

Jyrki Annala

Rivi- ja paritalojen ääneneristävyyden toteutus

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Jyrki Annala

Työn nimi: Rivi- ja paritalojen ääneneristävyyden toteutus

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2012

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää rivi- ja paritalojen ääneneristävyyteen liittyviä ongelmia ja niiden ratkaisemiseen liittyviä vaihtoehtoja. Opinnäytetyössä tarkastellaan teorian pohjalta rivi- ja paritalojen ääneneristykseen liittyviä haasteita suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa.

Työssä selvitetään rakennepiirustusten avulla rakenteiden ääniteknistä toimintaa. Opinnäytetyöhön kuuluu myös käytännön ilma- ja askelääneneristysmittauksen suorittaminen valmistumassa olevaan rivitalokohteeseen.

Opinnäytetyö antaa lukijalle tiivistetyn tietopaketin ääneneristävyyden toteutuksesta ja rakenteiden ääniteknisestä toiminnasta. Lisäksi opinnäytetyössä kerrotaan lyhyesti akustoisista materiaaleista ja ratkaisuista rivi- ja paritaloissa.

Avainsanat: ääneneristys, akustiikka, ääni

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Jyrki Annala

Title of thesis: Sound insulation of row houses and duplexes

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2012 Number of pages: 46 Number of appendices: 2

The goal of the thesis is to research problems of sound insulations in row houses and duplexes, and to evaluate different solutions to these problems, in more detail the challenges of sound insulation in planning and building stages.

In the thesis the behaviour of sound in structures is explained by means of structural drawings. The thesis also includes a hands-on measurement of airborne sound insulation and impact sound insulation in a near complete row house.

The thesis gives its reader a compact package of information on sound insulation and the behavior of sound in structures. There is also a brief review of acoustic materials and solutions in row houses and duplexes.

Keywords: sound insulation, acoustics, sound

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO	6
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET.....	7
1 JOHDANTO	8
2 YLEISTÄ TIETOA ÄÄNESTÄ.....	9
2.1 Ääni.....	9
2.2 Suureet ja tasot.....	9
2.3 Asuinrakennusten ääniolosuhteet	10
3 ÄÄNEN SIIRTYMINEN RAKENTEIDEN LÄPI.....	12
3.1 Ääneneristävyys ja jälkikaiunta	12
3.2 Ilmääneneristävyys	12
3.3 Runkoäänten kulkeutuminen.....	13
3.4 Rakenteiden eristävyys ja sivutiesiirtymä.....	14
3.4.1 Rakenteellinen sivutiesiirtymä.....	14
3.4.2 Sivutiesiirtymä LVIS-järjestelmien kautta	15
4 RAKENTEIDEN ÄÄNITEKNISIÄ OMINAISUUKSIA.....	17
4.1 Yksinkertaiset rakenteet.....	17
4.2 Kaksinkertaiset rakenteet.....	18
4.3 Moninkertaiset rakenteet.....	21
4.4 Säteilyä vähentävä verhous	22
5 HYVÄN RAKENTAMISTAVAN MUKAISET RATKAISUT	24
5.1 Askelääneneristävyyteen vaikuttavat ratkaisut.....	24
5.1.1 Yksinkertaisen rakenteen askelääneneristys	24
5.1.2 Kaksinkertaisen rakenteen askelääneneristys	24
5.1.3 Lattianpäällysteet	26
5.2 Rakenneliitokset.....	26
5.3 Läpiviennit ja liittymät.....	30

6	AKUSTOIVAT MATERIAALIT JA RATKAISUT	31
6.1	Huokoiset materiaalit.....	31
6.2	Reikälevyt	32
7	ÄÄNENERISTÄVYYTEEN VAIKUTTAVIEN RATKAISUJEN TARKASTELU ESIMERKKIRAKENTEESSA	34
7.1	Esimerkkirakenne.....	34
7.1.1	Huoneistojen välinen seinä	34
7.1.2	Alapohja.....	35
7.1.3	Ulkoseinän ja huoneistojen välisen seinän liitos	36
8	Huoneistojenvälisen ääneneristävyyden mittaus.....	37
8.1	Mittauskohde.....	37
8.2	Mittauslaitteisto	40
8.3	Mittaustulokset	41
9	YHTEENVETO.....	43
	LÄHTEET	44
	LIITTEET	46

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Leikkauskuva kaksirunkoisesta huoneistojen välisestä seinärakenteesta	19
Kuvio 2. Runkotolppien sijoittelu kaksoisrunkorakenteessa	21
Kuvio 3. Säteilyä vähentävä verhous betoniseinässä	22
Kuvio 4. Äänen säteilyä vähentävän verhouksen vaikutus ääneneristävyyteen. . .	23
Kuvio 5. Kelluvaan lattiarakenteeseen kohdistuvan iskun aiheuttaman äänen kulkeutuminen muihin rakenteisiin	25
Kuvio 6. betoniväliseinän ja ylä-, ala- ja välipohjan liitoksia	27
Kuvio 7. Rivitalon huoneistojen välisen kaksirunkoisen levyseinän ja ylä-, ala- ja välipohjan liitoksia	28
Kuvio 8. Kaksinkertaisen kiviainesseinän ja ylä-, ala- ja välipohjan liitoksia	29
Kuvio 9. Huokoinen akustiikkalevy	31
Kuvio 10. Huokoinen materiaali kiinnitettynä suoraan materiaaliin ja sama materiaali kiinnitettynä etäälle seinästä	32
Kuvio 11. Rei'itetty kovalevy	33
Kuvio 12. Hartman kodin huoneistojen välinen seinärakenne	35
Kuvio 13. Hartman kodin huoneistojen välisen seinän ja alapohjan liitos.	36
Kuvio 14. Hartman kodin ulkoseinän ja huoneistojen välisen seinän liitos	36
Kuvio 15. Huoneistoja erottava seinä ja äänilähde	37
Kuvio 16. Huoneistojen välinen seinärakenne	38
Kuvio 17. Alapohjarakenne	39
Kuvio 18. Askeläänigeneraattori	40
Kuvio 19. Mittauslaitteisto: kannettava tietokone, vahvistin ja Harmonie yksikkö	41

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Aallonpituus	Jaksollisen aaltoliikkeen samanvaiheisten kohtien välinen etäisyys.
dB	Desibeli: logaritminen mittayksikkö. Sillä kuvataan akustisen signaalin tasoa vertailutasoon nähden.
Koinsidenssi	Koinsidenssi-ilmiö syntyy kun ääni kohtaa rakenteen ja taivuttaa sitä, jolloin syntyy taivutusaalto rakenteeseen.
Resonanssi	Rakenne värähtelee voimakkaasti, kun siihen osuvat ääniaallot ovat sen ominaistajuusalueella, jolloin rakenteen ääneneristyskyky heikkenee.
Äänenpaine	Pascal (Pa): aaltoliikkeestä aiheutuva muutos väliaineen staattisessa paineessa.
Jälkikaiunta-aika	T (s): aika joka kuluu, kun tilaan tuotetun äänen amplitudi laskee 60 dB äänilähteen sammuttamisen jälkeen
R'_{w}	Ilmaääneneristysluku: rakennuksessa mittaamalla saatu luku, jolla kuvataan kahden huoneen välistä ilmaääneneristystä.
$L'_{n,w}$	Askeläänitasoluku: rakennuksessa mittaamalla saatu luku joka kuvaa rakenteisiin kohdistuvien iskujen aikaansaaman äänen kulkeutumista huoneistosta toiseen.
Massalaki	Raskas rakenne värähtelee vähemmän kuin kevyt rakenne, kun niihin kohdistuu sama äänenpaine

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on rivi- ja paritalojen ääneneristävyyden toteuttaminen. Työn tilaajana on Rakennuspalvelu Arto Prusti Tmi. Rivi- ja paritalojen kunnolliseen ääneneristykseen toteutukseen ei ole kiinnitetty tarpeeksi huomiota suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Työn tarkoitus on selvittää rivi- ja paritalojen huoneistojen väliseen ääneneristykseen vaikuttavia tekijöitä ja antaa kattava kuva ratkaisuista, joilla ääneneristys saadaan toteutettua rivi- ja paritaloihin.

Työn alussa kerrotaan äänestä ja melusta yleisesti ja asuinrakennuksen ääniolosuhteisiin vaikuttavista tekijöistä. Sen jälkeen siirrytään tarkastelemaan rivi- ja paritaloissa käytettävien rakenteiden ääniteknistä toimintaa ja niihin liittyviä ilmiöitä. Luvussa viisi perehdytään hyvän rakentamistavan mukaisiin ratkaisuihin, joita noudattamalla on mahdollista saavuttaa asuinhuoneistoon hyvät ääniolosuhteet.

Työn lopussa esitellään eräässä rivitalokohteessa suoritettut ilma- ja askelääneneristysmittaukset, saadut tulokset ja standardin mukaiset mittausmenetelmät.

2 YLEISTÄ TIETOA ÄÄNESTÄ

2.1 Ääni

Äänellä tarkoitetaan väliaineessa tapahtuvaa aaltoliikettä, joka havaitaan kuulokois-
timuksena. Aaltoliike on mahdollista havaita paineen vaihteluna, väliaineen tihen-
tyminä ja harventumina ja hiukkasnopeutena kaasussa (Lahti 1995, 6). Kaasuissa
ja nesteissä tapahtuva aaltoliike on aina pitkittäistä. Kiinteissä aineissa ääniaallot
voivat olla myös poikittaisia. Äänen aallonpituus riippuu äänen nopeudesta väliai-
neessa ja taajuudesta, jolloin se saadaan kaavasta 1.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

jossa λ on aallonpituus
 v on äänen nopeus väliaineessa
 f on äänen taajuus
(Lehto & Luoma 1995, 139).

Ääni kuuluu jokapäiväiseen elämäämme. Se voi olla miellyttävää kuten musiikki tai
lintujen laulu. Äänestä on usein myös hyötyä. Esimerkiksi palovaroittimen hälyttä-
essä tiedämme vaaran uhkaavan. Yksi tärkeimmistä asioista, johon ääntä käyte-
tään, on kommunikointi puhumalla. (Brüel & Kjær 1998, 2.)

Ääntä kutsutaan meluksi, jos se on epämiellyttävää tai häiritsevää. Melu on sub-
jekttiivinen käsite, sillä sama ääni voi olla yhden ihmisen mielestä miellyttävää ja
toisen mielestä melua. Melua voi olla luja tai hiljainen ääni ja sen kokeminen riip-
puu usein tilanteesta ja paikasta. Lisäksi voimakkaat äänet voivat vaurioittaa kuu-
loa tilapäisesti tai pysyvästi. Melu voi pahimmillaan aiheuttaa tuhoa. (Brüel & Kjær
1998, 3.)

2.2 Suureet ja tasot

Ääntä kuvataan fysikaalisessa mielessä kolmella eri ulottuvuudella: äänen voi-
makkuutena eli tasona, taajuutena ja aikana. Voimakkuus voi olla suoraan äänen-

paineen amplitudi, jolloin se on absoluuttinen fysikaalinen suure tai desibeleiksi skaalattu arvo eli taso. Taajuus vastaa ihmiskorvan kuulemaa äänen korkeutta. Pieni taajuus vastaa matalaa ja suuri taajuus korkeaa ääntä. Jos ääni on vaihtelevaa, tarvitaan myös aikaulottuvuutta. Tällöin voidaan määrittää äänen kesto tai vaihtelu. (Lahti 1995, 8.)

Taso-käsitettä käytetään yleensä silloin, kun puhutaan äänen voimakkuudesta. Se voi olla esimerkiksi äänenpainetaso tai äänitehotaso. Kaikille tasoille on omat määritelmänsä eli niitä ei voi vertailla keskenään eikä sekoittaa toisiinsa. Akustikan taso-suureet perustuvat 10-kantaiseen logaritmiin ja niiden yksikkö on desibeli (dB). Desibeli-yksikköä käytettäessä tulee aina merkitä mistä tasosuureesta on kysymys, sillä desibeli ei yksin kerro, mitä mitataan. Puhekielessä desibeleistä puhuttaessa tarkoitetaan äänenpainetasoa, jos ei muuta mainita. (Lahti 1995, 8.)

Pienin ihmiskorvan aistima ääni on 20 μPa :n vaihtelu ilmanpaineessa. Kuuloaistimus vaihtuu kipuaistimukseksi, kun ilmanpaineen vaihtelu on 20 Pa. Äänenpainetermillä kuvataan äänenä kuultavaa ilmanpaineen vaihtelua ja sen tunnus on p ja yksikkö Pa. Kuulokynnyksen ja kipukynnyksen ero on suhteellisen iso, mutta luvut ovat pieniä. Tämän takia laskemista ja suunnittelua helpottamaan käytetään desibeliasteikkoa. Tarkasteltavaa äänenpainetta p verrataan kuulokynnyksen äänenpaineseen p_0 , jolloin saadaan äänenpainetaso L_p (dB). Ihmisen kuulokynnystä vastaan näin ollen arvo 0 dB ja kipukynnyks on noin 120 dB alueella. (Brüel & Kjær 1998, 10.)

2.3 Asuinrakennusten ääniolosuhteet

Rivi- ja paritaloissa äänitekniset ongelmat liittyvät useimmiten siihen, että äänet kuuluvat huoneistosta toiseen. Esimerkiksi musiikin kuuntelu, puhuminen kovalla äänellä, TV:n äänet ja kävely voivat kuulua toiseen huoneistoon häiritsevinä. Rakentamismääräyksillä ei voida määrätä sitä, kuinka paljon tämänkaltaisia ääniä syntyy. Sen sijaan hyvällä ääneneristyksellä voidaan vähentää huoneistosta toiseen siirtyvän äänen määrää. Asuinrakennuksissa voi olla myös muunlaisia äänilähteitä, kuten viemärit, vesijohdot ja ilmanvaihto. Näiden äänilähteiden aiheutta-

maa melua vähennetään suunnittelemalla LVI-järjestelmät hyvin ja riittävän ääneneristyksen avulla. (Ympäristöopas 2003, 15.)

Oikeanlainen tilojen sijoittelu on tärkeä osa suunniteltaessa asuinrakennuksen ääniolosuhteita. Tilat, joihin halutaan hiljaisuutta, sijoitetaan mahdollisimman etäälle tiloista, joissa syntyy melua. Esimerkiksi makuuhuoneet tulee sijoittaa siten, että ne eivät ole viereisen huoneiston keittiön tai wc lähellä. (Ympäristöopas 2003, 15.)

Huono ääneneristys voi aiheuttaa sen että asunnossa on vaikea levätä ja työskennellä. Ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelman osan C1 avulla ohjataan rakennusten ääneneristystä. Määräysten tarkoitus on saada asuinrakennuksiin tarvittava ja riittävä ääneneristys, jossa otetaan huomioon asukkaiden viihtyvyys. Jotta ihminen kokee asuinhuoneiston viihtyisäksi, tulee sen olla äänettömämpi kuin terveyden kannalta on tarpeellista. (Ympäristöministeriö 2011.)

3 ÄÄNEN SIIRTYMINEN RAKENTEIDEN LÄPI

3.1 Ääneneristävyys ja jälkikaiunta

Jälkikaiunta-aika T (s) tarkoittaa aikaa, joka kuluu, kun tilaan synnytetty äänenpaine laskee äänilähteen sammuttamisen jälkeen. Jälkikaiunta-aika vaikuttaa esimerkiksi puheen selkeyteen. Pitkä jälkikaiunta-aika aiheuttaa puheessa sanojen tavujen kuulumista päällekkäin, jolloin puheesta on vaikea saada selvää. Usein lyhyellä jälkikaiunta-ajalla saadaan miellyttävät ääniolosuhteet tiloihin, joissa puheen selkeys on tarkeässä roolissa. (RIL 243-1-2007 2007, 50.)

3.2 Ilmaääneneristävyys

Ääni etenee vain väliaineessa, joka voi olla kaasu, neste tai kiinteä aine. Ääntä joka etenee ilmassa, sanotaan ilmaääneksi. Ilmaääntä syntyy esimerkiksi puheesta, mekaanisista laitteista ja kaiuttimista. Ilmaäänen nopeus riippuu ilman lämpötilasta. (RIL 243-1-2007 2007, 35.)

Rakennusosan ilmaääneneristävyyttä kuvataan termillä R (dB), joka määritetään laboratoriossa ISO 140–3 standardin mukaisella menetelmällä. Koska ilmaääneneristävyyteen vaikuttaa äänen taajuus, saadaan testituloksena 50–5000 Hz taajuusalueelta terssikaistan 21 eri mittausarvoa. Ilmaääneneristävyyden tulokset eivät ole tällaisenaan käytännöllisiä. Siksi on kehitetty ilmaääneneristysluku R_w , jonka avulla ilmaääneneristävyydelle saadaan yksi lukuarvo. Kenttäolosuhteissa määritetylle ilmaääneneristysluvulle käytetään pilkullista tunnusta R'_w , jonka mukaisille arvoille annetaan rakentamismääräykset ja suositukset. (RIL 243-1-2007 2007, 59.)

Asuinhuoneistojen ilmaääneneristykselle annetaan rakentamismääräyskokoelman osassa C1–1998 pienimmät sallitut ilmaääneneristysluvun R'_w :n arvot. Asuinhuoneistojen välillä R'_w pitää olla enemmän kuin 55 dB. (Kylliäinen 2011, 31.)

Rakenteille ja rakennusosille laboratoriossa suoritettavat ilmaääneneristävyyden mittaukset tehdään ideaaliolosuhteissa siten, että testattava rakenne on tiivis. Käy-

tännössä rakennusvaiheessa voi työvirheiden tai puutteellisten ohjeiden takia jäädä rakoja, jotka aiheuttavat äänivuotoja. Etenkin ovissa ja ikkunoissa esiintyy usein äänivuotoja. Seinissä ilmenee äänivuotoja aiheuttavia rakoja huonosti tiivistettyjen saumojen yhteydessä. Massiivisissa rakenteissa äänivuotojen syynä voivat olla virheelliset valut rakenneliitoksissa. (RIL 243-1-2007 2007, 86.)

Rakenteen ääneneristävyys huonontuu suhteellisesti eniten silloin, kun tiivis osa rakenteesta on hyvin ääntä eristävä. Rakenteen tiiviys vaikuttaa ilmaääneneristävyyteen etenkin keskisuurilla ja suurilla taajuuksilla. Raon ääneneristävyys riippuu äänen taajuudesta ja se vaihtelee yleensä välillä 5–10 dB. Resonanssitaajuudella ääntä imeytyy rakoja suuremmalta alueelta, jolloin raosta säteilevä ääni on voimakasta. Resonanssitaajuudella raon ääneneristävyys on välillä (-5)–(-10) dB. (RIL 243-1-2007 2007, 86.)

Se miten ihminen kokee ilmaääneneristävyyden, riippuu monesta tekijästä. Esimerkiksi huoneeseen toisesta tilasta välittyvä ääniteho riippuu huoneen absorptioalasta. Absorption lisääminen huoneeseen ei kuitenkaan ole kovin tehokas keino äänitason laskemiseksi, sillä kaksinkertaistamalla absorptioala saadaan aikaan vain 3 dB parannusvaikutus äänenpainetasoon, kun taas ääntä eristävien rakenteiden ilmaääneneristävyydet sijoittuvat alueelle 20...70 dB. Myös se kuinka paljon huoneessa on jo valmiiksi ääntä, vaikuttaa siihen miten hyvin viereisen huoneen äänet kuullaan. Viereisestä tilasta tulevat äänet peittyvät jo tilassa olevan tausta-äänien alle. Ilmaääneneristysluku ei tämän takia anna täydellistä kuvaa siitä, minäkalaiset ääniolosuhteet tilaan muodostuvat. (Kylliäinen 2011, 32.)

3.3 Runkoäänten kulkeutuminen

Ääni voi kulkea ilman lisäksi kiinteässä aineessa. Rakennuksessa kiinteänä väliaineena voi toimia rakennuksen runko ja maa-aines. Tätä rakennuksen rungossa etenevää ääntä sanotaan runkoääneksi. Runkoäänen voi saada aikaan rakenteissa kiinni oleva kone tärinällään tai satunnaiset rakenteisiin osuvat iskut. Myös ilmaääni synnyttää runkoääntä. Ilmaääni voi saada rakenteissa aikaan taivutusaallon, jolloin rakenne taipuu kohtisuorassa äänen etenemissuuntaan nähden. Askelääniksi sanotaan runkoääntä, joka aiheutuu rakenteisiin osuvien iskujen seurauk-

senä, esimerkiksi huoneessa kävely ja tavaroiden tippuminen lattialle. (Kylliäinen, 2011, 13.)

Askeläänitasolla kuvataan sitä, kuinka välipohjat, alapohjat ja muut samankaltaiset rakennusosat eristävät rakenteisiin kohdistuvien iskujen, kuten askeleiden ja huonekalujen siirtelyn, synnyttämää ääntä. Askeläänitaso mitataan synnyttämällä kansainvälisen standardin mukaisella laitteella runkoääntä rakenteeseen ja mittaamalla äänenpainetaso viereisessä huoneessa. Useimmiten mittaus tehdään askeläänikojeen alapuolisessa tilassa, mutta se voidaan tehdä myös lähetyshuoneen yläpuolisessa huoneessa tai rivitaloissa viereisessä huoneessa. Rakennuksen askelääneneristävyyteen vaikuttavat muutkin rakenteet kuin vain lattiarakenne. Askeläänit kantautuvat huoneistosta toiseen kaikkien lattiarakenteeseen liittyvien rakennusosien kautta sivutiesiirtyminä. (RIL 129 2003, 130.)

Askelääneneristävyyden mittaustulos esitetään yhtenä lukuna, askeläänitasolukuna $L'_{n,w}$, samaan tapaan kuin ilmaääneneristävyys. Rakentamismääräyskokoelman osassa C1–1998 annetaan askeläänitasoluvun suurimmaksi sallituksi arvoksi 53 dB. Lattiarakenteiden ja siihen liittyvien rakenteiden ominaistajuus asettuu yleensä alueelle 30–500 Hz. Tästä johtuen kävely saattaa aiheuttaa herätteen, jonka aiheuttamana toisessa huoneistossa kävely kuuluu selkeästi matalana äänenä. Usein juuri nämä matalat kävelyn äänet koetaan epämiellyttävinä ja häiritsevinä. Askeläänien mittaustandardissa ISO 140–7:1998 mittausalue alkaa 100 Hz:stä ja ilmiö esiintyy tätä matalammilla taajuuksilla, jolloin askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ ei välttämättä anna rakenteen käytännön toimivuudesta oikeaa kuvaa. (RIL 243-1-2007 2007, 118.)

3.4 Rakenteiden eristävyys ja sivutiesiirtymä

3.4.1 Rakenteellinen sivutiesiirtymä

Tilojen välinen rakennusosa ei ole ainoa reitti äänen siirtymiselle huoneesta toiseen, vaan ääni voi siirtyä myös muita rakenteita ja reittejä pitkin. Sivutiesiirtymä kuvaa kaikkea äänen siirtymistä tilasta toiseen, joka ei tapahdu suoraan tiloja erot-

tavan rakenteen läpi. Sivutiesiirtymäreittejä voivat olla esimerkiksi katot, lattiat, sivuseinät ja LVIS-kanavat. Jos ääni pääsee siirtymään tilasta toiseen rakenteessa olevan reiän tai onkalon kautta, on kyse rakennus- tai suunnitteluvirheestä. Äänivuodot pystytään estämään rakenteiden huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella. (RIL 243-1-2007 2007, 106.)

Rakenteellisesta sivutiesiirtymästä puhuttaessa tarkoitetaan äänen kulkeutumista vähintään yhden huoneita sivuavan rakenteen kautta. Rakenteellista sivutiesiirtymää ei voi välttää rakennuksissa, sillä äänilähde aiheuttaa kaikkiin tilaa ympäröiviin rakenteisiin tärinää. Tärinä etenee runkoäänenä rakenteissa lukemattomia eri reittejä pitkin. Kun rakenteessa etenevä runkoääni kohtaa eri rakenneosien liitoksen, jakaantuu äänienergia eri rakennusosien kesken. Se kuinka paljon äänienergiaa siirtyy rakennusosasta toiseen, riippuu rakenneosien massasta ja jäykkyydestä. Rakenteellisen sivutiesiirtymää voidaan vähentää, massan ja jäykkyyden lisäämisen lisäksi, katkaisemalla rakenne mineraalivillan avulla tai kumikaistaleella. (RIL 243-1-2007 2007, 106.)

3.4.2 Sivutiesiirtymä LVIS-järjestelmien kautta

Rakennuksen LVIS-järjestelmän laitteita ovat muun muassa vesi- ja viemärlaitteet, kompressorit, ilmanvaihtolaitteet ja lämmitys- ja jäähdytyslaitteet. Lisäksi LVIS-järjestelmiin luetaan keskuspölynimuri ja talon yhteisen pesutilan laitteet. Näillä laitteilla on suuri merkitys rakennuksen ääniolosuhteisiin. LVIS -laitteista aiheutuvaa melua voidaan vähentää monin eri keinoin esimerkiksi mitoittamalla kanavien ja putkien koot virtaukselle sopiviksi, käyttämällä ääntä eristäviä koteloita ja tärinää vaimentavia kiinnikkeitä. Ilmanvaihtojärjestelmien ääntä voidaan hallita äänenvaimentimin ja päätelaitteen valinnalla. (RIL 243-1-2007 2007, 175.)

Ilmanvaihtojärjestelmät jaetaan kahteen pääryhmään: painovoimaiset ja koneelliset järjestelmät. Painovoimaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä ongelmana on yleensä tulo- ja poistoilmaventtiilien kautta tuleva ympäristömelu ja huoneistojen välinen sivutiesiirtymä hormien kautta. (RIL 243-1-2007 2007, 175.)

Sivutiesiirtymä ilmanvaihtokanavia pitkin voi esiintyä, jos kanavat muodostavat yhteyden huonetilojen välillä. Tällöin ääntä voi siirtyä ilmanvaihtokanavia pitkin jopa enemmän kuin rakenteellisia reittejä pitkin, mikä aiheuttaa ilmaääneneristyksen heikkenemistä tilojen välillä. Ilmanvaihtokanavien välityksellä tapahtuvassa sivutiesiirtymässä kulkeutuvat usein taajuudet, jotka eivät normaalisti siirry seinärakenteiden kautta. Sivutiesiirtymä ilmanvaihtojärjestelmien kautta on syytä ottaa huomioon, sillä RIL 243–1–2007 mukaan ”äänenvaimentamattomia kanavia pitkin tapahtuvat sivutiesiirtymät voivat heikentää R'_w -arvon jopa 30–40 dB:n tasolle riippuen kulkumatkasta ja päätelaitteiden koosta”. (RIL 243-1-2007 2007, 204.)

4 RAKENTEIDEN ÄÄNITEKNISIÄ OMINAISUUKSIA

4.1 Yksinkertaiset rakenteet

Rakenne määritellään yksinkertaiseksi, jos se on kokonaan samaa materiaalia tai sen eri materiaaleista koostuvat osat kiinnittyvät toisiinsa siten, että ne värähtelevät yhtenä kappaleena. Yksinkertaisten rakenteiden ääneneristävyys pohjautuu suurimmalta osalta sen massaan ja ilmatiivyyteen. (Lahtela 2004, 18.)

Kun rakenteeseen kohdistuu ääniaaltoja se alkaa värähdellä ja saa aikaan ilma-ääntä toisella puolella rakennetta. Syntyvä ilmaääni on sitä voimakkaampaa, mitä enemmän rakenne värähtelee. Saman äänenpaineen aiheuttaessa värähtelyä raskaassa ja kevyessä rakenteessa värähtelee kevyt rakenne enemmän, jolloin ääneneristävyys kevyelle rakenteelle on huonompi. Tämä ilmiö on nimeltään ääneneristävyden massalaki. (Lahtela 2004, 18.)

Resonanssi-ilmiö saa aikaan rakenteessa voimakasta värähtelyä, jolloin ääneneristävyys laskee huomattavasti. Resonanssi-ilmiö esiintyy kun ääniaallot, joiden taajuus on rakenteen ominaistajuusalueella, osuvat rakenteeseen ja saavat siinä aikaan resonanssin, eli ääniaallot antavat lisää energiaa rakenteen värähtelylle. Rakenne värähtelee eniten sen alimmalla resonanssitaajuudella f_0 (Hz). Rakenteen resonanssitaajuusalue saadaan määritettyä resonanssitaajuuden f_0 avulla. Äänieristys tehdään yleensä ihmisen kuuloaluetta ajatellen välille 100–3150 Hz, jonka alapuolelle rakenteen resonanssitaajuusalueen olisi syytä sijoittua. Myös värähtelevä laite voi saada aikaan resonanssi-ilmiön. (Lahtela 2004, 20.)

Koinsidenssi-ilmiössä esimerkiksi kipsilevyyn osuva ääniaalto ja levyssä etenevä taivutusaalto liikkuvat samalla nopeudella, jolloin levyn massaan perustuva ääneneristävyys heikkenee. Koinsidenssitaajuus f_c tarkoittaa rajataajuutta, jonka yläpuolisilla äänentaajuuksilla koinsidenssi-ilmiötä esiintyy. Kaikilla yksinkertaisilla rakenteilla esiintyy koinsidenssi ilmiötä. Ihmiskorvan herkkyyden takia rakenteiden koinsidenssitaajuuden olisi hyvä sijoittua taajuusalueen 100–3150 Hz yläpuolelle. Ohuille yksinkertaisille kivirakenteille koinsidenssi-ilmiön vaikutukset kannattaa

tarkistaa, mutta suurimassaisilla yksinkertaisilla rakenteilla ongelmia ei yleensä esiinny. Yksinkertaisen rakenteen koinsidenssitaajuus saadaan kaavasta 2:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi h} * \sqrt{\frac{12\rho(1 - \mu^2)}{E}} \quad (2)$$

jossa f_c = koinsidenssitaajuus
 c = äänen etenemisnopeus ilmassa (m/s)
 h = rakenteen paksuus (m)
 ρ = rakenteen tiheys (kg/m^3)
 μ = Poisson'in luku
 E = rakenteen kimmomoduuli (N/m^2)

Esimerkki 1

13 mm paksun kipsilevyn koinsidenssitaajuus.

$$f_c = \frac{340^2}{2 * \pi * 0,013} * \sqrt{\frac{12 * 700 * (1 - 0,3^2)}{1700 * 10^6}} \approx 3000 \text{ Hz}$$

Esimerkki 2

Kaksi 13 mm paksua kipsilevyä liimattuna yhteen.

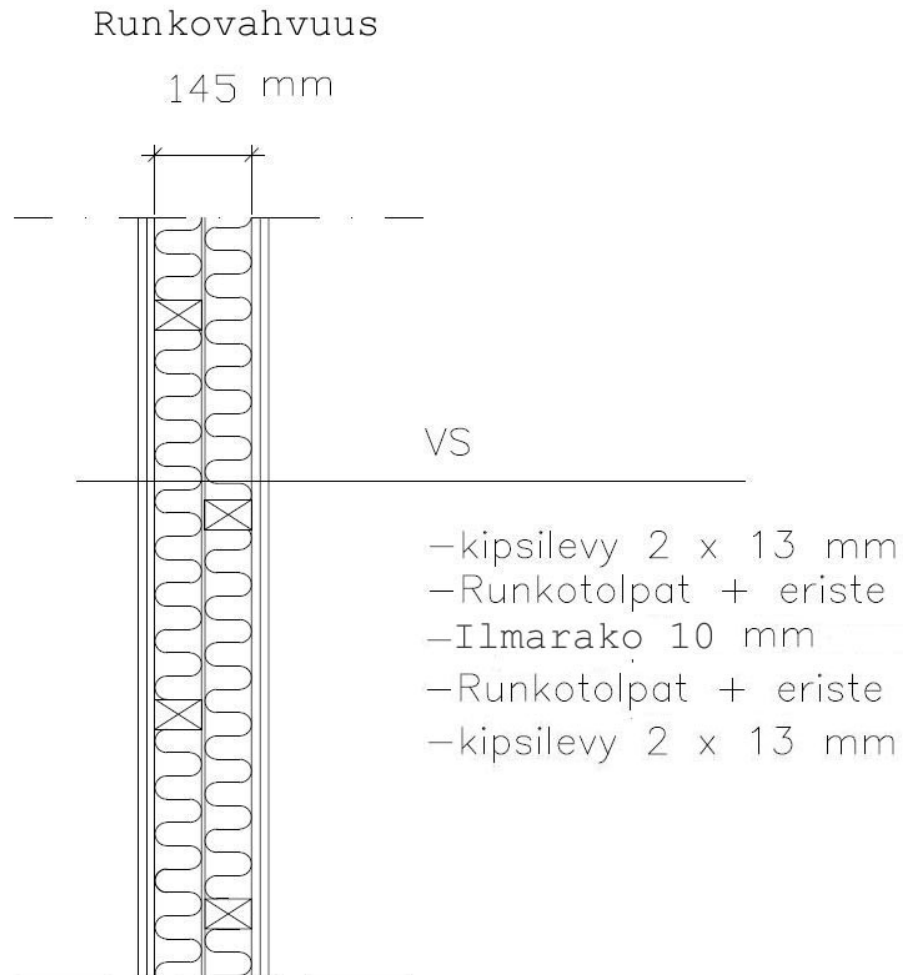
$$f_c = \frac{340^2}{2 * \pi * 0,026} * \sqrt{\frac{12 * 700 * (1 - 0,3^2)}{1700 * 10^6}} \approx 1500 \text{ Hz}$$

Kuten laskuesimerkistä 2 huomataan, kahden toisiinsa liimatun kipsilevyn koinsidenssitaajuus sijoittuu ääneneristävyyden kannalta kriittiselle 100–3150 Hz:n alueelle. Ilmaääneneristävyys siis heikkenee tällä taajuusalueella. Kun kipsilevyt kiinnitetään toisiinsa vain reunoilta, ne toimivat koinsidenssin kannalta erillisinä 13 mm paksuina levyinä. (Lahtela 2004, 22.)

4.2 Kaksinkertaiset rakenteet

Kaksinkertaisen seinän rakenne muodostuu kahdesta ilmatilan erottamasta massasta esimerkiksi rakennuslevyistä. Ääneneristävyys kaksinkertaisissa rakenteissa

perustuu massojen ja niiden välissä olevan ilmajousen yhdistelmään. Käytännössä kaksinkertaiset rakenteet ovat kahden erillisen seinärungon muodostamia rakenteita, koska ainoastaan siten on mahdollista täyttää seinille asetetut vaatimukset. (Lahtela 2004, 23.)



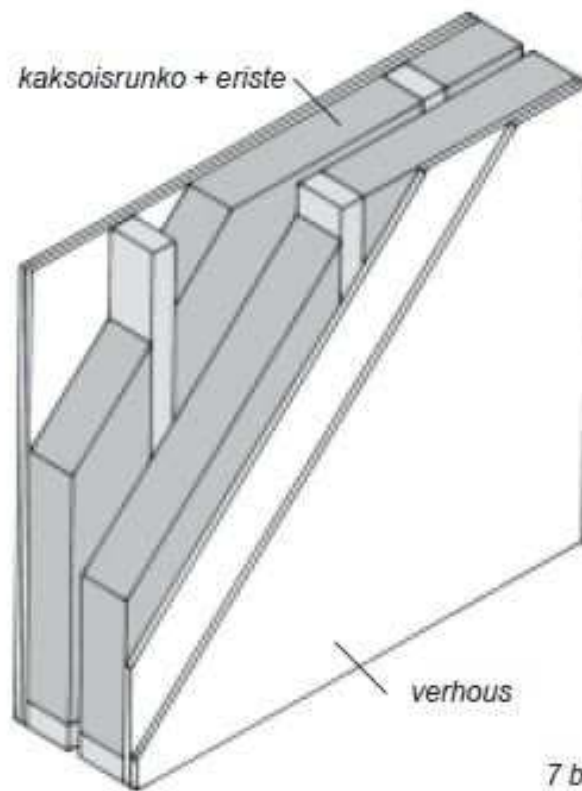
Kuvio 1. Leikkauskuva kaksirunkoisesta huoneistojen välisestä seinärakenteesta

Massalain mukaan ääneneristävyys paranee kaksinkertaisessa seinärakenteessa, jos levyjen massaa lisätään. Runkovahvuuden ja sen sisältämän ilmaraon paksuutta kasvattamalla saadaan aikaan ”ilmajousen” joustavuuden lisäys, joka parantaa ääneneristävyyttä. Runkovahvuudella tarkoitetaan seinärakenteen massojen välistä osaa, jossa on yleensä eristeet ja runkotolpat (Kuvio 1). Koska kiviseinien massa on suuri, tarvitaan yleensä vain kapea ilmapäli rakenteiden väliin. Ke-

vytrakenteiset kaksoisrunkoiset levyseinät vaativa kuitenkin yli 145 mm runkovahvuuden, sillä muuten huoneistojenväliselle seinälle annettu ääneneristävyysvaatimus ei toteudu. Runkovahvuuden välinen tila on syytä täyttää absorboivalla materiaalilla esimerkiksi mineraalivillalla, jolloin vältytään seisovan aaltoliikkeen syntymiseltä ilmatilaan. Tilan täyttäminen absorboivalla materiaalilla parantaa seinän ääneneristävyyttä. esimerkiksi mineraalivillan käyttö absorboivana materiaalina parantaa ääneneristävyyttä 5–15 dB. (Lahtela 2004, 24.)

Resonanssi ilmiöstä johtuen kaksinkertaisen rakenteen ääneneristävyys resonanssitaajuusalueella voi olla jopa huonompi kuin yksinkertaisen rakenteen, jolla on sama massa. Resonanssitaajuuden tulisi näin ollen sijoittua kaksinkertaisella rakenteella mahdollisimman alas. Koinssidenssitaajuuden tulisi sijoittua kaksinkertaisilla rakenteilla mahdollisimman korkeille taajuuksille. Kaksinkertaisessa seinärakenteessa kannattaa käyttää ohuita rakennuslevyjä, joita ei ole liimattu toisiinsa kiinni, jolloin koinssidenssi-ilmiöstä aiheutuva ääneneristävyden heikkeneminen on mahdollisimman vähäistä. (Lahtela 2004, 24.)

Kaksoisrunkoisten seinien toisistaan erillään olevat runkopuoliskot eivät saa olla toisiinsa mekaanisesti yhteydessä, jos halutaan täyttää huoneistojen välille annetut ääneneristävyysmääräykset. Runkotolppien paikat on syytä sijoittaa siten, että ne eivät ole rungon puoliskoilla samassa kohdassa toisiinsa nähden kuvion 2 mukaan. (Lahtela 2004, 24.)



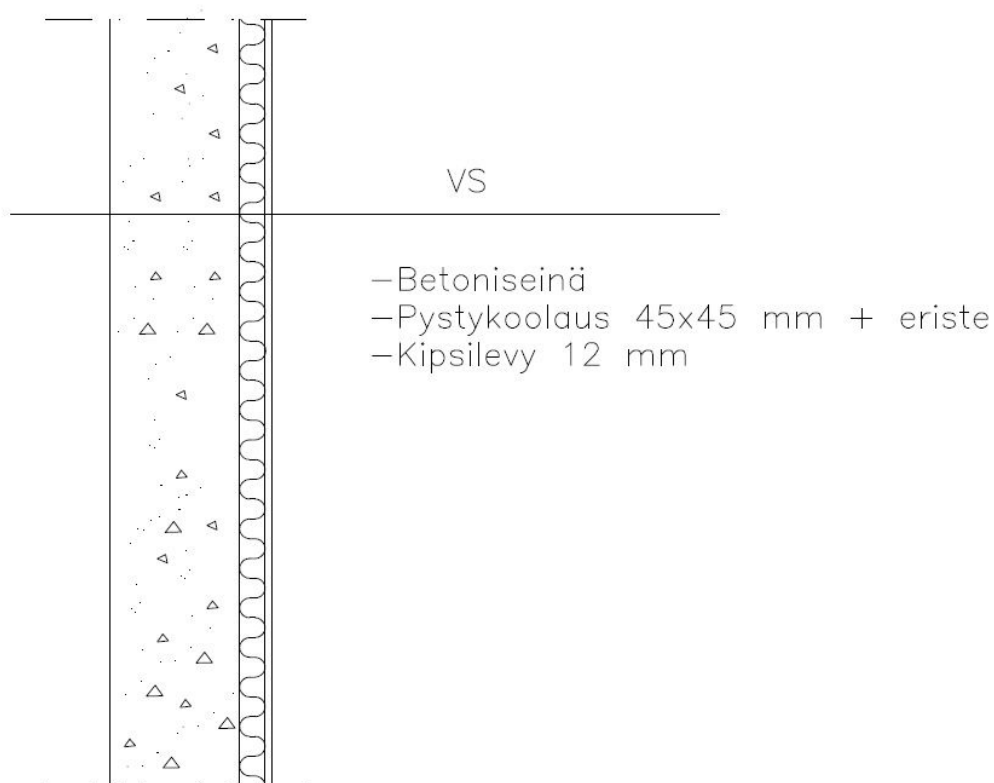
Kuvio 2. Runkotolppien sijoittelu kaksoisrunkorakenteessa (Viljakainen 2005)

4.3 Moninkertaiset rakenteet

Moninkertaisen rakenteen äänitekkinen toimintaperiaate on lähellä kaksinkertaista seinärakennetta. Moninkertaisen rakenteen alin resonanssitaajuus asettuu lähes samoille taajuuksille kuin saman paksuisella kaksinkertaisella rakenteella. Moninkertaisella rakenteella on kaksinkertaisen rakenteen tavoin hyvä ääneneristävyys korkeilla taajuuksilla, mutta matalilla taajuuksilla moninkertainen rakenne on huonompi kuin kaksinkertainen. Moninkertaisesta rakenteesta on harvoin hyötyä ääneneristävyden kannalta. (RIL 129 2003, 12)

4.4 Säteilystä vähentävä verhous

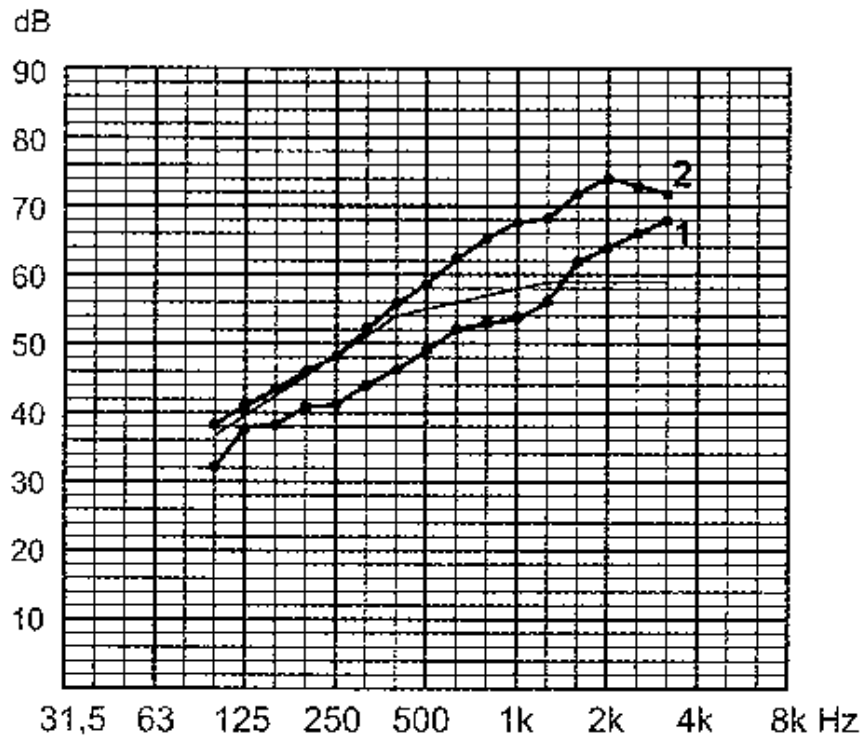
Seinän säteilemää ääntä voidaan vähentää seinän päälle kiinnitetyn taipuisan levyn avulla (Kuvio 3). Levy voi olla 8–12 mm paksu ja materiaaleina käytetään yleensä kipsi-, lastu- tai puukuitulevyjä. Myös 6–10 mm paksuja selluloosamenttilevyjä ja vaimennusmassapintaisia metallilevyjä käytetään tähän tarkoitukseen. Levyjen kiinnitykseen käytetään rimoja tai metallirankoja siten, että levyn ja seinän välinen etäisyys on noin 30–50 mm. Väliin jäävä tila täytetään pehmeällä mineraalivillalla. Jotta verhous toimisi tehokkaasti, täytyy sen olla tiivis. Siksi rei'itettyä levyä ei voida käyttää säteilyä vähentävänä verhouksena.



Kuvio 3. Säteilyä vähentävä verhous betoniseinässä

Myös kiinnitysrimojen tai rankojen välisellä etäisyydellä ja kiinnityksen joustavuudella on vaikutusta vaimennukseen: mitä harvempaan rimat kiinnitetään ja mitä joustavampia ne ovat, sitä parempi eristävyys saavutetaan. Kiinnitysrimat tulee asentaa vähintään 600 mm jaolla. Kun halutaan parantaa matalien taajuuksien

eristävyyttä, suurennetaan seinän ja levyn välistä etäisyyttä. Kuviossa 4 on esitetty ääneneristävyys kiviaineiselle rakenteelle äänen säteilyä vähentävällä levyrakenteella ja ilman.



Kuvio 4. Äänen säteilyä vähentävän verhouksen vaikutus ääneneristävyyteen. Käyrä 1: kiviaineisen rakenteen ääneneristävyys. Käyrä 2: sama rakenne äänen säteilyä vähentävällä levyrakenteella. (RIL 129 2003)

5 HYVÄN RAKENTAMISTAVAN MUKAISET RATKAISUT

5.1 Askelääneneristävyyteen vaikuttavat ratkaisut

Askelääneneristykseen toteuttamiseen voidaan käyttää useita eri tavalla toimivia rakenteellisia ratkaisuja. RIL 129 kirjassa on listattu neljä erilaista rakennetyyppiä: yksinkertainen massiivinen rakenne, kaksinkertainen rakenne, säteilyä vähentävä lisärakenne ja pehmeä lattianpäällyste.

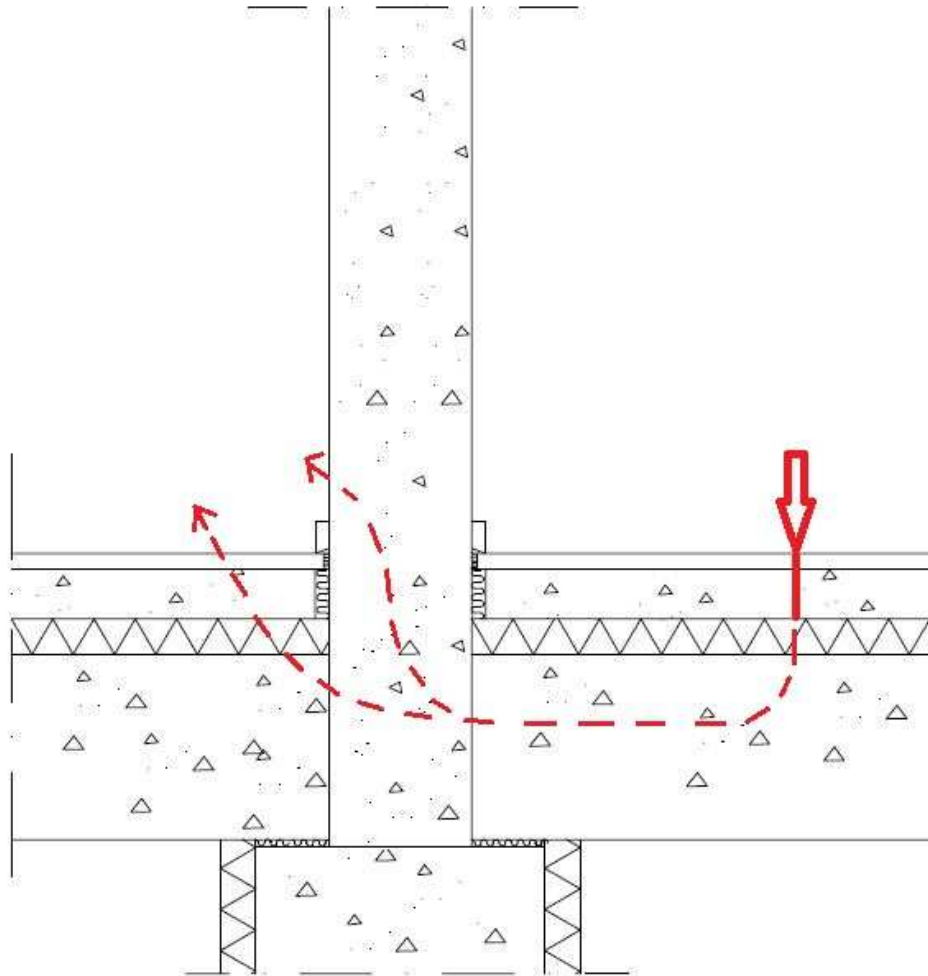
5.1.1 Yksinkertaisen rakenteen askelääneneristys

Yksinkertaisiin rakenteisiin lukeutuvat massiiviset betonilaatat, ontelolaatat, arinarakenteet ja kevytbetonilaatat. Mitä raskaampi yksinkertainen rakenne on, sitä parempi on sen askelääneneristävyys. Kevyillä alle 200 kg/m^2 painavilla rakenteilla massan kaksinkertaistaminen parantaa RIL 129:n mukaan kevyen rakenteen askelääneneristävyyttä noin 10–12 dB. Raskailla yli 200 kg/m^2 rakenteilla massan kaksinkertaistaminen tuo eristävyyttä noin 6 dB lisää. Rakenteen jäykkyydestä on myös hieman hyötyä ääneneristävyyden kannalta. Yksinkertaiset rakenteet vaativat pehmeän lattianpäällysteen asuinhuoneille annetun askeläänitasovaatimuksen täyttämiseksi. (RIL 129 2003, 130)

5.1.2 Kaksinkertaisen rakenteen askelääneneristys

Kaksinkertaiset välipohjarakenteet voidaan jakaa kahden tyyppiin ratkaisuihin: kelluviin lattioihin ja alaslaskettuihin kattoihin. Kelluvan lattian kantavan osan muodostaa betonilaatta, ontelolaatta tai kevytbetonilaatta. Kelluva osa voi olla vaikka toinen betonilaatta tai kuitutasoite. Näiden kahden levyrakenteen välissä käytetään joustavaa materiaalia esimerkiksi mineraalivillaa. Kelluvan lattian askelääneneristävyys perustuu levyjen massaan ja niiden väliin jäävän kerroksen joustavuuteen, samalla tavalla kuin koneasennuksissa jalkojen alla käytettävät joustavat tyynyt eristävät tärinän kulkeutumista rakennuksen runkoon. Mitä suurempi levyjen massa ja välin joustavuus on, sitä parempi ääneneristävyys. Levyjen väliin tulevan ker-

roksen joustavuus riippuu siitä, kuinka paksua ja pehmeää materiaali on. RIL 129:n mukaan väliaineen tulee olla vähintään 30 mm, pintalaatan ollessa 150 kg/m². Pintalaatta ei saa olla kosketuksessa mihinkään muihin rakenteisiin kuin joustavaan välikerrokseen. Kelluva lattiarakenne eristää tehokkaasti iskuista aiheutuvan äänen kulkeutumista kantaviin rakenteisiin ja tätä kautta toisiin huoneistoihin (Kuvio 5). (RIL 129 2003, 134)



Kuvio 5. Kelluvaan lattiarakenteeseen kohdistuvan iskun aiheuttaman äänen kulkeutuminen muihin rakenteisiin

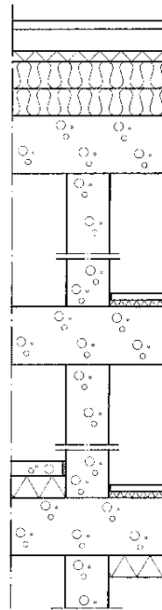
5.1.3 Lattianpäällysteet

Lattianpäällysteen valinnalla voidaan vaikuttaa askelääneneristävyyteen huomattavasti. Kovat päällysteet johtavat äänen suoraan rakenteisiin, kun taas pehmeä alusta absorboi äänet tehokkaasti. Kovien lattianpäällysteiden, kuten kiviaineiset päällysteet, linoleumi, muovimatot, muovilaatat ja parketit, joissa ei ole joustavaa alustaa, vaikutus askelääneneristävyyteen on lähes olematon. Jos askelääneneristystä halutaan parantaa, käytetään joustavapohjaisia tai pehmeitä lattianpäällysteitä. Joustavapohjaiset lattianpäällysteet ovat esimerkiksi tekstiilimatot, muovimatot ja linoleumit joissa on joustava-alusta. (RIL 129 2003, 135)

Pehmeiden ja joustava-alustaisten lattianpäällysteiden parannusvaikutus askelääneneristävyyteen on merkittävä vain massiivisilla lattiarakenteilla. Kevyillä rakenteilla vaikutus jää vähäiseksi. (RIL 129 2003, 136)

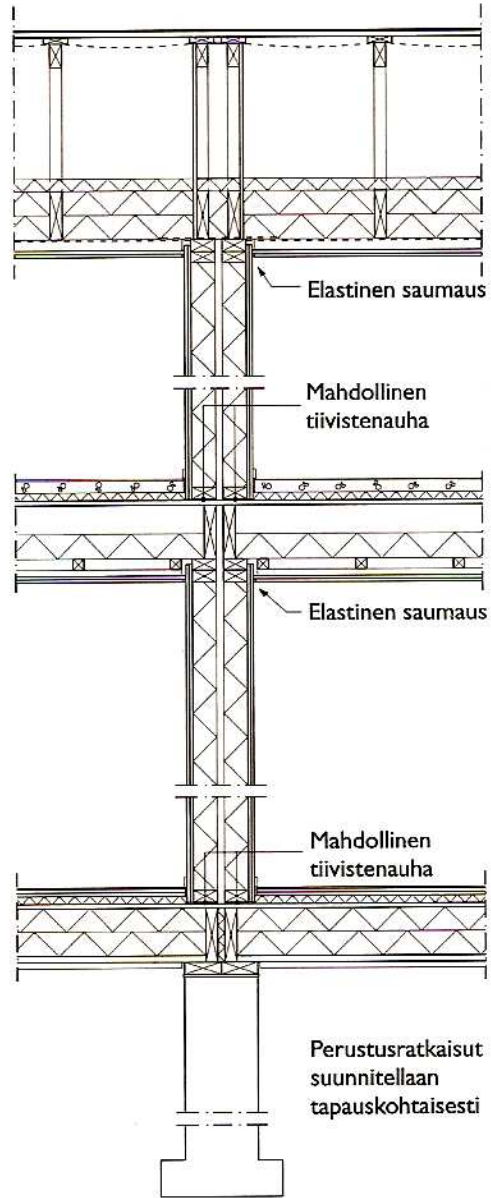
5.2 Rakenneliitokset

Huoneistojen välisen seinän ollessa massiivinen ja yksinkertainen, esimerkiksi yli 180 mm betoni tai yli 270 mm tiili, toimii alapohjana vähintään 200 mm paksu paikalla valettu teräsbetoni-laatta. Alapohjana voi olla myös ontelolaatta, jonka paksuus on 265 mm tai enemmän ja massa vähintään 380 kg neliometriä kohti. Nämä ratkaisut toimivat siksi, että niiden ääneneristävyys on lähes sama, kuin huonetiloja erottavan seinärakenteen. Kuviossa 6 on esitetty betoniväliseinän ja ylä-, ala- ja välipohjan liitoksia ympäristöoppaan 2003 mukaan.

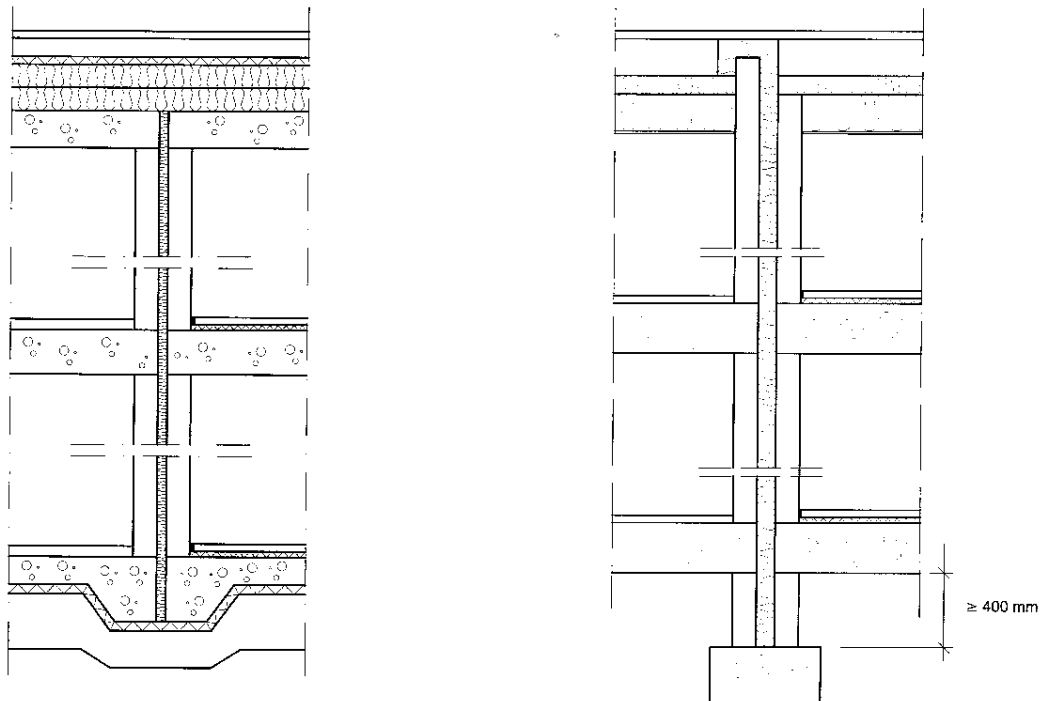


Kuvio 6. betoniväliseinän ja ylä-, ala- ja välipohjan liitoksia (Ympäristöopas 2003, 25)

Huoneistoja sivuavaan rakenteeseen täytyy tehdä katkos, jos erottava seinärakenne on kaksinkertainen. Katkos tehdään siten, että sivuava rakenne ei liitä seinärungon puolikkaita toisiinsa (Kuvio 7). Jos katkosta ei tehdä, muodostuu äänelle sivutiesiirtymäreitti. Kaksinkertaisen rakenteen ääneneristävyys heikentyy huomattavasti, jos rungon puoliskot yhdistetään toisiinsa esimerkiksi kiinnikkein tai reunoilta rakenteellisin liitoksin. Kaksiosaiselle huoneistojen väliselle kiviseinälle käytetään halkaistua perustustapaa (Kuvio 8). Tällaista rakenneratkaisua suositellaan käytettäväksi rivitaloissa.



Kuvio 7. Rivitalon huoneistojen välisen kaksirunkoisen levyseinän ja ylä-, ala- ja välipohjan liitoksia
(Ympäristöopas 2003, 26)



Kuvio 8. Kaksinkertaisen kiviainesseinän ja ylä-, ala- ja välipohjan liitoksia (Ympäristöopas 2003, 27)

Ulkoseinän kevyen sisäkuorirakenteen ja huoneistoja erottavan rakenteen liitos tehdään aina joustavaksi. Erottava rakenne upotetaan kevyen sivuavan rakenteen sisään. Kuorirakenne on kevyt jos sen massa on alle 200 kg/m^2 . Raskaat eli 200 kg/m^2 ja sitä painavimmat ulkoseinän sisäkuorirakenteet liitetään massiivisiin väliseinä- ja alapohjarakenteisiin mahdollisimman jäykällä liitoksella. (Ympäristöopas 2003, 26)

Seuraaviin seikkoihin tulee kiinnittää huomiota rakenteiden liitoksia tehtäessä. Kevyet huoneistojen sisäiset väliseinät kiinnitetään rakennuksen runkorakenteisiin siten, että liitos on joustava. Huoneistojen välisen seinän ja yläpohjan liitoskohdan tiivistäminen tulee tehdä huolellisesti. Kelluvan lattian rakentaminen tulee tehdä siten, että se ei kiinnity muihin rakenteisiin eikä talotekniikan laitteisiin.

5.3 Läpiviennit ja liittymät

Tilojen väliseen ääneneristävyyteen vaikuttaa merkittävästi rakenteiden tiiviys. Tämän takia on tärkeää että kaikki raot, saumat ja putkien läpiviennit tiivistetään tarkoitukseen sopivalla massalla. Jos rakenteessa oleva aukko on suuri, kannattaa sulkemiseen käyttää samaa ainetta kuin ympäröivä rakenne esimerkiksi betoni tai kipsi. Pienempien putkien ja johtojen läpivientien tiivistyksessä käytetään elastista saumausmassaa. Muuratuissa rakenteissa käytetään rappausta ja tasoitusta.

6 AKUSTOIVAT MATERIAALIT JA RATKAISUT

6.1 Huokoiset materiaalit

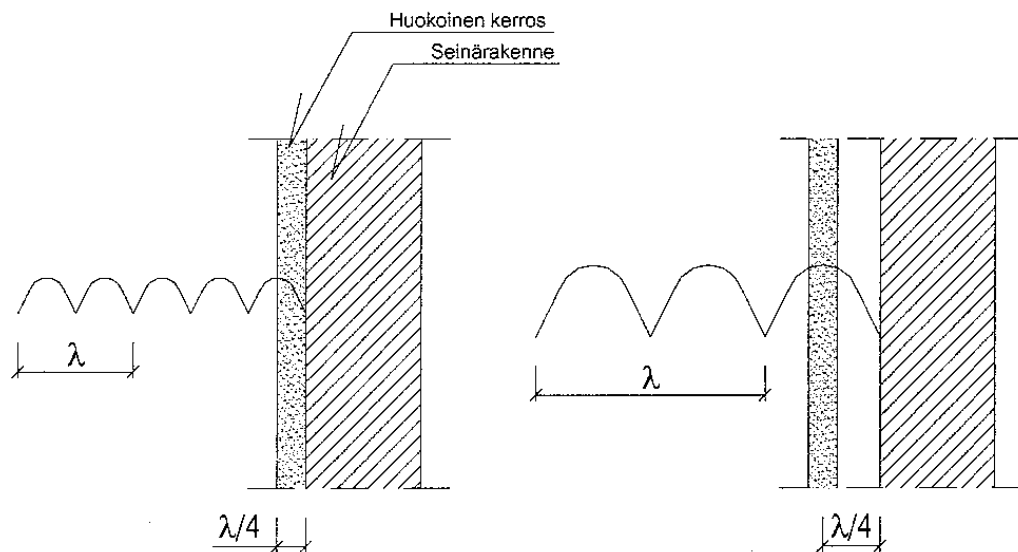
Huokoisia materiaaleja voidaan käyttää absorboimaan ääntä. Huokoisia materiaaleja ovat esimerkiksi mineraalivillat, paksut tekstiilit, ruiskutheet ja kuitulevyt (Kuvio 9). Äänen osuessa huokoiseen materiaaliin tapahtuu lämpöhäviötä äänen kulkies- sa ahtaissa kuiturakenteissa ja samalla ääntä absorboituu. Parhaiten huokoinen materiaali absorboi taajuudet, joiden aallonpituus on pienimmillään nelinkertainen materiaalin paksuuteen nähden. Myös materiaalin pintakäsittely ja virtausvastus vaikuttavat materiaalin absorptiokykyyn. (RIL 243-1-2007 2007, 149.)



Kuvio 9. Huokoinen akustiikkalevy
(Konto Oy 2012)

Matalien taajuuksien tehokas absorboiminen vaatisi paksun materiaalikerroksen. Esimerkiksi äänen, jonka taajuus on 100 Hz, aallonpituuden neljännes on 0,85 m. Tällaiset absorptiomateriaalipaksuudet eivät ole käytännössä mahdollisia, joten huokoisten materiaalien hyödyt tulevat esiin keski- ja korkeilla taajuuksilla. Jos halutaan parempi matalien taajuuksien absorptiosuhde, asennetaan huokoinen

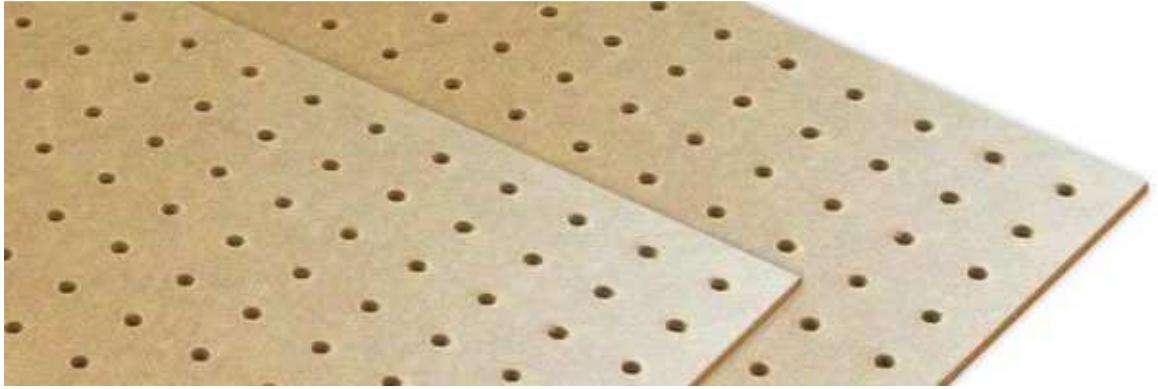
materiaali irti sen takana olevasta rakenteesta (Kuvio 10). (RIL 243-1-2007 2007, 149.)



Kuvio 10. Huokoinen materiaali kiinnitettynä suoraan materiaaliin ja sama materiaali kiinnitettynä etäälle seinästä (RIL 243-1-2007 2007, 149)

6.2 Reikälevyt

Rei'itettyjä rakennuslevyjä (Kuvio 11) voidaan käyttää absorptiomateriaaleina. Niiden kyky absorboida ääntä perustuu massa-jousijärjestelmään. Kun ääni osuu levyyn, toimii reiässä oleva ilma massana ja ilmapäli jousena. Absorptiosuhteen, ja siihen mitä taajuuksia absorboituu eniten, vaikuttaa reikien koko, muoto ja määrä. Myös rakennuslevyn ja ilmaraon paksuuksilla on vaikutusta absorptioominaisuuksiin. (RIL 243-1-2007 2007, 150.)



Kuvio 11. Rei'itetty kovalevy
(Suomen kuitulevy Oy 2012)

Absorptiosuhdetta voidaan kasvattaa käyttämällä rei'itetyn levyn kanssa huokoista absorptiomateriaalia siten, että huokoinen materiaali asetetaan rakenteen ilmaväliin. Tällaisella ratkaisulla saadaan aikaan hyvä absorptiosuhde laajalla taajuusalueella. Rei'itettyjen levyjen materiaaleina käytetään samoja materiaaleja kuin tavallisissa rakennuslevyissä, esimerkiksi kipsi ja vaneri. Levyn takana on yleensä valmiiksi kiinnitetty huopa. Reikätili sopii myös tähän tarkoitukseen, jos sen taakse jätetään ilmaväli, johon on laitettu huokoista materiaalia. (RIL 243-1-2007 2007, 150.)

Mikrorei'itetyissä levyissä reikien halkaisija on enintään 1 mm, jolloin saadaan il-mavirran kitka käytettyä hyödyksi. Myös mikrorei'itetyn levyn toiminta perustuu massa-jousijärjestelmään. Levyn takana ei ole tarvetta käyttää huopaa, koska rei-kien koosta johtuen vastus kasvaa suureksi. Mikrorei'itettyjen levyjen absorp-tiosuhde sijoittuu huokoisten materiaalien ja rei'itettyjen levyjen väliin. (RIL 243-1-2007 2007, 151.)

Levyresonaattorirakenne koostuu rakennuslevystä ja sen takana olevasta tyhjistä tai mineraalivillatäytteisestä tilasta. Levyresonaattorit absorboivat matalia taajuuk-sia, mutta korkeat taajuudet heijastuvat levyn pinnasta. Seinärakenteet, joissa on käytetty rakennuslevyjä, ovat levyresonaattoreita. Myös ikkunat ja monet ovet ovat levyresonaattoreita. (RIL 243-1-2007 2007, 152.)

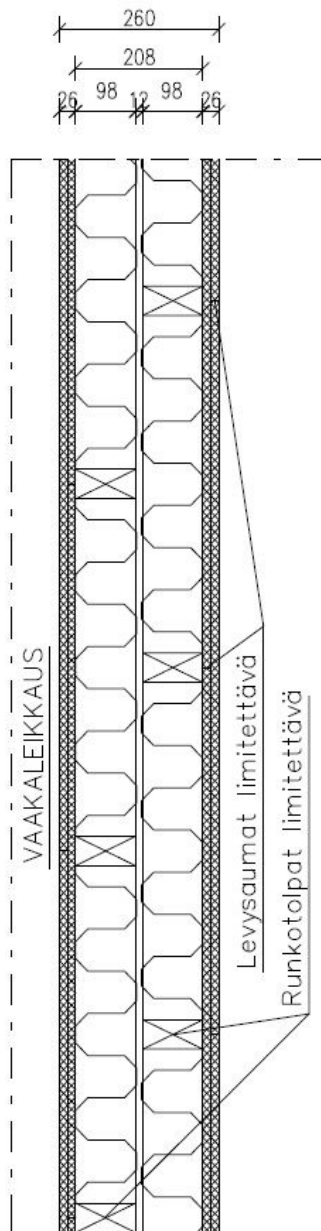
7 ÄÄNENERISTÄVYYTEEN VAIKUTTAVIEN RATKAISUJEN TARKASTELU ESIMERKKIRAKENTEESSA

7.1 Esimerkkirakenne

Tässä luvussa tarkastellaan rakennedetaljipiirustuksien esimerkkirakenteita ääneneristävyyden näkökulmasta. Esimerkkirakenteet ovat Hartman Koti -talotoimitajan käyttämiä puurunkoisen rivitalon rakenteita, jossa alapohjana on maanvarainen betonilaatta. Näitä rakenteita käyttämällä pitäisi saavuttaa huoneistojen välinen ilmaääneneristävyys $R'_w \geq 55$ dB.

7.1.1 Huoneistojen välinen seinä

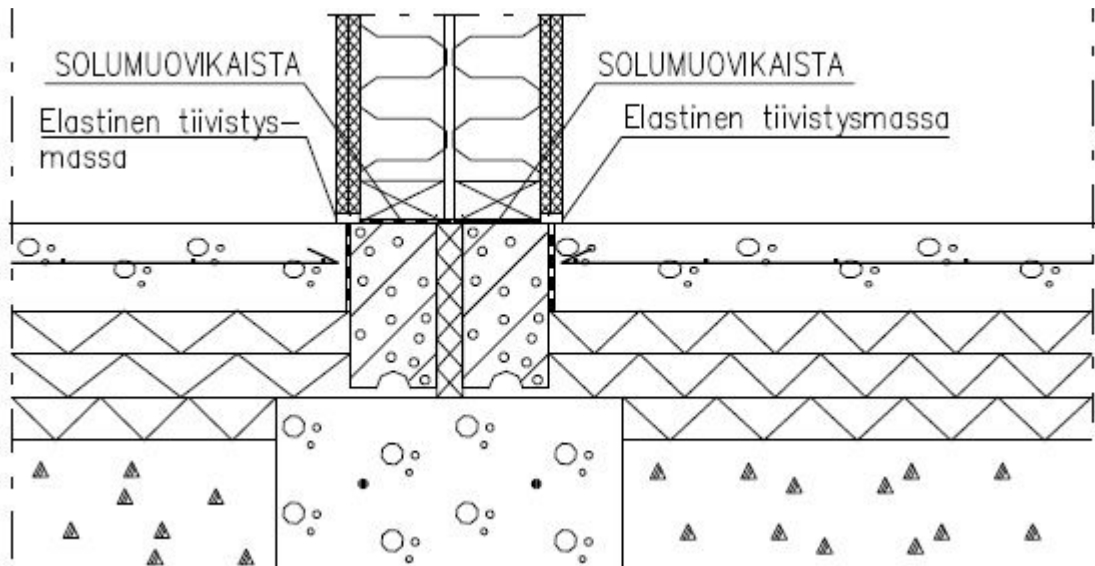
Hartman Kodin käyttämä huoneistojen välinen seinä on kaksinkertainen puuranka, jossa molemmin puolin on kaksinkertainen kipsilevytys. Runkojen välissä on 12 mm rako, joka erottaa rungon puoliskot toisistaan. Runkoäänten kulkeutumisen kannalta on tärkeää, että kaksiosaisen rungon puoliskojen välillä ei ole mekaanista kosketusta. Runkotolpat ovat 48 x 98 mm k600 jaolla ja ne limitetään kuvion 12 mukaisesti siten, että ne eivät ole samoilla kohdilla toisiinsa nähden. Tässä Hartman kodin huoneistojen välisessä seinärakenteessa massana toimii kaksinkertainen kipsilevytys, joka on kummallakin puolella 26 mm paksu. Ilmajousena kyseisessä rakenteessa toimii runkovahvuus, eli se osa seinästä, jossa ovat runkotolpat, villa ja runkojen välinen rako. Riittävän ääneneristävyyden täyttymisen kannalta runkovahvuuden minimipaksuus on kevytrakenteisille kaksirunkoisille levyseinille 145 mm. Tarkasteltavassa rakenteessa runkovahvuus on 208 mm eli riittävä.



Kuvio 12. Hartman kodin huoneistojen välinen seinärakenne

7.1.2 Alapohja

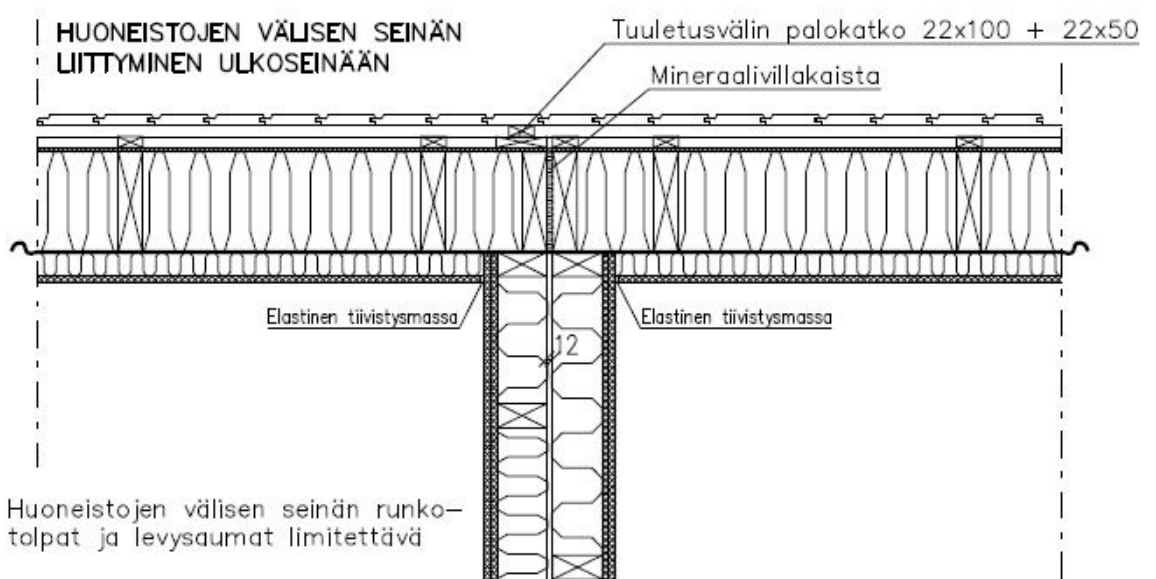
Alapohja on esimerkkirakenteessa maanvarainen betonilaatta ja perusmuuri harkkorakenteinen (Kuvio 13). Harkkoperusmuuri on katkaistu huoneistoja erottavan seinän kohdalla eristeellä, jolloin ääni ei pääse kulkemaan tätä kautta sivutiesiirtymänä huoneistosta toiseen. Väliseinän ja alapohjan liitoksen tiivyyden kannalta on tärkeää, että saumat tiivistetään huolella elastisella tiivistysmassalla.



Kuvio 13. Hartman kodin huoneistojen välisen seinän ja alapohjan liitos.

7.1.3 Ulkoseinän ja huoneistojen välisen seinän liitos

Ulkoseinän ja väliseinän liittymä on toteutettu siten, että väliseinän runkopuolisko- jen välille ei muodostu mekaanista kytkentää (Kuvio 14). Sivutiesiirtymän vähentämisen kannalta on tärkeää, että kytkentää ei muodostu. Ulkoseinän runkotolpat sijoitetaan siten, että niiden väliin jätetään väliseinän kohdalla rako, joka tiivistetään esimerkiksi mineraalivillalla.



Kuvio 14. Hartman kodin ulkoseinän ja huoneistojen välisen seinän liitos

8 Huoneistojenvälisen ääneneristävyyden mittaus

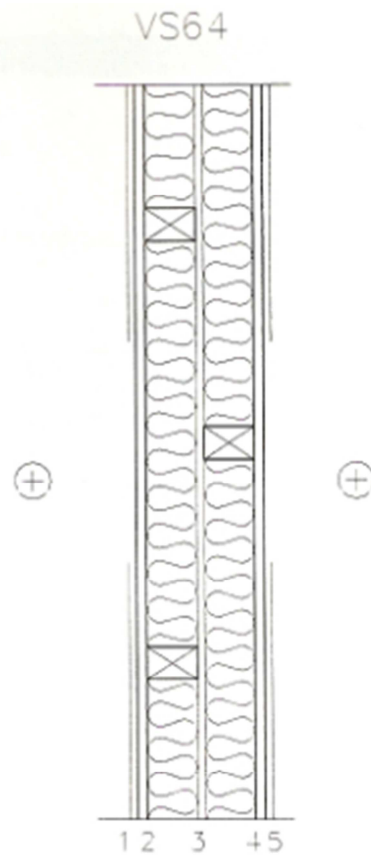
8.1 Mittauskohde

Mittaukset suoritettiin valmistumassa olevassa rivitalokohteessa. Koska kohteessa ei ollut vielä asukkaita, ääneneristysmittaukset voitiin suorittaa ilman, että siitä olisi ollut häiriötä. Testihuoneiksi valittiin kahden vierekkäin olevan asunnon olohuoneet, joita erotti pinta-alaltaan 12 m² väliseinä (Kuvio 15). Rivitalokohteessa mitattiin ilmaääneneristävyys ja askelääneneristävyys.



Kuvio 15. Huoneistoja erottava seinä ja äänilähde

Huoneistojen välinen seinä on puurakenteinen kaksoisrunkoinen seinä, jossa on kipsilevytyks molemmin puolin ja runkojen välissä on 10 mm ilmarako (Kuvio 16). Runkotolpat ovat 45x70 mm, jolloin runkovahvuudeksi saadaan 150 mm. Tällä rakenteella pitäisi saavuttaa huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku $R'_w = 56$ dB.

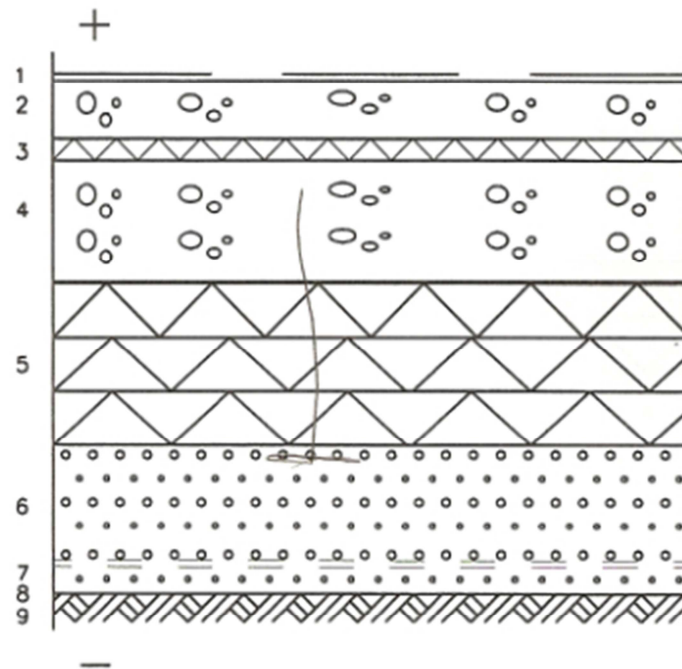


- 1 PINTAMATERIAALI TAI -KÄSITTELY, huoneselityksen mukaan
- 2 RAKENNUSLEVY
kipsilevy
- 3 PUURUNKO 70+70 mm
2x70x45 mm k 600 mm limitys 300 mm+
Vuorivilla PAROC UNS 35
(ilmarako 10 mm runkojen välissä)
- 4 RAKENNUSLEVY
kipsilevy
- 5 PINTAMATERIAALI TAI -KÄSITTELY, huoneselityksen mukaan

paloluokka EI 60
ilmääneneristysluku $R'w$ (lab) 56 dB

Kuvio 16. Huoneistojen välinen seinärakenne

Alapohjarakenne on toteutettu siten, että pintabetonilaatta on 80 mm ja sen alapuolella 30 mm eriste ja 150 mm kantava teräsbetonilaatta (Kuvio 17). Kohteessa on lattian pintamateriaalina laminaatti.



	1	Lattiapinnoite
80mm	2	Pintabetonilaatta hl=80mm BY45 A-3-30, verkko 6-150 + Rengasteräkset laatan ympäri T10
30mm	3	Lämmöneriste esim. EPS 100 lattia
150mm	4	Kantava Teräsbetonilaatta, hl=150 mm, roud. rak.piirustusten mukaan liikuntasauva joiin
150+50mm	5	Lämmöneriste, esim. EPS 100 lattia (150mm) (ulommalla reuna-alueella 200 mm) 1m kaistana Eristeen kannakointi laattaan 4kpl/m ²
250 mm	6	Salaojasepeli, yhteys salaojiin
>350 mm	7	Tiivistetty soratäyttö >350mm
	8	Suodatinkangas, kl II
	9	Perusmaa, kallistus reunoille

Pesuh. ja saunojen lattiat tehdään RT-ohjeiden mukaan.
Märkätilojen rakenteet ja kynnykset RT 84-10759 mukaan.

Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus λ_d)
 $U=0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kuvio 17. Alapohjarakenne

8.2 Mittauslaitteisto

Ilmääneneristyksen mittaukseen käytettiin 01dB-Stell, Harmonie 4210 laitetta, äänilähdettä, kahta mikrofonia, vahvistinta ja kannettavaa tietokonetta. Harmonie 4210 laitteen avulla mikrofonit, vahvistin ja kaiutin yhdistettiin kannettavaan tietokoneeseen, jossa oli mittausten suorittamiseen vaadittava ohjelmisto (Kuvio 18). Askelääneneristävyysmittauksessa käytettiin äänilähteenä standardin ISO 140-7 mukaista askeläänigeneraattoria (Kuvio 19). Mittaukset suoritettiin standardien ISO 140-4 ja ISO 140-7 mukaisella tavalla.



Kuvio 18. Askeläänigeneraattori



Kuvio 19. Mittauslaitteisto: kannettava tietokone, vahvistin ja Harmonie yksikkö

8.3 Mittaustulokset

Ilmaääneneristysmittauksen tulokseksi saatiin $R'_w = 44$ dB, joka on selvästi alle rakentamismääräyskokoelman C1 osassa annetun huoneistojenvälisen ääneneristysluvun vähimmäisarvon $R'_w = 55$ dB. Ilmaääneneristysmittauksen tulokset on esitetty 1/3-oktaavikaistoittain liitteessä 1. Askeläänitasoluvuksi saatiin $L'_n = 54$, joka ylittää rakentamismääräyskokoelmassa annetun suurimman sallitun arvon $L'_n, w = 53$ dB. Askeläänitasomittauksen tulokset on esitetty 1/3-oktaavikaistoittain liitteessä 2.

Syitä vaatimusten alittamiseen voi olla monia. Huoneistojen välinen seinärakenne pitäisi täyttää vaatimukset laboratoriomittausten perusteella. Laboratoriotesteissä ei oteta huomioon sivutiesiirtymästä aiheutuvaa ääneneristävyuden heikkenemistä. Myös väliseinän tiiviydellä on ääneneristävyuden kannalta merkitystä. Jos ra-

kenteeseen on jäänyt rakoja, ääni pääsee esteettä kulkeutumaan tätä kautta. Askelääneneristävyyden huono tulos voi johtua siitä, että alapohjalaattaa ei ole katkaistu huoneistojen välillä. Askelääni pääsee kulkeutumaan runkoääninä huoneistosta toiseen, jos katkaisua ei tehdä.

9 YHTEENVETO

Rivi- ja paritalojen ääneneristävyyden toteutuksessa on tärkeää huomioida kaikki äänen kulkureitit, jotta voidaan saavuttaa riittävä ääneneristävyys. Ääneneristävyyden toteutuksessa on tärkeää huomioida huoneistojen välisen rakenteen lisäksi sivuavat rakenteet, joiden kautta ääni kulkee sivutiesiirtymänä. Rakenteiden liitiskohtien toteutukseen tulee myös kiinnittää huomiota. Erityisesti huoneistoja erottavan seinän ja alapohjan liitoksen äänitekniinen katkaisu tulee tehdä siten, että sivutiesiirtymä tätä kautta olisi mahdollisimman vähäistä. Myös rakenteiden liitiskohtien tiiviys on tärkeä osa ääneneristävyyttä. Nämä asiat huomioimalla voidaan saavuttaa riittävä ääneneristävyys rivi- ja paritaloissa.

LÄHTEET

- Brüel & Kjær. 1998. Basic Concepts of Sound. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 15.1.2012] Saatavana: http://cafefoundation.org/v2/pdf_tech/Noise.Technologies/PAV.Sound.B&K.Primmer.pdf
- Konto Oy. 2012. [Viitattu 10.4.2012]. Saatavana: <http://www.icecreative.fi/customers/konto/fi/tuotteet/akustiikka>
- Kylliäinen, M. 2011. Kivitalojen ääneneristys. Helsinki: Betoniteollisuus ry.
- Lahtela, T. 2004. Ääneneristys puutalossa [Verkkojulkaisu]. Wood Focus Oy. [Viitattu 5.3.2012]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/ääneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>
- Lahti, T. 1995. Akustinen mittaustekniikka [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 6.1.2012]. Saatavana: <https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/s-89.3430/materiaali>.
- Lehto, H & Luoma, T. 1995. Fysiikka 3. Lämpö, energia ja mekaniikka. Helsinki: Tammi
- RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Hakapaino Oy 2007.
- RIL 129. 2003 Ääneneristyksen toteuttaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Suomen kuitulevy Oy. 2012. [Viitattu 19.3.2012]. Saatavana: <http://www.suomenkuitulevy.fi/fi/tuotteet/kalustelevyt/reiitettykovalevy>
- Viljakainen, M. 2005. Avoin puurakennusjärjestelmä–suunnitteluperusteet. [Verkkojulkaisu]. Wood Focus Oy. [Viitattu 15.3.2012] Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-suunnitteluperusteet/suunnitteluperusteetkokoohje.pdf>
- Ympäristöopas. 2003. Ääneneristys rakennuksessa. Ympäristöministeriön julkaisu 99. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Aiheeseen liittyviä standardeja:

SFS-EN ISO 140-4:en Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.

SFS-EN ISO 140-5:en Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades.

SFS-EN ISO 140-7: Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors.

SFS-EN ISO 717-1: Akustiikka. Rakennusten ja rakennusosien ääneneristävyyden luokitus. Osa 1: Ilmaääneneristävyyden eristävyys

SFS-EN ISO 717-2: Akustiikka. Rakennusten ja rakennusosien ääneneristävyyden luokitus. Osa 2: Askelääneneristävyyden eristävyys

SFS-EN 12354-1: Rakennusakustiikka. Rakennusten akustisten ominaisuuksien arviointi rakennustuotteiden ominaisuuksien perusteella. Osa 1: Huoneiden välinen ilmaääneneristys

SFS-EN12354-2: Rakennusakustiikka. Rakennusten akustisten ominaisuuksien arviointi rakennustuotteiden ominaisuuksien perusteella. Osa 2: Huoneiden välinen askelääneneristys

SFS-EN ISO 11654: Akustiikka. Rakennuksissa käytettävät absorbentit. Ääniabsorption luokitus

LIITTEET

LIITE 1. Ilmaääneneristävyyden mittausraportti

LIITE 2. Askelääneneristävyyden mittausraportti

LIITE 1 Ilmaääneneristävyyden mittausraportti



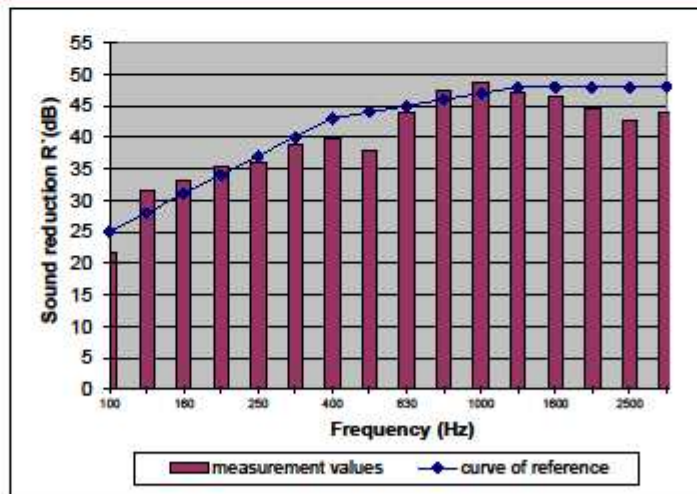
KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

Tehtävä:	Huoneistojen välisen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
Menetelmät:	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R':n määrittäminen)
Mittauskohde:	<input type="text"/>
Mittauspvm:	25.4.2012
Mittaajat:	Juha Koivumäki, Jyrki Annala
Lähtöhuone:	A3
Vastaanottohuone:	A2
Kuvaus rakenteista:	Huoneiden välinen seinä, kaksoisrunkoinen puuseinä
Vastaanottohuoneen tilavuus:	183 m ³
Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:	12,0 m ²
Laitteisto:	01dB-Stell, Harmonie 4210

Ilmaääneneristävyys R' :	44 dB	Korjaus, dB: -8
Ei-toivottujen poikkeamien summa:	30,9 dB	(< 32 dB)

Taajuus	Mittausulos
f	R'
(Hz)	(dB)
100	21,8
125	31,8
160	33,2
200	35,4
250	36
315	39
400	39,9
500	37,9
630	43,9
800	47,8
1000	48,8
1250	47,1
1600	46,5
2000	44,5
2500	42,8
3150	43,9



LIITE 2 Askelääneneristävyyden mittausraportti



KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

Askeläänitasoluvun määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

Testin pvm: 24.2.2012

Asiakas:

Mittaja: Juha Koivumäki, Jyrki Annala

Mittauskohde:

Tehtävä: Huoneistojen välisen askeläänitasoluvun määrittäminen

Menetelmät: ISO 140-6: 1998 (mittaus) ja ISO 717-2 (L'n määrittäminen)

Lähetysruutu: A2

Vastaanottohuone: A3

Kuvaus rakenteista: kipsil. EK + 70 mm runko ja villa + 10 mm ilmarako + runko ja kipsil.

Lähetysruutun tilavuus: 183 m³

Vastaanottohuoneen tilavuus: 183 m³

Laitteisto: Harmonie 4210

Askeläänitasoluku L'n :	54 dB	Korjaus, dB:
Ei-toivottujen poikkeamien summa:	31 dB	(< 32 dB)

Taajuus	Mittaus-
f	tulos
(Hz)	L'n
(dB)	(dB)
100	55,2
125	58,8
160	60,6
200	61,3
250	63,2
315	61
400	59,5
500	55,8
630	46,9
800	35,5
1000	29,5
1250	29,2
1600	29,7
2000	29,8
2500	29,5
3150	29

