajuus f (Hz=Hertsi) saadaan kaavasta, jossa värähtelyjen määrä n jaetaan aikajaksolla T (s).

$$f(\text{Hz}) = \frac{n}{T(\text{s})}$$

Ihmisen korva erottaa paineenvaihtelut äänenä vain, mikäli taajuus on riittävä eli noin 20 Hz ja 20 000 Hz välillä. Alle tämän taajuusjakauman eli alle 20 Hz:n taajuuksia kutsutaan infraääniksi, jotka ihminen aistii tärinänä. Yli 20 000 Hz:n taajuudet ovat ultraääniä, joita ihminen ei kykene aistimaan ollenkaan.

[1, s.35-36.]

2.1.2 Äänenpainetaso

Äänenpainevaihteluita kuvaava äänenpainetaso eli desibeliasteikko on otettu käyttöön helpottamaan erilaisten äänilähteiden vertailua. Äänenä aistittavat ilmanpainevaihtelut ovat lukuarvoina erittäin pieniä verrattuna ilmanpaineeseen, mutta kuulokynnyksen 0,00002 Pa (Pascalin) ja kipukynnyksen 20 Pa välinen ero on suhteellisesti hyvin suuri, mikä vaikeuttaa suoraa vertailua laskenta- ja suunnittelutyössä.

Äänenvoimakkuus äänenpainetasona L_p (dB) saadaan, kun tarkasteltavaa äänenpainetta p verrataan logaritmissen asteikon avulla vertailuäänepaineeseen eli kuulokynnykseen p_0 .

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

Äänenpainetason kaavan mukaan kuulokynnyksen äänenpainetaso on siis 0 dB ja kipukynnyksen äänenpainetaso on noin 120 dB. Kuitenkin jo yli 85 dB pitkäaikainen melu voi aiheuttaa ihmiselle pitkäaikaisia kuulovaurioita ja henkistä kärsimystä. Tämän takia työpaikoilla, jossa melutaso ylittää 85 dB, pitää käyttää kuulosuojaimia. Työpaikoilla melu-
altistusta voidaan mitata meluannosmittarilla. Taulukossa 1 näkyy vielä erilaisia äänenpainetasoja tunnetuille äänilähteille.

[1, s.36-37.], [3, s.157.]

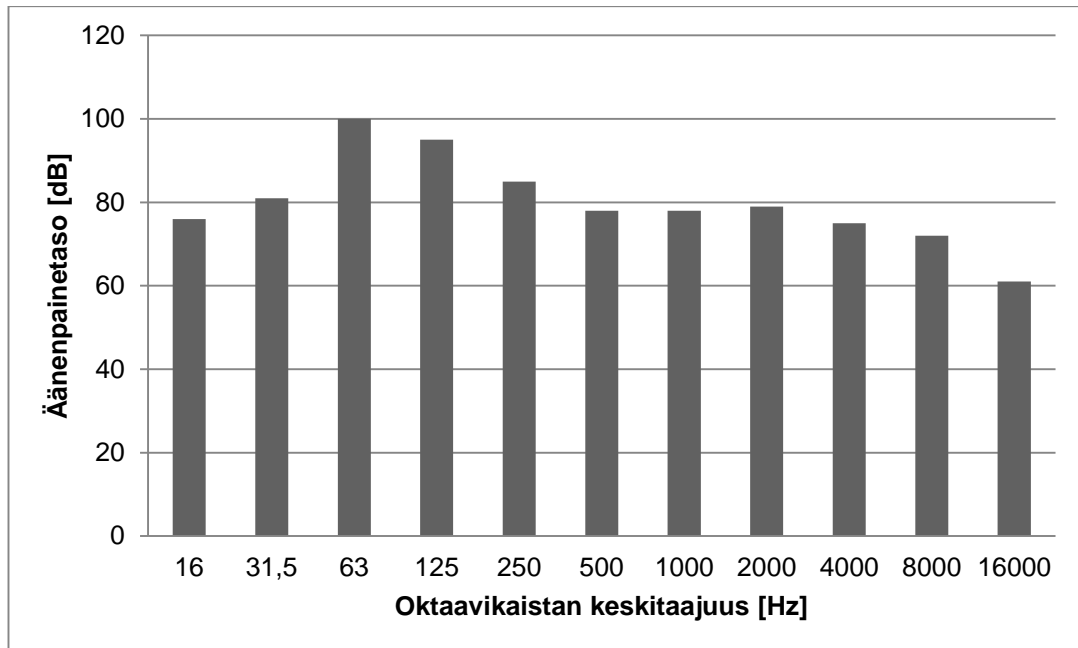
Taulukko 1. Erilaisia äänenpainetasoja tunnetuille äänilähteille [4, s.29].

Äänenpainetaso L_p	Äänilähde
25 dB	Hiljainen asuinhuoneisto
30 dB	Kuiskaus
45 dB	Toimistoympäristö
55 dB	Keskustelu
65 dB	Kovaääninen puhe
80 dB	Vilkas katuliikenne
100 dB	Piikkaus
110 dB	Oopperalaulaja
120 dB	Kipukynnys
140 dB	Suihkukone

Desibeliasteikon logaritmisuus vaikuttaa suunnittelutyöhön tutkittaessa kahta saman äänenpainetasoa tuottavaa laitetta niin, että äänenpainetaso nousee vain 3 dB laitteiden ollessa samanaikaisesti päällä. Mikäli laitteiden tuottama äänenpainetasoero on yli 10 dB, ei hiljaisempi laite vaikuta äänenpainetasoon ollenkaan. [1, s.37.]

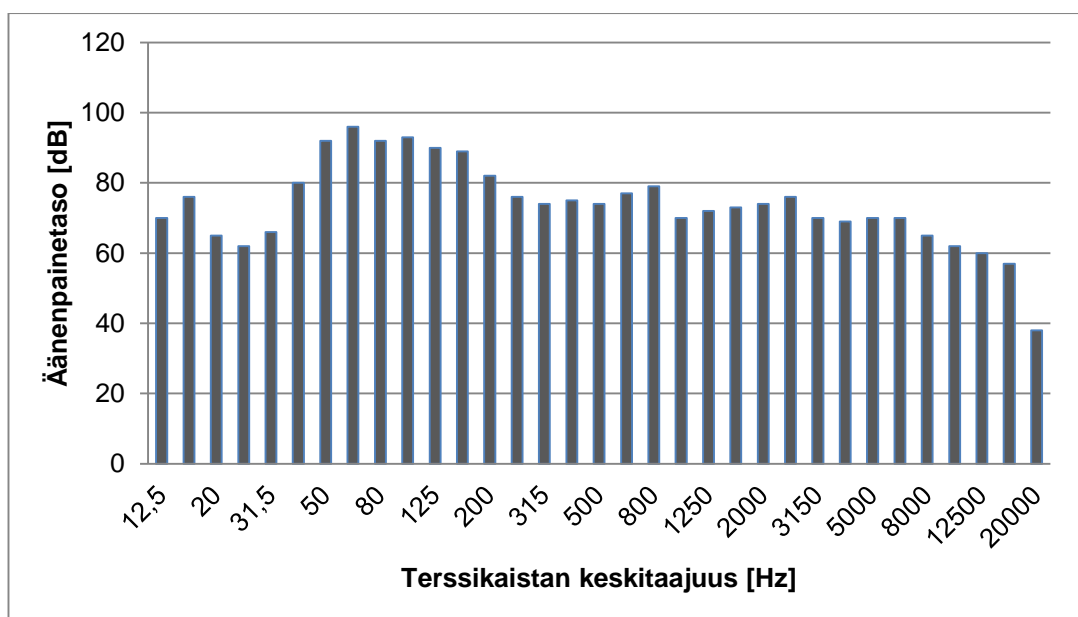
2.1.3 Taajuuskaistat

Akustisessa suunnittelussa äänen taajuusjakauma eli äänispektri on jaettu taajuuskaistoihin helpottamaan käytännön suunnittelutyötä tutkittaessa äänenpainetasoja yksittäisillä taajuuksilla. Yleisimmin käytössä olevat taajuuskaistat ovat oktaavikaistat tai kolmannesoktaavikaistat eli terssikaistat. [1, s.37-38.]



Kuva 2. Äänenpainetasojen ilmoittaminen oktaavikaistoittain [4, s.30].

Taajuusjakauma on siis jaettu joko 11 oktaavikaistaan, joiden keskitaajuudet näkyvät kuvassa 2 tai 33 terssikaistaan, joiden keskitaajuudet näkyvät kuvassa 3. Rakenteiden ääneneristysmittauksissa käytetään tarkempaa terssikaistajakoa keskitaajuudesta 50 Hz tai 100 Hz keskitaajuuteen 3150 Hz tai 5000 Hz ja laskelmissa käytetään oktaavikaistajakoa keskitaajuudesta 125 Hz keskitaajuuteen 2000 Hz. [1, s.37-38.]



Kuva 3. Äänenpainetasojen ilmoittaminen terssikaistoittain [4, s.30].

Äänentasomittarien mittaustuloksiin sisältyy ääni koko kuuloalueelta 20 Hz:stä 20 000Hz:iin. Rakentamismääräyskokoelmassa annetut enimmäisäänitasot ovat A-painotettuja eli A-äänitasoja, joissa kaistanleveys kattaa taajuusalueen 63 Hz:stä aina 4000–8000 Hz:iin. [4, s.32.]

2.1.4 A-painotus

Kuten aiemmin on mainittu, fysikaalista äänenpaineen voimakkuutta kuvaa äänenpainetaso L_p . Ihmisen kuuloaisti ei kuitenkaan ole yhtä herkkä kaikilla taajuuksilla, minkä takia äänenpainetason korjaamiseen on otettu käyttöön erilaisia painotuksia. Tällaisia ovat A-, B-, C- ja D-painotukset, joista A-painotus on yleisin. Menetelmän avulla voidaan saada realistisempi kuva ihmisen kuulemasta äänikentästä. Ihmisen kuulo on herkimmillään taajuuksilla 2000–5000 Hz. Tämän alueen kummallakin puolella kuuloaistin herkkyys alenee. Niin kutsuttu A-painotus lisätään äänenpainetasoihin keskitaajuuksittain niin, että ne vastaavat paremmin ihmisen kuulemaa äänikenttää. Taulukossa 2 esitetään, kuinka A-painotus vaikuttaa äänenpainetasoihin eri taajuuksilla. [1, s.39.], [3, s.121.]

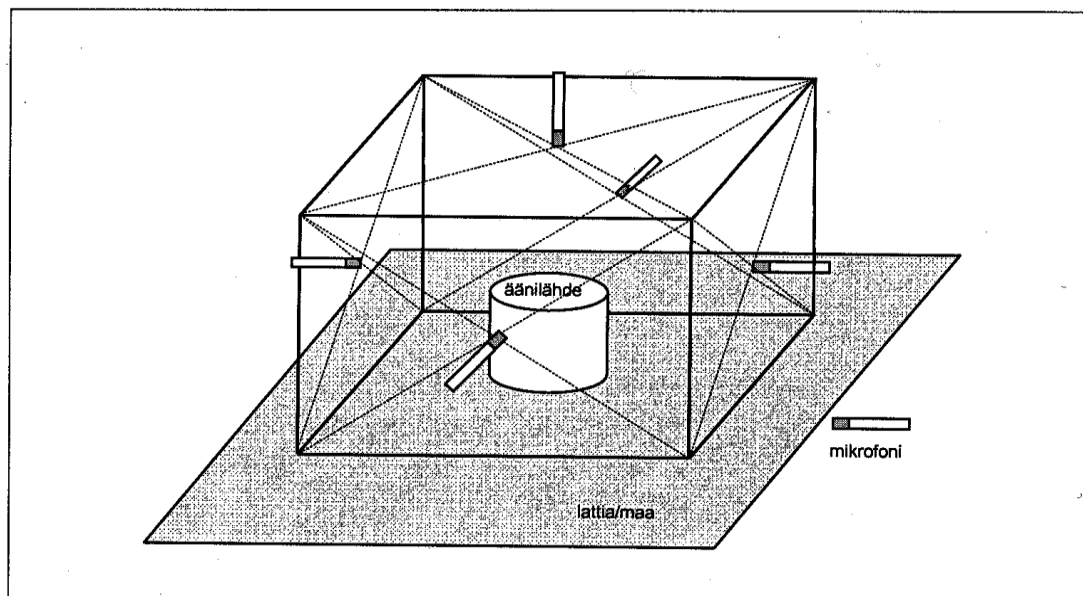
Taulukko 2. A-painotuksen vaikutus oktaavikaistaisiin äänenpainetasoihin [4, s.32].

Oktaavikaistan keskitaajuus [Hz]	Äänenpainetaso L_p [dB]	A-painotus [dB]	A-äänitaso L_A [dB]
16	75,5	-56,7	19,0
31,5	80,8	-39,4	41,4
63	99,7	-26,2	73,5
125	95,3	-16,1	79,2
250	84,6	-8,6	76,0
500	78,7	-3,2	75,5
1000	78,8	0	78,8
2000	79	1,2	80,2
4000	75	1	76,0
8000	72,4	-1,1	71,3
16000	61,3	-6,6	54,7

Taajuuden tavoin myös äänenkesto vaikuttaa paljon siihen, miten ääni koetaan. Verrattaessa jatkuvasti melua tuottavaa äänilähdettä ja hetkellisesti melua tuottavaa äänilähdettä, koetaan hetkellinen melu useimmiten häiritsevämpänä. Ihmisen korva tottuu nopeammin jatkuvaan tasaiseen kohinaan, kuin hetkelliseen voimakkaaseen ääneen. Näin ollen äänenhallinnassa puhutaan pitkäaikaisesta keskiäänitasosta $L_{A,eq,T}$ ja hetkellisestä enimmäisäänitasosta $L_{A,max}$. Enimmäisäänitason mittaamisessa käytetään Fast- eli F-ai- kapainotusta, jolloin äänitasomittari ilmoittaa 250 ms:n jaksoissa keskiäänitason. Tällöin mitattu äänitaso vastaa koettua äänitasoa ja on paremmin verrattavissa keskiäänitasoon. [1, s.40-41.]

2.1.5 Äänentehotaso ja intensiteetti

Ääniteho W (W) tarkoittaa äänilähteen kykyä tuottaa ääntä. Kuten äänenpaineen suhteen on otettu käyttöön äänenpainetaso, niin suunnittelun yksinkertaistamiseksi myös äänitehon sijaan käytetään äänitehotaso L_W (dB). Äänilähteen äänitehotaso on verrattavissa patterin lämpötehoon eli teho pysyy laitteen suhteen samana, mutta olosuhteiden muutokset vaikuttavat mitattuun äänenpainetasoon samalla tavalla kuin lämpötilaan. Tällainen vaikuttava olosuhdetekijä on esimerkiksi huoneen pinta-ala. Huoneen pinta-alan ollessa suuri äänenpainetaso on pienempi kuin pinta-alan ollessa pieni, vaikka äänitehotaso pysyy samana. Sama pätee patterin lämpötehoon, suuressa huoneessa lämpötila on alhaisempi kuin pienessä. [1, s.41.]



Kuva 4. Keskimääräisen intensiteettitason mittaus [1, s.43].

Äänilähteen äänitehotaso ei ole mitattavissa suoraan, vaan se määritetään intensiteetin avulla. Intensiteetti I (W/m^2) on ääniteho pinta-alayksikköä kohti. Intensiteetti saadaan määritettyä mittaamalla tai laskemalla mitatusta keskimääräisestä intensiteettitasosta L_I (dB). Kuvassa 4 esitetään keskimääräisen intensiteettitason mittausjärjestely äänilähteen sisäänsä sulkevalla mittauspinnalla. [1, s.42.]

2.2 Äänen eteneminen

Ääni etenee välittäjäaineessa aaltoliikkeenä, joka syntyy hiukkasten, kuten happimolekyylien, värähdellessä harmonisesti. Ääni ei siis pysty etenemään tyhjiössä. Äänen leviämistä kuvaa hyvin aaltojen liike, joka syntyy, kun kivi heitetään veteen. Ääniaallot etenevät veden aaltojen tavoin äänilähteestä ulospäin saman keskisesti aallonkorkeuden pientyessä, mitä kauemmas aallot etenevät. Aivan yhtä tasaista liikettä ääniaaltojen liike ei kuitenkaan ole veden liikkeeseen verrattuna, sillä äänen etenemiseen vaikuttaa välittäjäaine, äänilähteen suunta ja taajuudet, joita äänilähde säteilee.

Ääni voi edetä kaasuissa, nesteissä ja kiinteissä aineissa. Ilmassa happimolekyylien välityksellä liikkuvaa ääntä, kuten musiikki ja puhe, kutsutaan ilmaääneksi. Asuinhuoneiston normaalissa sisälämpötilassa äänen nopeus ilmassa on noin 340-345 m/s. Äänen liikkumisnopeuteen ilmassa ja vedessä lämpötila vaikuttaa niin, että lämpimässä aineessa ääni liikkuu nopeammin kuin kylmässä.

Taulukossa 3 on esitetty lämpötilan vaikutus äänen liikkumisnopeuteen ilmassa ja vedessä. Lisäksi taulukossa on esitetty myös äänennopeuksia erilaisissa kiinteissä väliaineissa. Kuten taulukosta 3 nähdään niin äänen eteneminen tiheissä kiinteissä aineissa, esimerkiksi teräksessä, on nopeampaa kuin kaasuissa. Taulukosta nähdään myös, että kumin äänennopeus 50 m/s on hyvin alhainen verrattuna muihin taulukossa esitettyihin materiaaleihin, eli kumi on erinomainen ääneneristäjä.

[1, s.35.], [2, s.159-160.], [5, s.9.]

Taulukko 3. Äänennopeuksia eri väliaineissa [2, s.160].

Aine	Äänennopeus m/s	Aine	Äänennopeus m/s
Kova lasi	6000	Ilma	
Alumiini	6000	-10 °C	326
Teräs	5100	0 °C	332
Betoni	4000	10 °C	338
Mänty	3600	20 °C	344
Tiili	3600	30 °C	350
Vety	1270	40 °C	355
Lyijy	1200	Vesi	
Korkki	500	0 °C	1407
Kumi	50	20 °C	1484

Äänen etenemistä kiinteissä aineissa kutsutaan runkoääneksi. Runkoääni syntyy, kun ilmaääni tai rakenteeseen kohdistuvat iskut saavat ympäristön rakenteet värähtelemään ja äänen etenemään rakennuksen rungossa. Tällaisen rungossa etenevän äänen voi siis synnyttää vaikkapa pesukone tärähdellessään lattiaa vasten saaden lattian värähtelemään mukanaan. Värähtelevä rakenne voi taas saada sitä ympäröivän ilman värähtelemään, jolloin runkoäänen voi aistia ilmaäänenä.

Askelääneksi kutsutaan runkoääntä, joka syntyy rakenteeseen kohdistuvasta iskusta. Kävely, huonekalujen siirtely ja esineiden putoaminen lattialle aiheuttavat rakenteeseen askelääneksi kutsutun iskeytyvän äänen.

[1, s.36.], [2, s.160-161.]

3 Akustinen suunnittelu

Akustisen eli äänitekniikan suunnittelun lähtökohtana on tehdä rakennuksen ääniolosuhteet rakennuksen käyttötarkoitukseen soveltuviksi. Akustinen suunnittelu jaetaan karkeasti neljään osa-alueeseen, joita ovat huoneakustiikka, rakennusakustiikka, tärinäeristys ja meluntorjunta.

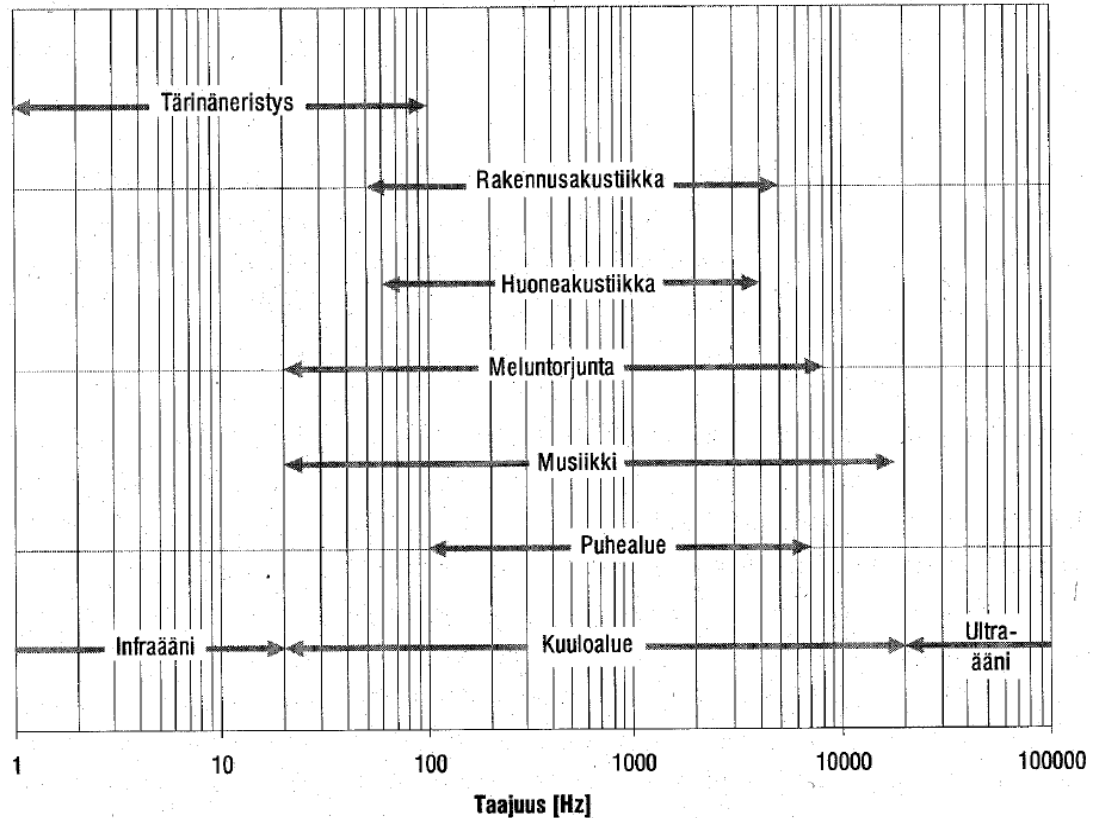
Huoneakustiikassa tarkastellaan, kuinka ääni kulkee huonetilassa eli äänen etenemistä, vaimenemista ja heijastumista tilan sisällä. Suunnittelun tarkoituksena huoneakustiikassa on, että tilassa syntyvä ääni kuullaan tilan käyttötarkoituksen kannalta oikein. Esimerkiksi konserttisalien huoneakustiikan suunnittelu on äänen ohjaamista eri keinoin, jotta saavutettaisiin niin sanottu puhdas ääni ilman ylimääräisiä häiriötä aiheuttavia äänenheijastumisia. Akustiikka sanana yhdistetään usein puhekielessä käsittämään huoneakustiikkaa puhuttaessa konserttisalien akustiikasta.

Rakennusakustiikka on akustisen suunnittelun osa-alue, jossa tutkitaan äänen kulkeutumista tilasta toiseen. Eri tilojen välillä kulkeva ääni jaetaan ilmaääneen ja runkoääneen, joita tarkastellaan erillisinä ilmiöinä. Rakennusakustisen suunnittelun tavoitteena on yleensä äänieristyksen avulla estää haitallisen äänen siirtymisen tilasta toiseen.

Tärinäeristys on yhteydessä runkoääneneristykseen, jota tarkastellaan myös rakennusakustisessa suunnittelussa. Tärinäeristystä tarvitaan, kun kyseessä on esimerkiksi jäykästi rakenteen runkoon kiinnitetty laite, joka värähdellessään saa myös itse rakenteen tärähtelemään. Tämä värähtely saa aikaan matalalla taajuudella kuuluvaa ääntä, jota kutsutaan runkoääneksi. Tärinäeristyksessä on tavoitteena saada värähtelevät laitteet eristettyä joustavilla rakenneosilla ja eristeillä niin, ettei laitteiden värähtely siirry rakenteisiin runkoäänenä.

Meluntorjunnalla tarkoitetaan yleensä autoliikenteen, lentokenttien, raideliikenteen synnyttämän äänen vaimentamista esimerkiksi meluaidoin. Meluntorjuntaa on myös pienemmässä mittakaavassa tehtävä tärinäeristys rakennuksen sisällä ja kirjastoissa puheäänen vaimentaminen huoneakustiikan keinoin.

[1, s.24-25.], [4, s.16.]

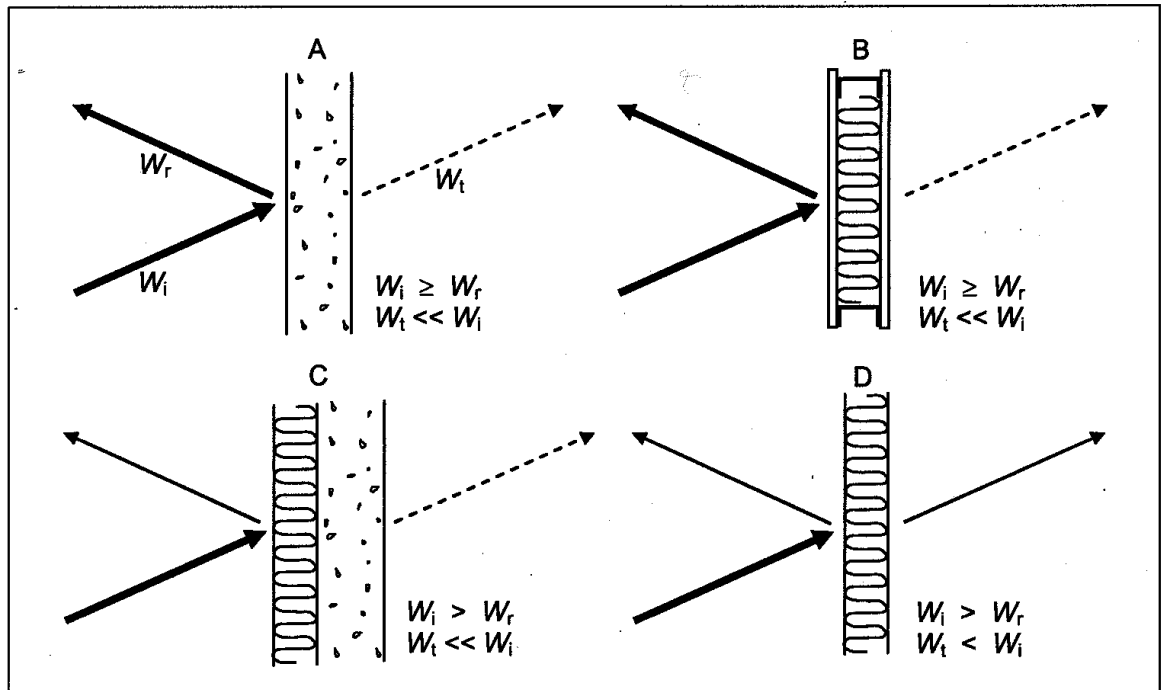


Kuva 5. Akustiikan osa-alueiden taajuusalueet [4, s.18].

Kuten kuvassa 5 esitetään, kaikki akustiikan neljä osa-aluetta ovat kiinteästi yhteydessä toisiinsa. Tämä tulee ottaa huomioon tarkasteltaessa rakenteiden ääneneristystä.

3.1 Absorptio ja ääneneristävyys

Ääneneristys sekoitetaan usein tarkoittamaan äänen absorptiota, vaikka kyse on kahdesta täysin erilaisesta ilmiöstä. Absorptiolla tarkoitetaan ilmaa imeytymistä pintarakenteeseen. Absorptio on siis vain huonetilan sisällä olevien pintarakenteiden ominaisuus, kun taas ääneneristys on esimerkiksi koko seinärakenteen ominaisuus. Akustikassa puhutaan usein huonevaimennuksesta tarkoitettaessa huoneen pintarakenteiden absorbointikykyä. Osuessaan seinään ääniaallosta osa absorboituu suoraan pintarakenteeseen muuttuen lämpöenergiaksi, osa heijastuu suoraan seinäpinnasta takaisin ja osa jatkaa matkaa rakenteen läpi. Koko seinän ääneneristyskyky määrää, kuinka suuri osa äänienergiasta pääsee seinärakenteen toiselle puolelle. Kuvassa 6 on kuvattu absorption ja ääneneristyksen eroja erilaisissa seinärakenteissa. [1, s.46.], [2, s.162-163.]



Kuva 6. Absorptio ja ääneneristys erilaisissa seinärakenteissa [1, s.49].

Kuvassa 6 on vertailussa kaksi kiviaineksista massiivista seinää ja kaksi kevyempää mineraalivillaseinää. Kohtien A ja B seinien absorbointikyky on hyvin alhainen, jolloin takaisin säteilevä äänienergia W_r on melko suuri. Toisessa seinässä on kova kivipinta ja toisessa on kova levyypinta, joista kumpikaan ei kykene muuttamaan kohti tulevaa äänienergiaa pintarakenteissa lämpöenergiaksi. Sen sijaan massiivinen seinä toimii hyvin ääneneristykseen suhteen eli rakenteen läpikulkeutuva äänienergia W_t on pieni. Myös seinä B on levyrakenteensa ansiosta hyvä ääneneristäjä. [1, s.48-50.]

Kohdassa C ääneneristys pysyy hyvänä, koska eristyksen taustalla on edelleen sama massiivinen seinärakenne. Absorbointikyky kohdassa C on hyvä, koska huokoinen mineraalivilla niin sanotusti imee itseensä kohti tulevan äänienergian säteillen vähemmän äänienergiaa takaisin huoneeseen. Kohdassa D seinän absorbointikyky on myös hyvä mineraalivillan takia, mutta levyrakenteen puuttuessa seinän ääneneristys ei toimi. Tällaisia C seinänkaltaisia rakenteita, joissa villan keinoin tehostetaan huonevaimennusta, käytetään esimerkiksi elokuvateattereissa. [1, s.48-50.]

Taulukko 4. Massiivisen kivirakenteen ja levyrakenteen toiminnan eroja [6, s.15].

Massiivinen kivirakenne	Kerroksellinen kevyt levyrakenne
Ääniteknisesti jäykkä rakenne	Ääniteknisesti joustava rakenne
Ääneneristävyys perustuu pääasiassa massaan	Ääneneristävyys perustuu jousi-massa -yhdistelmään
Säteilykerroin suuri eli säteilee ääntä tehokkaasti	Säteilykerroin pieni eli säteilee ääntä niukasti
Rakenteiden liitokset jäykkiä	Rakenteiden liitokset joustavia
Koinsidenssi-ilmiö ei yleensä tule ongelmaksi	Koinsidenssi-ilmiö tulee huomioida suunnittelussa
Ääneneristävyys hyvä matalilla äänen taajuuksilla	Ääneneristävyys heikohko matalilla äänentaajuuksilla
Ääneneristävyys hyvä korkeilla äänen taajuuksilla	Ääneneristävyys erittäin hyvä korkeilla äänen taajuuksilla
Lattiapäällysteillä suuri merkitys askelääneneristävyyteen korkeilla äänentaajuuksilla	Askelääneneristävyys korkeilla äänentaajuuksilla luonnostaan hyvä

Massalain mukaan ilmaääneneristävyys on verrannollinen tutkittavan rakenteen massaan. Tämä johtuu siitä, että massiivinen rakenne värähtelee vähemmän samasta äänenpaineesta, kuin kevyt rakenne. Tällöin ääniaaltojen eteneminen on vaikeampaa massiivisessa rakenteessa. Varsinkin raskaat materiaalit, kuten luonnonkivi, betoni ja tiili ovat hyviä ilmaääneneristäjiä massansa perusteella. Massan kaksinkertaistaminen lisää ilmaääneneristävyyttä 4-6 dB. Taajuus on massan tavoin verrannollinen ilmaääneneristyskykyyn. Taajuuden kasvaessa eli äänen muuttuessa korkeammaksi on rakenteen ääneneristyskyky parempi kuin taajuuden ollessa alhainen. Varsinkin levyrakenteissa taajuuden muutokset vaikuttavat ääneneristyskykyyn. [2, s.168-169.], [6, s.18]

Taulukossa 4 on esitetty massiivisen rakenteen ja levyrakenteen eroja. Taulukossa levyrakenteen kohdalla on mainittu koinsidenssi-ilmiön huomiointi suunnittelussa. Koinsidenssi-ilmiöllä tarkoitetaan taajuusaluetta, jolla äänen etenemisnopeus on sama levyn taivutus äänennopeuden kanssa. Koinsidenssi-ilmiön sattuessa äänialueen keskelle syntyy tilanne, jolloin rakennuslevy ei eristä läheskään yhtä hyvin kuin normaalioloissa. Tällainen tilanne syntyy, kun esimerkiksi liimataan useita levyjä päällekkäin. [5, s.16.], [6, s.21-22.]

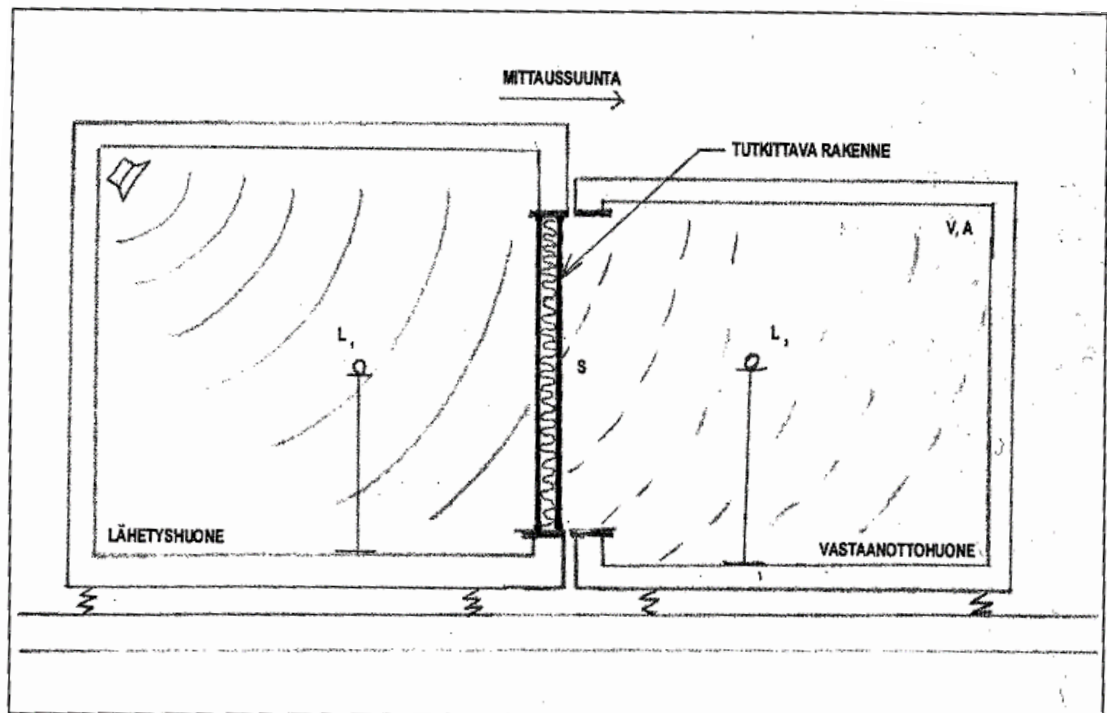
3.1.1 Ilmaääneneristävyys

Ilmaääneneristävyys R (dB) kuvaa rakenteen pintaan kohdistuvan äänitehon W_1 ja rakenteen kautta toiselle puolelle kulkeutuneen äänitehon W_2 suhdetta.

$$R = 10 \lg \frac{W_1}{W_2}$$

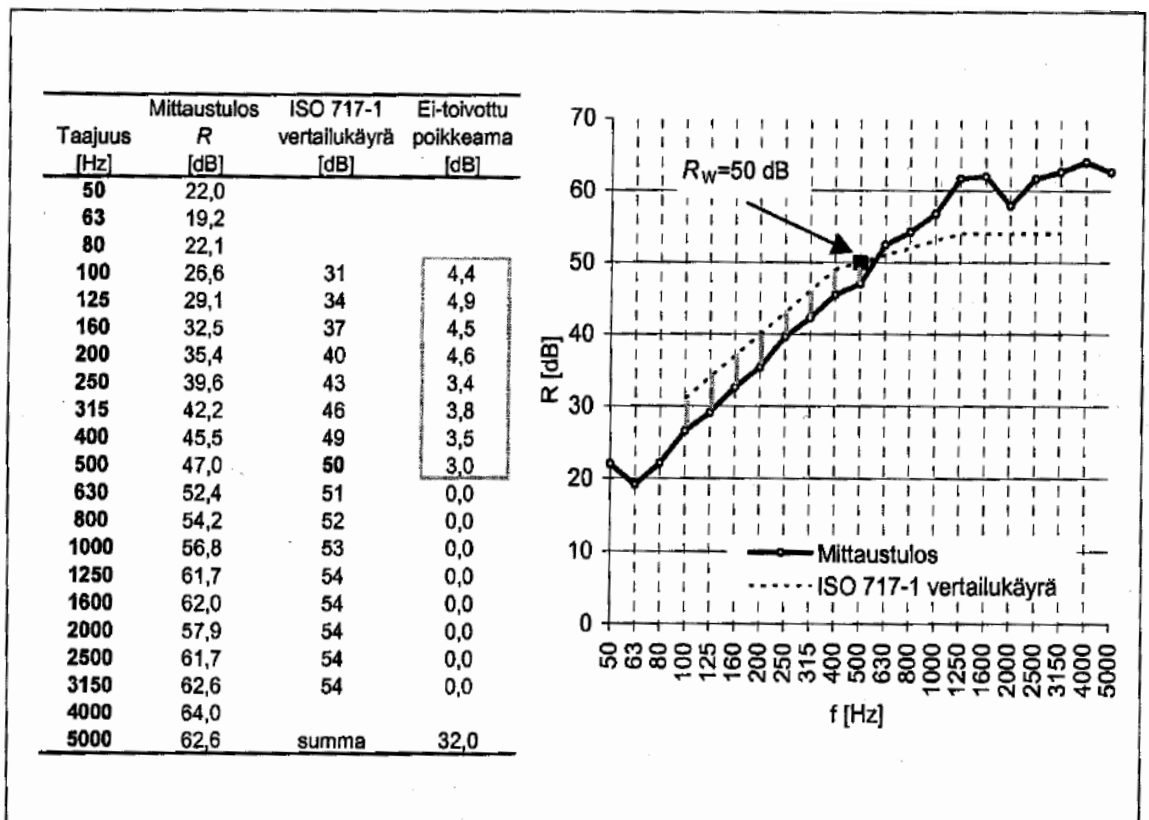
Laboratio-oloissa ilmaääneneristävyttä rakenteelle määritetään usein äänitehon vertailun sijaan äänenpainetaso mittauksilla. Kuvassa 7 on esitetty mittausjärjestely, jossa L_1 mittaa lähetyshuoneen äänenpainetaso ja L_2 vastaanottohuoneen äänenpainetaso. Näiden erotukseen huomioidaan vielä tutkittavan rakenteen pinta-ala ja vastaanottohuoneen absorptio-ala. Mitä suurempi lopullisesta tuloksesta tulee, sitä parempi on rakennuksen ilmaääneneristävyys.

[1, s.58-60.], [7, s.9.]



Kuva 7. Laboratoriojärjestelyt, kun ääneneristävyys mitataan äänenpainetasojen suhteen. [1, s.58].

Jotta saataisiin helposti käytettävissä oleva pelkistetty lukuarvo ilmaääneneristävyyssvaatimuksille, on otettu käyttöön niin kutsuttu ilmaääneneristysluku R_w . Ilmaääneneristysluku on A-painotettu keskiarvo taajuusjakaumasta, eli luku perustuu puheäänien taajuusjakaumaan ja ihmisen korvan herkkyyteen aistia eri taajuuksia. Käytännössä tämä tarkoittaa, että eri taajuuksilla suoritettavat mittaukset sijoitetaan kuvan 8 käyrästölle. Käyrästöllä mittaustuloksia verrataan niin kutsuttuun ISO 717-1 vertailukäyrään. Vertailukäyrä sijoitetaan mittaustuloksiin nähden 1 dB:n askelin ylimpään asentoon, jossa ei-toivottujen poikkeamien summaksi tulee enintään 32 dB. Ei-toivottu poikkeama tarkoittaa erotusta, kun mittaustulokset ovat vertailukäyrän arvoja pienempiä. Tämän jälkeen ääneneristysluku luetaan vertailukäyrästä, kun taajuus on 500 Hz. [1, s.58-60.]

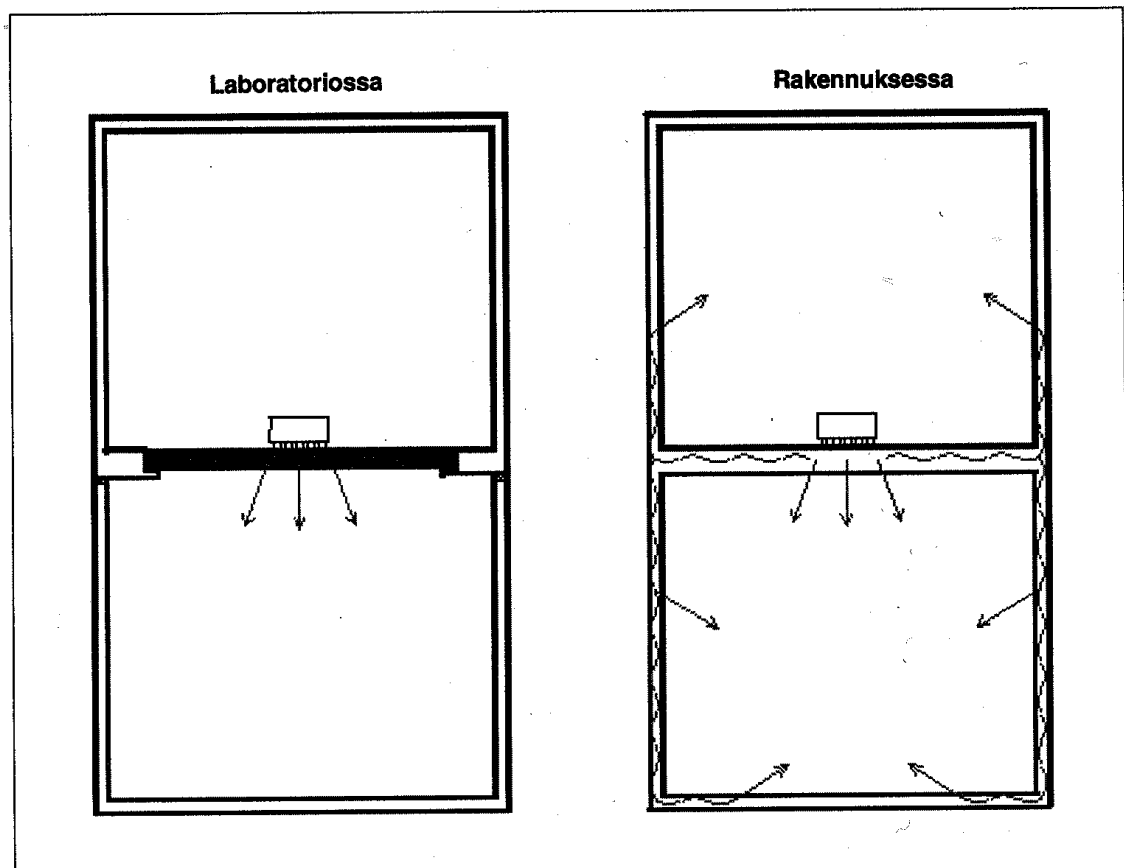


Kuva 8. Ilmaääneneristysluvun määrittäminen mittaustuloksista. [1, s.60].

3.1.2 Askelääneneristävyys

Askelääneneristävyttä L (dB) ei ilmaääneneristävyyden tavoin pysty äänitehojen suhteen kautta tarkastelemaan. Tämä johtuu siitä, että eristävyttä tutkittaessa pitäisi tuntea voima, jolla askeläänen aiheuttaja osuu rakenteeseen, jotta saataisiin tutkittua rakenteen askelääneneristävyttä. Tämän takia on otettu käyttöön standardoitu askeläänikoje, jonka iskuvoima tunnetaan. Kojeen tehtävänä on aiheuttaa rakenteeseen askelääni, jonka synnyttämä äänenpainetaso mitataan vastaanottotilassa taajuuskaistoittain. [1, s.115-116.]

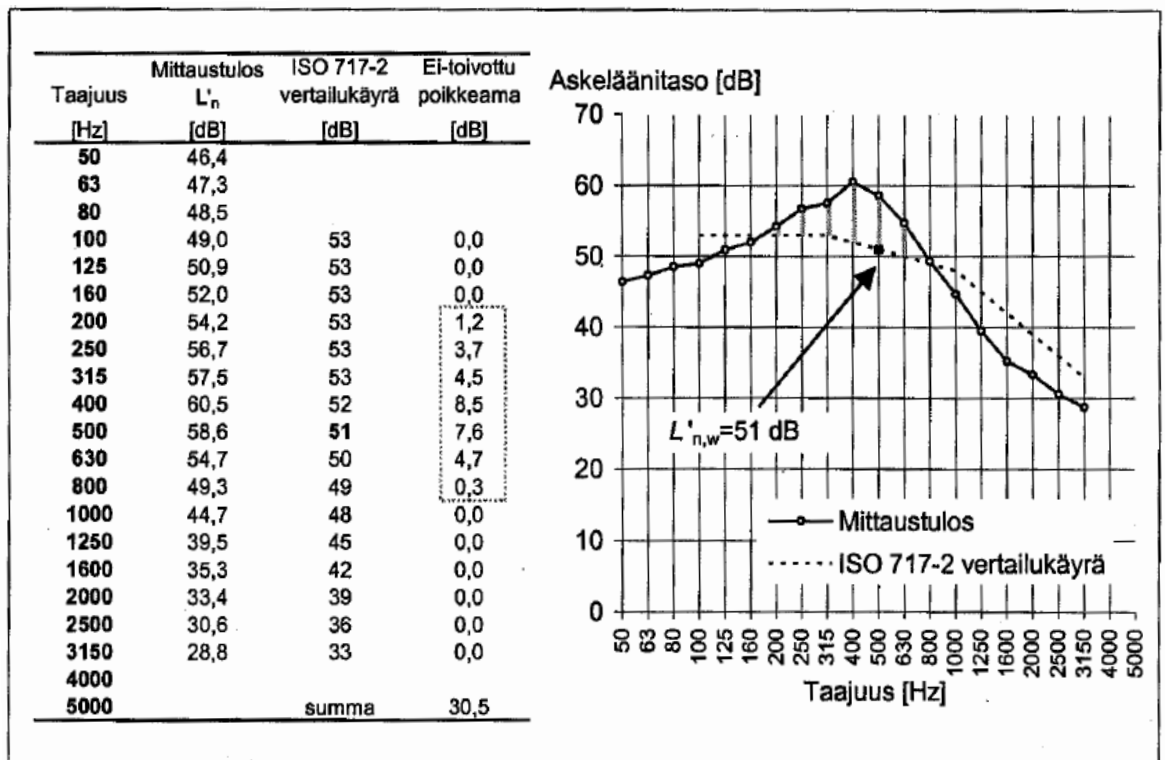
Askeläänikojeen viisi 0,5 kg painavaa vasaraa putoavat kukin kahdesti 40 cm korkeudelta lattiaan niin, että sekunnissa lattiaan tulee 10 osumaa. Kuvassa 9 on esitetty askelääneneristysmittausta laboratoriossa ja rakennuksessa. Kuten kuvassa on esitetty, rakennuksessa mittauksiin vaikuttavat äänen monet eri kulkureitit eli niin kutsutut sivutietyt, joista seuraavassa luvussa kerrotaan tarkemmin. [1, s.115-116.]



Kuva 9. Askelääneneristysmittaus laboratoriossa ja rakennuksessa [1, s.116].

Standardin mukaiset askeläänemittaukset suoritetaan vastaanottohuoneessa vähintään neljästä eri kohdasta mittaamalla. Kojeen sijoituskohtia lähetyshuoneessa on myös vähintään neljä eli kuusitoista eri mittausta suoritetaan, joiden tuloksena tulleista äänenpainetasoista lasketaan keskiarvo. Vastaanottotilan äänenpainetasoon vaikuttavat tilan absorptiopinta-ala, jälkikaiunta-aika ja tilan tilavuus, jotka huomioidaan laskuissa. [1, s.116-117.]

Kuten ilmaääneneristävyys, myös askelääneneristävyys ilmoitetaan yhtenä lukuarvona $L_{n,w}$, joka on painotettu keskiarvo eri taajuuksilla saaduista tuloksista. Toisin kuin ilmaääneneristävyyden lukuarvon suhteen, askelääneneristävyys on rakenteelle parempi mitä pienempi on tuloksena saatava lukuarvo eli toisella puolella rakennetta mitattava äänenpainetaso. Tämän vuoksi kuvassa 10 oleva ISO 717-2 vertailukäyrä, jota askelääniluvun määrittämiseen käytetään, sijoitetaan 1 dB:n askelin alimpaan asentoon, jossa ei-toivottujen poikkeamien summaksi tulee enintään 32 dB. Ei-toivottu poikkeama tarkoittaa erotusta, kun mittaustulokset ovat vertailukäyrän arvoja suurempia. Ääneneristysluku luetaan vertailukäyrästä, kun taajuus on 500 Hz. [1, s.116-117.]

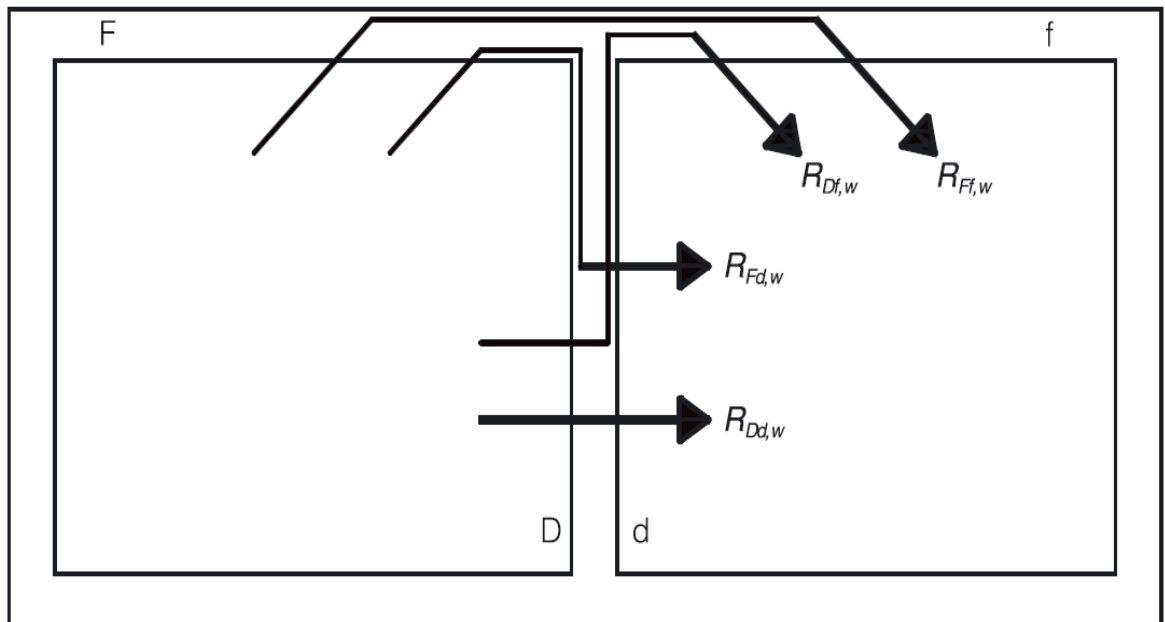


Kuva 10. Askelääneneristysluvun määrittäminen mittaustuloksista. [1, s.117].

3.2 Sivutiesiirtymät

Ääni ei aina kulje suorinta reittiä tilasta toiseen seinän tai välipohjan lävitse, vaan sillä on useita eri reittejä. Sivutiesiirtymäksi kutsutaan äänen siirtymistä tilojen välillä, joka tapahtuu muuten kuin tiloja rajoittavan rakenteen läpi suoraan. Akustisessa suunnittelussa sivutiesiirtymän merkitys nousee tärkeään asemaan, sillä pelkkä seinärakenteen hyvä ääneneristävyys ei merkitse mitään, ellei detaljitasolla ole huomioitu sivutiesiirtymän vaikutusta. Tarkasteltaessa välipohjarakenteiden ääneneristävyyttä tulee siis huomioida myös detaljitasolla liitokset toisiin rakennusosiin, mahdolliset ilmanvaihtokanavat, lämmitysjohtot ja -patterit, joiden kautta ääni pääsee siirtymään. [1, s.106.], [3, s.142.]

LVIS-järjestelmien kautta kulkevaa ääntä eristetään huolellisten liitos- ja läpivientidetallien suunnittelulla. Koska LVIS-järjestelmien kautta kulkevan äänen kulkumekanismi on erilainen, kuin rakenteita pitkin kulkevan, ei niille ole laskukaavaa, jonka avulla ne voitaisiin huomioida ääneneristävyden laskemisessa. Rakenteellisen sivutiesiirtymän laskemiseen sen sijaan on kehitelty standardi EN 12354-1, jonka avulla saadaan arvio siitä, kuinka paljon sivutiesiirtymä vaikuttaa laboratoriossa mitattuun ääneneristävyyteen. [1, s.106, 110-111.]



Kuva 11. Rakenteellisten sivutiesiirtymien $R_{Df,w}$, $R_{Fd,w}$ ja $R_{Dd,w}$ merkintätavat standardin EN 12354-1 mukaan [1, s.110].

Selvitettäessä rakenteen ääneneristänyyttä rakennuspaikalla puhutaan kenttämittauksista. Kenttämittauksia tehtäessä käytetään samoja laskentakaavoja kuin laboratoriomittauksissa, mutta ääneneristyslukuun lisätään pilkku merkitsemään kentällä saatua tulosta. Sivutiesiirtymän vaikutuksen takia kentällä mitattavat ääneneristysluvut $R'w$ ja $L'n,w$ rakenteelle ovat alhaisempia kuin samalle rakenteelle laboratoriossa mitattavat ääneneristysluvut Rw ja Ln,w . [1, s. 66-67.]

Mikäli kenttätuloksen ja laboratoriotuloksen erot ovat yli 3-5 dB, ei ole järkevää alkaa parantamaan itse rakennetta ääneneristävyttä parantaakseen, vaan on kiinnitettävä huomiota sivutiesiirtymien hallintaan. Teoriassa laboratoriossa mitattu ääneneristävyys, johon on huomioitu standardin EN 12354-1 avulla laskettu sivutiesiirtymä, tulisi vastata kenttäoloissa mitattua tulosta. Tämä ei kuitenkaan aina pidä paikkaansa johtuen esimerkiksi LVIS-kanavien sivutiesiirtymistä, joita standardin laskukaava ei huomioi. [1, s.106, 110-111.]

3.3 Rakennusakustiikan määräykset ja ohjeet

Rakennusten ääniolosuhteisiin on laadittu erilaisia määräyksiä, ohjeita ja säädöksiä. Tällaisia ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman eli RakMK:n C ja D osissa annetut määräykset ja ohjeet eri tilojen ääneneristysluvuista ja LVIS-laitteiden sallituista äänitasoista. Suomen rakentamismääräyskokoelman lisäksi myös Suomen standardoimisliitto, sosiaali- ja terveysministeriö, sekä sisäilmayhdistys ovat laatineet erilaisia rakennuksen äänimaailman suunnittelua helpottavia ohjeita ja luokituksia. Esimerkiksi standardoimisliiton standardeja, kuten rakenteellisen sivutiesiirtymän laskemiseen tarkoitettua standardia EN 12354-1, käytetään helpottamaan käytännönsuunnittelua. Kuvassa 12 esitetään RakMK:n osassa C olevat määräykset eri tilojen ääneneristysluvuista, jota käytetään uudisrakentamisessa. Näitä lukuja sovelletaan myös tässä työssä korjausvaihtoehtoja valittaessa. [1, s.16-17.]

Pienimmät sallitut ilmaääneneristyslusun R'_w (dB) arvot	dB	Ohje
– Asuinhuoneiston ja sitä ympäröivien tilojen välillä yleensä	55	Asuinhuoneiston porrastaso-ovena käytetään vähintään luokan 30 dB ovea tai oviyhdistelmää.
– Asuinhuoneiston ja toista huoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä, kun välissä on ovi	39	
Suurimmat sallitut askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ (dB) arvot	dB	Ohje
– Asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muuhun asuinhuoneeseen, yleensä	53	Vaatus 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.
		Selostus
		<i>Kevyet rakenteet läpäisevät matalia ääniä, joita askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ määrittämisessä ei huomioida. Nämä äänet saattavat kuulua häiritsevänä kuminana.</i>
– Uloskäytävästä asuinhuoneeseen	63	Ohje Uloskäytävällä tarkoitetaan tässä sel- laista porrashuonetta ja käytävää, jos- ta on käynti toiseen huoneistoon.

Kuva 12. Asuinrakennuksessa noudatettavat akustiset vaatimukset RakMk:n osan C1 mukaan [8, s.5].

Rakennusvalvonta valvoo, että rakennusten äänimaailma toteutetaan Rakentamismääräyskokoelman määräysten mukaan. Korjausrakentamisessa uudisrakennuksissa käytettäviä määräyksiä noudatetaan soveltuvin osin. Rakennusvalvonnan vaatimustaso vanhojen rakennusten ääneneristysluvuille asetetaan kyseisen rakennuksen rakentamisajankohdan määräysten mukaiselle tasolle. Peruseriaatteena on, etteivät ääniolosuhteet rakennuksessa saa korjausta tehtäessä heikentyä, eikä asukkaille saa koi- tua terveyshaittaa. [9.]

Vanhojen rakenteiden ääneneristävyteen puututaan, kun muutetaan huonetilajärjestelyjä (esimerkiksi keittiön tai märkätilojen siirrot). Yleensä tällaisissa tapauksissa raken- nusvalvonnalle riittää rakennesuunnittelijan kannanotto äänitekniisiin asioihin. Myös mit- tauksia voidaan pyytää suoritettavaksi, mikäli herää epäily toimenpiteen vaikutuksista.

Vanhoissa rakennuksissa voidaan myös joutua puuttumaan ääneneristykseen asukkaiden pyynnöstä. Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen, joka on verrattavissa uudelleen rakentamiseen, yhteydessä pyritään ääneneristävyysvaatimukset ulosmittaamaan nykymääräysten mukaisina. Taulukossa 5 esitetään vielä, kuinka ihminen havaitsee eristävyiden muutokset. Nämä on hyvä tiedostaa, kun verrataan vanhan rakenteen eristävyttä vaatimukseen ja valitaan korjausvaihtoehtoa. [5, s.117.], [9.]

Taulukko 5. Eristävyyden paraneminen, jonka ihminen havaitsee [5, s.117].

Eristävyyden muutos	Ihmisen havainto
1...2 dB	tuskin havaittava
3...4 dB	havaittava
5...6 dB	selvästi havaittava
7...8 dB	suuri muutos
≥ 10 dB	hyvin suuri muutos

4 Vanhat välipohjarakenteet

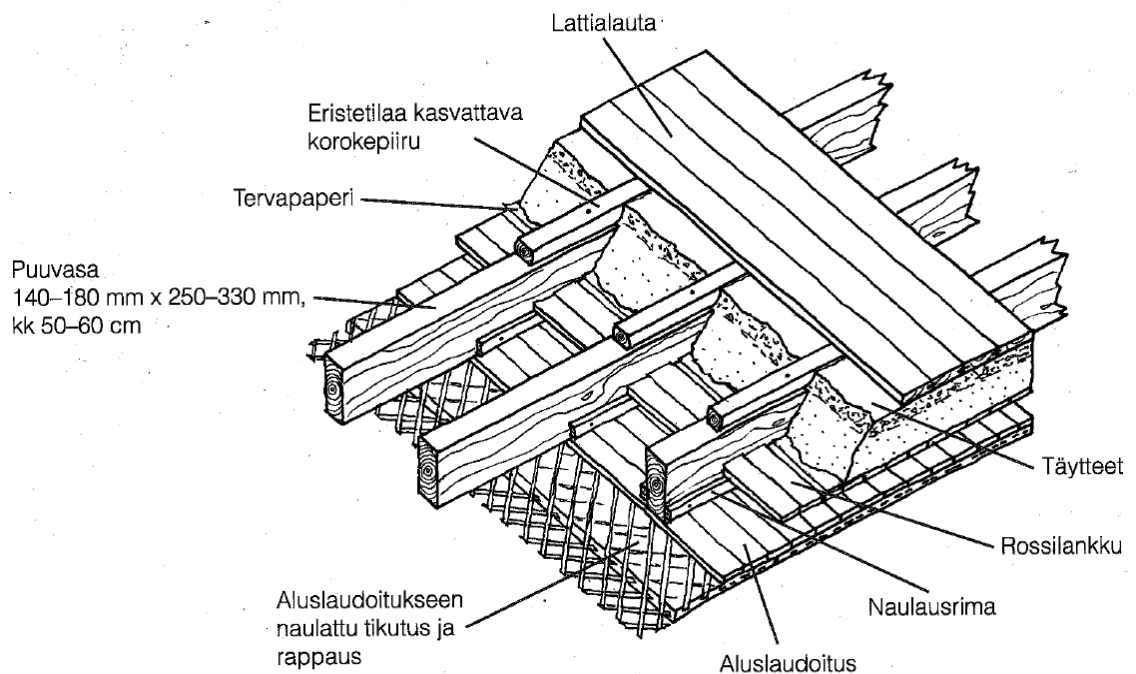
Vanhojen välipohjien kantavina rakenteina 1900-luvun alkuvuosista aina 1960-luvulle ja siitä eteenpäinkin ovat toimineet erilaiset puu-, teräs- ja betonirakenteet. Ääneneristykseen ei vanhoissa välipohjissa juurikaan alkuun kiinnitetty huomiota ja välipohjan täytteet olivat oikeastaan ainut keino eristää ääntä. Vasta 1910–1950-lukujen alalaattapalkisto rakenteissa alkoi näkymään askelääneneristykseen tarkoitettuja huopakaistoja. [10, s.88-102.]

Vanhojen välipohjarakenteiden ääneneristävyttä on haasteellista tutkia, sillä materiaalitietoa vanhoista rakenteista on hyvin vähän. Oikeastaan ainut varma keino saada tietoa vanhojen välipohjien todellisista ääneneristysluvuista on tehdä mittauksia paikanpäällä. Mittauksien perusteella välipohjia pyritään korjaamaan niin, ettei kantavien rakenteiden kuormaa oleellisesti lisätä. [7, s.177.]

4.1 Puuvälipohjat

Jykevät puuvasat olivat 1900-luvun alkuun asti oikeastaan ainut tapa kannatella asuin-kerrosten välipohjia. Puuvasat olivat sahattuja tai veistettyjä hirsiiä ja, kuten kuvassa 13 on esitetty, vasojen koko luokka oli 140-180 mm x 250-330 mm ja koolausvälinä käytettiin 500-600 mm:ä. Jännevälien ollessa suuria, puuvasoja saatettiin vahvistaa kuvan 13 mukaisilla rossilankuilla, jotka naulattiin vasojen kylkiin naulausrimojen avulla. Rossilankut toimivat myös eristeiden alustana, jolloin niiden päälle saatettiin asettaa kerros savea, tuhta tai tervapaperia eristeeksi ennen muita eristetäytteitä. [10, s.88-90.]

Puiset välipohjat kannateltiin päistä tiilimuurien päältä, mikä aiheutti ongelmia vasojen päiden kosteudelta suojaamisen suhteen. Ennen erilaisia eristyspapereita ja -pahveja kosteudelta suojaamiseen käytettiin yleisesti päiden tervausta tai tuohella suojaamista. Puuvasojen alapintoihin lyötiin usein kuvan 13 mukaisesti ponttilaudoitus, jonka jälkeen kattopinta saatettiin vielä rapata. 1900-luvulla perinteiset puuvälipohjien täytteet sammal ja olki väistyivät pikkuhiljaa turvepehkun tieltä. Vanhojen puuvälipohjien täytteiden tiivistysaineena toimi savi. Lautalattian päälle saatettiin laittaa parketti tai linoleumi eli korkkimatto. [10, s.88-90.]

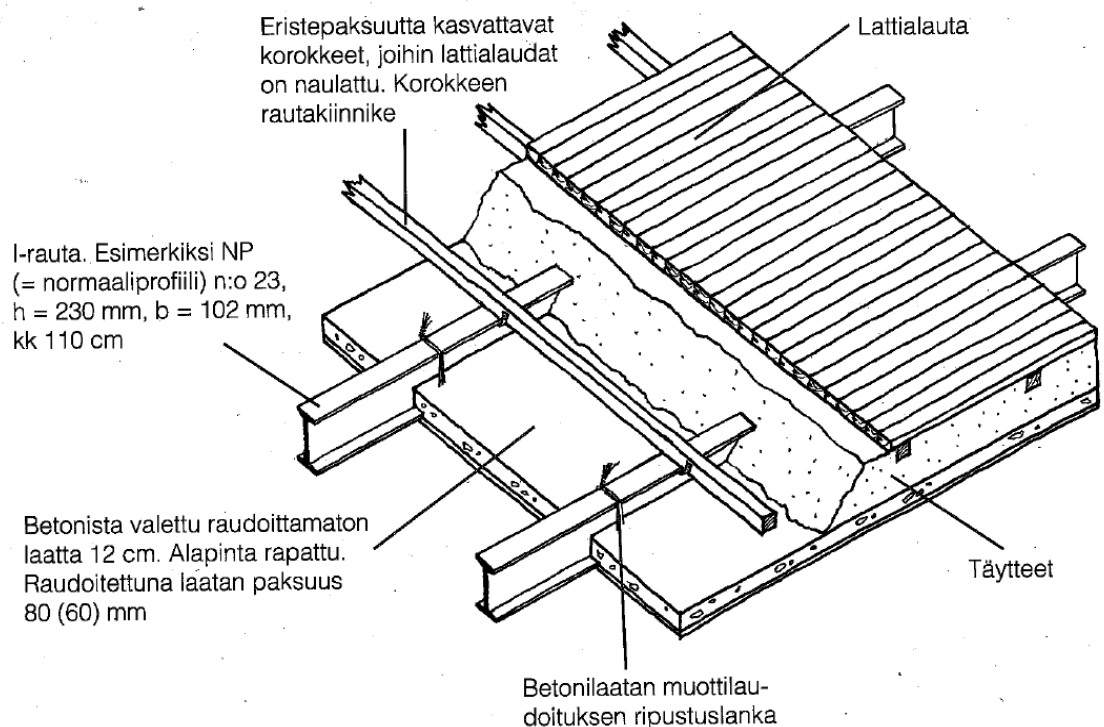


Kuva 13. Kantavana välipohjarakenteena puuvasat [10, s.90].

Vanhoissa puuvälipohjissa ääneneristävyyteen ei erityisesti kiinnitetty huomiota. Välipohjaeristeet, joiden osittainen tehtävä oli toimia ääneneristeenä, eivät olleet niin tiiviitä että olisivat eristäneet ääntä riittävästi. Ilmaääneneristävyys $R'w$ jäi usein noin 48-52 desibeliin eli taustamelun ollessa alhainen normaali puheäänikin saattoi kuulua rakenteen läpi. Askeläänentasoluku $L'n,w$ päällysteestä riippuen saattoi olla joustavilla päällysteillä 60-65 desibeliä ja joustamattomilla 65-70 desibeliä. Varsinkin askelääneneristys oli välipohjilla heikko johtuen keveistä välipohjista ja huonosti tiivistetyistä liitoksista. Välipohjien liitoksia seiniin ei huomioitu detaljitasolla erilaisilla eristyksillä, jonka vuoksi äänet pääsivät kulkemaan helposti runkoa pitkin suoraan ja sivuteitä pitkin. [7, s.178.], [11, s.302.]

4.2 I-rauta- ja rataiskovälipohjat

1900-luvun alkupuoliskolla rautapalkistot eli I-rauta- ja rataiskovälipohjat syrjäyttivät puiset välipohjakannattajat. Rautapalkistot koettiin varsinkin paloturvallisuussyistä paremmiksi kuin puupalkistot. Kuvassa 14 esitetyt I-rautakannattajat olivat paremman kantavuutensa vuoksi suosittumia kuin rataiskot. [10, s.92.]



Kuva 14. Kantavana välipohjarakenteena I-rautapalkit [10, s.94].

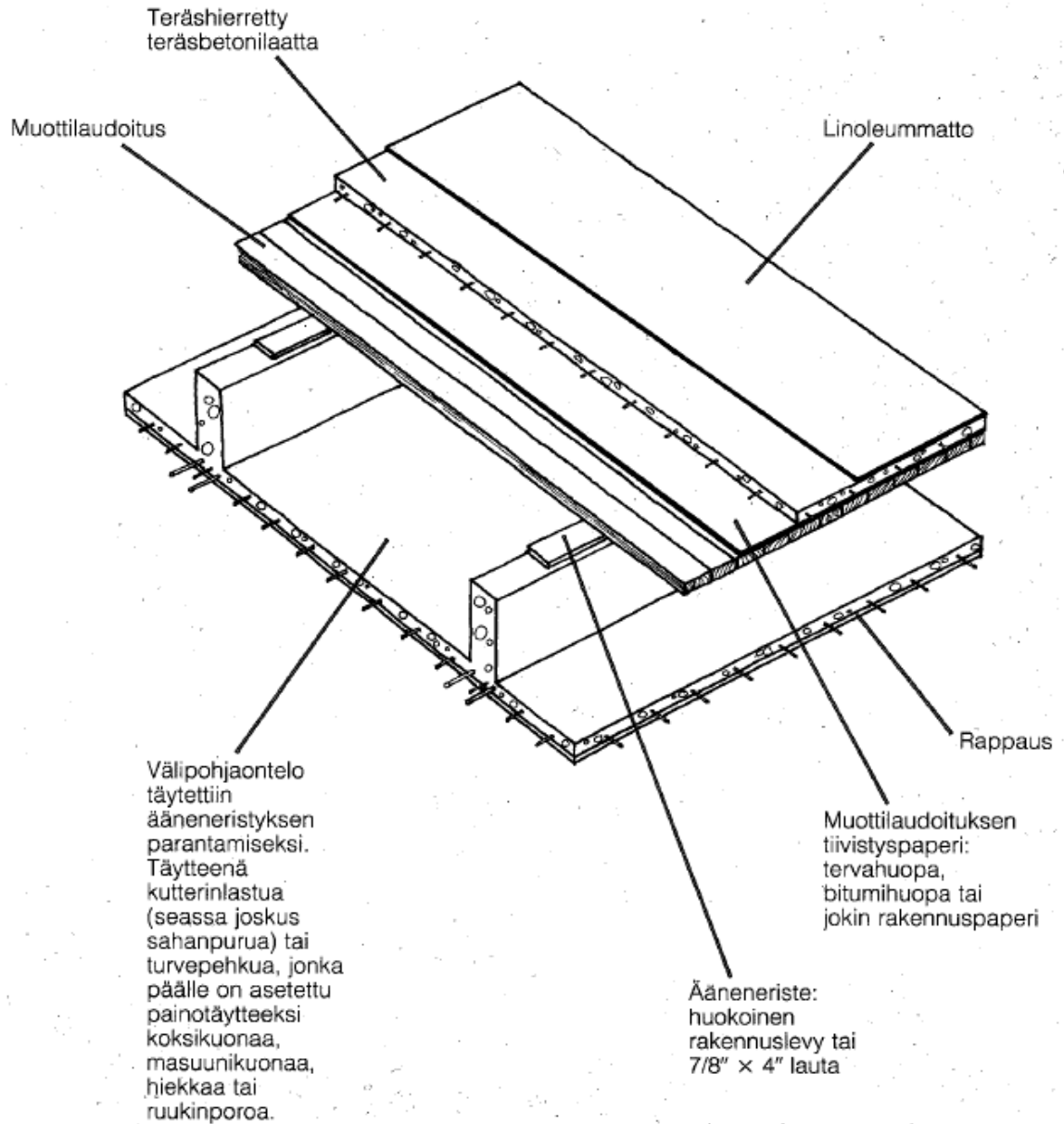
Rautakannattajien yleistyessä alalaippojen varaan saatettiin valaa kuvan 14 mukainen 60-120 mm paksu betonilaatta kannattamaan välipohjaeristeitä. Alkuun kuitenkin käytettiin rossilankkuja tai laakeaa tiiliholvia, joka muurattiin laippojen varaan, eristeiden kannattajana. 1920–1930-luvuilla kutterinlastu ja sahanpuru yleistyivät turvepehkun rinnalla, sillä ne syntyivät helposti puuntyöstön sivutuotteina. Lattiapintana toimi lautalattia, korkkimatto tai parketti. [10, s.92.]

I-rauta- ja rata-kiskovälipohjat olivat raskaampitekoisia kuin puuvälipohjat, joten niiden ääneneristyskyky ainakin ilmaäänien suhteen oli periaatteessa parempi. Ilmaääneneristävyydessä saatettiin yltää nykypäivän vaatimukseen eli 55 dB. Askeläänentasoluku saattoi joustavalla päällysteellä olla 58 dB. Näihin ääneneristysarvoihin vaikutti edelleen myös huonot detaljitason tiivistykset, mikä takia ääni pääsi liikkumaan runkoääninä rakennuksessa. [7, s.181-183.], [11, s.304.]

4.3 Betonivälipohjat

Betonin käyttö välipohjissa yleistyi, kun tajuttiin, että suojaamattomat rautakannattajat menettivät lujuutensa palotilanteessa. Rautakannattajien ympärille valettu betoni toi kestävyyttä rakenteelle tulipalotilanteessa. Lisäksi rauta ja betoni toimivat hyvin yhtenäisenä rakenteena, betonin ottaessa puristusjännitykset vastaan ja raudan vetojännitykset. 1910-luvulta lähtien alkoi betonisten välipohjaratkaisuiden kehitys, joka johti lopulta 1920-luvun alussa alalaattapalkiston vakiintumiseen yleisimmäksi kantavaksi välipohjatyypiksi. [10, s.92-100.]

Kuvassa 15 on esitetty välipohja, jonka kantavana rakenteena on alalaattapalkisto. Välipohjan koko paksuudeksi muodostui 400-450 mm ja kuvassa esitettyjen betonipalkkien etäisyys toisistaan oli 1000-1300 mm jännevälien ollessa 5-6 m. Välipohjatäytteitä kannatteleva alalaatta oli paksuudeltaan usein 40 mm ja alapinta laatassa oli usein rapattu. [10, s.92-100.]



Kuva 15. Kantavana välipohjarakenteena alalaattapalkisto [12, s.126].

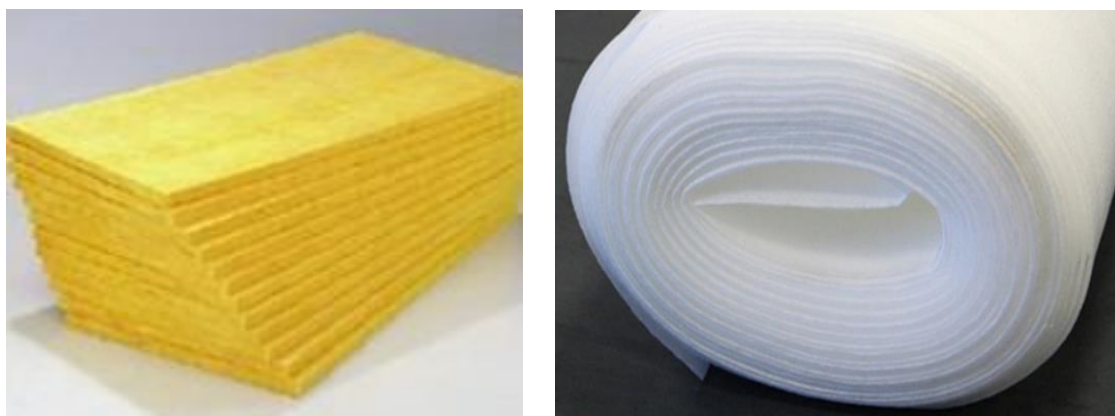
Vanhojen helposti palavien välipohjaeristeiden, kuten kutterinlastun ja sahanpurun painotäyteinä käytettiin kaikkea rakennusjätettä, kuten tiilimurska ja laastijäte. Myös hiekkaa ja kaasuteollisuuden sivutuotetta koksikuonaa käytettiin välipohjissa eristeiden painotuotteina. Välipohjien pintamateriaalina käytettiin usein lautalattiaa, mutta laudoituksen päälle saatettiin valaa myös betonilaatta, jonka päälle tuli linoleumi tai parketti. [10, s.92-100.]

Ääneneristys saatettiin ottaa huomioon välipohjatäytteiden lisäksi myös lattiankoolauksen päälle asetettavilla huopakaistoilla tai huokoisella rakennuslevyllä. Betonisille alalaattapalkistoille ilmaääneneristävyys oli päälle 53 desibeliä ja askeläänentasoluku samaa luokkaa kuin I-rauta- ja ratakiskovälipohjilla eli 58 dB joustavalla päällysteellä. [7, s.187.], [10, s.92-100.]

4.4 Vanhojen välipohjarakenteiden rakennusakustiset korjaussuunnitelmat

Välipohjien korjaustapoja voidaan tarkastella kahdella eri tavalla. Ensimmäinen hieman keveämpi korjaustapa ei sisällä ollenkaan vanhojen rakenteiden purkamista. Kaikki äänitekniset korjaustoimenpiteet lisätään olemassa olevaan rakenteeseen ilman vanhojen rakenteiden purkutoimenpiteitä. Hieman ehkäpä varmempi tapa on purkaa vanhat pintarakenteet ja tutkia vanhat täytteet välipohjassa. Tällöin saadaan myös selville, ovatko vanhat rakenteet vaurioituneita. Mikäli ihmiselle haitallisia yhdisteitä, kuten kreosoottia, todetaan välipohjassa, on niiden poisto myös mahdollista ennen korjaustoimenpiteitä. [7, s.177-179.]

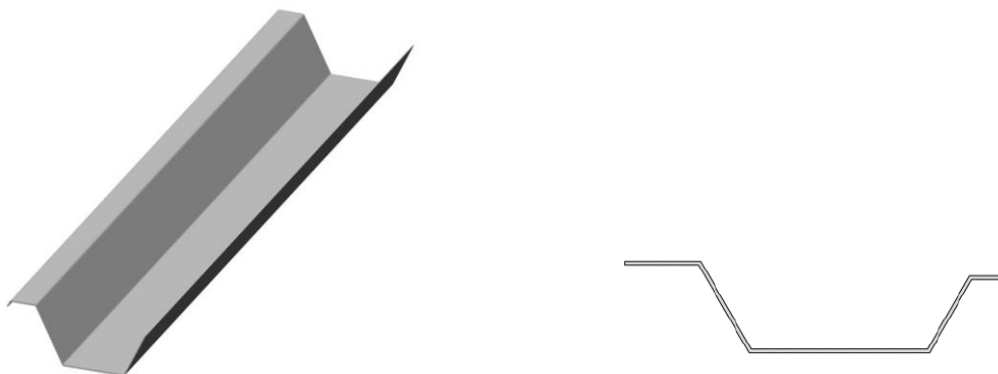
Keinot välipohjan ääneneristävyuden parantamiseen ilman vanhojen rakenteiden purkua ovat rakenteen päälle rakennettava kelluva lattiarakenne tai valettava, massaa kasvattava pintavalu. Rakenteen alapuolelle ääneneristykseen parantamiseksi voidaan rakentaa ripustettava levyrakenteinen alaslaskettu katto tai muu äänensäteilyä vähentävä levyrakenteinen. Mikäli rakenteen kuormituksia ei haluta kasvattaa, voidaan vanhoille välipohjille yleisimpinä korjaustoimenpiteinä pitää kolmea erilaista tapaa. [5, s.119-120.]



Kuva 16. Ensimmäisessä kuvassa Isover Flo eli lasihuovalla pinnoitettu askeläänieristelevy ja toisessa solumuovipohjainen askeläänieriste Solmer Askeläänieriste [13], [14].

Askelääneneristystä voidaan ensimmäisellä tavalla parantaa helpoiten tekemällä välipohjan vanhan lattiapinnan päälle kelluva lattia. Kelluva lattia tarkoittaa, että lattiapinnan päälle levitetään niin kutsuttu askeläänimatto. Kuvassa 16 on esitetty kaksi erilaista askeläänieristemattoa. Matto estää joustavuutensa ansiosta askeläänien kulkeutumista rakenteessa. Askeläänimaton päälle voidaan asentaa joko puu- tai levyllattia. Näin ollen vanhaan rakenteeseen ei tarvitse puuttua mitenkään. [7, s.182.]

Toinen korjaustapa, joka myöskin säilyttää vanhan rakenteet ennallaan on välipohjan alle ääneneristeiden kiinnitys. Ilmääneneristystä ja askelääneneristystä voidaan parantaa kiinnittämällä välipohjan alle rimat 50x50 mm ja 600 mm:n välein. Rimojen väleihin lisätään mineraalivilla ääneneristeeksi ja rimoihin kiinnitetään 25 mm akustiset jousirangat (kuva 17) 400 mm:n välein. Jousirankoihin kiinnitetään vielä rakennuslevyjä kaksi päällekkäin. [7, s.182.]

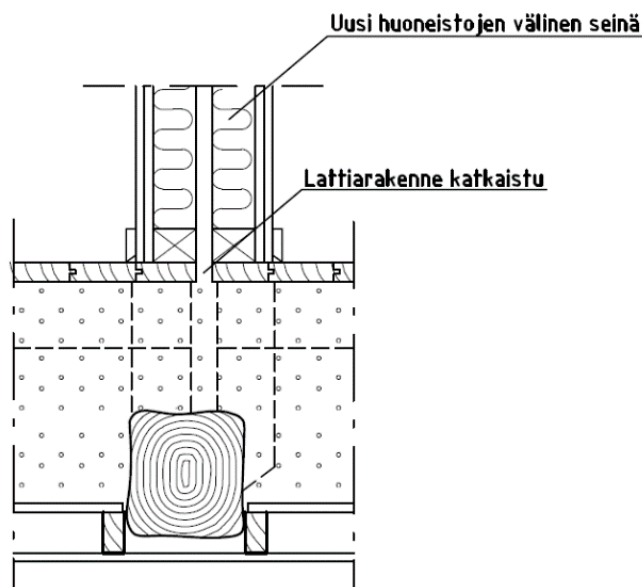


Kuva 17. Akustinen jousiranka [15], [16].

Kolmas korjaustapa on purkaa kaikki päällysrakenteet ja poistaa vanhat eristeet. Vanhojen eristeiden tilalle voidaan asentaa uudet paremmilla ääneneristysarvoilla varustetut eristeet ja lisäksi uusi lattiapinta voidaan tehdä kelluvaksi lattiaksi. Tämä on korjaustavoista ehdottomasti varmin, sillä vanhat rakenteet päästään tarkistamaan. Lisäksi voidaan saavuttaa uuden rakenteen veroiset ääneneristysluvut eristeiden vaihdolla ja muilla ääniteknisillä toimenpiteillä. [7, s.182.]

Pelkkä välipohjan ääneneristyksen parantaminen ei tietenkään hyödytä, mikäli ei puututa huonoihin liitosten tiivistyksiin, mitä kautta ääni pääsee runkoäänenä kulkemaan. Vaikka

välipohjan ääneneristys olisi toteutettu miten huolellisesti tahansa, ei tehdystä korjauksesta ole mitään hyötyä, mikäli välipohjan lävitse kulkee kantava väliseinärakenne, jonka liitosta välipohjaan ei ole eristetty. [7, s.182.]



Kuva 18. Uusi huoneistojen välinen seinä [7, s.182].

Kuvassa 18 on esitetty rakennekuva korjauskohteesta, jossa vanhaan rakennukseen rakennetaan uusi huoneistojen välinen seinä. Sivutiesiirtymän vähentämiseksi huoneistojen välillä on pintarakenteet katkaistu. [7, s.182.]

5 Tutkittava välipohjarakenne

Tutkittavana kohteena on Helsingin Hakaniemessä sijaitseva jugendtyylinen vanha kerrostalorakennus, jonka välipohjissa kantavana rakenteena on käytetty I-rautapalkkeja. Kohdetta käsitellään tutkimuksessa nimellä As. Oy Asiakas. Kohteeseen on aiemmin ympäristökeskuksen toimesta suoritettu askelääneneristysten mittaus, jonka pohjalta välipohjarakenteeseen tehtiin ääneneristyskorjaus. Tarve kohteen ääneneristysten parantamiseen lähti asukkaiden pyynnöstä. Pynnön syynä on ollut kahden erillisen huoneiston välisen välipohjan huono askelääneneristys. [17.]



Kuva 19. Rakenneavaus korjattavasta välipohjasta [17].

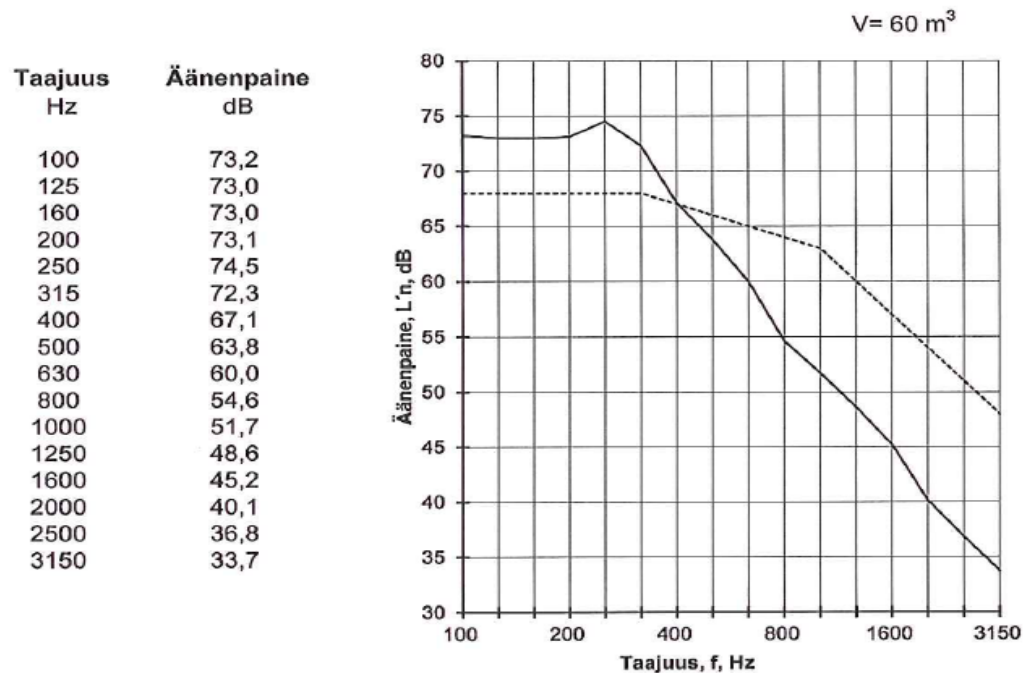
Kuvassa 19 on esitetty paikanpäällä tehty rakenneavaus korjaustyön lähtökohtana olleesta välipohjarakenteesta. Rakenteeseen tehdystä rakenneavauksesta selvisi välipohjan todellinen rakenne. I-rautapalkkien varaan oli valettu noin 80 mm paksuiset betoni-laatat, joiden päällä välipohjan eristeenä oli kuvassa näkyvää olkitäytettä. Olkitäytteen painona oli käytetty hiekkaa. I-rautapalkkien päällä kulki korokepuut, joiden varaan oli asennettu lattialankut. [17.]

5.1 Äänitekniset ominaisuudet

Tutkittavaa kohdetta vastaavan välipohjan teoreettisiksi ääneneristysluvuiksi oli aiemmin luvussa 4.2 annettu ilmaääneneristysluvuksi jopa 55 dB ja askeläänentasoluvuksi joustavalla päällysteellä 58 dB. Joustamattomalla päällysteellä teoreettinen askeläänentaso-luku saattoi olla noin 62 dB. Kohteessa As. Oy Asiakas ympäristökeskus oli vaatinut askeläänentasoluvuksi enintään 63 dB. Aiemmin esitetyn välipohjan teoreettinen askeläänentaso-luku täyttäisi tämän vaatimuksen. Asukkaiden valituksien perusteella tutkittavan kohteen rakenne täytyi kuitenkin tutkia ja osoittaa dB-arvot mittauksin tai laskelmin. [11, s.304.]

Askelääneneristys

Kohteen askelääneneristyksen mittaus aloitettiin aistinvaraisesti havainnoimalla alapuoliseen asuntoon kuuluvaa ääntä, kun avainnippua pudoteltiin lattialle yläpuolisen asunnon olohuoneessa, keittiössä ja makuuhuoneessa. Aistinvaraisesti todettiin alapuolelle kantautuneen äänen olevan varsinkin olohuoneen kohdalla niin voimakasta, että varsinaisiin mittauksiin ryhdyttäisiin. [17.]



Mittaustulos: $L'_{n,w}(C_i) = 66$ (0) dB

Mittaustarkkuus (hajonta) mittauksissa +/- 1.....+/- 2

Kuva 20. Askelääneneristävyyden mittaustulos korjattavasta välipohjasta [17].

Kuvassa 20 on esitetty mittaustulos, joka mitattiin yläpuolisen olohuoneen ja alapuolisen makuuhuoneen välipohjasta. Mittauslaitteena käytettiin Brüel & Kjaer 2260 Investigator äänitasomittaria. Mittaustuloksena saatu askeläänentasoluku 66 dB on huomattavasti korkeampi kuin aiemmin esitettyssä vastaavanlaisessa välipohjarakenteessa. Ero rakenteiden välillä on jopa 4 dB, joka on ihmiskorvaan havaittava ero. Uudisrakennuksen välipohjan vaadittavaan askeläänentasolukuun 53 dB verrattaessa luku on jo huomattavan suuri ja voidaan puhua ihmiskorvaan havaittavasta hyvin suuresta erosta. Kyseisessä

kohteessa ympäristökeskus on kuitenkin vaatinut terveydellisistä syistä askelääneneristysluvuksi enintään 63 dB. Mittaustulosten perusteella kohteessa päädyttiin välipohjan äänitekniiseen korjaukseen. [17.]

Ilmaääneneristys

Kohteen ilmaääneneristävyyttä ei mitattu, sillä valituksen kohteena oli huono askelääneneristävyys ja korjaukset kohteeseen tehtiin saadun askeläänentasoluvun mittaustuloksen perusteella. Vastaavanlaisten välipohjarakenteiden teoreettinen ilmaääneneristävyys on noin 55-59 dB. Kohteen välipohjarakenteessa oli kuitenkin askelääneneristävyys huomattavasti huonompi kuin vastaavanlaisissa rakenteissa, joten alla olevissa laskelmissa on pyritty selvittämään todellista ilmaääneneristävyyttä. Oletetaan rakenteiden ilmaääneneristävyyden noudattavan massalakia taajuuksilla, joita tutkitaan laskuissa. Tällöin erillisten rakenneosien ilmaääneneristävyydet saadaan alla olevasta kaavasta, jossa m' on rakenneosan pintamassa [kg/m^2] ja f on taajuus [Hz].

$$R_0 = 20 \lg m' + 20 \lg f - 48 \quad (1)$$

Rakenteiden ilmaääneneristävyydet on laskettu keskitaajuuksilla 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ja 2000 Hz. Tämä johtuu ilmaääneneristävyyden vertailukäyrän arvoista, jotka on annettu oktaavikaistoittain ja vain näille keskitaajuuksille. Alla olevassa taulukossa 6 on esitetty kootusti liitteessä 1 rakenneosille lasketut arvot.

[1, s.61, 71.]

Taulukko 6. Lattialankkujen ja betonilaatan ilmaääneneristävyydet [1, s.61, 74].

Taajuudet	R ₁ Lattialankut (440kg/m ³)	R ₂ Betonilaatta (2500kg/m ³)
125 Hz	18,40 dB	39,96 dB
250 Hz	24,42 dB	45,98 dB
500 Hz	30,44 dB	52,00 dB
1000 Hz	36,46 dB	58,02 dB
2000 Hz	42,49 dB	64,04 dB

Lattialankut ja betonilaatta muodostavat kaksinkertaisen rakenteen. Kaksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristävyys eri taajuuksilla lasketaan rajataajuuksien mukaan seuraavilla kolmella kaavalla, kun kaksinkertaisen rakenteen välissä oleva tila on täynnä absorboivaa ainesta esimerkiksi mineraalivillaa.

$$R_{ideal} = 20lg(m_1 + m_2) \cdot f - 48 \quad f < f_{mam} \quad (2)$$

$$R_{ideal} = R_1 + R_2 + 20lgfd - 29 \quad f_{mam} < f < f_d \quad (3)$$

$$R_{ideal} = R_1 + R_2 + 6 \quad f < f_d \quad (4)$$

Rajataajuudet f_{mam} ja f_d on laskettu alla olevilla kaavoilla, joissa d on rakenteen ilmavälin paksuus, c_0 on äänennopeus ilmassa (343m/s) ja m_1 ja m_2 ovat lattialankkujen ja betonilaatan pintamassat.

$$f_{mam} = 80 \sqrt{\frac{1}{d} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2}} = 80 \sqrt{\frac{1}{0,2m} \cdot \frac{16,72kg/m^2 + 200kg/m^2}{16,72kg/m^2 \cdot 200kg/m^2}} = 45,54 \text{ Hz} \quad (5)$$

$$f_d = \frac{c_0}{6d} = \frac{343 \text{ m/s}}{6 \cdot 0,2m} = 285,83 \text{ Hz} \quad (6)$$

Alla olevassa taulukossa 7 on kerätty eri taajuuksilla lasketut ilmaääneneristävyys koko rakenteesta. Taulukossa olevat arvot on laskettu rakenteelle, jossa on ääntä hyvin absorboivaa mineraalivillaa kaksinkertaisen rakenteen välissä olevassa ilmatilassa.

[1, s.76.]

Taulukko 7. Rakenteen ilmaääneneristävyys [1, s.76].

Taajuudet	R_{ideal}
125 Hz	37,75 dB
250 Hz	50,99 dB
500 Hz	88,44 dB
1000 Hz	100,48 dB
2000 Hz	112,53 dB

Kohteen As. Oy Asiakas ilmatila on täynnä ei-absorboivaa olkitäyttöä. Olkitäyttö on ääneneristysominaisuuksiltaan verrattavissa tyhjään ilmatilaan, joten saatuihin arvoihin otetaan käyttöön ääneneristävyyden muutostermi ΔR_{abs} , joka saadaan alla olevasta kaavasta. Kaavassa oleva absorptiosuhde α_{eff} on 0,05.

$$\Delta R_{abs} = 10 \lg \alpha_{eff} \quad (7)$$

$$R_{real} = R_{ideal} \quad f < f_1 \quad (8)$$

$$R_{real} = R_{ideal} + \Delta R_{abs} \quad f \geq f_1 \quad (9)$$

Korjaustermi huomioidaan rajataajuutta f_1 pienemmillä tai yhtä suurilla taajuuksilla, kuten yllä olevissa kaavoissa on esitetty. Tämä johtuu siitä, että ilmatila ei mahdu kaikumaan suuremmilla taajuuksilla aallonpituuden takia. Alla olevassa kaavassa on esitetty rajataajuuden f_1 laskenta.

$$f_1 = \frac{c_0}{2L} = \frac{343 \text{ m/s}}{2 \cdot 0.6 \text{ m}} = 285,83 \text{ Hz} \quad (10)$$

Taulukkoon 8 on kerätty lopulliset eri keskitaajuuksilla lasketut ilmaääneneristävyydet koko rakenteesta. Saatujen arvojen viereen on koottu ISO 717-1 vertailukäyrän arvot. Laskelmien vertailukäyrä eroaa hieman mittauksissa käytetystä vertailukäyrästä, sillä vertailtavia arvoja on annettu vain viidelle oktaavikaistan keskitaajuudelle. Käyrästä tuloksia verrataan vertailukäyrän arvoihin ja vertailukäyrä sijoitetaan mittaustuloksiin nähden 1 dB:n askelin ylimpään asentoon, jossa ei-toivottujen poikkeamien summaksi tulee enintään 10 dB. Ei-toivottu poikkeama tarkoittaa erotusta, kun laskutulokset ovat vertailukäyrän arvoja pienempiä. Tämän jälkeen ääneneristysluku luetaan vertailukäyrästä, kun taajuus on 500 Hz. Tutkittavan rakenteen ilmaääneneristysluku on siis 47 dB laskelmien mukaan. Tulos kuulostaa paikkaansa pitävältä, sillä askeläänentasolukukin rakenteelle oli huomattavasti huonompi kuin alkuoletuksena oli.

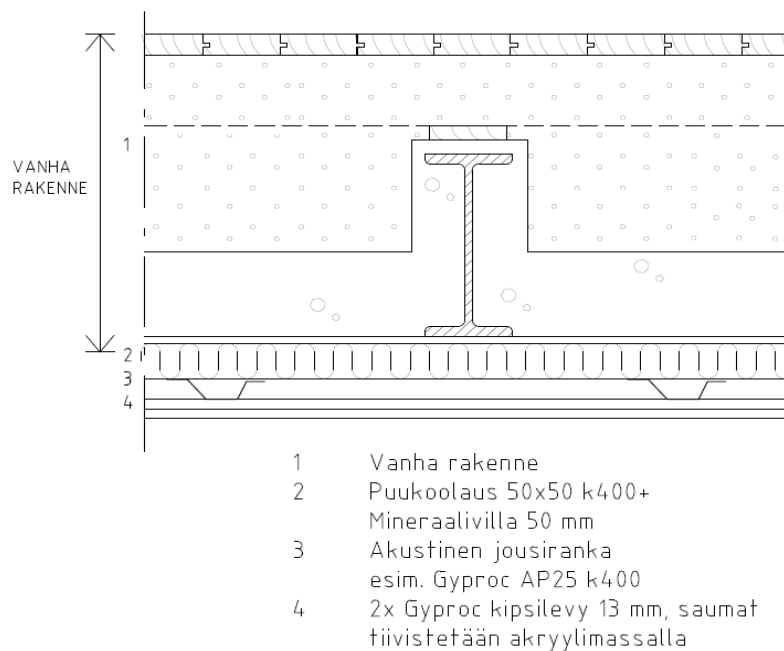
[1, s.76.]

Taulukko 8. Rakenteen ilmäääneneristävyydet [1, s.76].

Taajuudet	R_{real}	Vertailukäyrän arvot	Ei-toivotut poikkeamat
125 Hz	24,75 dB	31,00 dB	6,25
250 Hz	37,99 dB	40,00 dB	2.01
500 Hz	88,44 dB	47,00 dB	0
1000 Hz	100,48 dB	50,00 dB	0
2000 Hz	112,53 dB	51,00 dB	0

5.2 Korjaussuunnitelmat

Kohteeseen As Oy Asiakas tehtiin ääneneristyskorjaus välipohjan alapintaan. Kohteeseen asennettiin kuvan 21 mukaiset jousirangat ja niihin kiinnitettiin kipsilevyt. [17.]

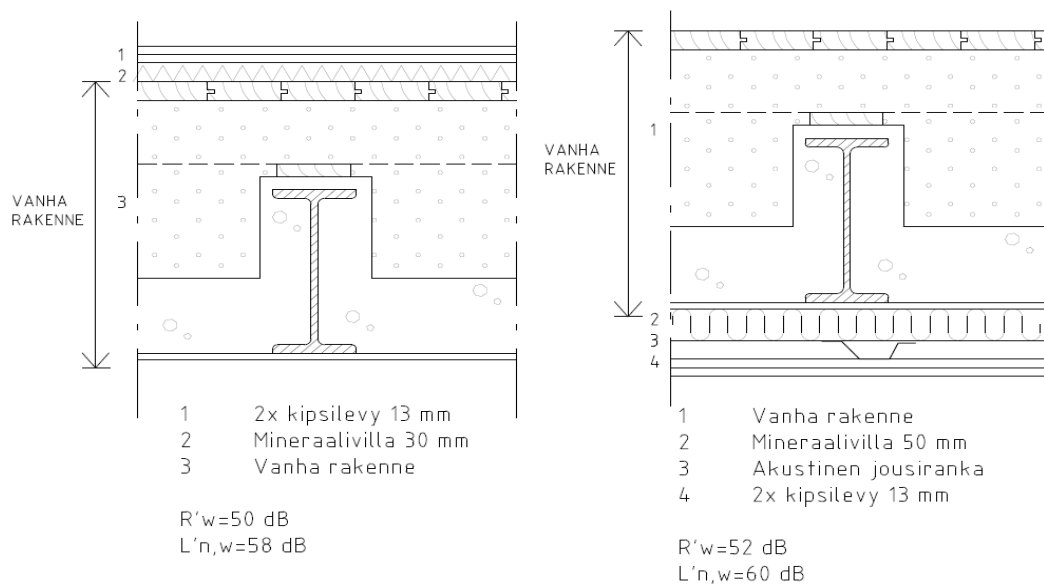


Kuva 21. Välipohjarakenteen toteutettu korjaussuunnitelma [17].

Verrattaessa erilaisia välipohjan korjausvaihtoehtoja on syytä tarkastella kustannuksia, korjaustyön vaivattomuutta ja vaikutusta ääneneristyslukuihin. Ensimmäisenä tarkastelusta jätetään pois välipohjan purkutöihin johtavat korjaustoimenpiteet eli välipohjan eristeiden vaihdot ja laudoituksen uusiminen. Tämä korjaustapa olisi tietenkin varmin tapa saavuttaa uudisrakentamisen vaatimukset ääneneristävyden suhteen. Samalla saataisiin kaikki mikrobikasvustot ja ihmiselle haitalliset aineet poistettua välipohjasta, mikäli siellä näitä olisi. Purkutyöt ja uuden rakentaminen ei kuitenkaan ole kustannusten kannalta, eikä myöskään työmäärältään edukas ratkaisu. Tarkasteluun jää siis välipohjan alapuolinen ääneneristys ja välipohjan yläpuolinen ääneneristys.

Rakenteeseen ei pystytä valamaan kelluvaa betonilaattaa mitenkään viisaasti toteutettuna. Myöskään rakenteesta ei tiedetä, kuinka hyvin se kestäisi uuden laatan kuormat. Välipohjarakenteeseen ei haluta tehdä lisätuentoja, joista koituisi asukkaille lisäkustannuksia. Tällöin vaihtoehdoksi jää välipohjan alapuolisten akustisten jousirankojen ja kipsilevytyksen lisäksi rakenteen yläpuolelle askeläänimatton asennus ja kipsilevytys. Kuvasssa 22 on vertailtu näiden vaikutuksia ääneneristyslukuihin. Parannusluvut ovat laskeutu tutkittavalle välipohjarakenteelle arvoista, jotka oli alun perin annettu rakenteelle, jonka ilmäääneneristysluku oli 55-59 dB ja askeläänitasoluku kovalla päällysteellä oli 58-62 dB.

[11, s.302-304.]



Kuva 22. Välipohjarakenteen korjausvaihtoehdot [11, s.302-304].

Kuvasta 22 nähdään, että välipohjan alle asennettavat jousirangat ja kipsilevytyt on ilmaääneneristävyydeltään hieman parempi kuin välipohjan päälle asennettava askeläänimatto ja kipsilevyt. Toisaalta askeläänimaton ja kipsilevytyksen kanssa askelääneneristys on parempi. Lisäksi työmäärän kannalta on helpompi tehdä ääneneristys välipohjan päälle. Levitettäessä askeläänimatto valmiille lautapinnalle ei tarvitse tehdä erillisiä koolauksia eristeille eikä tarvitse työskennellä ylöspäin kurkottaen. Kustannuksiltaan yläpuolinen eristys tulee myös halvemmaksi.

Mikäli rakenteen haluttaisiin saavuttavan uudisrakennuksen ääneneristysvaatimustason, voitaisiin rakenteita purkamatta toteuttaa edellä esitetyt yläpuolinen, sekä alapuolinen eristys samanaikaisesti. Tällöin teoreettisten äänentasolukujen arvot voisivat olla ilmaääneneristävyydenluku jopa 65 dB ja askeläänentasoluku 50 dB. Teoreettisia desibelejä arvioitaessa tulee aina muistaa kuitenkin sivutiesiirtymän vaikutukset ottaa huomioon. Mikäli rakenteen läpivientejä ja liitoksia ei ole riittävän hyvin tehty tai seinien kautta pääsee ääni kulkemaan, ei välipohjan eristyksen parantaminen ratkaise ongelmaa.

Kohteessa päädyttiin jousirankoihin, vaikka askeläänimattolla saavutettaisiin teoreettisesti parempi askeläänitasoluku, sekä askeläänimaton asennus olisi pienempi työmäärältään ja kustannustehokkaampi. Kohteessa As. Oy Asiakas oli kuitenkin muita tekijöitä, jotka saattoivat johtaa alapuolisen eristyksen valintaan. Huonosta askelääneneristyksestä huomauttava asukas oli alakerran asukas, joten oli varmasti helpompaa sopia hänen kanssaan korjaustyöstä. Kohteessa oli myös lattiapinnoitteena lankkulattia, jota yläkerran asukas ei mahdollisesti halunnut peittää.

[11, s.302-304.]

6 Yhteenveto

Insinööritoimisto Dracon Oy:n vanhojen välipohjien äänitekniikan rakennesuunnittelun helpottamista varten tutkittiin vanhojen välipohjien äänitekniikkaa ja äänitekniistä korjausta. Äänitekniikan tarkastelun kohteina olivat vanhat puu-, I-rauta- ja ratakisko- sekä teräsbetonivälipohjat. Betoniset massiivilaatat rajattiin tarkastelusta pois.

Vanhoista välipohjista selvitettiin teoreettiset ääneneristävyydet kirjallisuuslähteiden avulla ja kerrottiin yleisistä välipohjien korjausvaihtoehdoista. Työssä ei perehdytty korjaustapoihin, joissa olisi joutunut purkamaan vanhoja rakenteita. Myöskään pelkkää rakenteeseen ylä- tai alapuolelle asennettavaa kipsilevytystä ei huomioitu korjausvaihtoehdoksi. Pelkän kipsilevytyksen parannus välipohjan ääneneristävyyteen on vain noin muutama desibeli, eikä näin ollen kipsilevytys ole kovin tehokas ratkaisu vanhan välipohjan ääneneristyskorjaukseksi.

Kirjallisuuslähteiden lisäksi haastateltiin Helsingin rakennusvalvontaviraston asiantuntijoita siitä, minkälaisia vaatimuksia heillä on vanhojen välipohjien ääneneristävyydelle ja milloin ääneneristyskorjauksia tulisi suorittaa. Tarkempaan tutkimukseen otettiin yksi Dracon Oy:n korjauskohteista, joka askelääneneristävyyden takia oli korjattu jo aikaisemmin välipohjasta suoritettuna mittauksella.

Tarkoituksena oli tutkia välipohjan ilmaääneneristävyyttä laskennallisesta ja tarkastella olisiko jokin muu korjausvaihtoehto soveltunut kyseiseen välipohjaan. Lopullisina korjausvaihtoehtoina saatiin kaksi korjausratkaisua, joista toinen oli välipohjan yläpinnan ääneneristys ja toinen alapinnan. Molemmista vaihtoehdoista löytyi niiden puolesta puhuvia puolia, mutta helpommaksi ja halvemmaksi todettiin yläpuolinen ääneneristys askeläänimatolla ja kipsilevytyksellä.

Lähteet

- 1 RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 2 Mäkelä, Simo. 1999. Tekninen eristäminen. Helsinki: Suomen Eristysyhdistys ry ja Opetushallitus.
- 3 Siikanen, Unto. 1996. Rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 4 Kylliäinen, Mikko. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- 5 Oy Partek Ab. 1991. Äänikirja. Helsinki: Oy Partek Ab.
- 6 Lahtela, Tero. 2004. Ääneneristys puutaloissa. Helsinki: Puuinfo.
- 7 RIL 129-2003. 2003. Ääneneristyksen toteuttaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 8 Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa C1. 1998. Ääneneristys ja melun-
torjunta rakennuksessa. Helsinki: Suomen ympäristöministeriö.
- 9 Lind, Arto. Tarkastusinsinööri, DI. Helsingin kaupungin Rakennusvalvontavi-
rasto. Haastattelu. 19.3.2014.
- 10 Neuvonen, Petri., Mäkiö, Erkki., Malinen Maarit. 2002. Kerrostalot 1880-1940.
Hämeenlinna. Rakennustieto Oy.
- 11 Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. 2012. Gyproc Käsikirja. Hyvinkää: Saint-
Gobain Rakennustuotteet Oy.
- 12 Mäkiö, Erkki ym. 1990. Kerrostalot 1940-1960. Porvoo. Rakennuskirja Oy.
- 13 Erikoisparketti.fi-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.erikoisparketti.fi/index.php?page=product&productID=440>> Luettu: 19.2.2014.
- 14 Isover-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/askelaanieristeet/2528/isover-flo>> Luettu: 19.2.2014.
- 15 Aulis Lundell Oy-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.aulislundell.fi/tuotteet/hattulistat/jousiranka>> Luettu: 19.2.2014.

- 16 Puuinfo-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/palkkivalipohjan-aanitekniikka/palkkivalipohjan-aanitekniikka.pdf>> Luettu: 19.2.2014.
- 17 Dracon Oy:n tietokanta. 10.1.2014

Rakennesien ilmaääneneristävyydet massalain mukaan

Lähtötiedot:

Lattialankkujen (kuusipuun) tiheys = 440 kg/m³

Betonilaatan tiheys = 2500 kg/m³

Lattialankkujen (kuusipuun) pintamassa = 440 kg/m³ * 0.038 m = 16.72 kg/m²

Betonilaatan pintamassa = 2500 kg/m³ * 0.080 m = 200 kg/m²

$$R_0 = 20 \lg m' + 20 \lg f - 48$$

$$R_{1,\text{lattialankut},125 \text{ Hz}} = 20 \lg 16.72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 20 \lg 125 \text{ Hz} - 48 \approx 18,40 \text{ dB}$$

$$R_{1,\text{lattialankut},250 \text{ Hz}} = 20 \lg 16.72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 20 \lg 250 \text{ Hz} - 48 \approx 24,42 \text{ dB}$$

$$R_{1,\text{lattialankut},500 \text{ Hz}} = 20 \lg 16.72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 20 \lg 500 \text{ Hz} - 48 \approx 30,44 \text{ dB}$$

$$R_{1,\text{lattialankut},1000 \text{ Hz}} = 20 \lg 16.72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 20 \lg 1000 \text{ Hz} - 48 \approx 36,46 \text{ dB}$$

$$R_{1,\text{lattialankut},2000 \text{ Hz}} = 20 \lg 16.72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 20 \lg 2000 \text{ Hz} - 48 \approx 42,49 \text{ dB}$$

$$R_{2,\text{betonilaatta},125 \text{ Hz}} = 20 \lg 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 20 \lg 125 \text{ Hz} - 48 \approx 39,96 \text{ dB}$$

$$R_{2,\text{betonilaatta},125 \text{ Hz}} = 20 \lg 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 20 \lg 125 \text{ Hz} - 48 \approx 45,98 \text{ dB}$$

$$R_{2,\text{betonilaatta},125 \text{ Hz}} = 20 \lg 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 20 \lg 125 \text{ Hz} - 48 \approx 52,00 \text{ dB}$$

$$R_{2,\text{betonilaatta},125 \text{ Hz}} = 20 \lg 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 20 \lg 125 \text{ Hz} - 48 \approx 58,02 \text{ dB}$$

$$R_{2,\text{betonilaatta},125 \text{ Hz}} = 20 \lg 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 20 \lg 125 \text{ Hz} - 48 \approx 64,04 \text{ dB}$$

[1, s.74-76.]

Kaksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristävyys taajuuksittain

$$\begin{aligned}
 R_{ideal} &= 20\lg(m_1 + m_2) \cdot f - 48 & f < f_{mam} \\
 R_{ideal} &= R_1 + R_2 + 20\lgfd - 29 & f_{mam} < f < f_d \\
 R_{ideal} &= R_1 + R_2 + 6 & f < f_d
 \end{aligned}$$

$$f_{mam} = 80 \sqrt{\frac{1}{d} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2}} = 80 \sqrt{\frac{1}{0,2m} \cdot \frac{16,72kg/m^2 + 200kg/m^2}{16,72kg/m^2 \cdot 200kg/m^2}} = 45,54 \text{ Hz}$$

$$f_d = \frac{c_0}{6d} = \frac{343 \text{ m/s}}{6 \cdot 0,2m} = 285,83 \text{ Hz}$$

Taajuudet 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ja 2000 Hz

$$R_{ideal} = 18,40 \text{ dB} + 39,96 \text{ dB} + 20\lg(125 \text{ Hz} \cdot 0,2 \text{ m}) - 29 = 37,75 \text{ dB}$$

$$R_{ideal} = 24,42 \text{ dB} + 45,98 \text{ dB} + 20\lg(250 \text{ Hz} \cdot 0,2 \text{ m}) - 29 = 50,99 \text{ dB}$$

$$R_{ideal} = 30,44 \text{ dB} + 52,00 \text{ dB} + 6 = 88,44 \text{ dB}$$

$$R_{ideal} = 36,46 \text{ dB} + 58,02 \text{ dB} + 6 = 100,48 \text{ dB}$$

$$R_{ideal} = 42,49 \text{ dB} + 64,04 \text{ dB} + 6 = 112,53 \text{ dB}$$

$$R_{real} = R_{ideal} \quad f < f_1$$

$$R_{real} = R_{ideal} + \Delta R_{abs} \quad f \geq f_1$$

$$f_1 = \frac{c_0}{2L} = \frac{343 \text{ m/s}}{2 \cdot 0,6m} = 285,83$$

$$\Delta R_{abs} = 10\lg\alpha_{eff} = 10\lg 0,05 = -13 \text{ dB}$$

Taajuudet 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ja 2000 Hz

$$R_{real} = 37,75 \text{ dB} - 13 \text{ dB} = 24,75 \text{ dB}$$

$$R_{real} = 50,99 \text{ dB} - 13 \text{ dB} = 37,99 \text{ dB}$$

$$R_{real} = 88,44 \text{ dB}$$

$$R_{real} = 100,48 \text{ dB}$$

$$R_{real} = 112,53 \text{ dB}$$

[1, s.77-78.]