

Rami Peltoniemi

**Puurunkoisen pientalon ääneneristyksen parantaminen
rakennuksen peruskorjauksen yhteydessä**

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Rami Peltoniemi

Työn nimi: Puurunkoisen pientalon ääneneristysten parantaminen rakennuksen peruskorjauksen yhteydessä

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 74

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa puurunkoisen pientalon ääneneristysten parannusratkaisuja, jotka soveltuvat käytettäväksi rakennuksen peruskorjauksen yhteyteen. Työssä keskitytään etenkin 1950-luvun puutalojen ääneneristysten parannusratkaisujen selvittämiseen vanhojen rakennepiirustusten pohjalta.

Opinnäytetyön on tarkoitus toimia lukijalle kattavana tietopakettina ääneneristysten kannalta, kun asuinrakennuksen peruskorjausvaihe on ajankohtainen. Työssä esitetään rakenneratkaisuja vanhojen 1950-luvun puurakennusten yleisimpiin ääneneristysongelmiin, lisäksi siinä käydään läpi yleisiä periaatteita ja ratkaisuja, joilla ääneneristystä voidaan parantaa peruskorjattavissa puurakennuksissa.

Avainsanat: peruskorjaus, puutalo, rintamamiestalo, ääneneristys, ääni

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Rami Peltoniemi

Title of thesis: Improving sound insulation of wooden houses

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2014

Number of pages: 74

Number of appendices: 0

The aim of the thesis was to chart different possibilities of sound insulation in wooden houses that are suitable for renovation. The thesis focuses especially on wooden houses from the 1950's and the structural solutions are based on the old construction plans.

The purpose of the thesis was to produce a comprehensive information package related to sound insulation in a wooden house in the renovation phase. The thesis presents structural solutions to sound insulation improvements to wooden houses from the 1950's, and it also includes general information on sound insulation to work in most of the wooden houses.

Keywords: renovation, wooden house, sound insulation, sound

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
2 YLEISTÄ TIETOA ÄÄNESTÄ JA ÄÄNENERISTYKSESTÄ.....	9
2.1 Ääni ja äänenvoimakkuudet	9
2.2 Rakennuksen äänimaailma.....	10
2.3 Rakennuksen äänentaajuudet	11
2.4 Yleistä ääneneristyksestä	12
2.5 Äänitekniikan teoriaa.....	13
2.5.1 Massalaki.....	13
2.5.2 Resonanssi-ilmiö.....	14
2.5.3 Koinsidenssi-ilmiö	15
2.6 Ilmaääneneristys	16
2.7 Askelääneneristys	18
2.8 Sivutiesiirtymä	19
2.9 Rakenteen tiiviys	20
2.10 Äänenvaimennus ja absorptio.....	21
2.10.1 Absorption ja ääneneristyksen erottaminen	21
2.10.2 Jälkikaiunta-aika	22
2.10.3 Vaimennusmateriaalit	23
3 RAKENTEIDEN ÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANTAMINEN	
PERUSKORJAUKSEN YHTEYDESSÄ.....	25
3.1 Yleistä	25
3.2 Ääneneristysvaatimukset	26
3.3 Väliseinät	28
3.3.1 Rintamamiesparitalon huoneistojen välinen seinä	29
3.3.2 Huoneiston sisäinen väliseinä.....	35

3.4	Välipohjat	38
3.4.1	Vanhan 1950-luvun puutalon välipohja	39
3.4.2	Huoneiston sisäinen puuvälipohja.....	45
3.5	Ovet	47
3.5.1	Ulko-oven ääneneristävyys	48
3.5.2	Sisäoven ääneneristävyys	50
3.6	Ikkunat	53
3.6.1	Uusien ikkunoiden valinta ääneneristykseen kannalta	54
3.6.2	Vanhojen ikkunoiden ääneneristäminen	55
3.7	Ulkoseinät	57
3.8	Yläpohja	62
4	LVIS-LAITTEIDEN ÄÄNENERISTYS	66
4.1	Yleistä	66
4.2	Ilmanvaihtolaitteet ja putkistot	67
4.3	Lämpö- ja vesijohtoverkostot	68
4.4	Viemäröinti	69
4.5	Sähkölaitteet	70
5	POHDINTA	71
	LÄHTEET	72

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Vanhoja puurunkoisia väliseinärakenteita	30
Kuvio 2. Puurunkoisten väliseinien ääneneristävyyksiä	31
Kuvio 3. Vanhan seinärakenteen ääneneristyksen parannusehdotus.....	33
Kuvio 4. Huoneiston sisäisen väliseinän ääneneristyksen parannusehdotus	36
Kuvio 5. Ääntä eristäviä vanhoja puuvälipohjarakenteita	40
Kuvio 6. Yleinen puuvälipohjarakenne 1950-luvulla.....	41
Kuvio 7. Huoneistojen välisen puuvälipohjan ääneneristyksen parannusehdotus	43
Kuvio 8. Huoneiston sisäisen puuvälipohjan ääneneristyksen parannusehdotus .	46
Kuvio 9. Oven alareunan tiivistämismuutoksia.....	52
Kuvio 10. Vanhan rintamamiestalon ulkoseinärakenne	58
Kuvio 11. Rintamamiestalon ulkoseinän ääneneristyksen parannusehdotus.....	60
Kuvio 12. Tuuletusraon äänenvaimennin	63
Taulukko 1. Tyypillisiä äänenpainetasoja eri tilanteissa	10
Taulukko 2. Ääneneristävyyden muutoksen havainnointi	13
Taulukko 3. Koolausvälin vaikutus kipsilevyn ominaistajuuteen	15
Taulukko 4. Massiivirakenteen ja levyrakenteen ääniteknisen toiminnan eroja	18
Taulukko 5. Raon vaikutus rakenteen ilmaääneneristävyyteen	20
Taulukko 6. Erilaisten tilojen jälkikaiunta-aikoja 500 Hz:n keskitaajuudella	23
Taulukko 7. Rakenteen ääneneristävyyden ja puheen yhteys	28
Taulukko 8. Tiiviin oven ääneneristävyyksiä	51
Taulukko 9. Ikkunoiden ohjeellisia ilmaääneneristyslukuja	55
Taulukko 10. Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden optimointi	59

Käytetyt termit ja lyhenteet

Ääneneristys	Äänen siirtymisen estäminen, joka ei kuitenkaan pääasiallisesti perustu äänen absorptioon.
Äänen vaimennus	Yleisnimitys äänitason alenemiselle tai toimenpiteelle äänitason alentamiseksi.
Äänitaso	Yleisnimitys taajuuspainotetulle äänenpainetasolle, tavallisesti A-painotetulle äänenpainetasolle.
Värähtely	Aineessa tai kappaleessa esiintyvä jaksottainen liike
Peruskorjaus	Peruskorjaus tarkoittaa sitä, että rakennus tai rakennuksen tila korjataan yhtä hyväksi kuin se oli uutena.
Pientalo	Pientaloilla tarkoitetaan omakotitaloja, paritaloja sekä kaksikerroksisia omakotitaloja, joissa on kaksi asuntoa.
Ilmajousi	Ilmajousella tarkoitetaan kaksinkertaisen rakenteen ilmatilaa, jonka välityksellä äänen värähtelyliike siirtyy rakenteen toiselle puolelle.
Koinsidenssi	Koinsidenssiksi kutsutaan tilannetta, jossa teoreettisesti ääretön levymäinen rakenne alkaa myötävärähdellä (taivutusvärähtelyä) siihen kohdistuvasta äänestä johtuen siten, että ääni läpäisee levyrakenteen vaimentuen lähinnä vain materiaalin sisäisten häviöiden vuoksi.
Sivutiesiirtymä	Äänen kulkeutumista muita reittejä kuin tarkasteltavan rakenteen läpi sanotaan sivutiesiirtymäksi.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pientalojen peruskorjauksen yhteydessä tehtäviin rakennuksen ääneneristysten parannusratkaisuihin. Työ painottuu etenkin vanhempien 1950-luvun puurakennusten rakenteisiin ja siinä käydään läpi myös yleisesti puurakennuksiin soveltuvia ääneneristysten parannusratkaisuja sekä nykypäivän vaatimuksia.

Työn tavoitteena on kartoittaa ääntä eristäviä rakenneratkaisuja, jotka soveltuisivat käytettäväksi peruskorjattavien puurakenteisten pientalojen ääneneristysongelmiin, koska näihin on saatavilla varsin rajoitetusti tietoa. Lisäksi työn tarkoituksena on havainnollistaa eri mahdollisuuksia asuinrakennuksen paremman ääniteknisen toimivuuden saavuttamiseksi sekä toimia kattavana tietopakettina ääneneristysten kannalta, kun pientaloa lähdetään peruskorjaamaan.

Opinnäytetyön alussa käydään läpi yleistä teoriaa sekä käsitteitä äänestä ja ääneneristävydestä, jotta asiasta saataisiin kunnollinen kokonaiskuva. Sen jälkeen siirrytään pientalon ääneneristysten lähtötietoihin ja virallisiin ääneneristysvaatimuksiin, joissa pyritään ottamaan kantaa myös siihen, miksi rakennuksen ääneneristävyden parantamiseen kannattaa kiinnittää huomiota etenkin peruskorjausvaiheen ollessa ajankohtainen. Seuraavana asiana käsitellään eri rakenneosien ääneneristysten parantamiseen liittyvää tietoa esimerkkirakenteisiin pohjautuen sekä niiden mahdollisia korjausratkaisuja. Viimeisessä osiossa on tarkasteltu talotekniikan vaikutusta rakenteiden ääneneristävyteen ja siihen on pyritty kokoamaan LVIS-laitteiden yleisimpiin äänitekniisiin seikkoihin vaikuttavia asioita.

2 YLEISTÄ TIETOA ÄÄNESTÄ JA ÄÄNENERISTYKSESTÄ

2.1 Ääni ja äänenvoimakkuudet

Äänellä tarkoitetaan mekaanisen värähtelyn aiheuttamaa aaltoliikettä kimmoisessa väliaineessa. Äänelle annettavat nimitykset riippuvat väliaineesta, jossa ääniaalto etenee. Näitä väliaineita voivat olla kaasu, neste tai kiinteä aine. Ääni tarvitsee edetäkseen aina väliaineen, sillä tyhjiössä ääni ei voi edetä. Kun ääniaalto etenee ilmaa pitkin, sitä kutsutaan loogisesti ilmaääneksi, jonka ihminen voi aistia kuulonsa avulla. Rakennuksen rungossa eteneviä ääniaaltoja puolestaan kutsutaan runkoääneksi ja riittävän voimakkaana sen voi huomata tärinänä. Vaikka ilma- ja runkoääni ovat ominaisuuksiltaan erilaiset, niillä on merkittävä keskinäinen yhteys. Rakenteesta riippuen ilmaääni voi aiheuttaa runkoääntä ja vastaavasti runkoääni aiheuttaa lähes aina ilmaääntä. (Lahtela 2004, 10.)

Äänenvoimakkuus voidaan ilmaista käsitteellä äänenpainetaso, joka mahdollistaa äänenvoimakkuuden mittaamisen erityisellä äänenpainetasomittarilla. Äänenpainetason lukuarvona käytetään yksikköä desibeli [dB] ja se on logaritminen suure, jolloin yksittäisiä äänilähteitä ei voi tavallisella summalaskennan periaatteella laskea yhteen. (Lahtela 2004, 12.) Esimerkkinä alla olevassa taulukossa (Taulukko 1) äänekkään puheen äänenpainetaso on 60 dB eli jos puhujia olisi kaksi, ei niiden yhteenlaskettu äänenpainetaso ole 120 dB. Oikea laskentaperiaate näkyy kaavassa 1.

$$L_{\text{kok}} = 10\lg(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \quad (1)$$

missä L_{kok} = kokonaisäänepainetaso [dB]
 L_n = yksittäisen äänilähteen äänenpainetaso [dB]
 (Lahtela 2004, 12).

Kaavassa laskemalla 60 dB + 60 dB tuottaa yhteensä 63 dB (Brüel & Kjær 2001, 11).

Taulukko 1. Tyypillisiä äänenpainetasoja eri tilanteissa (Siikanen 1996, 121).

Äänenpainetaso (dB)	Äänilähde
0-15	Normaali kuulokynnys
20	Putoava lehti, "hiljainen huone"
30	Tavallinen asumismelu
35	Kuiskaus
40	Hiljainen puhe, keskinkertainen asumismelu
50	Rauhallinen ravintola, liesituuletin, toimistomelu
55	Keskinkertainen katumelu
60	Äänekäs puhe, pölynimuri, liikekadun melu, kuorma-auto 10 m:n päässä
65	Tavallinen keskustelu (yli kolme henkilöä)
70	Äänekäs katu, raitiovaunun melu, erittäin äänekäs puhuminen, henkilöauton sisämelu
80	Hyvin äänekäs radio musiikki, voimakas liikennemelu, linja-auton sisämelu
90	Vannesaha, paineilmapora, moottoripyöränmelu
100	Sinfoniaorkesteri (forte)
110	Disko, hyvin voimakas ukkosenjyrinä
120	Suihkukone 100 m:n päässä (kipuraja)
140	Rockkonsertti (huippuarvo)

2.2 Rakennuksen äänimaailma

Rakennuksessa vaikuttavien äänilähteiden määrä on lukematon, sillä äänen syntyyn vaikuttavat monet eri tekijät. Ihmisen oma toiminta, rakennuksen talotekniikka ja elämää helpottavat kodinkoneet ovat hyvä esimerkki rakennuksen sisäisistä äänilähteistä. Rakennukseen kulkeutuu myös useita ulkoisia ääniä, jotka voivat johtua muun muassa liikenteestä. Jopa voimakkaat sääolosuhteet aiheuttavat kuuluvia ääniä. Lahtelan (2004, 10) mukaan huoneistoon kulkeutuvista äänistä etenkin raide- ja lentoliikenteen aiheuttamat runko- ja ilmaäänät ovat rasittavia muun liikenteen ohessa.

Normaali asuminen aiheuttaa myös aina askelääniä, joita muodostuu kaikista lattiaan kohdistuvista iskuista. Tällöin välipohjarakenteeseen syntyy värähtelyä ja se voi riittävän voimakkaana aiheuttaa ilmaääntä toiseen huoneistoon. Ilmaääntä puolestaan muodostuu hyvinkin helposti kaikesta asumiseen liittyvästä toiminnasta. (Lahtela 2004, 10.) Kun tutkitaan äänen tuottamiseen tarvittavaa energian mää-

rää, ilmaäänellä sen tarve on vähäisin ja näin ollen se onkin yleisin äänen etenemismuoto (Siikanen 1996, 115).

2.3 Rakennuksen äänentaajuudet

Äänentaajuudella eli jaksoluvulla tarkoitetaan, kuinka monta kertaa ääniaalto värähtelee sekunnin aikana. Taajuuden yksikkö on hertsi [Hz] ja normaalisti kuulevan ihmisen kuuloalue on 16 Hz - 16000 Hz. Kun äänentaajuus on suuri, se kuullaan korkeampana ja vastaavasti pienet taajuudet kuullaan matalana äänenä. Eläimillä kuuloalueet eroavat ihmisistä, sillä esimerkiksi tavallinen koiran kuuloalue on 70 Hz - 100000 Hz. (Lahtela 2004, 11.)

Siikanen (1996, 117) toteaa, että äänentaajuuteen liittyy olennaisesti termi aallonpituus, joka tarkoittaa kahden toisiaan seuraavan aallonhuipun tai -laakson välistä etäisyyttä. Ihmisen normaalia kuuloaluetta vastaava aallonpituuden vaihteluväli on 21 m:stä 21 mm:iin. Taajuuden ja aallonpituuden yhteys selviää alla olevasta kaavasta 2.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2)$$

missä λ = aallonpituus [m]
 v = äänen etenemisnopeus [m/s]
 f = taajuus [1/s]
 (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2007, 128).

Lahtelan (2004, 11) mukaan rakennuksen ääneneristyksen suunnittelussa on syytä kiinnittää huomiota äänen taajuuteen, sillä se vaikuttaa suoraan rakenteen ääneneristävyteen. Suunnittelun vaativuutta lisäävät muuttuvat taajuudet, koska rakenteen eristävyys tulee toimia niin matalia kuin korkeitakin taajuuksia vastaan. Normaalissa asuinrakennuksessa taajuuksien vaihteluväli on suuri, koska pelkästään ihmisen puhe voi tuottaa ääntä, jonka taajuuden vaihteluväli on 50 Hz - 10000 Hz. Puheen lisäksi matalia äänentaajuuksia aiheuttaa välipohjalla kävely, jonka taajuusalue on 25 Hz - 200 Hz. Vaikka ihmisen kuuloalue on laaja, se on kuitenkin herkimmillään taajuusalueilla 100 Hz - 3150 Hz eli ihminen kuulee pa-

remmin matalat äänet. Äänieristysrakenteissa on pyritty huomioimaan tämä taajuusalue, jotta ihmisen kuulon kannalta päästäisiin mahdollisimman hyvään ääneneristävyyteen. Jotta saadaan vertailukohta taajuudelle, normaalin asunnon palovaroittimen tulee hälyttää taajuudella 300 Hz - 3000 Hz, jotta ihminen kuulee sen herkimmin (Finlex 1999, 2). Kun suunnitellaan rakenteen ääneneristävyyttä, kannattaa kiinnittää huomiota myös alle 100 Hz:n taajuuksiin, koska nykyään on käytössä paljon kevyitä seinä- ja välipohjarakenteita, joiden matalien äänien eristyskyky on huono. (Lahtela 2004, 11.)

2.4 Yleistä ääneneristyksestä

Siikasen (2008, 153) aineistosta ilmenevät ääneneristyksen keskeisimmät periaatteet ja tavoitteet. Tämän mukaan rakennuksen suunnittelu ja toteutus on ääneneristyksen kannalta tehtävä niin, että melutaso rakennuksessa pysyy riittävän alhaisena, vaarantamatta terveyttä tai vähentämättä asumismukavuutta. Rakennuksessa on oltava mahdollisuus kunnollisiin yöuniin, riittävään lepoon ja työrauhaan. Nämä periaatteet koskevat uudisrakentamisen lisäksi myös korjausrakentamista, jossa pyritään soveltuvien osien saavuttamaan tilan käyttötarkoitukseen sopivat ääniolosuhteet (RIL 174-8 1988, 286).

Rakenteen ääneneristykseen liittyy erilaisia käsitteitä, joilla kuvataan tilojen välistä ääneneristyskykyä. Lahtela (2004, 12) tarkastelee näistä käsitteistä olennaisimpia. Ilmaääneneristävyydellä tarkoitetaan rakenteen kykyä eristää ilmaääntä eri tilojen välillä ja se voidaan todeta ilmaääneneristysluvulla. Rakenteen ilmaääneneristys on sitä parempi, mitä suurempi ilmaääneneristysluku on. Jos ilmaääneneristysluku on määritetty laboratoriossa, sen merkintä on R_w [dB]. Kun ilmaääneneristysluku on määritetty eri tilojen välille valmiissa rakennuksessa, käytetään siitä merkintää R'_w [dB]. Tilojen välinen ääneneristävyys voidaan määrittää tarkasti vain valmiiseen rakennukseen tehtävällä mittauksella, koska silloin huomioidaan myös rakenteen sivutiesiirtymän ja pinta-alan vaikutus. Lisäksi huoneen akustiset ominaisuudet vaikuttavat mittaukseen. Laboratorioarvoissa määritetään ääneneristävyyden arvoja pääasiassa yksittäisille rakenteille. Näin ollen kenttämittausten ja laboratoriomittausten tuloksissa voi olla eroavaisuuksia.

Rakenteelle voidaan määritellä myös askelääneneristävyys, joka tarkoittaa välipohjan kykyä johtaa ilmaääntä toiseen huoneistoon. Tulosta mitataan askeläänitasoluvulla. Askelääneneristävyys on sitä parempi, mitä pienempi askeläänitasoluku on, eli se on päinvastainen suure ilmaääneneristävyyteen verrattuna. Kun askeläänitasoluku on määritetty laboratoriossa, sen merkintä on $L_{n,w}$ [dB] ja vastaavasti valmiissa rakennuksessa mitattu askeläänitasoluvun merkintä on $L_{n,w}$ [dB]. (Lahtela 2004, 13).

Valmiissa rakennuksessa tehdyt ääneneristävyysmittaukset antavat desibeliluvun, jota verrataan sallittuihin arvoihin. Mikäli sallitut arvot alitetaan tai halutaan muuten parantaa ääneneristävyttä, ongelmaksi voi tulla tietyn suuruisen alituksen hahmottaminen eli kuinka paljon on paljon. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2) tarkastellaan, miten tietyn suuruinen ääneneristävyden muutos vaikuttaa ihmisen saamaan havaintoon. (RIL 174-8 1988, 286.)

Taulukko 2. Ääneneristävyden muutoksen havainnointi (RIL 174-8 1988, 286).

Muutos	Havainto
1...2 dB	Tuskin havaittava
3...4 dB	Havaittava
5...6 dB	Selvästi havaittava, olennainen muutos
7...8 dB	Suuri muutos
yli 10 dB	Hyvin suuri muutos

2.5 Äänitekniikan teoriaa

2.5.1 Massalaki

Lahtela (2004, 18) tarkastelee aineistossaan rakenteen massan vaikutusta ääneneristävyyteen. Ääniaallot synnyttävät värähtelyä kohdatessaan rakenteen ja mitä herkemmin rakenne värähtelee, sitä enemmän ääntä siirtyy sen toiselle puolelle. Massalailla tarkoitetaan sitä, että kevyet rakenteet värähtelevät helpommin kuin raskaat ja sen seurauksena raskaalla rakenteella on parempi ääneneristävyys. Ääneneristystä parannettaessa yksi keino on lisätä rakenteen massaa, mutta

se ei ole kuitenkaan aina kannattavaa. Rakenteen ollessa hyvin painava sen ääneneristystä ei saa kuitenkaan pienellä massan lisäyksellä parannettua. Massan lisäys soveltuu etenkin jo valmiiksi kevyiden rakenteiden ääneneristävyyden parantamiseen. Yleissääntönä voidaan pitää, että rakenteen massan kaksinkertaistessa paranee ilmaääneneristävyys noin 4 - 6 dB. Taloudellisesti ajatellen vahvojen betoni- tai kivirakenteiden massan kasvattaminen on harvoin kannattavaa, mutta kevyissä levyrakenteissa sillä saadaan nopeasti lisää ääneneristävyyttä. Tarkastelun alaisena olevat puiset pientalot kuuluvat kevyisiin rakenteisiin.

2.5.2 Resonanssi-ilmio

Rakenteen ääneneristävyyteen vaikuttaa Lahtelan (2004, 20) mukaan myös resonanssi-ilmio, jolloin rakenteen värähtely ja äänen säteily ovat hyvin voimakkaita tietyllä resonanssitaajuudella. Resonanssi-ilmiossa rakenteeseen osuvat ääniaallot ovat samalla taajuusalueella kuin rakenteen resonanssi- eli ominaistaajuus. Rakenteen voimakas värähtely syntyy siitä, kun rakenteessa oleva värähtelysteemi saa koko ajan lisää energiaa siihen suuntautuvista ääniaalloista. Rakenteen ääneneristävyys siis huononee, kun rakenneosa ja ääni ovat resonanssissa keskenään vahvistaen toinen toistaan.

Myös värähtelyä tuottava laite voi aiheuttaa rakenteeseen resonanssi-ilmion. Esimerkiksi pyykinpesukoneen tärinä voi aiheuttaa värähtelyä välipohjan kelluvaan pintalaattaan. Rakenteiden ominaistaajuusalue ei saisi sijaita ihmisen kuulon kannalta tärkeällä taajuusalueella 100 Hz - 3150 Hz, ja se tulisi pyrkiä pitämään sen alapuolella. (Lahtela 2004, 20.) Esimerkkinä alla olevassa taulukossa (Taulukko 3) näkyy koolausvälin vaikutus normaalin kipsilevyn ominaistaajuuteen. Tämän mukaan koolausvälin tulisi olla vähintään 600 mm, jotta päästään yleisen taajuusalueen alapuolelle.

Taulukko 3. Koolausvälin vaikutus kipsilevyn ominaistajuuteen (Siikanen 1996, 116).

Koolausväli	Ominaistajuus
400 mm	130 Hz
600 mm	60 Hz
900 mm	25 Hz
1200 mm	15 Hz

2.5.3 Koinsidenssi-ilmiö

Korkeilla taajuuksilla rakenteen ääneneristys saattaa olla selvästi huonompi kuin mitä massalaki edellyttäisi. Tämä johtuu ilmiöstä, jota kutsutaan koinsidenssiksi. Ääni etenee joko pitkittäis- tai poikittaisaaltoina, joista pitkittäisaallot ovat melko harvinaisia kiinteissä rakenteissa. Käytännössä poikittais- eli taivutusaalloilla on huomattavasti suurempi merkitys kiinteille rakenteille, jotka ovat herkkiä taipumalle. Koinsidenssi-ilmiö esiintyy esimerkiksi ohuissa rakennuslevyissä seinä- ja välipohjarakenteissa tai vaikkapa pilareissa ja palkeissa. (Siikanen 1996, 116.)

Lahtelan (2004, 21) mukaan koinsidenssi-ilmiössä levyssä etenevä taivutusaalto ja levyn pintaan tietyssä kulmassa osuva ääniaaltorintamanjälki etenevät samalla nopeudella. Tällöin ne vahvistavat toisiaan eikä rakenne vaimenna ääntä odotetulla tavalla. Yksinkertaistettuna tämä tarkoittaa sitä, että seinärakenteeseen kohdistuva äänenpaineaalto herättää rakenteessa taivutusaallon eli levyrakenteeseen syntyy äänenpaineaallon aiheuttamia taipumia. Siksi aaltoliikettä kutsutaan taivutusaalloksi ja se etenee usein samalla nopeudella kuin ilmassa etenevä ääni, mikä heikentää ääneneristystä.

Koinsidenssitaajuudella tarkoitetaan taajuutta, jolla taivutusvärähtelyn etenemisnopeus on sama, kuin ilmassa etenevän äänen nopeus (Siikanen 1996, 116). Kaikilla yksinkertaisilla rakenteilla on koinsidenssitaajuus, jonka yläpuolella esiintyvillä äänentaajuuksilla esiintyy ääneneristystä heikentävä koinsidenssi-ilmiö. Rakenteen koinsidenssitaajuuden pitäisi olla ihmisen kuulon kannalta tärkeän taajuusalueen 100 Hz - 3150 Hz yläpuolella. Ohuilla rakennuslevyillä koinsidenssitaajuus on

yleisesti 2000 Hz - 3000 Hz. Mitä korkeampi levyn koinsidenssitaajuus on, sitä vähemmän se heikentää ääneneristävyyttä. Mikäli ääneneristävyyttä on parannettu päällekkäisillä levyrakenteilla, tulee muistaa, että niitä ei liimata yhteen, sillä liimaaminen laskee levyjen koinsidenssitaajuutta ja huonontaa ääneneristävyyttä. Koinsidenssi-ilmiö ei yleensä ole raskaiden kivirakenteiden ongelma, mutta ohuiden yksinkertaisten kivirakenteiden koinsidenssitaajuuden vaikutus ääneneristävyyteen tulee tutkia. (Lahtela 2004, 21.)

2.6 Ilmaääneneristys

Ilmaääneneristävyyttä haetaan toimintatavoiltaan erityyppisillä rakenteilla. Tällaisia voivat olla yksinkertaiset massiiviset rakenteet ja samalla periaatteella toimivat ratkaisut. Lisäksi voidaan myös käyttää kaksinkertaisia tai useampikertaisia rakenteita sekä massiivisia rakenteita, joihin on lisätty äänensäteilyä vähentävä rakenne. (RIL 129-2003 2003, 9.)

Lahtelan (2004, 18) mukaan rakenne luetaan yksinkertaiseksi rakenteeksi, kun se on kokonaan samaa materiaalia tai materiaalikerrokset ovat kiinni toisissaan niin, että ne värähtelevät yhtenäisenä kokonaisuutena. Tällöin rakenteen ääneneristävyys perustuu massaan ja ilmatiiviyteen. Ääniaallon kohdatessa kiinteän ja tiiviin rakenteen ilmanpaine aiheuttaa rakenteeseen värähtelyä. Esimerkiksi yksinkertaisessa seinärakenteessa massan lisäys vähentää värähtelyä, sillä mitä raskaampi seinärakenne on, sitä vähemmän se värähtelee. Kun yksinkertaisella rakenteella haetaan hyvää ääneneristävyyttä, tulee kysymykseen pääasiassa massiiviset kivirakenteet eli betoni- ja tiilirakenteet. Puu on materiaalina kevyttä ja vaikka kahden eri huoneiston välinen seinä olisi 200 mm höylähirttä, sillä saavutetaan ilmaääneneristävyytluku, jonka suuruusluokka on vain 40 dB. Näin ollen puurakenteissa saavutetaan hyvä ääneneristävyys pääasiassa kaksinkertaisilla rakenteilla.

Kaksinkertainen rakenne muodostuu kahdesta erillään olevasta tiiviistä seinämästä, joiden välissä on ilmatila. Tätä ilmatilaa voidaan kutsua myös ilmajouseksi, koska se vaimentaa äänenpaineen aiheuttamaa värähdysliikettä. Äänen aiheuttama värähtely välittyy toiselle puolelle sitä heikommin, mitä pehmeämpi ilmajousi on tai mitä suurempi ilmaväli on. Ilmajousen pehmeydellä tarkoitetaan sitä, kun

kaksinkertaisen rakenteen sisälle sijoitetaan pehmeää mineraalivillaa ja ilmavälin suurentamisella puolestaan tarkoitetaan seinämien välisen etäisyyden kasvattamista. (RIL 129-2003 2003, 11.)

Ilmajousen yhteydessä massan kasvattaminen parantaa ääneneristystä huomattavasti, sillä se vähentää värähtelyä. Esimerkkinä kaksinkertaisen levyrakenteisen seinän ilmavälin tulee olla moninkertainen verrattuna kaksinkertaisen kivirakenteisen seinän ilmaväliin, kun halutaan saavuttaa sama ääneneristävyys. Rakenteen toiminnan perustuessa massan ja ilmajousen yhteistoimintaan kutsutaan sitä jousimassa-yhdistelmäksi. Tällaisilla järjestelmillä on tietty kohta matalilla taajuuksilla, jossa värähtely voimistuu ja sitä kutsutaan resonanssikohdaksi. Resonanssikohdan haittavaikutuksia voidaan pienentää lisäämällä rakenteen väliin kitkaa synnyttävää materiaalia. Esimerkiksi mineraalivilla toimii tässäkin tapauksessa. (RIL 129-2003 2003, 12.)

Lahtelan (2004, 24) mukaan ilmatilaan syntyy korkeilla taajuuksilla myös seisovia aaltoja, jotka heikentävät ääneneristävyttä. Seisovia aaltoja voidaan vaimentaa käyttämällä absorboivaa eli ääntä vaimentavaa materiaalia. Näitä ovat muun muassa pehmeät mineraalivillat ja puukuitueristeet.

Kolminkertaisen rakenteen toimintaperiaate on samanlainen kuin kaksinkertaisenkin rakenteen, mutta jos seinän kokonaispaksuus ja massa on sama, saavutetaan kaksinkertaisella rakenteella parempi ääneneristävyys. Kolminkertaisessa rakenteessa alin resonanssitaajuus siirtyy ylemmäs eli ääneneristys matalilla äänillä heikentyy, lisäksi rakenteeseen syntyy värähtelyosajärjestelmiä. Resonanssitaajuuden siirtymä ja värähtelyosajärjestelmät voivat vahvistaa toisiaan tietyillä taajuuksilla. (Lahtela 2004, 24.) Kerroksellinen levyrakenne ja massiivinen kivirakenne eroavat ääniteknisiltä toiminnoiltaan runsaasti. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 4) on eroteltu näistä muutamia, että jäisi kokonaiskuva rakenteiden toimintaperiaatteista.

Taulukko 4. Massiivirakenteen ja levyrakenteen ääniteknisen toiminnan eroja (Lahtela 2004, 15).

Massiivinen kivirakenne	Kerroksellinen kevyt levyrakenne
Ääniteknisesti jäykkä rakenne	Ääniteknisesti joustava rakenne
Ääneneristys 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 äänentaajuuksilla	Ääneneristävyys heikohko matalilla äänentaajuuksilla
Ääneneristävyys hyvä korkeilla äänentaajuuksilla	Ääneneristävyys erittäin hyvä korkeilla äänentaajuuksilla

2.7 Askelääneneristys

Askelääneneristysrakenteen toimintaperiaate on hyvin samantyyppinen ilmaääneneristysrakenteen kanssa. Ilmaääneneristyksessä rakenteeseen kohdistuva äänenpainealto synnyttää värähtelyä, mutta askelääneneristyksessä lattiapinnalla kävely, huonekalujen siirto tai vastaava toiminta aiheuttaa värähtelyn. Askelääneneristävyttä haetaan ilmaääneneristyksen tavoin yksinkertaisilla massiivisilla rakenteilla ja kevyemmillä kaksinkertaisilla rakenteilla. Lisäksi käytetään äänensäteilyä vaimentavia lisärakenteita ja pehmeitä lattiapinnoitteita. Askeläänien mittauksessa käytetään askeläänikojetta, joka aiheuttaa lattiarakenteeseen tasaisia iskuja. Tästä saadaan mitattua askeläänentasoluku alapuolisissa tai viereisissä huoneistoissa. (RIL 129-2003 2003, 130.)

Välipohjarakenteissa yksinkertaisia rakenteita ovat massiiviset betonilaatat sekä vastaavalla tavalla toimivat ontelolaatat. Vaikka ontelolaatoissa onkin ilmatilaa, niiden ääneneristävyys perustuu massaan, sillä suurempi massa (kg/m^2) parantaa askelääneneristävyttä. Yksinkertaisissa lattiarakenteissa korostuu pehmeän lattiapäällysteen merkitys, koska ilman sitä yksinkertainen rakenne ei pääse asuinrakennusten edellyttämään askeläänitason tuloksiin. (RIL 129-2003 2003, 130.)

Kaksinkertaiset välipohjarakenteet jaotellaan ääneneristävyyden kannalta kahteen eri tyyppiin, jotka kuvaavat niiden toimintaperiaatetta. Näitä ovat kelluva lattia ja laskettu katto, joiden yhdistelmää käytetään tavallisesti ääneneristysvaatimusten täyttämiseksi puurakenteisissa välipohjissa. Kelluvalla lattialla tarkoitetaan kantavaa tiivistä rakennetta, jonka alla on askelten iskuja vaimentava joustava kerros. Tällaisia pintarakenteita ovat esimerkiksi betoniset laatat, joissa joustavana välimateriaalina voidaan käyttää riittävän jäykkää mineraalivillalevyä. Kelluva lattiarakenne tulisi toteuttaa siten, ettei se ole kiinteästi yhteydessä runkoon, vaan pyritään aina erottamaan rakenteet toisistaan myös sivusuunnassa pehmeillä eristeillä. Lasketussa katossa ideana on sijoittaa välipohjarakenteen alapuolelle erillinen tiivis levyrakenne, joka voidaan kiinnittää erilliseen palkistoon tai joustavasti ripustettuna kantavaan palkistoon. Tällöin kasvatetaan sekä ilmaväliä että rakenteen massaa, ja askelääneneristävyys paranee. (RIL 129-2003 2003, 134.)

2.8 Sivutiesiirtymä

Sivutiesiirtymällä tarkoitetaan Siikasen (2008, 154) mukaan äänen kulkeutumista muita reittejä pitkin kuin suoraan rakenteen läpi. Kahden eri huonetilan välinen ääneneristävyys ei siis riipu pelkästään niiden välisen rakenteen ääneneristävyydestä, kuten usein voidaan ajatella. Äänellä on monia reittejä, joita pitkin se voi kulkeutua huoneistosta toiseen, esimerkiksi liittyvien rakenteiden, ilmanvaihdon, lämmityspattereiden, ikkunoiden tai ovien kautta.

Ajatellaan esimerkiksi väliseinärakennetta, joka uusitaan, koska rakenteella on huono ääneneristävyys ja puhe kuuluu selkeästi läpi. Rakennetta pyritään parantamaan merkittävästi, jotta puheäänit eivät jatkossa kuuluisi. Seinärakenne toteutetaan kunnollisesti ja sen pitäisi täyttää vaadittava ääneneristysluokitus. Tämän jälkeen havaitaan, että puhe kuuluu edelleen selvästi toiseen huoneeseen ja merkittävää parannusta ei saatu aikaan. Tällöin ääni on kulkeutunut sivutiesiirtymien kautta ja seinärakenteen uusimisesta ei ollut oleellista hyötyä huoneiden väliseen ääneneristykseen. Sivutiesiirtymien vaikutus korostuu merkittävästi vaadittaessa hyvää ääneneristävyyttä, koska usein sivutiesiirtymä heikentää ääneneristävyyttä

jopa 15 - 20 dB. Sivutiesiirtymään tulee kiinnittää huomiota jo suunnitteluvaiheessa. (RIL 129-2003 2003,15.)

2.9 Rakenteen tiiviys

Lahtelan (2004, 51) kirjoittamassa aineistossa käsitellään ilmaääneneristävyyden perusedellytyksiä ja yksi näistä on rakenteen hyvä ilmatiiviys, sillä ilman välityksellä ääni kulkeutuu helposti huoneistosta toiseen. Ääneneristysrakenteissa on aina oltava tiivis kerros, joka pysäyttää ilmavirran ja silloin rakennustyön huolellisuus on merkittävässä osassa. Kaikki raot eivät välttämättä ole huolimattoman työn jäljiltä, koska rakenteisiin voi myös syntyä ajan kanssa erilaisia rakoja, esimerkiksi liitospaikkoihin, joissa raot voivat johtua rakenteen liikkumisesta tai kutistumisesta. Jos rakenteessa on avoin rako tai aukko, sen ilmaääneneristävyyden arvo on 0 dB. Silloin raon koosta riippuen se heikentää rakenteen ääneneristävyyttä. Kun raossa on ilmavirtaa hidastavaa huokoista materiaalia, voidaan raolle saavuttaa 10 - 20 dB ilmaääneneristysluku. Jotta saataisiin havainnollistettua ilmaraon merkitystä ääneneristävyyteen, tarkastellaan alla olevaa taulukkoa (Taulukko 5). Oletetaan, että 5 m x 2,5 m seinän keskellä on seinän korkuinen ilmarako, jonka eristävyydet ovat 0, 10 tai 20 dB. Seinärakenteelle oletetaan ilmaääneneristävyys 60 dB. Taulukosta käy ilmi, että jo 0,5 mm levyinen avoin rako heikentää seinän ilmaääneneristävyyttä jopa 20 dB kyseisellä seinän korkeudella ja näin ollen hyvä ilmatiiviys kuuluu ääneneristysrakenteen perusedellytyksiin.

Taulukko 5. Raon vaikutus rakenteen ilmaääneneristävyyteen (Lahtela 2004, 52).

Raon leveys [mm]	Seinän ilmaääneneristävyys, kun raon ilmaääneneristävyys on		
	0 dB	10 dB	20 dB
mm	0 dB	10 dB	20 dB
500	10	20	30
50	20	30	40
5	30	40	49,5
0,5	40	49,5	57
0,05	49,5	57	59,5
0,005	57	59,5	60
0,0005	59,5	60	60
0,00005	60	60	60

Rakenteen tiivistykseen on erilaisia vaihtoehtoja. Uudisrakentamisessa suositaan EPDM-kumitiivistenauhaa ja se asennetaan puurakenteiden väliin. Asennuksessa tulee olla huolellinen ja esimerkiksi tiivisteiden jatkoskohdat suositellaan tekemään 45 asteen kulmassa, jolloin mahdollistetaan tiiviit saumat. Ilmatiiviyttä voidaan parantaa myös tiivistemassoilla ja useimmat niistä ovat päälle maalattavissa. Tiivistysmassoille tulee muistaa varata riittävän leveä rako, jotta sen uusiminen on tarvittaessa mahdollista. Tiivistysmassojen käyttöikä on aina paljon pienempi kuin rakennuksen käyttöikä. (Lahtela 2004, 51.)

2.10 Äänenvaimennus ja absorptio

2.10.1 Absorption ja ääneneristyksen erottaminen

Arkikielessä äänen absorptio ja ääneneristys sekoitetaan usein toisiinsa, vaikka ne tarkoittavatkin käytännössä eri asiaa. Äänen absorptiolla tarkoitetaan kykyä vaimentaa huonetilan sisällä syntyvää ääntä ja ääneneristyksellä puolestaan estetään äänen kuulumista huoneesta toiseen. (RIL 243-1-2007 2007, 47.)

RIL 243-1-2007:n (2007, 47) mukaan äänen absorptiota merkitään absorptiosuhteella, joka kuvaa sitä, kun rakenteeseen saapuu ääniteho, josta osa heijastuu rakenteesta ja osa siirtyy rakenteen läpi. Absorptiosuhde voi olla välillä 0 - 1 ja mitä suurempi lukuarvo on, sitä vähemmän ääntä heijastuu takaisin huonetilaan. Esimerkiksi kovilla kivi- tai levypinnoilla absorptiosuhde on matala, koska ne heijastavat ääntä tehokkaasti, mutta pehmeillä mineraalivilloilla päästään korkeaan absorptiosuhteeseen. Absorptiomateriaalien sijoituksella on vaikutusta äänenvaimennuskykyyn, sillä haluttaessa parantaa huoneen akustisia ominaisuuksia absorptiomateriaali sijoitetaan usein rakenteen pintaan esimerkiksi akustiikkalevyksi. Normaalissa asuinrakennuksessa arvostetaan yleensä enemmän helposti pinnoitettavia materiaaleja ja absorptiomateriaali sijoitetaan rakenteen sisälle. Siellä se vähentää ilmavälissä olevaa kaiuntaa ja parantaa ääneneristävyttä.

Absorption ja ääneneristävyyden vaikutusta tutkittaessa voidaan RIL 243-1-2007:n (2007, 48) mukaan havaita, että ääneneristävyydessä on kyse huomattavasti suuremmasta äänitehon häviöstä kuin absorptiossa. Korkealla absorptiosuhteella 0,9 ääniteho vaimentuu heijastuksen yhteydessä alle 10 dB ja rakenteen läpi siirtyessä ääniteho vaimenee aina vähintään 10 dB. Ääneneristys on tehokkain keino, kun halutaan eristää äänen siirtymistä tilasta toiseen. Paksussa kiviseinässä rakenteen ääneneristävyys on hyvä, mutta rakenteen absorptiokyky on erittäin alhainen. Huoneen sisällä kaikuu, koska ääni heijastuu seinäpinnoista runsaasti, mutta silti seinä eristää äänen tehokkaasti toiselle puolelle. Paksun verhon tai kankaisen paljeoven hyvä absorptiokyky vähentää huoneen sisäistä kaikumista, mutta sen ääneneristävyys on huono, jolloin ääni kuuluu hyvin toiselle puolelle.

2.10.2 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-ajalla tarkoitetaan sitä, kuinka nopeasti äänilähteen synnyttämä äänenpainetaso laskee, kun äänilähde on sammutettu. Jälkikaiunta-ajan kuluessa äänenpainetaso laskee ja sen mittaaminen on mahdollista voimakkaan äänilähteen avulla, jolloin äänilähteen äkillisen sammutuksen jälkeen mitataan 60 dB äänenpainetason laskuun kuluva aika. Pidemmällä jälkikaiunta-ajalla puheen selkeys kärsii, koska tavut menevät toistensa päälle. Hyvin lyhyt jälkikaiunta-aika vaikeuttaa myös puheen erottamista. (RIL 243-1-2007 2007, 50.) Jälkikaiunta-aika tulee aina määrittää kyseessä olevaan tilaan sopivaksi. Esimerkiksi Suomen RakMK:n mukaan asuinrakennusten uloskäytävissä jälkikaiunta-aika ei saa ylittää 1,3 sekuntia (RIL 129-2003 2003, 213). Vertailun vuoksi seuraavassa taulukossa (Taulukko 6) on lueteltuna erilaisten tilojen jälkikaiunta-aikoja.

Taulukko 6. Erilaisten tilojen jälkikaiunta-aikoja 500 Hz:n keskitaajuudella (RIL 243-1-2007 2007, 50).

Jälkikaiunta-aika	Esimerkki tilasta
> 5 s	Kivikirkko tyhjänä
2...3 s	Suuri aula, jossa ei vaimennusta
1,8...2,2 s	Konserttisali
1,5 s	Kalustamaton makuuhuone
1,0...1,2 s	Teatteri, auditorio
0,5...0,8 s	Hyvin suunniteltu luokkahuone
0,5 s	Kalustettu makuuhuone
0,3...0,8 s	Elokuvateatteri, tilavuudesta riippuen
0,2...0,3 s	Äänitarkkaamo, tilavuudesta riippuen

RIL 243-1-2007:n (2007, 49) mukaan jälkikaiunta-ajan laskentaan vaikuttaa suoraan käsite absorptioala, joka kertoo huoneessa olevan absorptiomateriaalin kokonaispinta-alan. Absorptioalan määrittämisessä tulee muistaa, ettei se tarkoita samaa kuin materiaalin pinta-ala. Esimerkiksi, materiaalin pinta-ala on 10 m² ja sen absorptiosuhde 0,8. Tällöin materiaalin absorptioala on 8 [m²-Sab], ja vasta tällä arvolla on vaikutusta jälkikaiunta-ajan laskentaan. Jälkikaiunta-aika voidaan normaaliille huonetilalle määrittää alla olevalla kaavalla 3.

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (3)$$

missä T = jälkikaiunta-aika [s]
 V = huoneen tilavuus [m³]
 A = absorptioala [m²-Sab]
 (RIL 243-1-2007 2007, 50).

2.10.3 Vaimennusmateriaalit

Absorptiomateriaalit muodostuvat huokoisista materiaaleista sekä erilaisista resonaattoreista. Ääniaaltojen vaimennus on tehokkainta huokoisilla materiaaleilla, koska äänenpaineaallon liike hidastuu ilmahiukkasten hankautuessa eristeiden kuituja vastaan eli vaimennus perustuu kitkaan. Huokoisia materiaaleja ovat muun muassa huokoinen puukuitulevy, ruiskutettava puukuitueriste, mineraalivilla sekä muut vastaavat materiaalit. Huokoisten materiaalien absorptiokyky vaihtelee äänen taajuuden sekä vaimennusmateriaalin paksuuden mukaan ja parhaiten ne soveltuvat vaimentamaan keskipitkiä ja korkeita taajuuksia. (RIL 243-1-2007 2007,

149.) Yleissääntönä voidaan pitää, että huokoinen materiaali vaimentaa kaikkien äänien taajuuksia, jotka ovat aallonpituudeltaan alle $8 \times d$, silloin kun d on vaimennusmateriaalin paksuus. Esimerkiksi, jos huokoisilla materiaaleilla halutaan vaimentaa yli 500 Hz:n ääniä tehokkaasti, on tällöin vaimentavan materiaalin paksuus oltava 85 mm, koska se on kahdeksasosa äänen aallonpituudesta 680 mm. Äänenvaimennuksen kannalta voidaan tehdä myös niin, että jätetään huokoisen materiaalin ja taustaseinämän väliin ilmatila, jolloin materiaalin paksuutena voidaan pitää ilmatilan ja huokoisen materiaalin yhteispaksuutta. Esimerkiksi 30 mm mineraalivilla ja 50 mm ilmaväli yhdessä vastaavat äänenvaimennukseltaan 80 mm:n mineraalivillaa. (RIL 129-2003 2003, 210.)

Levyresonaattorilla tarkoitetaan RIL 129-2003:n (2003, 211) mukaan sitä, kun seinämän eteen sijoitetaan tiivis levy, jonka takana olevaan ilmaväliin sijoitetaan vaimennuksen tehostamiseksi absorptiomateriaalia. Toinen käytettävä resonaattorityyppi on niin sanottu Helmholtz-resonaattori, joka muodostuu levyresonaattorista sillä erolla, että levyssä on harva rei'itys. Käytännössä näiden kahden ero on se, että levyresonaattori on tarkoitettu erityisesti matalien äänien vaimentamiseen, kun Helmholtz-resonaattorin vaimennusalue on matalista keskikorkeisiin äänentaajuuksiin. Resonaattoreita käytetään tavallisessa meluntorjunnassa pääasiassa matalien äänien vaimentamiseen, sillä niiden kokonaispaksuuden tilantarve on vähäisempi kuin vastaavia taajuuksia vaimentavilla huokoisilla materiaaleilla.

3 RAKENTEIDEN ÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANTAMINEN PERUSKORJAUKSEN YHTEYDESSÄ

3.1 Yleistä

Rakennuksen ääneneristävyyteen kiinnitetään nykyisin enemmän huomiota ja tällöin voi tulla eteen rakennuksen ääneneristuksen parantaminen. Syitä voi olla monia, esimerkiksi rakennuksen käyttötarkoituksen muuttuminen ääniteknisesti vaativammaksi, kun asuinrakennus halutaan jakaa kahdeksi erilliseksi vuokrahuoneistoksi. Parempaa ääneneristävyyttä tarvitaan usein kasvaneen liikennemelun takia, jos asuinrakennus on rakennettu pienen maantien läheisyyteen ja aikojen saatossa tien käyttö on kasvanut. Joskus kaivataan myös parempaa asunnon sisäistä ääneneristävyyttä, kun vaikkapa lapsiperheillä toinen vanhemmista on vuoro- tai yötyössä ja hän kaipaa lepoa päivisin. Asuinrakennuksen hyvän ääneneristuksen on todettu parantavan viihtyvyyttä ja vähentävän unihäiriöitä, joten hyvä ääneneristys yhdessä muiden akustisten ominaisuuksien kanssa on hyvän ja terveellisen asumisympäristön perusedellytys (RIL 243-1-2007 2007, 10).

Tavallisesti asuinrakennuksen ääneneristystä lähdetään parantamaan peruskorjauksen yhteydessä, koska silloin rakenteiden pintoja uusitaan jo muutenkin ja ääneneristuksen parantaminen ei aiheuta kohtuuttomia lisäkustannuksia. Normaalisessa asuinkäytössä olleen pientalon peruskorjaus tehdään tavallisimmin vähintään kerran rakennuksen elinkaaren aikana, mutta usein ne on jaksotettu 20 - 30 vuoden aikavälille. Ääneneristuksen parantaminen vaatii kunnollisen suunnittelun ja huolellisen toteutuksen, mikä edellyttää korjattavan asuinrakennuksen ominaisuuksien tuntemista ja etenkin vanhoissa rakennuksissa rakenteiden syvempää tutkimista. Peruskorjausten yhteydessä joudutaan selvittämään ääneneristysasioiden lisäksi muun muassa rakenteiden kuormitettavuuteen, kosteuden- ja lämmöneristämiseen, paloturvallisuuteen, LVIS-järjestelmiin sekä rakennusmateriaalien terveyteen liittyviä asioita. Suunnittelijan laaja ammattitaito on tärkeää onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseksi. (RIL 129-2003 2003, 177.)

Asuinrakennusten ääneneristämisen parannusratkaisut ovat aina tapauskohtaisia, koska rakennuksissa käytetyt materiaalit ja rakenneratkaisut vaihtelevat suuresti.

Puurunkoisissa asuinrakennuksissa ongelmaksi tulee se, että vanhojen rakenteiden kuormitusta ei voi oleellisesti lisätä. Näiden tapausten peruskorjauksissa onkin pääasiassa käytettävä niin sanottua kevytrakennetekniikkaa. (RIL 129-2003 2003, 177.)

3.2 Ääneneristysvaatimukset

Asuinrakennuksissa ääneneristysvaatimukset on asetettu asuntojen välille, mutta asunnon sisällä ääneneristystarpeen voi määrittellä itse omien vaatimustensa mukaan (RIL 174-4 1988, 289). Suomen RakMK:n mukaan asuinhuoneiston ja sitä ympäröivien tilojen välillä ilmaääneneristyksen (R'_w) tulee olla ≥ 55 dB. Lisäksi asuinhuonetta ja toista huoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä, kun välissä on ovi, tulee R'_w :n arvon olla ≥ 39 dB. Tällöin huoneiston oven tulee kuulua vähintään äänieristysluokkaan 30 dB, jolloin laboratoriossa mitattu ilmaääneneristysluku $R_w \geq 37$ dB. (RIL 129-2003 2003, 278.) Nämä vaatimukset ovat minimivaatimuksia ja ääneneristyksen suunnittelussa rakenteet kannattaa käytännössä suunnitella vaatimuksia paremmiksi.

Suomen RakMK:n mukaan asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muuhun asuinhuoneeseen askeläänitasoluku ($L'_{n,w}$) saa olla enintään 53 dB. Lisäksi uloskäytävästä asuinhuoneeseen askeläänitasoluvulle sallitaan enintään arvo 63 dB. Asuinhuoneiston askeläänitasoluvun vaatimukselle on kuitenkin muutama poikkeus. Askeläänitasoluvun mittaus ei koske satunnaisesti käytettäviä tiloja eikä asuinhuoneistoon kuuluvia wc-, kylpyhuone- tai löylyhuonetiloja, mutta kyseiset tilat on kuitenkin otettava huomioon asuinrakennuksen äänioloja suunniteltaessa. (RIL 129-2003 2003, 278.)

Lahtelan (2004, 16) mukaan Suomen RakMK:ssa ei ole asetettu asuinrakennuksen ulkovaipalle ääneneristysvaatimusta, mutta tarvittaessa se voidaan antaa kaavamääräyksessä aluekohtaisesti ja tämä tulee tavallisesti kyseeseen, kun alueella on normaalia voimakkaampi liikennemelu. Näillä Suomen RakMK:n määräyksillä ja ohjeilla pyritään saavuttamaan riittävän hyvät ääniolosuhteet asuinrakennukseen. Ääneneristysrakenteiden lisäksi äänioloihin voidaan vaikuttaa huoneiden sijoituspaikoilla. Olohuone ja etenkin makuuhuoneet pyritään sijoittamaan pois

melua aiheuttavien tiealueiden puolelta. Lisäksi tiloja, joita ei käytetä pääsääntöisesti oleskeluun tai nukkumiseen, voidaan käyttää niin sanottuina ”äänipuskureina” varsinaisten makuutilojen edessä. Mikäli asuinrakennuksessa on päällekkäisiä huoneistoja, pyritään ääntä aiheuttavat tilat sijoittamaan huoneistojen välille samoihin kohtiin, ettei makuutiloihin kantautuisi ikävää melua ylä- tai alakerrasta. Tällaisia ääntä aiheuttavia huonetiloja ovat muun muassa märkätilat ja keittiö. Silloin kun huoneiden sijoittelulla haetaan parempia ääniolosuhteita, kyseinen vaihtoehto tulee ottaa huomioon jo alustavassa arkkitehtisuunnittelussa uudisrakennuskohteissa. Asuinrakennusten peruskorjausten yhteydessä huoneiden sijoittelu paikkoihin ei voida tavallisesti vaikuttaa merkittävästi.

Korjausrakentamiskohteissa ääneneristysvaatimuksia on noudatettava, mikäli tilojen käyttötarkoitus muuttuu. Ääneneristävyttä ei saa korjauksella huonontaa ja jos ääneneristys on hyvin heikko, sitä tulee parantaa. Mikäli ovia joudutaan uusimaan paloteknisin perustein, tulee myös ääneneristys ottaa huomioon. Käytännössä ääneneristystä voidaan pitää hyvin heikkona, jos se on yli 5 dB huonompi kuin nykyinen vaatimustaso. (RIL 129-2003, 279.)

Asuinhuoneissa vaikuttaa aina tietynsuuruinen taustamelu, joka voi johtua esimerkiksi tasaisesta liikenteen tuottamasta äänestä tai yleisimmin huoneen ilmanvaihdoista. Taustaäänillä on merkitystä ääneneristävyden havainnointiin kuuntelupuolen huoneessa, koska hiljaisella taustaäänellä huoneistojen väliset äänet havaitaan paremmin verrattuna tilanteeseen kun huoneessa on paljon taustaääntä. Alhaisella taustaäänellä huoneeseen voi kuulua ääntä, vaikka huoneessa täyttyisivät nykyiset ääneneristysvaatimukset. (RIL 243-1-2007 2007, 67.) Normaalisissa asuinhuoneistossa taustaäänitaso ($L_{A,eq}$) on suuruusluokkaa 20 - 25 dBA, jossa yksikkö dBA tarkoittaa A-painotettua äänenpainetasoa ja sillä huomioidaan ihmisen kuuloaistin herkkyyttä paremmin. Huoneiden ääneneristävyden arvo voi olla usein vaikea hahmottaa ja seuraavassa taulukossa (Taulukko 7) on kuvattu rakenteen ääneneristävyden ja puheen yhteyttä, jotta rakenteiden ääneneristävydestä saisi paremman käsityksen. Taulukossa tulee huomata taustaäänien vaikutus, sillä taulukon arvot on laskettu 35 dBA:n taustaäänellä. Jos halutaan selvittää taustaäänien vaikutus asuinhuoneiden yleisellä taustaäänellä 20 - 25 dBA, on oikean sarakkeen selityksiä nostettava 2 - 3 riviä ylemmäs. (RIL 243-1-2007 2007, 69.)

Taulukko 7. Rakenteen ääneneristävyyden ja puheen yhteys (RIL 243-1-2007 2007, 69).

R'_w (dB)	Kokemus puheäänistä naapuritilassa
> 60	Voimakas huuto kuuluu seinän läpi, sanoista ei saa selvää
> 55	Voimakas puhe ei kuulu seinän läpi
> 50	Voimakas puhe kuuluu seinän läpi, sanoista ei saa selvää
> 45	Normaali keskusteluääni ei kuulu seinän läpi
> 40	Normaali keskusteluääni kuuluu seinän läpi, sanoista ei saa selvää
> 35	Normaali keskusteluääni kuuluu seinän läpi, sanoista saa selvää, mutta ääni ei haittaa keskittymistä
< 30	Seinä ei estä kuuntelemasta tapahtumia naapurihuoneesta

3.3 Väliseinät

Jos peruskorjauksen yhteydessä parannetaan väliseinien ääneneristävyyttä, vanhan väliseinän rakenne kannattaa selvittää ensin huolellisesti, koska rakenteen korjaamisessa tarvitaan tietoa siinä käytetyistä materiaaleista, työtekniikoista, kantavuudesta ja rakenteen kunnosta. Piirustuksiin ja rakennekuviin ei aina voi luottaa, sillä niitä on voitu noudattaa vain soveltavin osin tai rakennuksessa on voitu jo aiemmin tehdä peruskorjaus, josta ei ole dokumentaatiota. Silloin rakenteista voi-kin löytyä yllätyksiä, joita ei ollut piirustuksissa mainittu. Vanhoissa väliseinärakenteissa ääneneristyksen kannalta yleisimpiä ongelmia ovat rakenteen huono ilmatii- viys, liian kevyt rakenne tai väliseinästä puuttuva eriste.

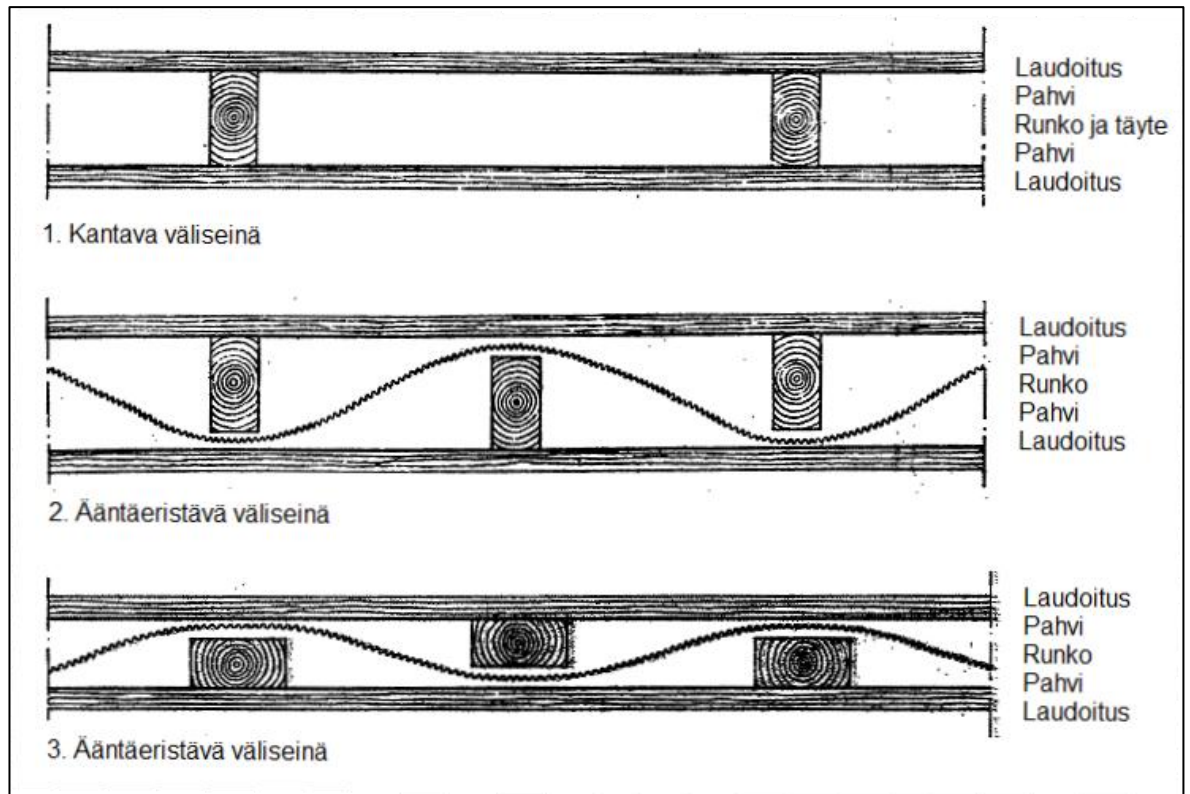
RIL 174-4:n (1988, 57) mukaan korjausrakentamisessa tulee ottaa huomioon muu- tamia yleisimpiä vaaratekijöitä liittyen väliseiniin. Aiemmin rakenteet toteutettiin varsin vapaasti soveltaen suunnitelmia ja detaljien suunnittelu jäi usein työmaan tehtäväksi. Tällöin ratkaisut olivat lähinnä tekijäkohtaisia. Ajatellaan esimerkiksi kahta eri rakennusta, joiden piirustukset ovat samanlaiset, mutta rakenteiden to- teutus oli täysin poikkeava, koska niillä oli eri tekijät. Näin muodostuu haasteita ja piileviä vaaroja, jotka tulee ottaa huomioon ääneneristystä parannettaessa. Esi- merkkinä voidaan mainita niin sanotut ei-kantavat väliseinät, joille on jo rakennus- aikana saatettu johtaa välipohjan kuormia ja aikojen saatossa tapahtuva rakentei- den painuminen on voinut lisätä kuormitusta entisestään, jopa kriittiseen pistee- seen asti. Näissä tilanteissa niin sanotun ei-kantavan väliseinän osittainkin pur-

kaminen voi aiheuttaa vakavia seurauksia. Rakenne kannattaa siis aina tutkia huolellisesti ennen korjaustoimenpiteitä.

3.3.1 Rintamamiesparitalon huoneistojen välinen seinä

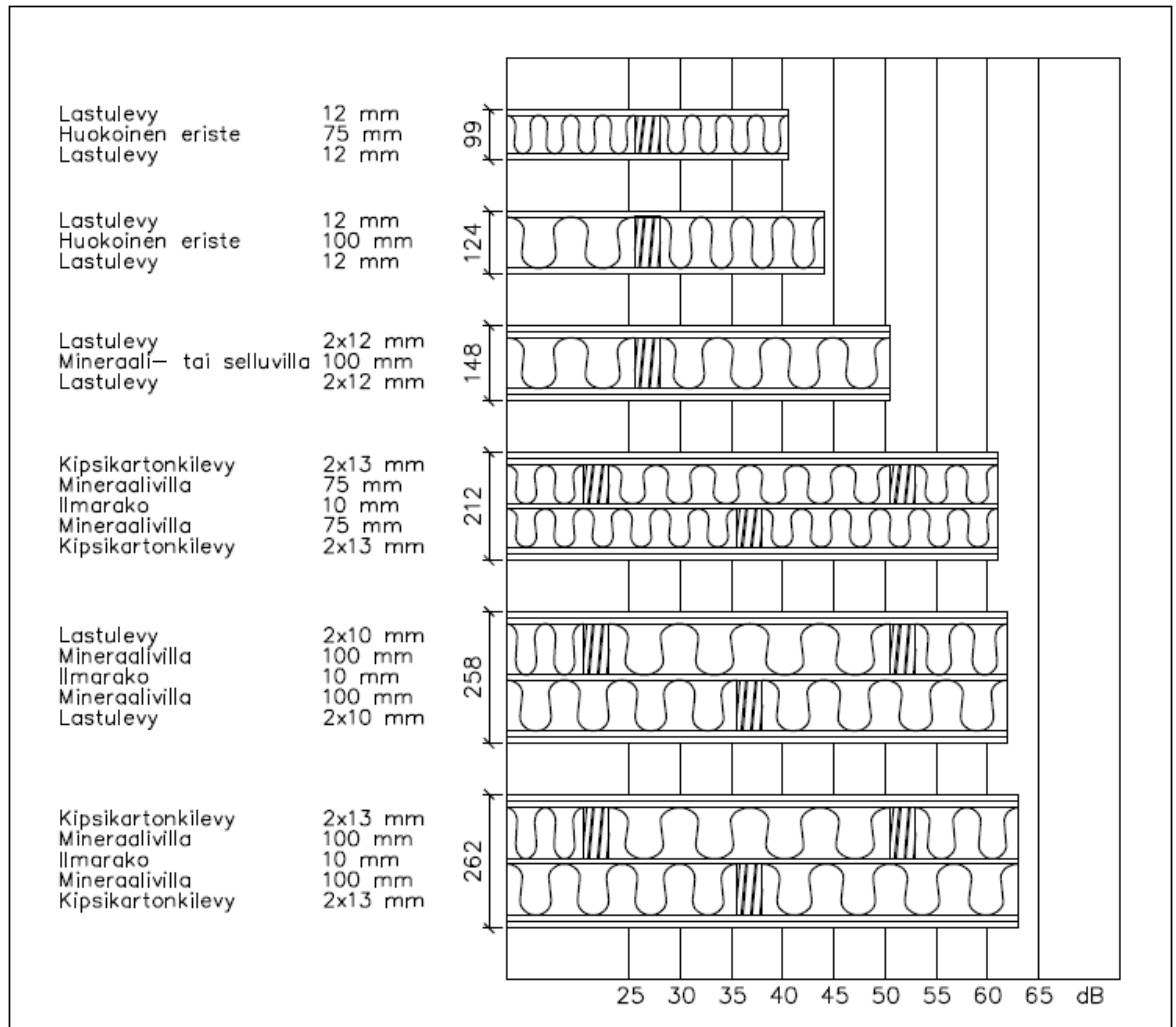
Paritaloissa käytettävien huoneistojen välisten seinien rakenne vaihtelee aikakausien mukaan. 1950-luvulla suosittu rakenne oli niin sanottu kakkosnelos-runko, joka oli molemmin puolin umpilaudoitettu ja täytetty sahanpurulla, sekä kutterin lastulla. Puu oli suosittu materiaali eristeenä tuohon aikaan ja vasta tämän jälkeen yleistyi lasi- ja mineraalivillojen käyttö, kun niiden saatavuus parani. (RIL 174-4 1988, 25.) Myöhemmin on alettu suosia kivi- ja levyrakenteisia väliseiniä huoneistojen välillä. Näillä saavutettiin parempi ääneneristävyys ja rakenteellinen palonkesto.

Alkuperäisessä kunnossaan olevan rintamamiesparitalon seinärakenteella on suhteellisen huono ilmaääneneristävyys. Alla olevassa kuviossa (Kuvio 1) on esitetty muutamia tyypillisiä huoneistojen välisiä seinärakenteita. Kuvioista voidaan havaita, että jo silloin on haettu ääneneristävyttä erillisrangoilla sekä niiden väliin sijoitetulla pahvilla. Erillisrangat vaimentavat äänenpaineen aiheuttamaa värähtelyä ja pahvilla on puolestaan haettu parempaa ilmatiiviyttä sekä ääntä absorboivaa vaikutusta. Suuruusluokaltaan näiden seinärakenteiden ilmaääneneristävyys on väliseinässä yksi noin 30 - 35 dB ja väliseinissä kaksi ja kolme se on noin 35 - 40 dB päällystekerroksen kanssa. Päällystekerroksena voi olla pahvi tai levy, joka on pinnoitettu. Riippuen talomallista huoneistojen välinen seinä oli tavallisesti kantava ja siihen tuettiin ensimmäisessä kerroksessa välipohjarakenteita sekä toisessa kerroksessa kattokannattimia, joten sen kantavuus tulee varmistaa peruskorjauksen yhteydessä.



Kuvio 1. Vanhoja puurunkoisia väliseinärakenteita (RT 822.33 1946).

Kuviossa (Kuvio 1) oleva kantava väliseinä on ollut yleisemmin käytössä näistä kolmesta. Väliseinärakenne yksi on täytetty sahanpurulla ja kutterinlastulla, vaikka kuvioon sitä ei ole piirretty. Muissa kuvion rakenteissa täytekerrosta ei ole käytetty. Koska rintamamiestalot ovat vanhoja rakennuksia, ne on todennäköisesti jo ainakin kerran peruskorjattu ja väliseinä on tavallisesti pinnoitettu kipsi- tai lastulevyllä. Tässä tapauksessa ei voida käyttää massiivisia kivirakenteita, vaikka niillä saavutettaisiin hyvä ääneneristävyys. Rakennuksen ollessa puurunkoinen ei rakenteen kuormitusta voi oleellisesti lisätä. Silloin käytetään kevyitä rakenteita eli puurungon, levyjen ja eristeiden yhdistelmää. Nykyään huoneistojen välisen seinän ilmaääneneristävyys tulee olla vähintään 55 dB ja tämä saavutetaan pääasiassa kaksinkertaisella kytkemättömällä puurunkorakenteella (Siikanen 2008, 155). Seuraavassa kuviossa (Kuvio 2) on esitetty erilaisia puurunkoisia väliseinärakenteita ja niiden suuntaa-antavia ilmaääneneristävyksiä.



Kuvio 2. Puurunkoisten väliseinien ääneneristävyyksiä (Siikanen 2008, 155).

Seinärakenteen korjaussuunnittelussa mietitään onko kannattavaa purkaa pintarakenteita pois. Ääneneristyksen kannalta pyritään välttämään kolmikertaisia rakenteita, koska silloin ääneneristävyys matalilla taajuuksilla heikentyy, mutta korjausrakentamisessa täytyy joskus tehdä kompromisseja (Ks. 2.6). Jotta väliseinä täyttäisi äänieristysvaatimuksen, on sen massaa, toisin sanoen ilmajousen ja absorptiomateriaalin määrää kasvatettava oleellisesti, unohtamatta kunnollista ilmatiiviyttä.

Ratkaisuja on varmasti lukuisia, mutta muutamilla yleissäännöillä helpotetaan suunnittelua. Seinäpuoliskojen välin kaksinkertaistuksessa ääneneristävyys parantuu noin 6 dB ja vastaavasti massan kaksinkertaistaminen parantaa sitä noin 9 dB (RIL 129-2003 2003, 11). Lisäksi seinärakenteen täyttäminen ääntä absorboivalla materiaalilla parantaa ääneneristävyyttä keskimäärin 6 dB. Käyttämällä mineraali-

villaa on sen parantava vaikutus normaalisti välillä 5 - 15 dB, riippuen eristekerroksen paksuudesta ja tiheydestä (Lahtela 2004, 24).

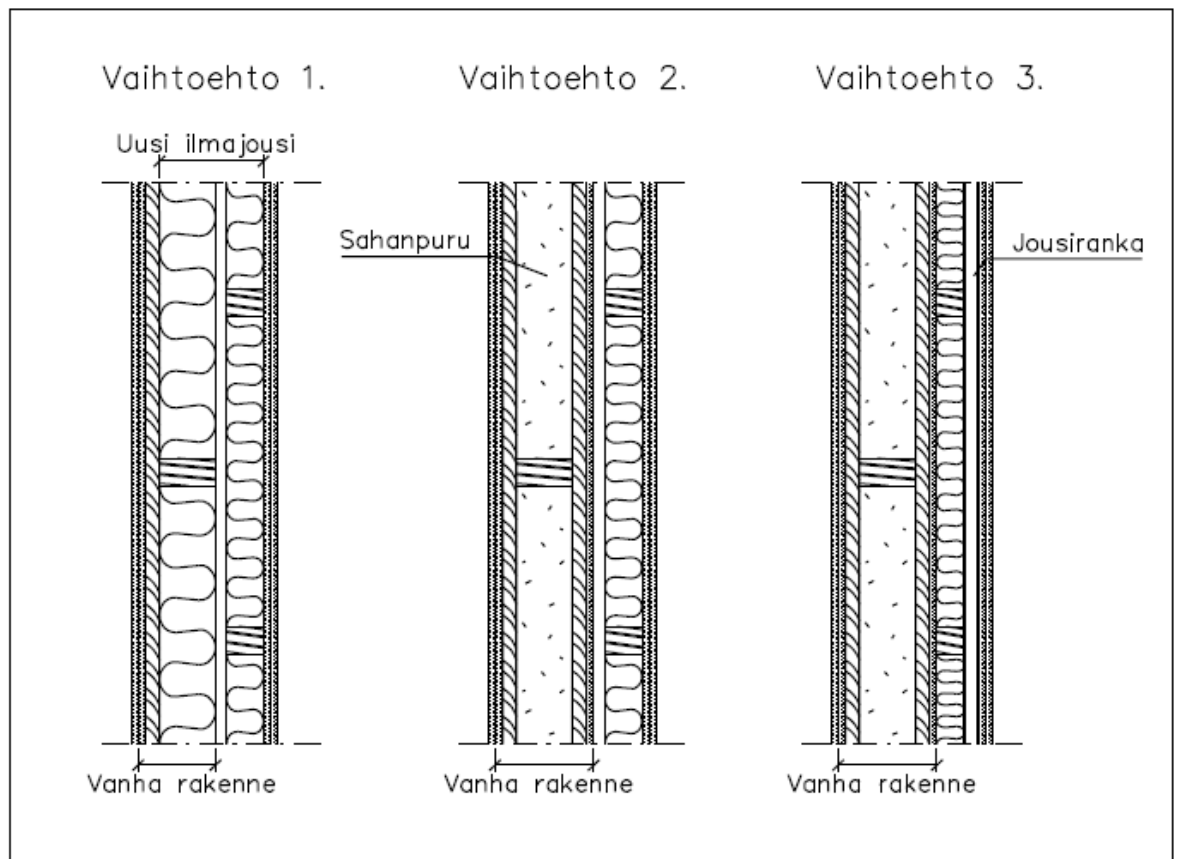
Ääneneristyksen kannalta sahanpuru voidaan jättää vanhaan seinärakenteeseen, mutta palonkestoa haettaessa se tulee vaihtaa mineraalivillaan, sillä sahanpuru on syttymisarkaa. Sahanpurun äänenvaimennuskyvystä ei ole taulukkotietoa, jolloin sen vertailu muiden äänenvaimennusmateriaalien kanssa on hankalaa. Mikäli sahanpuru jätetään rakenteeseen, kannattaa seinän yläosasta kuitenkin tarkastaa, ettei sahanpuru ole painunut kasaan muodostaen tyhjää tilaa rakenteeseen.

Väliseinään voidaan tehdä kaksinkertainen kytkemätön runkorakenne, jolloin saavutetaan vaadittava ilmaääneneristys. Runkorakenteiden väliin jätetään vähintään 10 mm ilmatila, joka varmistaa seinäpuoliskojen kytkemättömyyden ja silloin seinän ääneneristys paranee. Lisärunkorankana voidaan käyttää puu- tai metallirankaa. Ääneneristyksen kannalta niissä on pieni ero, sillä mikäli väliseinässä on yksinkertainen runko, saavutetaan metallisella seinärangalla pari desibeliä parempi ilmaääneneristävyys kuin puurangalla. Käytettäessä kaksinkertaista erillisrunkoa, kuten kyseessä olevassa tapauksessa, valitulla rankamateriaalilla ei ole käytännössä merkitystä ääneneristävyteen. (RIL 129-2003 2003, 18.) Puurangoissa käytetään tavallisesti sahatavaraa, sekä kerto- tai liimapuuta. Lisäksi tulee muistaa koolausvälin vaikutus ääneneristävyteen. Väliseinä rankojen koolausvälinä käytetään vähintään 600 mm, koska silloin rakenteen toimivuus parantuu matalilla äänentaajuuksilla (ks. 2.5.2).

Pintarakenteena voidaan käyttää lastu- tai kipsilevyä ja ääntä eristävässä seinässä käytetään kahta päällekkäistä levykerrosta. Päällekkäisillä levykerroksilla haetaan rakenteelle suurempaa massaa, jolloin kevyillä rakenteilla yhden levykerroksen vaikutus huomattava. Jotta koinsidenssi-ilmiö ei heikentäisi ääneneristävyttä korkeilla äänentaajuuksilla, käytetään seinässä ohuita rakennuslevyjä, jotka kiinnitetään ainoastaan ruuveilla. Mikäli levykerrokset liimataan kiinteästi toisiinsa kiinni, ne muodostavat ääniteknisesti yhden paksun levyn ja silloin rakenteen koinsidenssitaajuus laskee alemmas heikentäen ääneneristävyttä (ks. 2.5.3). Levyjen massaa voidaan kasvattaa valitsemalla normaalin kipsilevyalaadun (N) sijaan erikoiskova laatu (EK).

Jotta väliseinärakenne eristäisi ääntä oikealla tavalla, sen tiivyydestä huolehtiminen on tärkeää. Päällekkäisillä levykerroksilla haetaan myös parempaa ilmatiiviyttä rakenteeseen ja siitä syystä saumat limitetään eri kohdille. Lisäksi kaikki liitokset sivuaviin rakenteisiin pyritään tiivistämään huolellisesti, esimerkiksi päälle maalatavalla akryylimassalla (ks. 2.9).

Seuraavassa kuviossa (Kuvio 3) on muutamia ilmaääneneristyksen parannusehdotuksia huoneistojen välille.



Kuvio 3. Vanhan seinärakenteen ääneneristyksen parannusehdotus

Ensimmäisessä vaihtoehdossa (Kuvio 3) vanha seinärakenne puretaan osittain pois toiselta puolelta ja sahanpurut vaihdetaan mineraalivillaan. Tämän jälkeen tehdään normaalista 66 mm:stä puuväliseinärangasta erillinen runko puretun rakenteen puolelle ja runkopuoliskojen väliin jätetään 20 mm ilmaväli. Tämä varmistaa runkojen kytkemättömyyden, vaikka vanhassa seinärakenteessa olisikin hie-man mittaheittoa. Lisärunko eristetään mineraalivillalla ja eristelevy tuodaan kiinni levypintaan. Koska ei haeta energiatehokkuutta, niin voidaan ääneneristyksen

kannalta käyttää 50 mm vahvaa eristelevyä. Runkopuoliskojen pintaan tulee kaksinkertainen levykerros, jossa voidaan käyttää joko lastu- tai kipsilevyä. Tämän vaihtoehdon etuina on hyvä ilmaääneneristävyys, koska tällöin kasvatettiin yhteistä ilmajousen pituutta ja lisättiin rakenteen massaa oikeaan paikkaan. Verrattaessa rakennetta edellä oleviin puurunkojen ääneneristävyyksiin (Kuvio 2), voidaan havaita, että rakenteella saavutetaan ainakin huoneistojen välinen ääneneristysvaatimus 55 dB.

Vaihtoehdoissa kaksi ja kolme (Kuvio 3) on jätetty vanha seinärakenne ennalleen ja vaimennusmateriaalina toimii sahanpuru. Ääniteknisesti nämä kaksi vaihtoehtoa ovat hieman ensimmäistä vaihtoehtoa huonompia, koska rakenteessa on useita tiiviitä pintoja ja ilmajousta ei saada yhtenäiseksi. Ääneneristävyys heikentyy hieman matalilla äänentaajuuksilla, mutta rakenteissa on kuitenkin ensimmäistä vaihtoehtoa enemmän massaa, joka parantaa tilannetta. Vaihtoehdossa kaksi on tehty lisärunko vanhan seinärakenteen eteen samalla periaatteella kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa. Vaihtoehdossa 3 lisärakenne on kiinnitetty suoraan seinään kiinni ja sen päälle tulevat akustiset jousirangat, sekä kaksinkertainen levykerros. Pelkästään akustisella jousirankalla voidaan ääneneristävyyttä parantaa noin 10 dB eli sen vaikutus on huomattava (Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy/Gyproc 2012, 429).

Vanhoissa rintamamiesparitaloissa väliseinän sivuavat seinärakenteet on tavallisesti jo katkaistu, jolloin äänen sivutiesiirtymä vähenee. Mutta koska rakentajat ovat olleet erilaisia, kannattaa liittyvä seinärakenne silti tutkia kunnolla. Suurempi riski äänen sivutiesiirtymälle vanhassa rakennuksessa on muiden rakenneosien huono ilmatiiviys, läpiviennit ja esimerkiksi huoneiston väliseen seinään sijoitetut sähkörsiat, joita pyritään välttämään.

3.3.2 Huoneiston sisäinen väliseinä

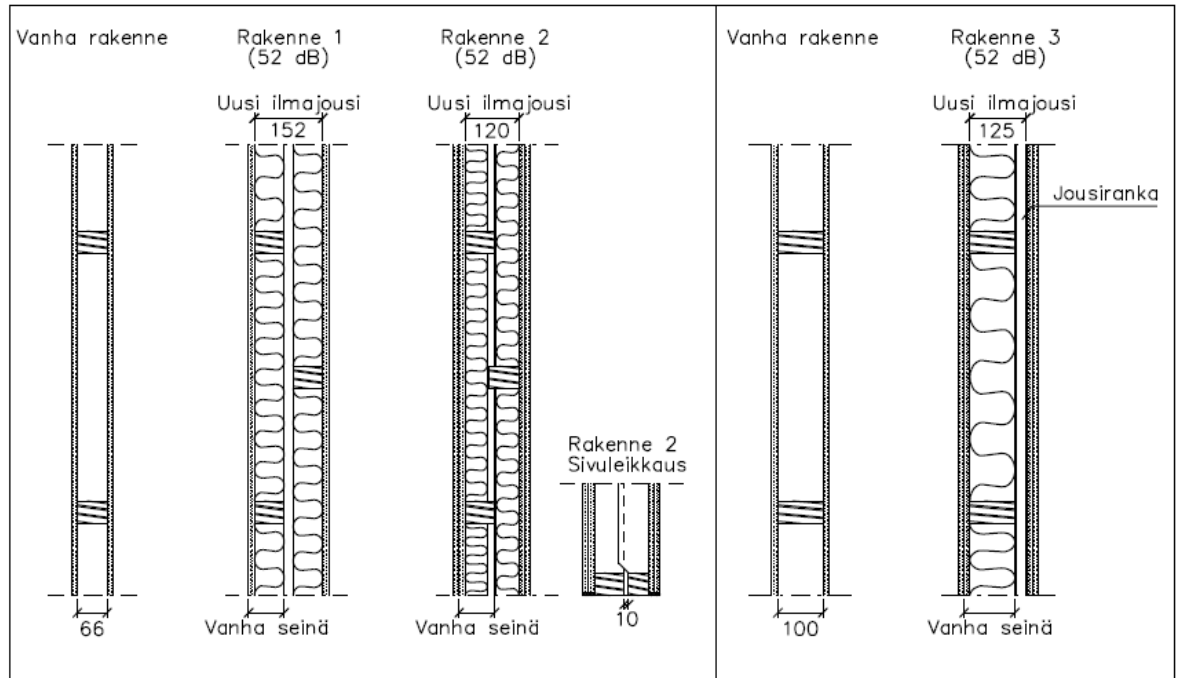
Pientalon peruskorjauksen yhteydessä voidaan myös parantaa huonetilojen ääneneristävyyttä, mikäli on tarvetta omalle rauhalle. Tällaisia tiloja voivat olla muun muassa makuu- tai työhuone. Tavallisesti huoneiston sisäiset väliseinät on tehty vanhemmissa peruskorjauskohteissa puurankaisena ja ne on levytetty lastu- tai kipsilevyllä. Käytettyjen puurankojen koko on hieman vaihteleva, sillä osa rakentajista suosi perinteistä kakkosnelos-runkoa (50 x 100 mm) etenkin, jos siihen tuettiin muita rakenneosia. Tavallisesti puurangan kokona käytetään kuitenkin kaapeampaa kokoa, jotta väliovent karmin vahvuus ja väliseinän kokonaisvahvuus olisi sama. Puurungon vahvuus vaihtelee 65 - 75 mm, riippuen valittujen levyjen ja karmin vahvuudesta.

Huoneiden sisäisiä väliseiniä ei aina ole eristetty ja ääneneristävyys rajoittuu noin 30 dB:iin eli ääneneristys on heikko, kuten aikaisemmasta taulukosta voimme havaita (Taulukko 7). Huoneiston sisäisten väliseinien ääneneristystarpeeseen vaikuttavat lähinnä käyttäjien omat vaatimukset, sillä niille ei ole määritetty virallisia vaatimuksia. Suomen RakMK:ssa on esimerkiksi annettu ohjearvo luokka- ja potilashuoneiden välille, jolloin $R_w \geq 44 - 48$ dB (RIL 129-2003 2003, 279). Jos huoneessa tarvitaan omaa rauhaa, on ilmaääneneristävyydelle (R_w) suositeltu arvo ≥ 52 dB (Paroc 2014a, [Viitattu 1.3.2014]). Suositeltuun arvoon kannattaa pyrkiä, sillä asuinrakennuksessa vallitsevat taustäänet ovat tavallisesti melko hiljaisia, jolloin rakenteen ääneneristys koetaan heikommaksi kuin se todellisuudessa on (Ks. 3.2).

Väliseinärakenteen parantamisessa lähtökohtana on olemassa olevan rungon vahvuus. Siikasen (2008, 155) mukaan seinärakenteen resonanssitaajuus tulee pitää riittävän alhaisena, ettei ääneneristys matalilla taajuuksilla heikenny. Jotta se pysyisi sallituissa rajoissa, tulee pintalevyjen välissä olla ilmaväliä vähintään 95 mm. Ääntä eristävissä väliseinärakenteissa pienin suositeltu puutolppakoko on siis 38 - 50 mm x 95 - 100 mm, kun kyseessä on yksikertainen runkorakenne.

Kun väliseinärunkona on 50 x 100 mm puuranka, päästään suositeltuun 52 dB ilmaääneneristystasolukuun yksikertaisella runkorakenteella. Rankakoon ollessa normaali 42 x 66 mm kannattaa tehdä kaksikertainen kytkemätön runko (ks. Kuvio

2). Seuraavassa kuviossa (Kuvio 4) on havainnollistettu muutamia väliseinärakenteen ääneneristysten parannusehdotuksia, jotka soveltuvat peruskorjattaviin asuinrakennuksiin.



Kuvio 4. Huoneiston sisäisen väliseinän ääneneristysten parannusehdotus

Tarkastellaan ensin runkovahvuudeltaan 100 mm väliseinärakennetta (Kuvio 4). Vanhan väliseinän toisen puolen levytys poistetaan ja sisälle sijoitetaan 100 mm mineraalivilla vaimentamaan ääntä. Puurankoihin kiinnitetään vaakasuoraan akustiset jousirangot ja vasta niiden päälle tulee kaksinkertainen kipsi- tai lastulevy. Myös seinärakenteen toiselle puolelle lisätään toinen levykerros. Tämän rakenteen etuihin kuuluu se, ettei ratkaisu vie paljon huonetilaa, sillä rakenteen paksuus yhteen suuntaan kasvaa vain jousirangan ja kaksoislevytyksen verran. Varjopuolena sanottakoon se, että väliseinän molemmat puolet joudutaan levyttämään ja sen vuoksi molemmat puolet myös pinnoitetaan uudelleen. Ratkaisu sopiikin asuinrakennuksen peruskorjauksen yhteyteen hyvin, koska silloin tehdään tavallisesti pintarakenteiden uusiminen. Kyseinen rakenne pohjautuu Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy/Gyproc:n ([Viitattu 2.4.2014], 1) väliseinien ääneneristysten parannusohjeisiin.

Kapeammalle 66 mm väliseinärungolle joudutaan käytännössä tekemään kaksoisrunko, jotta suositusarvo 52 dB saavutettaisiin (RIL 129-2003 2003, 36). Rakenteen

teessa yksi (Kuvio 4) on toisen puolen levytys purettu pois ja puurankojen väli täytetään mineraalivillalla. Vierelle tehdään erillinen runko normaalista väliseinätolpasta, jossa puurangat limitetään toiseen runkoon nähden erikohdille ja rungot jätetään 20 mm irti toisistaan. Puurankojen välit eristetään ja päälle tulee yksi kipsi- tai lastulevykerros. Kaksikertaisen rakenteen ilmavälin ja absorptiomateriaalin lisäyksellä saavutetaan huomattava ääneneristysten parannus. Ratkaisu yksi on kustannuksiltaan edullisin, koska siinä ei ole tarvetta toiselle levykerrokselle ja vain yhden seinäpuoliskon pinnoitteet joudutaan uusimaan. Tämän johdosta ratkaisu sopii myös muihin kuin peruskorjauskohteisiin.

Mikäli rakenteen yksi (Kuvio 4) paksuus on liiallinen, voidaan rakenteella kaksi säästää hieman kokonaispaksuudesta ilman, että ääneneristys heikentyy. Rakenteessa kaksi lisärungon ala- ja yläohjauspuu kavennetaan ja pystytolpat viistetään päistään, jolloin saavutetaan rakenteellinen kytkemättömyys. Runkotolppia ei kavenneta koko matkaltaan, koska tällöin rakenne on jäykempi ja se värähtelee vähemmän äänenpaineen voimasta parantaen väliseinän ääneneristävyyttä. (Lahtela 2004, 26.) Jotta rakenne täyttäisi suositellun arvon 52 dB, on ilmajousen pituus oltava vähintään 120 mm ja lisäksi väliseinään asennetaan kaksikertainen levytys limitetyin saumoin (RIL 129-2003 2003, 36). Rakenne on työläs ja hieman kustannuksiltaan kalliimpi lisälevykerroksen myötä verrattuna rakenteeseen kaksi, mutta sama ääneneristävyys saavutetaan kuitenkin. Käytännössä kannattaa suosia rakennetta yksi, jos se on vain tilan puitteissa mahdollista.

Mikäli vanha väliseinärakenne (66 mm) on jo eristetty hyvin mineraalivillalla ja levykerrosta ei haluta poistaa, esimerkiksi ajan säästämiseksi, on siihen vaihtoehtoinen keino. Levyn poistamisen sijaan voidaan käyttää levyn rei'ittämistä, jolloin ainakin 40 % levyn kokonaisalasta rei'itetään jokaisesta rankavälistä vähintään 100 mm kuppiterällä ja tällöin saavutetaan lähes sama ääneneristävyys kuin levyn poistamisella (Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy/Gyproc 2012, 433). Tämän jälkeen tehdään lisärunko rakenteen yksi (Kuvio 4) mukaisesti. Suositellumpi tapa on kuitenkin poistaa levykerros runkojen välistä.

Huoneiston sisäisten väliseinien ääneneristystä parannettaessa tulee muistaa huolellisen tiivistämisen ja sivutiesiirtymien merkitys. Ongelmakohtaksi voi muodostua yksikerroksisten pientalojen sisäkaton kautta tapahtuva äänen sivutiesiir-

tymä, sillä rakennusvaiheessa sisäkatto koolataan usein ennen kevyiden väliseini-
en tekemistä. Tällöin väliseinärakenteen yläpuolelle voi jäädä ilmarakoja, joihin ei
aina kiinnitetä huomiota. Jos normaalin sisäkaton koolaukseen käytetään 25 - 50
mm vahvaa puutavaraa, jonka k-jako on 300 - 600 mm välillä, rakenteessa voi olla
huomattavia ilmarakoja, jos niitä ei ole tilkitty kunnolla. Sivutiesiirtymää voidaan
vähentää koolausvälien tilkitsemisen lisäksi tiivistämällä kattomateriaali väliseinä-
rakenteeseen joustavalla massalla, jolloin ilmatiiviys paranee.

3.4 Välipohjat

Puutalojen välipohjien ääneneristystä parannettaessa vanhan välipohjan rakenne
on selvitettävä ensin huolellisesti ja vasta sen jälkeen lähdetään suunnittelemaan
parannusratkaisuja. RIL 129-2003:n (2003, 130) mukaan välipohjissa tulee muis-
taa, että niiden ääneneristävyys jakaantuu kahteen osioon, ilmaääneneristävyys-
teen ja askelääneneristävyys. Jos kyseessä on huoneistojen välinen välipohja,
vaadittu ilmaääneneristävyys (R_w) on ≥ 55 dB ja askelääneneristävyttä kuvaaval-
la askeläänitasoluvulta ($L_{n,w}$) vaaditaan ≤ 53 dB. Nämä arvot koskevat kerrosten
välisten huoneistojen lisäksi myös vierekkäin olevia huoneistoja, jolloin askeläänit
voidaan havaita tavallisesti sivutiesiirtymänä. Huoneistojen sisäisille välipohjille
käyttäjät saa kuitenkin määrittellä itse ääneneristystarpeen tapauskohtaisesti, koska
virallisia määräyksiä ei ole annettu huoneistojen sisäisille rakenteille.

Puurakennuksen peruskorjauksen yhteydessä tehtäviä ääneneristysten parannus-
ratkaisuja on pääasiassa kahta tyyppiä, joko vanhaa rakennetta muutetaan tai sii-
hen tehdään lisärakenne. Lisärakenteella tarkoitetaan pääasiassa vanhan lattia-
pinnan päälle tehtävää kelluvaa lattiaa tai vaihtoehtoisesti välipohjan alapuolelle
sijoitettavaa kattoverhousta. Lisärakenteen käyttöä rajoittavat kuitenkin monet asi-
at. Esimerkiksi vanhoissa puurakenteisissa välipohjissa ei voida tavallisesti käyttää
raskaita lisärakenteita, koska niiden kantavuus ei ole siihen riittävä. Lisäksi huone-
korkeus voi olla jo ennestään matala, jolloin se tulee rajoittavaksi tekijäksi. Tällöin
kyseeseen voi tulla vanhan rakenteen muuttaminen, jolloin jo olemassa olevia vä-
lipohjan rakenteita muutetaan paremmin ääntä eristäväksi. Välipohjan ääneneris-

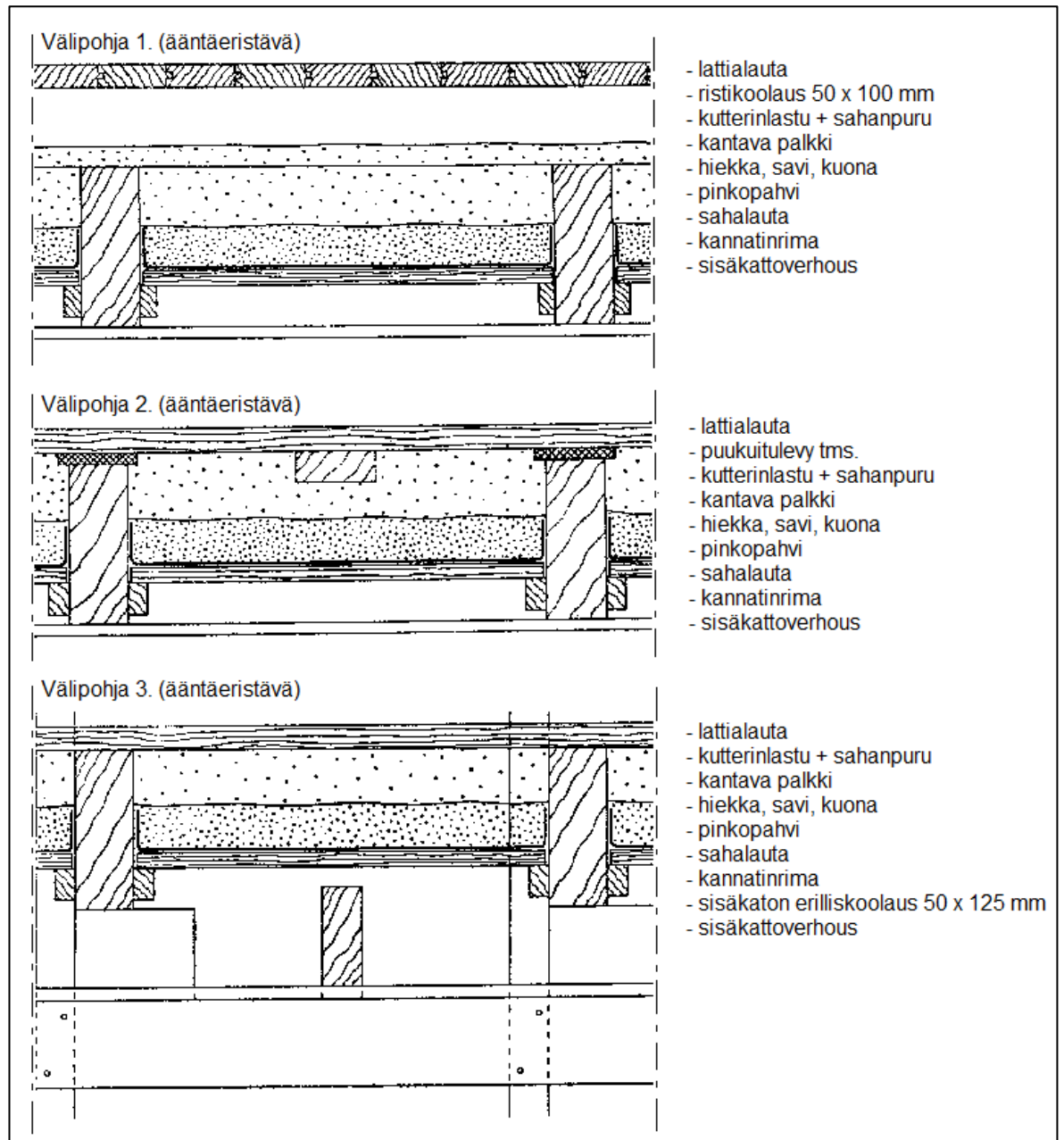
tyksen parantaminen on aina suunniteltava tapauskohtaisesti ja usein vanhojen rakenteiden ehdoilla. (RIL 174-4 1988, 299-300.)

3.4.1 Vanhan 1950-luvun puutalon välipohja

Jo vanhoissa 1950-luvun puutaloissa välipohjarakenteen ääneneristävyyteen kiinnitettiin huomiota, mutta silloin käytettyjen materiaalien ja rakenteiden ääneneristävyys ei kuitenkaan yllä nykypäivänä vaaditulle tasolle. Jos rakenne oli suunniteltu ääntä eristäväksi, siinä oli RT 832 2:n (1947,1) mukaan käytetty kerroksittain erilaisia materiaaleja. Esimerkiksi ilmaääneneristykseen käytettiin painavia aineita, joita olivat muun muassa hiekka, savi ja kuona. Vastaavasti askelääniä pyrittiin vaimentamaan käyttämällä kevyitä ja joustavia materiaaleja, esimerkiksi käyttämällä puukuitulevyjä, lasivillamattoja, vuorivanua ja muita vastaavia materiaaleja, jotka sijoitettiin katkaisemaan äänen siirtyminen runkorakenteiden läpi kerroksesta toiseen.

Seuraavassa kuviossa (Kuvio 5) on esitetty välipohjarakenteita, joissa on aikoinaan otettu huomioon ääneneristys. Kuvioista voidaan havaita, että silloin yleisesti käytetty kantavan palkin koko on ollut 75 x 200 mm, joiden keskeltä keskelle väli oli tyypillisesti 500 mm, koska rakenteessa oli painava täyte. Välipohjarakenteessa yksi havaitaan, että rakenteella on haettu pääasiassa ilmatiiviyttä, mutta askelään-ten vaimennus on jäänyt toissijaiseksi, koska puurakenteet on naulattu kiinni toisiinsa ja rakenteessa voi esiintyä natinaa kävellessä. Välipohjarakenteessa kaksi on otettu paremmin huomioon askelääneneristys, sillä se on tehty niin sanotun ”uivan lattian” periaatteella. Lattialaudat naulattiin ainoastaan erillisiin aluspuihin ja äänen vaimentamiseksi lattian ja palkkien väliin on sovitettu puukuitulevy. Puukuitulevy voi kuitenkin painua ajan kuluessa massan alta tiiviimmäksi, jolloin sen vaimentava vaikutus heikentyy. Välipohjarakenteessa kolme on tehty kaksoispalkisto, jolloin varsinaiset kuormat tulivat ylemmille palkeille ja alempien palkkien tarkoitus oli kantaa ainoastaan sisäkatto. Rakenteella on haettu natisematonta ratkaisua ja vaikka kantava palkisto kuormien johdosta hieman painuisikin, niin sisäkattorakenne pysyy ryhdissään. Näiden välipohjien ilmaääneneristävyys riippuu pitkälti rakenteen tiivyydestä ja siitä kuinka hyvin sivutiesiirtymät on otettu huomioon. As-

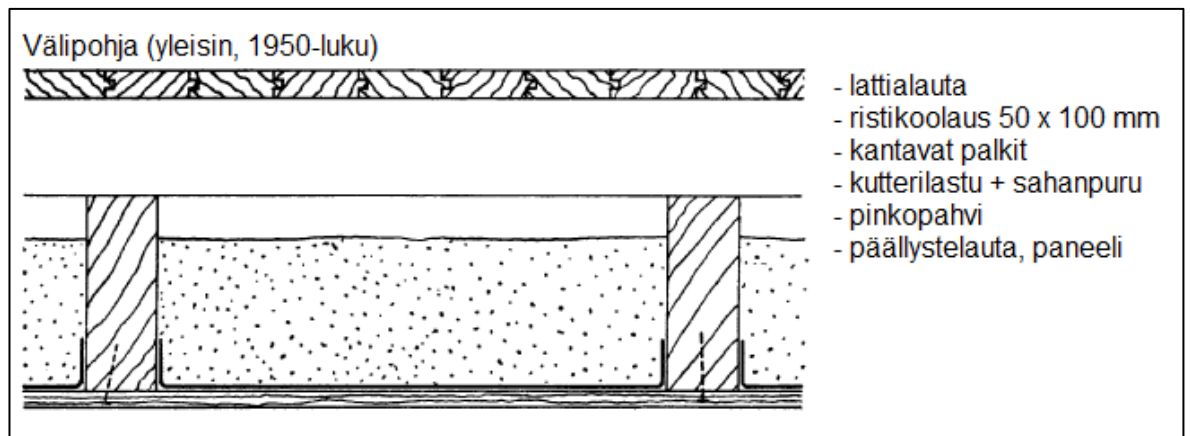
kelänten eristävyys vaikuttaa puolestaan vaimennusmateriaalien käyttö runko- rakenteiden välissä sekä vaimennusmateriaalin paksuus. Näissä välipohjaraken- teissa nykypäivän ilmastöeneristävyysvaatimukset voidaan saavuttaa suhteellisen pienillä toimenpiteillä, mutta vaaditun askeläänitasoluvun saavuttaminen aiheuttaa puuvälipohjissa usein ongelmia (RIL 174-4 1988, 300).



Kuvio 5. Ääntä eristäviä vanhoja puuvälipohjarakenteita (RT 832 32 1947, 1).

Edellisessä kuviossa (Kuvio 5) olevat välipohjarakenteet olivat käytännössä melko harvinaisia, sillä vaikka olikin jo olemassa ääntä eristäviä välipohjaratkaisuja, niin

toteutus vaihteli runsaasti tekijöiden mukaan. Yleisesti suosittu välipohjarakenne 1950-luvulla on esitetty alla olevassa kuviossa (Kuvio 6). Tässä välipohjassa on haettu rakennetta, joka on yksinkertainen toteuttaa ja kokonaisuudessaan edullinen. Ääneneristyksen kannalta rakenne ei kuitenkaan ole toimiva ja sen ilmaääneneristävyyttä (R_{w}) jää noin arvoon 40 - 45 dB, sekä askeläänentasoluku ($L_{n,w}$) on suuruusluokkaa 65 - 70 dB (RIL 174-4 1988, 292). Rakenteen äänitekniisiä ongelmia ovat muun muassa heikko ilmatiiviyys, liian kevyt rakenne ja palkistojen mekaaninen kytkentä.



Kuvio 6. Yleinen puuvälipohjarakenne 1950-luvulla (RT 832.2 1947).

Tarkastellaan edellä olevan kuvion (Kuvio 6) välipohjarakenteen ääneneristyksen parannusratkaisuja. Ennen valmisteluja asetetaan tavoitearvo, johon pyritään ja mikäli kyseessä on huoneistojen välinen välipohja, on ilmaääneneristävyyttä (R_{w}) ≥ 55 dB ja askeläänentasoluku ($L_{n,w}$) ≤ 53 dB. Tällä hetkellä rakenne on äänitekniisesti ajateltuna yksinkertainen rakenne, koska palkistot on kytketty toisiinsa. Puuvälipohjissa vaadittuun ääneneristävyytsvaatimukseen päästäänkin pääasiassa kaksinkertaisella rakenteella, joita on käytännössä kahta eri tyyppiä eli kelluva lattia sekä laskettu katto (RIL 129-2003 2003, 134).

Kelluvan lattiarakenteen yhtenä valintaperusteena on vanhan välipohjan kantavuus, sillä se ratkaisee voidaanko käyttää raskaampia lattiamateriaaleja. Puutaloissa lisälattiamateriaalina käytetään tavallisesti levyrakenteita, koska niissä massanlisäys pysyy sallituissa kuormitusrajoissa. Mikäli vanhaa rakennetta vahvistetaan riittävästi tai sen kantavuus on hyväksytetty rakennesuunnittelijalla, voidaan puutaloissa käyttää myös raskaampaa betonirakenteista laattaa tai kipsivalulattia.

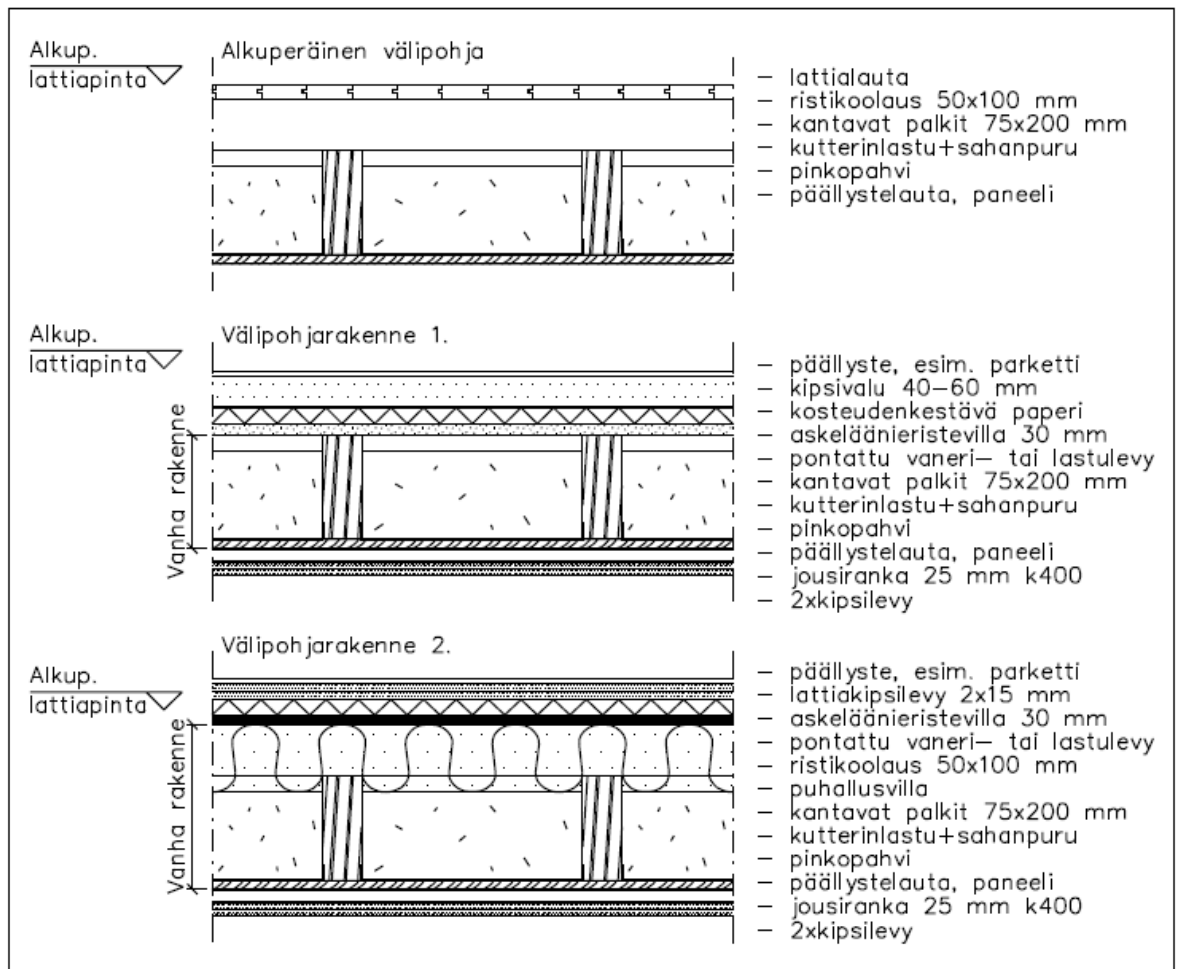
Välipohjaa voidaan vahvistaa esimerkiksi lisäämällä sen alapuolelle puupalkkilinjastoja, jotka joko verhoillaan piiloon tai jätetään sisustuksellisista syistä näkyviin. Toinen vaihtoehto on vanhojen palkistojen vahvistaminen esimerkiksi kiinnittämällä vahvistava lisärakenne palkistojen kylkiin, jolloin se jää välipohjarakenteen sisälle. RIL 129-2003:n (2003, 134) mukaan kelluvassa lattiarakenteessa laatan tai levykerroksen alle sijoitetaan joustava mineraalivillakerros, jonka minimipaksuutena on 30 mm. Vaimennuseristeen tulee olla mahdollisimman pehmeä, jotta se vaimentaisi värähtelyä tehokkaasti, mutta kuitenkin riittävän jäykkä kantaakseen kuorman tasaisesti. Käytettäessä kelluvaa betonirakenteista pintalaattaa välipohjan askeläänteneristyksen parannus on noin 10 - 15 dB ja kelluvalla levylattialla vastaavasti 5 - 10 dB (Lahtela 2004, 31).

Lasketulla kattorakenteella lisätään rakenteeseen massaa ja ilmajousen pituutta. Rakenteena käytetään kaksinkertaista kipsi- tai lastulevykerrosta, joka on ripustettu välipohjarakenteeseen akustisilla jousirangoilla. Jousirankojen merkitys korostuu etenkin välipohjarakenteissa, sillä niillä saavutetaan jopa 10 dB parempi askelääneneristävyys pienellä tilavaatimuksella sekä alhaisella massanlisäyksellä (Lahtela 2004, 29). Tämän vuoksi jousirankojen käyttö on suotavaa välipohjan ääneneristystä parannettaessa. Peruskorjauksen yhteydessä pyritään mataliin rakenneratkaisuihin, koska huonekorkeudet rajoittavat tilankäyttöä. Suomen RakMK G1:n (2005, 5) mukaan asuinhuoneen huonekorkeuden tulee olla vähintään 2500 mm, mutta pientaloissa mainittu vähimmäiskorkeus on 2400 mm. Asuinhuoneen vähäisen osan huonekorkeus voi olla edellä sanottua pienempikin, ei kuitenkaan alle 2200 mm.

Välipohjan ilmatilan korkeus vaikuttaa ilmaääneneristyksen lisäksi myös askelääneneristykseen. Jos haetaan osastoivan välipohjan ääneneristävyttä, voidaan yleissääntönä pitää, että ilmatilan tulee olla vähintään 200 mm korkea. Ilmatilan kasvattaminen parantaa myös askelääneneristystä välipohjarakenteessa. Esimerkiksi ilmatilan kasvattaminen 200 mm:stä 450 mm:iin, parantaa välipohjan askelääneneristystä noin 2 - 3 dB. (Lahtela 2004, 32.) Näin suuri välipohjan ilmatilan kasvattaminen ei kuitenkaan ole aina mahdollista ja kokonaisuutta ajatellen sillä on pienempi vaikutus askelääneneristävyyteen kuin pintalaatalla tai alakattoverhouksella.

Välipohjarakenteen ilmatilaan syntyy kaksinkertaisen seinärakenteen tavoin korkeilla taajuuksilla seisovia aaltoja, jotka heikentävät rakenteen ääneneristävyyttä. Tätä heikentävää vaikutusta voidaan vähentää ääntä absorboivalla materiaalilla. Käytännössä jo 100 mm:n mineraalivillalla saavutetaan riittävä äänenvaimennus välipohjassa. Jos ilmatila täytetään kokonaan ääntä absorboivalla materiaalilla, saattaa askelääneneristys parantua 1 - 2 dB. Välipohjarakenteissa voidaan levyeristyksen sijaan käyttää myös puhallusvillaa, joka on joutuisampaa asentaakin. (Lahtela 2004, 32.)

Seuraavassa kuviossa (Kuvio 7) on esitetty vanhan välipohjarakenteen ääneneristuksen parantamisvaihtoehtoja, silloin kun tavoitteena on huoneistojen välisen ääneneristuksen saavuttaminen.



Kuvio 7. Huoneistojen välisen puuvälipohjan ääneneristuksen parannusehdotus

Välipohjarakenteessa yksi (Kuvio 7) on vanhan välipohjan rakenne muutettu kelluvan kipsivalulattian ja joustavan alakattoverhouksen yhdistelmäksi. Kelluva lattiarakenne tulee toteuttaa siten, että kipsivalulattia on erotettu joustavalla kerroksella kantavista vaaka- ja pystysuorista rakenteista, jolloin saavutetaan parempi askeläänten vaimennus. Kelluvan laatan ehdoton etu on se, että askeläänten siirtyminen voidaan estää heti niiden syntymiskohdassa, jolloin vähennetään myös sivutiisiirtymien vaikutusta (RIL 174-4 1988, 300). Vanhassa rakenteessa oleva ristikoolaus puretaan, jotta kipsivalulattian rakenne osuisi alkuperäisen lattiarakenteen korkeuteen. Tällöin vältetään ovien nostamiselta lisärakenteen verran ylemmäs. Lisäksi alkuperäinen huonekorkeus säilytetään yläkerrassa. Kun välipohjarakenne avataan, kutterinlastun ja sahanpurueristeen kunto tarkastetaan. Ääneneristyksen kannalta se voidaan jättää rakenteeseen. Mikäli kuitenkin rakenteelta haetaan parempaa palonkestoa, eristekerros vaihdetaan mineraalivillaan. Välipohjarakenteen alapuoliseen osaan tehdään jousirankojen varaan kiinnitetty kaksikertainen kipsilevytys, joka vaimentaa ääntä tehokkaasti. Tällöin huonekorkeudesta tulee tinkiä hieman alakerran puolelta. Vanhoissa rakennuksissa yleisin huonekorkeus on tavallisesti 2500 mm, jota ripustettu kattoverhous pienentää 50 - 60 mm riippuen levyjen vahvuudesta. Näin täytetään vielä huonekorkeus vaatimuksen alaraja 2400 mm. Rakennekerroksia ja niiden paksuuksia on vertailtu huoneistojen välisen askel- ja ilmaääneneristävyksien saavuttamiseksi RIL 129-2003:n (2003, 26-140) julkaiseman teoksen rakennekirjastoon.

Kipsivalulattian käyttämisellä on monia etuja, joiden vuoksi se soveltuu etenkin peruskorjauskohteisiin. Lujuusominaisuuksiltaan kipsivalulattia omaa hyvän taivutus- sekä puristuslujuuden ja lisäksi se on lähes kutistumaton betoniin verrattuna, jolloin lattia ei vaadi raudoitusta. Peruskorjauksen yhteydessä uusitaan usein lämmitysjärjestelmäkkin. Esimerkiksi vanhat patterilinjastot vaihdetaan lattialämmitykseen ja tällöin kipsivaluun voidaan asentaa vaihtoehtoisesti vesikierrolla tai sähkövastuksella oleva lattialämmitys. Kipsivalulattia reagoi lämpötilan muutokseen huomattavasti betonilattiaa nopeammin. Betonilattia varaa lämpöä kipsilattiaa paremmin ja tällöin säädön vaikutus ilmenee betonilattiassa pidemmällä viiveellä. Kipsivalulattia voidaan toteuttaa betonivalua ohuemmalla kerroksella ja se on 25 - 30 % kevyempi, jolloin kipsivalulattian käyttö on mahdollista myös vanhoissa puuvälipohjissa. Ohuemman kerrospaksuutensa vuoksi kipsivalulattialla on myös

lyhyempi kuivumisaika, jolloin se on nopeammin päällystettävissä. Kipsivalulattian ehkä suurimpiin etuihin kuuluu itsestääntasoitteisuus, jolloin se soveltuu hyvin vanhojen välipohjarakenteiden oikaisuun ja tällöin saadaan kerralla suoraa pintaa. (Kipsivalu.fi, [Viitattu 12.3.2014].)

Välipohjarakenteessa kaksi (Kuvio 7) on vaihtoehtoinen rakenne kipsivalulattialle. Vanhan välipohjarakenteen lattiaudoitus puretaan ja tarkastetaan eristekerroksen kunto. Mikäli vanha lattiarakenne ei ole aivan suora, voidaan ristikoolauspuut työstää yläpinnaltaan oikoisiksi tässä työvaiheessa. Koolausvälit täytetään esimerkiksi puhallusvillalla ja koolauspuiden päälle asennetaan pontattu vaneri- tai lastulevy. Levykerroksen päälle asennetaan askeläänieristysvilla ja varsinaisen lattiarakenteen muodostaa kaksikertainen lattiakipsilevykerros, jonka saumat limitetään eri kohdille. Levykerrokset kiinnitetään toisiinsa käyttämällä rakennusliimoja tai saneerauslaastia. Välipohjarakenteen alapuoliseen osaan tehdään kaksinkertainen kipsilevyverhous jousirangoilla ripustettuna kuten välipohjarakenteessa yksi. Levyrakenteisessa kelluvassa lattiassa ei ole massaa niin paljon kuin kipsivalulattiasa, jolloin ääneneristys heikentyy siltä osin. Tilannetta kuitenkin parantaa välipohjassa oleva suurempi ilmatila ja absorptiomateriaalina toimiva puhallusvilla. Välipohjarakenteessa kaksi tulee ottaa huomioon uuden lattiapinnan korkeusero alkuperäiseen lattiapintaan nähden. Ovet täytyy joko nostaa ylemmäs tai ne vaihdetaan peruskorjauksen yhteydessä. Rakennekerroksia ja niiden paksuuksia on vertailtu huoneistojen välisen askel- ja ilmaääneneristävyyksien saavuttamiseksi RIL 129-2003:n (2003, 26-140) julkaiseman teoksen rakennekirjastoon.

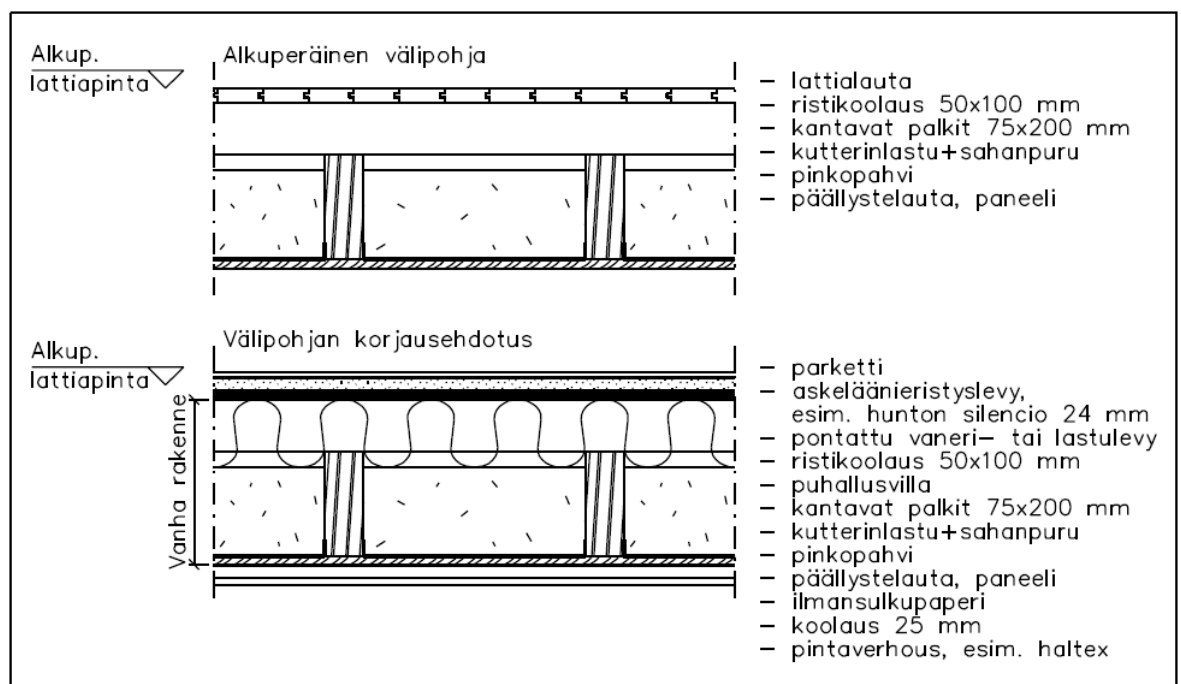
3.4.2 Huoneiston sisäinen puuvälipohja

Huoneiston sisäisen välipohjan ääneneristys on kaksikerroksisissa pientaloissa heikompi kuin huoneistojen välisissä välipohjarakenteissa, koska sisäisille välipohjille ei ole asetettu virallisia vaatimuksia ääneneristyksen osalta, vaan käyttäjä määrittelee ne itse (ks. 3.2). Rakennuksen peruskorjausvaiheessa huoneiston sisäisten välipohjien ääneneristystä saadaan parannettua asumisen ja työskentelyn kannalta mukavalle tasolle usein jo ilman massiivisia lisärakenteita. Huoneiston sisäisten välipohjien ongelmia voivat olla huono askel- ja ilmaääneneristävyys se-

kä natina. Jos alakerran huoneessa on tarve levätä tai työskennellä rauhassa, kannattaa edellä mainitut ongelmat ottaa huomioon, kun suunnitellaan parannusratkaisuja. Yläkerran osalta merkitsevänä on lähinnä ilmaääneneristävyys.

Puuvälipohjarakenteen hyvä ilmaääneneristävyys on helpommin saavutettavissa kuin hyvä askelääneneristävyys ilman paksuja lisärakenteita. Puuvälipohjissa tehokkain keino askelääneneristykseen parantamiseen on kelluva lattiarakenne. Jos välipohjan kuormitusta ei voi lisätä oleellisesti, esimerkiksi kipsivalulattialla, niin käytetään kevyitä rakenneratkaisuja, joilla jäljitellään kelluvaa lattiarakennetta. Tällaisia ovat esimerkiksi parkettilattiat, joiden alle on sijoitettu joustava välikerros. Silloin askelääneneristystä parantavat lähinnä materiaalin joustavuus ja paksuus (RIL 129-2003 2003, 134).

Seuraavassa kuviossa (Kuvio 8) on esitetty vanhan puuvälipohjan ääneneristykseen parannusehdotus, jolla saavutetaan oleellisesti parempi askel- ja ilmaääneneristävyys. Alkuperäinen lattialaudoitus puretaan pois, jolloin vähennetään välipohjan natinaa. RT 84-10617:n (1996, 5) mukaan välipohjarakenteen natina aiheutuu yleisimmin työvirheistä, joita voidaan välttää riittävällä huolellisuudella. Välipohjarakenteen teossa kiinnitetään huomiota muun muassa laattapalkiston suuruuteen, liitosten lujuuteen ja jatkosten viistämiseen.



Kuvio 8. Huoneiston sisäisen puuvälipohjan ääneneristykseen parannusehdotus

Mikäli alkuperäisen sahanpurueristeen kunto on hyvä (Kuvio 8), sen päälle voidaan lisätä ääneneristykseen tehostamiseksi esimerkiksi puhallusvillaa ristikoolauksen yläpintaan saakka. Askeläänieristelevyn alle asennetaan vaihtoehtoisesti joko pontattu vaneri- tai lattialastulevy, sillä se vaatii tasaisen alustan. Askeläänieristelevynä voidaan käyttää esimerkiksi huokoista puukuitulevyä, jolloin se toimii kelluvan lattian periaatteella. RT 38363:n mukaan (2013, 4) Hunton Silencio -tuotteen käyttämisellä on monia etuja korjausrakentamisessa. Tuotteen ominaisuuksiin kuuluu muun muassa keveys, jolloin ei aiheuteta liiallista lisäkuormaa ja hyvä askelääneneristävyys. Parketti voidaan asentaa suoraan askeläänieristeen päälle, jolloin säästetään huonekorkeudessa. Hunton puukuitulevyyn on myös asennettavissa lattialämmitys ja siksi se soveltuu hyvin peruskorjauksen yhteydessä tehtävään lämmitysjärjestelmän uusimiseen. Mikäli välipohjarakenteen tavoitteena on osastoiva ääneneristys, tulee käyttää Hunton puukuitulevyn vahvuutena 36 mm yhdistettynä joustavasti ripustettuun kaksikertaiseen kipsilevytykseen.

Välipohjarakenteen (Kuvio 8) alapuolisen osan ilmatiivyyttä ja samalla ääneneristävyyttä parannetaan esimerkiksi ilmansulkupaperilla. Saumat tulee teipata huolellisesti, unohtamatta reunaliitosta. Jos ei vaadita osastoivaa ääneneristävyyttä, katotomateriaalina voidaan käyttää huokoisia levypinnoitteita, joista hyvänä esimerkkinä ovat Halltex-levyt. Ääneneristävyyden lisäksi parannetaan alakerran huoneen jälkikaiunta-aikaa, mikä on toivottavaa esimerkiksi kotiteatterihuoneissa. Mikäli välikattorakenteeseen uusitaan sähköjohtoja, ne voidaan sijoittaa alapuoliseen koolausväliin. Sen vahvuutta voidaan lisätä tai tehdä ristikoolaus, esimerkiksi suo- japatkellisen asentamisen vuoksi.

3.5 Ovet

Jos peruskorjauksen yhtenä tavoitteena on parantaa asuinrakennuksen ääneneristävyyttä, kannattaa seinä- ja välipohjarakenteiden lisäksi kiinnittää huomiota ovien ääneneristävyyteen, koska se vaikuttaa suoraan tilan ääneneristävyyteen. RIL 129-2003:n (2003, 127) mukaan oville annettavat ääneneristävyyssuokat (R_w) ovat 25, 30 ja 35 dB, jolloin oven laboratorioissa mitattujen arvojen (R_w) tulee olla

vastaavasti vähintään 30, 37 ja 42 dB. Näissä luokituksissa kannattaa olla tarkkana, etteivät termit sekoitu keskenään.

Ovirakenne kuuluu vähintään äänieristysluokkaan 30 dB, mikäli se on asuinhuonetta ja toista huoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä. Vaatimus seinän ja oven yhdistelmälle on $R_{w} \geq 39$ dB. Yhdistelmäarvon vaatimus voidaan täyttää, vaikka ovirakenne omaakin huonomman ääneneristysluokan kuin itse vaatimus. Ääneneristysmittausta suoritettaessa käytetään siinä erottavan rakenteen (seinä + ovi) kokonaispinta-alaa. Tässä oven osuus on tavallisesti 2 m² ja yhteiseksi alaksi merkitään aina vähintään 10 m², vaikka se olisi pienempikin. Tällöin seinärakenteen ollessa ääneneristävyydeltään ovea parempi voidaan saavuttaa kokonaisääneneristykselle oven ääneneristystasoa parempi lukuarvo. Jotta yhdistelmävaatimus täytyisi, tulee seinärakenteen ilmaääneneristävyyden (R_{w}) olla vähintään 45 dB, mutta yleensä suositetaan 52 dB ilmaääneneristävyyttä. (RIL 129-2003 2003, 127.) Ovirakenteet, joita vaatimus koskee, ovat tavallisesti kerrostalojen käytävien ovet.

3.5.1 Ulko-oven ääneneristävyys

Normaalin omakotitalon ulko-oville ei ole Suomen RakMK:ssa määritelty äänieristysvaatimuksia, mutta kaavamääräysten täyttäminen voi edellyttää niitä. Kaavamääräys tai -merkintä voi asettaa vaatimuksen rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyydelle, jolloin se koostuu kaikista ulkovaippaan kuuluvien rakenneosien yhdessä muodostamasta ääneneristyksestä. Nämä rakenneosat koostuvat esimerkiksi ulkoseinistä, ikkunoista, ovista ja ilmanvaihtoventtiileistä. (Lahtela 2004, 53.) Tällöin yksittäisten rakennusosien vaikutus ääneneristykseen riippuu rakennusosan tai -osien pinta-alasta ja ääneneristyksestä. Yhden ulko-oven ääneneristyksen parantamisella ei ole niin suurta kokonaisvaikutusta, kuin kaikkien rakennuksen ikkunoiden ääneneristyksen parantamisella. Vaatimustason ollessa korkealla korostuu yksittäistenkin rakenneosien vaikutus.

Vaikka ulko-ovella on pieni vaikutus rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyteen, on sen ääneneristyksellä merkitystä siihen huonetilaan, jossa se sijaitsee. Pääsisäänkäynnin ovi sijoittuu tavallisesti käytävään tai eteiseen, jolloin sen äänitekni-

set haitat jäävät pieniksi. Suurempi merkitys ääneneristyksen kannalta on parvekkeiden ja terassien ovilla, koska ne sijoitetaan yleensä olo- tai makuuhuoneen yhteyteen. Tässä ovirakenteella tulisi olla vähintään sama ääneneristävyys kuin kyseisen huoneen ikkunoilla (Lahtela 2004, 53.)

Peruskorjauskohteen vanhojen ulko-ovien ääneneristyksen parantamiseen on käytännössä kolme vaihtoehtoa. Mikäli vanhalla ovirakenteella ei ole arvoa, tai ne ovat kuluneet, huonokuntoiset ja heikosti lämpöä eristävät, niin tällöin kannattaa miettiä niiden korvaamista uusilla ovilla. Toisena vaihtoehtona on lisätä vanhaan oviaukkoon myös toinen ovi sisäpuolelle, mikäli seinärakenne on riittävän paksu. Tämä tilanne voi tulla eteen esimerkiksi vanhoissa rakennuksissa, joissa halutaan säilyttää alkuperäisen rakennuksen ulkonäkö. Kolmantena vaihtoehtona on parantaa alkuperäistä ovirakennetta, esimerkiksi uusimalla sen tiivisteet paremmin ääntä eristäväksi tai kasvattamalla ovirakenteen massaa lisärakenteella. (RIL 174-4 1988, 301.)

Ovirakenteen ääneneristävyys riippuu siitä onko kyseessä yksin- vai kaksinkertainen ovi. Yksinkertaisen oven ääneneristävyys voi perustua kokonaan ovirakenteen massaan tai kaksinkertaisen rakenteen tavoin toimivaan ovilevyjen ilmavälin suuruuteen. Mikäli ääneneristysvaatimus asetetaan korkeaksi, yksinkertaisesta ovesta tulee raskas tai vaihtoehtoisesti kaksinkertaisesta ovilevystä paksu ja oven toiminta hankaloituu. Parempi ääneneristävyys ja toimivuus saavutetaan käyttämällä kaksinkertaisia ovia, jolloin kaksi erillistä ovilevyä sijoitetaan peräkkäin. Tällaisissa tapauksissa valittavaan rakenteeseen vaikuttaa oven sijoituspaikka. Mikäli ovi sijaitsee keskellä seinää, kannattaa käyttää samaan karmiin kiinnitettyjä ovilevyjä, jotka toimivat kuitenkin erillään. Tämä keino soveltuu esimerkiksi käytettäväksi terassien ja parvekkeiden ovien kanssa, kun vaaditaan hyvää ääneneristävyttä. Ovirakenteissa tiiviys on ensisijainen asia ääneneristyksen kannalta ja kaksinkertaisissa ovirakenteissa se korostuu, sillä mitä pienempi ilmaväli on, sitä parempaa tiivistystä tulee käyttää. Samaa karmiin kiinnitettyjen ovilevyjen kanssa voi tulla toimivuusongelmia. Pienellä ilmavälillä ovien sulkeminen on hankalaa, koska niiden väliin jäävä ilmajousi on niin jäykkä. Parempi toimivuus ja ääneneristävyys saavutetaan sijoittamalla toinen ovi kauemmas, esimerkiksi peruskorjauskohteissa muodostetaan eteistilaan tuulikaappi. (RIL 129-2003 2003, 128.)

Vaikka ovi itsessään olisikin hyvin ääntä eristävä, tulee karmin kiinnitys tehdä huolellisesti seinään, ettei ääni kierrä sivutiesiirtymänä. Ääntä eristävän oven karmin asennusväli tilkitään mineraalivillalla huolellisesti, sekä kitataan joustavalla kitillä. Kun on kyseessä suuri ääneneristysvaatimus, käytetään molemmin puolista kitasta. Mineraalivillalla parannetaan äänenvaimennusta ja kitkaus varmistaa raon ilmatiiviyden. (RIL 129-2003 2003, 130.)

3.5.2 Sisäoven ääneneristävyys

Ovien ääneneristysvaatimukset eivät koske huoneistojen sisäisiä tiloja, vaan käyttäjä itse asettaa vaatimukset huoneen ääneneristävyydelle, joka määrittelee puolestaan sisäoven äänieristystarpeen. Äänieristettyä sisäovea voidaan käyttää makuu- tai työhuoneessa, jolloin se mahdollistaa rauhassa lepäämisen tai työskentelyn. Ääntä eristävissä sisäovissa tyypillinen ääneneristysluokka on 25 dB, jolloin äänieristysoven hankintahintakin pysyy kohtuullisena.

Jos peruskorjauksen yhteydessä parannetaan itse huoneen ääneneristävyyttä, myös sisäoven ääneneristyksen parantaminen on tarpeen, koska tavallisesta sisäovesta puheääni kuuluu hyvin läpi. Se puolestaan johtuu oven kevyestä ja ohuesta rakenteesta sekä huonosta ilmatiiviydestä. Peruskorjauksen yhteydessä sisäovia uusitaan tai kunnostetaan ja pinnoitetaan uudelleen. Alkuperäinen sisäovi kannattaa uusida vähintään äänieristysluokan 25 dB oveen, etenkin jos vanha sisäovi on kevytrakenteinen. Liian kevyt rakenne estää käytännössä riittävän ääneneristävyyden saavuttamisen.

Mikäli tavoitellaan alkuperäisen sisäoven ääneneristävyyttä, ensisijaiseksi tavoitteeksi kannattaa ottaa sisäoven ilmatiiviyden parantaminen. RIL 129-2003:n (2003, 129) mukaan liian suuret ovien käyntivarat tekevät ovien tiivistämisen haasteelliseksi. Ne voivat johtua heikosta sovituksesta tai rakenteen kieroudesta. Suuriin käyntivaroihin voi vaikuttaa myös ovien huullos, sillä huulletussa ovesa jätetään suurempi käyntivara, kuin ilman huullosta olevissa ovissa. Huullos voi huonontaa ääneneristävyyttä, vaikka usein luullaan että oven huullos tai raoissa esiintyvät mutkat parantavat ääneneristystä. Näillä ei kuitenkaan ole käytännössä merkitystä, koska äänen aallonpituuteen verrattuna mutkat ovat liian pieniä, eivätkä ne

vaimenna ääntä ihmisen kuulon kannalta tärkeällä taajuusalueella. Jos ovirakenteella halutaan saavuttaa yli 15 dB ääneneristävyysluokitus, se on tiivistettävä huolellisesti, unohtamatta karmien ja kynnyksen tiivistämistä. Itse tiivistämisessä kannattaa muistaa, että tiivisteiden tulee sulkea raot täysin ilmatiiviiksi ja silti oven tulee tiivistämisen jälkeenkin toimia hyvin.

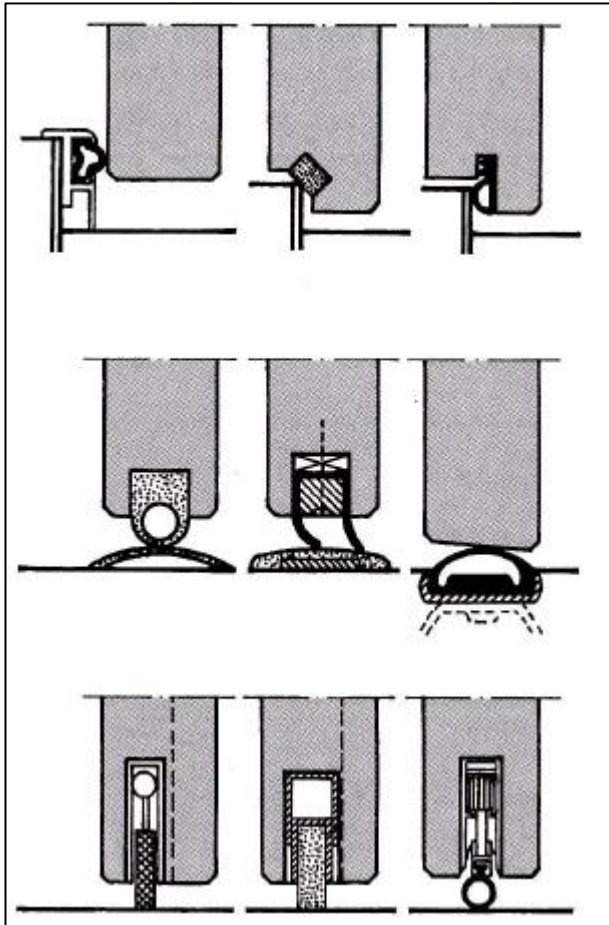
Seuraavassa taulukossa (Taulukko 8) on esitetty suuntaa-antavasti erilaisten ovirakenteiden ääneneristävyksiä. Näiden ääneneristävyksien saavuttaminen vaatii ovirakenteelta huolellista tiivistystä. Taulukosta voidaan havaita, että suuremmalla oven neliöpainolla saavutetaan parempi ääneneristävyys. Kannattaa miettiä lähteäkö alkuperäistä ovea korjaamaan paremmin ääntä eristäväksi, mikäli se on jo alun perin kevyt.

Taulukko 8. Tiiviin oven ääneneristävyksiä (RIL 129-2003 2003, 128).

Eristävyys	Oven rakenne
n. 20 dB	Kennorakenne, vaneri- tai kovakuitulevypäällyste, paksuus 40 - 45 mm, paino n. 10 kg/m ²
n. 25 dB	Laakaovi, 12 mm lastulevyt välissä, huokoinen kuitulevy tai kennorakenne, paksuus 40 - 45 mm, paino n. 20 kg/m ²
n. 30 dB	Täyspuurakenteinen laakaovi, paksuus 45 - 50 mm, paino n. 30 kg/m ²
n. 35 dB	Laakaovi, päällysvyö lastulevyä, kovalevyä, vaneria tms. välissä mineraalivilla 40 mm, paksuus 60 mm, paino n. 25 kg/m ²
n. 40 dB	Laakaovi, päällysvyö lastulevyä, kovalevyä, vaneria tms. yhdistettynä raskaampaan metalli- tai mineraalilevyyn tai raskaskumimattoon, välissä mineraalivilla 40 mm, paksuus 60 mm, paino n. 40 kg/m ²

Alkuperäisen sisäoven tiivistämiseen ryhdyttäessä erityisen haasteellinen paikka on oven alaosan kunnollinen tiivistäminen. Alla olevassa kuviossa (Kuvio 9) on esitetty muutamia periaatteita ääntä eristävien ovien tiivistämiselle. Kuvion ylimmällä rivillä on havainnollistettu ovilevyn tiivistämistä tavalliseen kynnysrakenteeseen. Varsinainen kynnyksen tiivistetään ovilevyn lisäksi myös alapuoliselta osuudeltaan lattiarakenteeseen, esimerkiksi joustavalla saumausaineella. Lattian pintamateriaali katkaistaan kynnyksen kohdalla äänen sivutiesiirtymän vähentämiseksi. Taulukon keskimmaisella rivillä on kuvattu vaihtoehtoja, joissa normaalin kynnysrakenteen sijaan käytetään matalampia kynnyksistöjä, jolloin oviaukosta kulkemi-

nen helpottuu. Myös kynnykslistojen kohdalla lattian pintarakenne pyritään katkaisemaan. Taulukon alimmalla rivillä on puolestaan haettu täysin kynnyksetöntä ratkaisua, jolloin liikkuminen helpottuu etenkin pyörätuolia tarvitsevilla. Tässä vaihtoehdossa tiivisteiden säätäminen painottuu, koska ovesta voi tulla painava käyttö, jos tiiviste puristuu liaksi lattiapintaan. Lisäksi lattiarakenne menee ovilevyn ohitse ehjänä, jolloin ääneneristävyyttä voi heikentyä äänen sivutiesiirtymän kautta.



Kuvio 9. Oven alareunan tiivistämismuunnokset (Siikanen 1996, 136).

Huoneen sisäoven hyvä ilmatiiviyys voi asettaa vaatimuksia huonetilan ilmanvaihdolle, sillä Suomen RakMK D2:n (2012, 15-25) mukaan asuinhuoneiston ilmanvaihtuvuus tulee olla vähintään 0,5 1/h eli koko ilmatilavuus vaihtuu kahdessa tunnissa. Lisäksi ohjeistetaan, että asuinhuoneistossa ainakin keittiöt, keittokomerot, kylpyhuoneet, WC:t, kodinhoito- ja vaatehuoneet varustetaan poistoilman pääte-laitteilla. Muiden asuinhuoneiden poistoilma voidaan johtaa näiden kautta käyttämällä tarkoituksenmukaisia siirtoilmareittejä tai -laitteita.

Tällainen siirtoilmareitti on esimerkiksi sisäoven alaosassa esiintyvä ilmarako, joka on parempaa ääneneristystä haettaessa tiivistettävä huolellisesti. Huonetilan ilman on kuitenkin vaihduttava riittävästi, jotta käyttöaikana taataan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmanlaatu (Suomen RakMK D2 2012, 10). Vanhoissa peruskorjauskohteissa ilmanvaihto on toiminut pääasiassa painovoimaisena. Ulkoilma on tuotu makuuhuoneeseen korvausilmaventtiilistä, jonka poisto on järjestetty siirtoilmana muihin asuintiloihin sisäoven alta ilmaraon kautta. Ääntä eristävissä sisäovessa lähtökohtana on kuitenkin, että oven alareunakin on tiivistetty huolellisesti, jolloin poistoilma on varmistettava muilla keinoilla. Esimerkiksi makuuhuoneiden yhteyteen sijoitetaan vaatehuone, johon voidaan asentaa poistoilman päätelaite ja näin varmistetaan riittävä ilmanvaihtuminen sekä makuuhuoneen ääneneristävyys. Muiden ääneneristystä tarvitsevien huoneiden yhteydessä tätä keinoa voidaan harvemmin käyttää ja silloin poistoilman päätelaitteen voi sijoittaa itse huoneeseen.

Mikäli peruskorjauskohteessa on jo toimiva ilmanvaihto, mutta ongelman muodostaa ääntä eristävän sisäoven tiiviys ja se ettei ilmanvaihdon päätelaitteita haluta lisätä kustannus- tai rakenteellisista syistä, niin voidaan käyttää huoneen siirtoilmanvaihdon varmistavaa ovivirtaussäleikköä. Air-in® Virtaussäleikkö on Din Air Oy:n tuote, joka mahdollistaa siirtoilman vaihtumisen huoneistosta toiseen ja samalla vaimentaa ääntä tehokkaasti. Tuote asennetaan ovenkarmin päälle ja se tarvitsee asennuskorkeutta noin 16 mm. Lisäksi sen asentaminen on helppoa ovien uusimisen yhteydessä, jolloin karmi irrotetaan jo muutenkin. Valmistajan ilmoittama ilmanvirtaama on 15 l/s ja ääneneristävyyttä tuotteelle luvataan 34 dB, jolloin se soveltuu hyvin käytettäväksi ääntä eristävän sisäoven kanssa. (Din Air Oy, [viitattu 17.3.2014].)

3.6 Ikkunat

Ikkunoiden vaikutus rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyteen on ulko-ovia merkittävämpi, koska niiden lukumäärä on tavallisesti ovia suurempi. RIL 129-2003:n (2003, 154) julkaisemasta aineistosta nähdään rakennuksen ulkovaipan ääneneristävydeltä vaadittuja keskeisimpiä periaatteita. Valtioneuvoston asetuk-

sen mukaan asuntoalueella rakennuksen ulkopuolinen melutaso ei saisi ylittää päivällä 55 dB ja yöllä 50 dB. Rakennuksen sisätiloissa vastaavat ohjearvot ovat 35 dB ja 30 dB. Näillä arvoilla rakennuksen ulkovaipalta vaadittava ääneneristävyyden on 20 dB, johon päästään käytännössä jo tavallisilla rakenteilla.

Usein ulkopuolinen melutaso on kuitenkin suurempi. Liikennemelu on kasvanut aikojen saatossa ja silloin rakennuksen ulkovaipalta vaaditaan parempaa ääneneristävyyttä, jolloin yksittäisten rakenneosien merkitys korostuu. RIL 129-2003:n (2003, 154-155) mukaan rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyttä mitoittaessa riittää usein jo pelkän ikkunan ääneneristävyyden selvittäminen, koska seinä- ja yläpohjarakenteilla ääneneristävyys on yleensä ikkunaa parempi. Ikkunan ääneneristävyyttä kuvataan pääasiassa merkinnällä $R_w + C_{tr}$ ja sellaisenaan käytettynä edellytetään, että ikkunanala on noin 20 % huoneenala. Lisämerkinnällä C_{tr} kuvataan erittäin matalien äänien arvoja, jonka korjausvaikutus huomioidaan rakenteen ääneneristävyyden lukuarvossa. Näitä matalia äänilähteitä ovat esimerkiksi kaupunkiliikenne, hidas raideliikenne, potkurikoneet tai teollisuus. Ikkunoissa käytetään myös toista merkintää eli $R_w + C$, jolloin lisämerkinnällä C kuvataan erittäin korkeiden äänien arvoja, joita ovat muun muassa maantie- tai raideliikenne keskiverto- ja suurilla nopeuksilla, suihkulentokoneet lyhyiltä etäisyyksiltä tai voimakas puhe, esimerkiksi urheilustadionien läheisyydessä. Rakennuksen sijoituspaikka vaikuttaa siihen kumpaa lisämerkintää käytetään, kun rakennukseen suunnitellaan sopivia ikkunoita. Esimerkiksi, kaupungissa lisämerkintä C_{tr} on tavallisesti sopiva ja vastaavasti moottoritien läheisyydessä soveltuu lisämerkintä C .

3.6.1 Uusien ikkunoiden valinta ääneneristykseen kannalta

Peruskorjauksen yhteydessä alkuperäisten ikkunoiden vaihtaminen uusiin on tavanomaisin vaihtoehto, jos vanhat ikkunat ovat huonossa kunnossa. Vanhojen ikkunoiden karmin ulkopinta on yleensä puuta, jolloin se on voinut säärasituksesta haurastua, varsinkin jos ikkunoita ei ole huollettu. Uusissa ikkunoissa karmin ulkopinta on usein alumiinia, jolloin saavutetaan parempi säänkestävyys. Ikkunoiden vaihtamisella on merkitystä rakennuksen energiatalouteen ja silloin perusvalinta-

kriteerinä voi ollakin hyvän lämmöneristävyyden saavuttaminen. Lisäkriteerejä voivat olla muun muassa ulkonäölliset seikat, sekä ääneneristyksen tarve.

Ääneneristyksen kannalta ikkunoiden valintaperusteisiin vaikuttaa ennen kaikkea rakennuksen etäisyys melunlähteistä ja melun toistuvuus. Esimerkiksi maaseudulle rakennettaessa ikkunoiden ääneneristystä harvemmin painotetaan, koska mahdollinen melu ei ole jatkuvaa tai se ei toistu usein kuten kaupunkiolosuhteissa. RT 41-10947:n (2009, 10) mukaan ikkunoiden valinnassa kannattaa pyytää valmistajalta selvitys ikkunoiden ääneneristävyydestä. Jos normaaleilla ikkunoilla ei saavuteta kaavamääräyksen vaatimustasoa rakennuksen ulkovaipalle, niin valitsemalla paremmin eristävät ikkunat voidaan kyseinen vaatimus täyttää. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 9) on esitetty suuntaa antavia ilmaääneneristyslukuja erilaisille ikkunarakenteille, jotta saavutettaisiin kokonaiskuva ikkunoiden ääneneristävyydestä. Taulukossa tulee lisäksi huomioida se, ettei parhaimman ääneneristävyyden omaavalla rakenteella kuitenkaan ole parasta lämmöneristävyyttä.

Taulukko 9. Ikkunoiden ohjeellisia ilmaääneneristyslukuja (Lahtela 2004, 54).

Rakenne	Ilmavälit [mm]	Lasilevy [mm]	$R_w + C_{tr}$ [dB]
Kolmipuitteinen ikkuna MSK	35 + 55	3 + 3 + 3	29
		5 + 5 + 5	33
Kolmipuitteinen ikkuna MSKL	35 + 105	3 + 3 + 3	31
		5 + 5 + 5	35
Kaksipuitteinen ikkuna MSE	12 + 70	3 + 3 + 3	31
		5 + 5 + 5	35
Kaksipuitteinen ikkuna MSEL	12 + 130	3 + 3 + 3	34
		5 + 5 + 5	38
Kaksipuitteinen ikkuna MS	85	3 + 3	31
		5 + 5	35
Kaksipuitteinen ikkuna MSL	145	3 + 3	36
		5 + 5	40

3.6.2 Vanhojen ikkunoiden ääneneristäminen

Vanhojen ikkunoiden ääneneristystä lähdetään parantamaan tavallisesti silloin, kun ne ovat suhteellisen hyväkuntoiset ja niistä ei malteta luopua. RIL 174-4:n

(1988, 302) mukaan ääneneristykseen kannalta vanhojen ikkunoiden ongelmana voi olla huono ilmatiiviys, ohuet lasit ja lasien pienet etäisyydet. Mikäli vanhan ikkunan puuaines on hyvässä kunnossa, on ääneneristykseen saavuttamiseen hyvät lähtökohdat. Käytännössä ääneneristykseen parantaminen tapahtuu siten, että ikkuna tiivistetään huolellisesti tarkoituksen mukaisilla tiivisteillä sekä lasien rakennetta muokataan.

Vanhoissa kaksikertaisissa ikkunoissa lisätään yleensä kolmas lasi tai vaihtoehtoisesti sisäpuolinen lasi korvataan lämpölaselementillä, jonka tarkoituksena on parantaa ikkunan lämmöneristävyyttä. Ikkunaa tiivistettäessä tulee lisäksi muistaa, että uloimmassa ikkunassa on tarkoituksella pieniä ilma-aukkoja, jotka parantavat väliosan tuulettuvuutta ja tällöin ikkunan huurtumistaipumus vähenee eli niitä ei saa tukkia. Sisemmän ikkunan/lämpölaselementin puolestaan tulee olla mahdollisimman hyvin tiivistetty, ettei lämmin sisäilma vuoda lasien väliin. (RT 41-10726 2000, 11.)

Ikkunoiden ääneneristykseen vaikuttavat monet asiat, joista lasien osuus on keskeinen. Lasien paksuuden lisääminen parantaa ääneneristävyyttä matalilla taajuuksilla, esimerkiksi kaksinkertaisella paksuudella ääneneristävyys paranee noin 6 dB. Kuitenkin liian paksujen lasien käyttö aiheuttaa puolestaan koinsidenssin rajataajuuden laskemisen liian alas, jolloin ääneneristys heikentyy korkeammilla taajuuksilla. Mikäli käytetään yli 4 mm paksuisia lasia, tulee koinsidenssi ottaa huomioon. Laminoimalla kaksi 4 mm lasia yhteen, saavutetaan parempi ääneneristävyys kuin 8 mm yksinkertaisella lasilla, koska koinsidenssin taajuus pysyy tällöin ylempänä. Silloin, kun ikkunan kaikki lasit ovat yhtä paksuja, rakenteeseen syntyy perusresonanssi-ilmiö, jossa lasit värähtelevät samalla taajuudella huonontaan ääneneristävyyttä. Tätä ilmiötä voidaan välttää käyttämällä eripaksuisia lasia, jolloin ääneneristys paranee. Lisäksi lasien etäisyys toisiinsa parantaa ääneneristävyyttä. Mitä suurempi on etäisyys, sitä parempi on ääneneristävyys. Hyvää ääneneristävyyttä haettaessa kannattaa suosia syvää karmia. (Pilkington 2012, 3.)

RIL 243-1-2007:n (2007, 99) mukaan yleisiä lasityyppejä esimerkiksi, 1980-luvulla olivat kolmilasiset erillispuitteiset ikkunat, joilla on haettu aikoinaan parempaa lämmön eristävyyttä. Tällaisen ikkunan ääneneristykseen parantamiselle vaihtoeht-

tona on esimerkiksi ulomman lasin vaihtaminen paksumpaan lasiin ja jolloin parannetaan ääneneristävyyttä matalilla äänentaajuuksilla, mitä liikennemelu pääasiassa aiheuttaa.

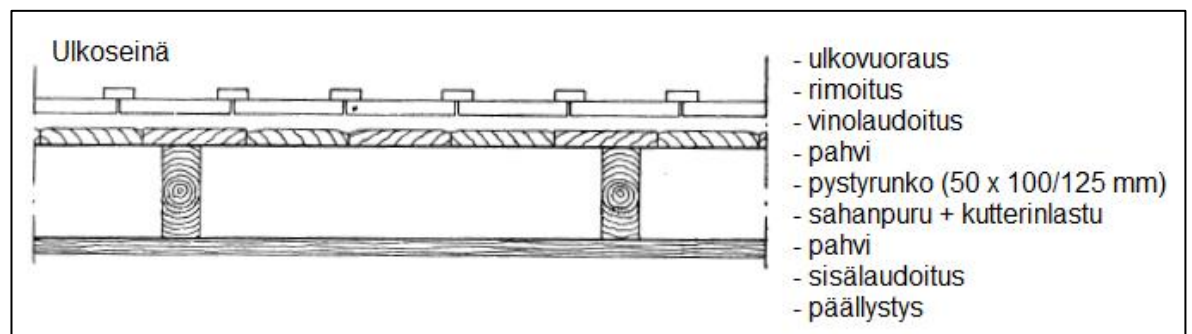
Vanhojen ikkunoiden korjaamisessa huomio kannattaa kiinnittää myös ikkunakarmin ja seinän asennusvälin uudelleen tiivistämiseen, koska sillä voi olla merkittävä vaikutus ääneneristystyön onnistumiseen. Ikkunakarmien tiivistykseen pätevät samat periaatteet, kuin ovikarmien ääntä eristävään tiivistykseen (ks. 3.5.1).

Vanhojen rakennusten ikkunoiden kautta on voitu ottaa korvausilma huoneeseen, jolloin se muodostuu ongelmaksi hyvälle ääneneristykselle. Etenkin jos ikkuna on varustettu tuuletusluukulla, ratkaisuna voisi olla ääntä vaimentavan tuuletusluukkuventtiilin käyttäminen. Esimerkiksi, käyttämällä Din Air Oy:n valmistamaa Air-in TL tuuletusluukkuventtiiliä, voidaan saavuttaa jopa 45 dB ilmaääneneristävyys ($R_w + C_{tr}$). Tuotteen asennus toteutetaan pinta-asennuksena halkaisijaltaan 100 mm putkitettuun läpivienttiin, jolloin sen käyttö soveltuu hyvin myös vanhojen tuuletusluukkujen ääneneristykseen. (Din Air Oy, [viitattu 18.3.2014].)

3.7 Ulkoseinät

Pientalon peruskorjauksen yhteydessä parannetaan usein myös ulkoseinän lämmöneristävyyttä, jotta rakennuksen lämmityskustannuksia saataisiin pienennettyä. RIL 129-2003:n (2003, 285) julkaisemasta aineistosta voidaan havaita, että lisälämmöneristäminen parantaa ääneneristystä, koska ulkoseinärakenteen absorptiomateriaalin määrä ja seinävahvuus kasvaa. Ulkoseinän ääneneristävyyteen vaikuttaa etenkin rakenteen paino, koska ääneneristävyys paranee massan kasvaessa. Esimerkiksi raskaiden kivrakenteisten ulkoseinien ääneneristävyys on hyvä, jolloin ääneneristyksen kannalta ratkaisevaksi tulevat ikkunat. Kevyissä puurakenteisissa ulkoseinissä, joissa on ohut seinävahvuus ja heikko ilmatiiviys, ei voida hyvilläkään ikkunoilla parantaa riittävästi jo huonoa ulkoseinän ääneneristävyyttä. Nykyaikaisissa puurakennuksissa tämä ei kuitenkaan tavallisesti tule ongelmaksi, koska seinävahvuudet ovat kasvaneet ja rakennusten ilmatiiviyteen on kiinnitetty aiempaa enemmän huomiota. Ääneneristys on usein ulkoseinän osalta riittävä, kun määritetään rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyttä.

Tällaisia kevyitä puurunkoisia rakennuksia, joissa ulkoseinän ääneneristys on huono, voivat olla esimerkiksi vanhat rintamamiestalon. 1950-luvun rintamamiestaloissa suosittiin etenkin ohutta runkoratkaisua, jossa käytettiin yleisesti niin sanottua kakkosnelos-runkoa eli 50 x 100 mm runkoa, mutta paremman lämmöneristävyyden saavuttamiseksi voitiin jo siihen aikaan käyttää myös 50 x 125 mm runkoa. Tavallisesti ulkoseinän lämmöneristeenä käytettiin sahanpurusta ja kutterinlastusta muodostuvaa täyterkerrosta, joka pyrittiin tiivistämään huolellisesti. Täyterkerroksen paikallaan pysyvyys varmistettiin pääasiassa kakkosnelos-rungon molemmilla puolilla umpilaudoituksella, joka rakennuksen ulkopuolella tehtiin tavallisesti vino- laudoituksena rungon jäykistyksen vuoksi. Umpilaudoituksen tiiviiden parantamiseen käytettiin usein niin sanottua selluloosapahvia, jolla varmistettiin purueristeiden pysyminen seinärakenteen sisällä. Rintamamiestalojen ulkovuorilaudoitukset kiinnitettiin tavallisesti suoraan vinolaudoitukseen kiinni tai vaihtoehtoisesti käytettiin naulausrimaa, joka asennettiin usein poikittain alkuperäiseen vinolaudoitukseen nähden. (RT 822,31 1946, 1.) Asian havainnollistamiseksi, vanhan rintamamiestalon yleisesti käytetty seinärakenne on esitetty seuraavassa kuviossa (Kuvio 10).



Kuvio 10. Vanhan rintamamiestalon ulkoseinärakenne (RT 822.31 1946, 1).

Tarkastellaan rintamamiestalon ulkoseinän ääneneristyksen parannusratkaisuja edellisen kuvion (Kuvio 10) mukaiselle rakenteelle. Ääneneristyksen kannalta kyseisen ulkoseinän ongelmakohtiin kuuluu esimerkiksi rakenteen keveys, ohut seinävahvuus sekä huono ilmatiiviys. Vanhalla sahanpurueristeellä on myös taipumus painua kasaan ajan myötä ja tällöin voi muodostua seinän yläosaan tai ikkunan alapuolelle tyhjä ilmatila, joka puolestaan heikentää ulkoseinän ääneneristävyyttä.

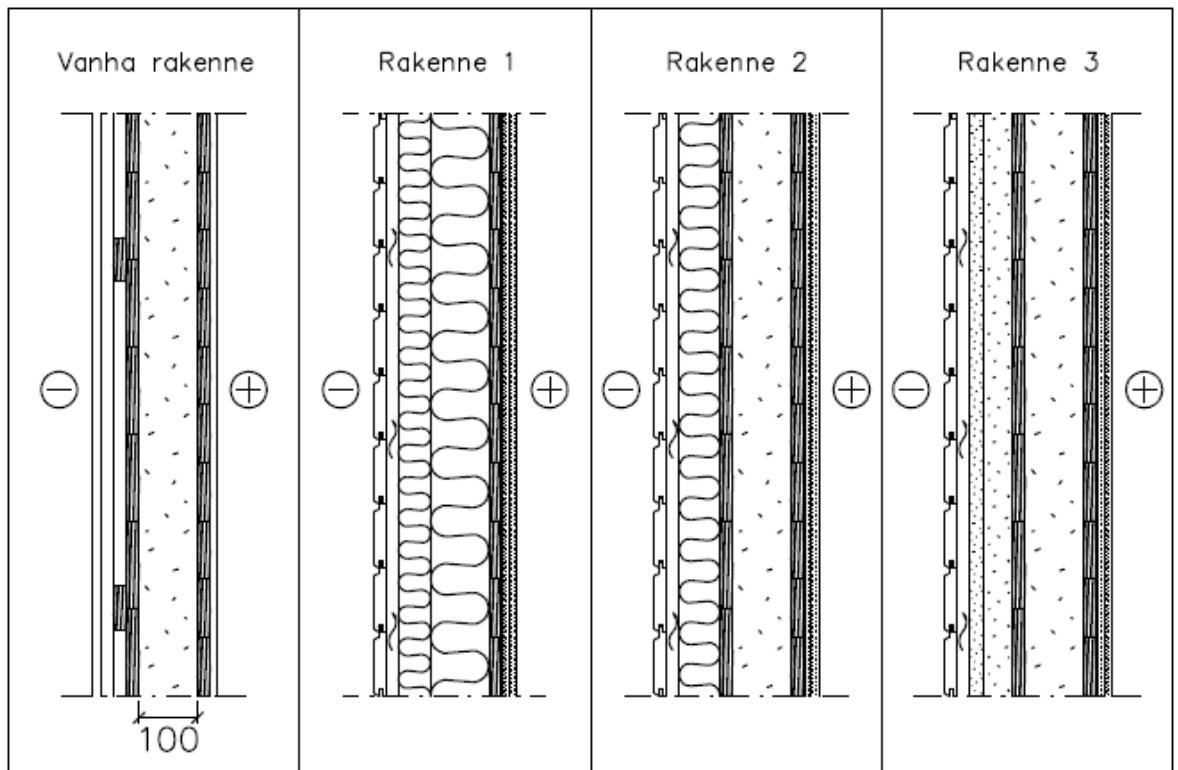
Ennen korjattavan rakenteen suunnittelua, kannattaa selvittää ulkoseinärakenteen ääneneristysten vaatimukset. Mikäli rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyydelle ei ole asetettu kaavamääräystä, voidaan käyttää valtioneuvoston ohjearvoa, eli ulkovaipan eristävyys tulisi olla tällöin vähintään 20 dB tai suositusarvona 25 dB, joka on yleisemmin käytetty. (RIL 129-2003 2003, 154.) Koska rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyys muodostuu useasta eri rakenneosasta, pyritään optimoimaan eri osien ääneneristävyydet yhteensopiviksi. Esimerkiksi ikkunat ja ilmanvaihtoventtiilit ovat tavallisesti heikoimmin ääntä eristäviä osia rakennuksen ulkovaipassa. Niiden ääneneristysten parantaminen on hankalaa ja usein helpommin voidaan parantaa ulkoseinän osuutta. (Halme & Seppänen 2002, 103.)

Suuntaa-antavat mitoitusarvot on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 10), josta voidaan havaita, että rakennuksen ulkoseinän olisi eristettävä ääntä noin 15 dB paremmin, kuin mitä rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyydeltä vaaditaan. Tällöin ulkoseinän vähimmäisarvo ääneneristävyydelle olisi 35 dB ja suositusarvo 40 dB. Taulukko soveltuu käytettäväksi puu-ulkoseinissä silloin, kun vaatimustaso on normaali. Kaavoitusmääräyksen nostaessa vaatimustason korkealle, puu-ulkoseinällä ei voida tavallisesti saavuttaa riittävää ääneneristävyyttä. Sen sijaan tulisi parantaa muiden rakenneosien ääneneristävyyttä suhteessa enemmän.

Taulukko 10. Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden optimointi (Halme & Seppänen 2002, 103).

Rakenneosa	Vaatimustaso (suuntaa-antava)
Ikkuna	Ääneneristävyys on vähintään 3 dB vaatimusta parempi, (+3 dB avattavuuden vaikutus)
Ulkoseinä	Ääneneristävyys on noin 15 dB vaatimusta parempi
Yläpohja	Ääneneristävyys on 20...25 dB vaatimusta parempi
Korvausilmaventtiili	Ääneneristävyys on 7...10 dB vaatimusta parempi

Nykyään eristevalmistajilla on rintamamiestalojen lämmöneristämisen parantamiseen valmiita rakennekuvia, joita kannattaa hyödyntää. Ääneneristysten kannalta tärkeää on kasvattaa seinän absorptiomateriaalin määrää, sekä ilmatiiviyttä. Seuraavassa kuviossa (Kuvio 11) on esitetty ulkoseinän ääneneristysten parannusratkaisuja, jotka soveltuvat rintamamiestaloihin.



Kuvio 11. Rintamamiestalon ulkoseinän ääneneristysten parannusehdotus

Rakenteessa yksi (Kuvio 11) on haettu lämmöneristysten kannalta tehokkaampaa ratkaisua ja tällöin vanha sahanpurueriste korvataan mineraalivillalla, jonka päälle asennetaan tuulensuojaeristysvilla. (Paroc 2014b, [Viitattu 20.3.2014].) Alkuperäinen vinolaudoitus poistetaan ja samalla voidaan valuttaa vanha sahanpurueriste hallitusti pois, jolloin se on helppo kerätä talteen. Kun runko on ulkopuoliselta osuudeltaan auki, kannattaa tarkastaa rungon puuosien kunto ja mahdollisten vahvistusten tarve. Runkorakenteen päälle asennetaan tuulensuojaeristevilla, joka ei vaadi erillistä koolausta. Näin vähennetään rakenteen kylmäsiltoja sekä muodostetaan ääneneristysten kannalta yhtenäinen vaimennuskerros. Ulkoseinärakenteen sisäpuolelle asennetaan höyryn- tai ilmansulku, jonka päälle tulee kaksinkertainen kipsilevytys. Ruuvaamalla kiinnitetty kaksinkertainen kipsilevytys parantaa ääneneristävyttä noin 4 dB, verrattuna yksikertaiseen levytykseen tämän tyyppisessä ulkoseinärakenteessa (RIL 129-2003 2003, 285).

Rakenteessa kaksi (Kuvio 11) on säilytetty alkuperäinen purueristys ja ulkopuolelle asennetaan lisäeristys. Ulkopuolinen lisäeristys on suositeltavaa, koska alkuperäinen rakenne jää lämpoisemmälle puolelle ja sen suhteellinen kosteus laskee. Alkuperäinen ulkovuorilaudoitus puretaan vinolaudoitukseen asti ja sen päälle voi-

daan asentaa esimerkiksi Paroc Renova, jolloin lisäeristysmateriaalin paksuus voidaan valita 70, 100 tai 125 mm väliltä. Tässä tuotteessa on myös tuulensuojakangas, jolloin erillistä levytystä ei ole tarpeen käyttää. (Paroc 2014, [Viitattu 20.3.2014].) Lisäeristysmateriaalin paksuuden valintaan vaikuttaa lämmöneristystarpeen lisäksi myös rakennuksen räystäiden pituus, joka voi olla rajoittavana tekijänä paksumman lisäeristeen valintaan. Mikäli rakennuksen peruskorjauksen yhteydessä tehdään myös kattoremontti, räystäiden pituuksia voidaan samalla jatkaa ja on mahdollista käyttää hieman paksumpaa lisäeristyslevyä räystäspituudesta tinkimättä. Vanhoja rintamiestalojen ulkovuoraukseen käytetään monesti ulkovuoripaneelia ja usein tehdään niin sanottu pysty-vaaka-pysty-paneelaus, jolloin tulee ottaa huomioon, että tuulettuva rakenne vaatii ristikoolauksen. Naulauspuuksi valitaan tavallisesti 32 x 100 mm puutavara, joka omaa riittävän tukevan kiinnitysalustan. Näin seinärakenteen vahvuus kasvaa, mikä huomioidaan räystäiden pituuksia suunniteltaessa. Riippuen rakennuksen ulkoseinän suorudesta, vanhoissa rakennuksissa voi olla tarvetta seinän oikaisulle. Oikaisukiilaus voidaan tehdä tuulettuvälän varmistavan laudan ja naulauspuun väliin. Ulkoseinärakenteen sisäpuolinen osuus tehdään kuten rakenteessa yksi (Kuvio 11).

Rakenteessa kolme (Kuvio 11) on haettu hengittävää rakenneratkaisua. Ulkoseinä puretaan vinolaudoitukseen asti sekä asennetaan koolauspuut k/k 600 mm ja samalla oikaistaan seinärakenne. Lisäeristeenä käytetään ruiskutettavaa puukuitueristettä, jonka päälle asennetaan esimerkiksi 25 mm:n Runkoleijona-tuulensuojalevy. Ruiskutettavalla puukuitueristeellä täytetään vanhan seinärakenteen vinolaudoituksen välit ja paksuserot, jolloin puukuitueriste muodostaa yhtenäisen kerroksen. Puukuitutuotteiden käyttö perustuu rakenneosien hengittävyyteen sekä kykyyn varata ja luovuttaa kosteutta, jolloin ulkoseinän sisäpuolella käytetään ilmansulkupaperia. Lisäksi tulee varmistaa, ettei vanhaan ulkoseinään jää kosteusteknisesti tiiviitä pintoja. (Ekovilla Oy, [Viitattu 21.3.2014].) Koska sahanpurkerros voi olla painunut, kannattaa seinän yläosasta ja ikkunoiden alapuolelta lisätä tarvittaessa puukuitueristettä, jotta rakenne olisi mahdollisimman hyvin lämpöä ja ääntä eristävä.

Näiden edellä mainittujen ulkoseinärakenteiden (Kuvio 11) ääneneristävyydelle ei ole olemassa laskennallista ääneneristysarvoa, koska ulkoseinien ääneneristä-

vyyksistä on olemassa hyvin rajallisesti tietoa. RIL 129-2003:n (2003, 283-285) julkaisemasta aineistosta voidaan kuitenkin verrata kyseisiä ulkoseinärakenteita tunnettuihin taulukkoarvoihin. Niistä voidaan havaita rakenneosien ja niiden paksuuksien perusteella, että ulkoseinärakenteilla (Kuvio 11) olisi saavutettavissa noin 35 - 40 dB ääneneristävyys ($R_w + C_{tr}$) ja tällöin se on riittävä tavoitearvoon verrattuna.

3.8 Yläpohja

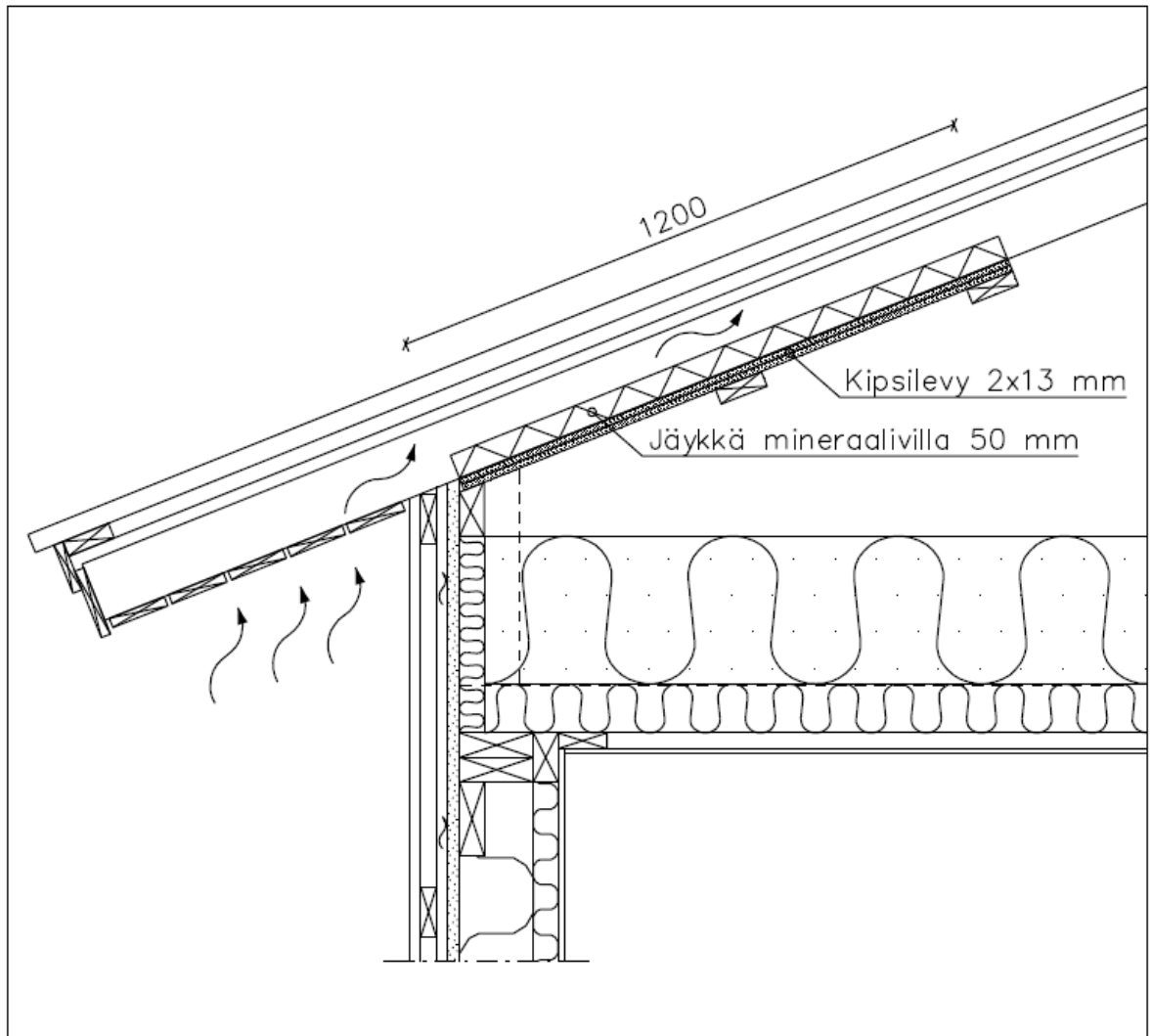
Yläpohjarakenteiden ääneneristykseen parantaminen tulee kyseeseen lähinnä alueilla, jossa on voimakas lentomelu, sillä normaali liikennemelu kohdistuu pääasiassa pystysuuntaisiin rakenteisiin, esimerkiksi ulkoseiniin ja ikkunoihin. Lentomelun häiritsevyyttä korostetaan etenkin yöaikaan, jolloin se otetaan huomioon mitoituksessa lisäämällä ilta-ajalle 5 dB:n ja yöajalle 10 dB:n lisävaatimus yläpohjan äänen eristävyydelle. Yöajan mitoituksessa vähimmäisarvoksi tulee 20 dB:n sijaan 30 dB ja suositusarvoksi 35 dB, mikäli kaavamääräyksessä ei ole erikseen tätä määritetty. (RIL 129-2003 2003, 154-156.) Kun tarkastellaan edellä olevan taulukon (Taulukko 10) ääneneristykseen optimoinnin yläpohjan osuutta, voidaan havaita, että suositus yläpohjan ääneneristävyydelle olisi 20 - 25 dB korkeampi kuin rakennuksen ulkovaipan vaatimustaso, eli yläpohjarakenteelta vaaditaan tällöin vähintään 50 dB:n ääneneristävyys.

Lentomelun aiheuttajia on kahta tyyppiä, potkurikoneet ja suihkukoneet. Niiden vaikutus yläpohjan ääneneristykseen suunnitteluun tulee käytettävän ääneneristysarvon kautta. Esimerkiksi potkurikoneen melun äänentaajuus vastaa paremmin hidasta tieliikennettä, jolloin ääneneristykselle suositellaan käytettävän $R_w + C_{tr}$ -arvoa. Suihkukoneen äänentaajuus puolestaan on huomattavasti korkeampi, jolloin on tarkoituksenmukaisempaa käyttää ääneneristävyydelle $R_w + C$ -arvoa. Mikäli konekanta on vaihteleva, niin kannattaa suosia $R_w + C_{tr}$ -arvon käyttöä, sillä usein sen arvot ovat varmemmalla puolella. (RIL 129-2003 2003, 157.)

Yläpohjan ääneneristävyys voidaan saada hyväksi kevyilläkin puurakenteilla, etenkin, jos yläpohjassa on suurehko ilmatila, esimerkiksi ullakotila. Näin yläpohja toimii niin sanotusti kaksinkertaisena rakenteena, ja omien runkojensa varassa

oleva vesikate, sekä alakatto muodostavat erilliset levymäiset pinnat ja niiden välissä oleva ilmatila toimii ilmajousen tavoin. Lisäksi näiden pintojen massoilla on vaikutusta ääneneristävyyteen. (Lahtela 2004, 53.)

Lentomelun kuulumiseen vaikuttavat varsinkin räystäään tuuletusreitit, sillä ääni kulkeutuu räystäään ilmaraoista yläpohjan sisälle ja alakattorakenteen ollessa kevyt ääneneristys heikentyy etenkin ulkoseinustan läheisyydessä. (RIL 129-2003 2003, 286.) Ääneneristystä voi parantaa ratkaisevasti tekemällä tuuletusrakoon niin sanotun äänenvaimentimen, joka toimii tuulenojauslevyn tavoin, mutta vaimentaa ääntä tehokkaasti. (RIL 243-1-2007 2007, 143.) Tuuletusraon äänenvaimentimen toimintaperiaate on esitetty seuraavassa kuviossa (Kuvio 12) ja lisäksi tulee muistaa, että ilmaraon on oltava vähintään 50 mm tuulettuvuuden varmistamiseksi.



Kuvio 12. Tuuletusraon äänenvaimennin (Lahtela 2004, 93).

RIL 129-2003:n (2003, 286) julkaisemasta aineistosta voidaan havaita, että käyttämällä äänenvaimennettua tuulenohjainta, voidaan lisäeristyskerroksella saavuttaa helposti 49 - 52 dB:n ääneneristävyys ($R_w + C_{tr}$), riippuen siitä onko sisäkatossa yksin- vai kaksinkertainen levytys. Tällöin vaatimukseen riittää vapaan ilmatilan lisäksi, noin 300 mm mineraalivillaeristys, joka voi olla myös puhallusvillaa.

Peruskorjauskohteen ollessa vanha käyttöullakollinen huoneisto, riittävän ääneneristyksen saavuttaminen voi olla haastavaa. Silloin vapaa ilmatila ei ole läheskään niin suuri, vaan se rajoittuu lähinnä tuuletusraon suuruiseksi. Tällaisia talotyyppejä ovat muun muassa vanhat rintamamiestalot, joissa on huonetilaa ullakolla. Rintamamiestaloissa ullakkorakenteet ovat hieman erilaisia rakennusaikaudesta riippuen. Esimerkiksi, RT 983.712:n (1949, 1) mukaan osassa näistä suosittiin yksinkertaisia kattokannattajia, jotka oli tuettu ulkoseiniin sekä kantaville väliseinälinjoille. Tällöin väliseinä erotti ullakon asuintilat kylmistä sivu-ullakoista, joita käytettiin pääasiassa säilytystiloina.

Mikäli yläpohjalla yritetään ullakotiloissa saavuttaa 50 dB:n ääneneristävyys ($R_w + C_{tr}$), tulee rakenteen olla seuraavanlainen. Valitaan vesikatteeksi tiilikate ruodelaudoituksineen, jonka alle puolestaan tulevat tuuletusrimat ja aluskate. Sen alapuolinen kerros muodostuu 100 mm:n tuuletusvälistä, joka tulee olla vähintään 50 mm yläpohjarakenteissa. Seuraavina kerroksina tulevat tuulensuojamineraalivilla-levy 50 mm ja varsinainen mineraalivillaeristys, jonka paksuutena käytetään 250 mm. Sen alle tulee vielä tiivis höyrynsulku ja puukoolaus 50 mm. Sisäkatossa pitää olla kaksinkertainen kipsilevytys, jotta päästään 50 dB ääneneristävyteen ($R_w + C_{tr}$). (RIL 129-2003 2003, 286.) Näin massiivinen rakenne tulee kuitenkin harvoin kyseeseen rintamamiestaloissa, koska huonekorkeus madaltuu liiallisesti.

Mikäli tavoitteena on suhteellisen hyvä ääneneristävyys, kannattaa muistaa, että ääneneristävyteen vaikuttavia asioita ovat massa, absorptiomateriaalin määrä, ilmatiiviys ja ilmajousen eli ilmatilan korkeus. RIL 129-2003:n (2003, 285-287) julkaisemasta aineistosta ilmenevät nämä keskeisimmät periaatteet, joilla saavutetaan yläpohjarakenteissa parempi ääneneristävyys. Esimerkiksi, tiilikate tuo painonsa puolesta parempaa ääneneristävyttä ja vesisadekaan ei kuulu häiritsevästi

sisälle. Huopakatteen käyttö on myös vaihtoehtona, jos on tarve vaimentaa sateen aiheuttamaa ropinaa. Lentomelun kannalta se ei ole yhtä tehokas alhaisemman massansa johdosta, mutta se on kuitenkin normaalia peltikatetta parempi vaihtoehto. Ääneneristykseen kannalta hyviä materiaaleja ovat mineraalivillat, koska niiden äänen absorptiokyky on korkea ja ne vaimentavat ääntä tehokkaammin. Lisäksi vesikatteen ja alakattoverhouksen väliä kannattaa kasvattaa, koska suurempi ilmajousi parantaa ääneneristystä tehokkaasti yläpohjarakenteissa. Tärkeänä seikkana niin rakenteen ääneneristävyyden, kuin rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta on hyvä ilmatiiviys eristekerroksen alapuolella. Kaksinkertaisen levytyksen käyttäminen yläpohjarakenteissa puolestaan kasvattaa ääneneristävyyttä keskimäärin 3 dB yksinkertaiseen levytykseen verrattuna. Lisäksi levyjen huolellinen tiivistäminen on suositeltavaa jatkossaumojen lisäksi, myös levyjen reunasaumojen osalta.

Eristevalmistajilla on olemassa rintamamiestalojen lisälämmöneristämiseen valmiita ratkaisuja, joista kannattaa valita ääneneristykseen kannalta sopivin edellä mainittujen periaatteiden pohjalta. Yläpohjarakenteiden ääneneristävyydelle on heikosti saatavilla taulukkoarvoja, jotka sopisivat kyseiseen tapaukseen. Usein yläpohjarakenteissa merkitsevänä asiana on lähinnä lämmöneristävyys ja ääneneristävyys on toisarvoinen asia.

4 LVIS-LAITTEIDEN ÄÄNENERISTYS

4.1 Yleistä

Asuinrakennuksen peruskorjauksen yhteydessä vanhoja LVIS-järjestelmiä tavallisesti uusitaan tai niiden toimintaa parannellaan. Esimerkiksi, vanhan asuinrakennuksen painovoimaista ilmanvaihtoa tehostetaan koneellisella poistolla tai vaihtoehtoisesti asennetaan koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, koska nykyaikana kiinnitetään yhä enemmän huomiota terveelliseen ja puhtaaseen sisäilmaan. Rakennuksen lämmitysjärjestelmän uusiminen on myös tavanomainen ratkaisu peruskorjauskohteessa, sillä vanhat järjestelmät kuluttavat suhteellisen paljon energiaa ja niitä halutaan usein päivittää vaivattomampiin ja energiatehokkaisiin ratkaisuihin. Vanhan sähkö- tai öljylämmityksen korvaaminen vaivattomalla maalämmöllä voi olla monen pientalouden ratkaisuna. Vanhemmissa peruskorjattavissa asuinrakennuksissa voi olla myös tarve sähkölaitteiden ja -johtojen uusimiselle, esimerkiksi alkuperäiset pinnassa menevät sähköjohdot uusitaan ulkonäöllisten asioiden vuoksi rakenteiden sisälle. LVIS-järjestelmien äänitekniikalla on vaikutusta huoneistojen ja huoneiden välisten tilojen ääneneristävyyteen, koska ne voivat aiheuttaa äänen sivutiesiirtymän. Toinen huomioon otettava asia on LVIS-laitteiden aiheuttamien häiritsevien äänien vaimentaminen. Se pyritään ottamaan huomioon jo järjestelmien suunnitteluvaiheessa, koska järjestelmästä riippuen niiden äänitekniinen korjaaminen jälkeinpäin voi olla haastavaa tai se voi osoittautua kalliiksi.

LVIS-laitteiden aiheuttamalle äänitasoille asetetaan Suomen RakMK C1:n (1998, 2-5) mukaan eräitä määräyksiä ja niitä kuvataan kahdella eri merkinnällä. Tällöin merkinnällä $L_{A,eq,T}$ tarkoitetaan laitteen käytöstä aiheutuvaa keskiäänitasa sinä aikana kun laite on käytössä. Ja merkintä $L_{A,max}$ puolestaan tarkoittaa laitteen käytön aikana esiintyvää suurinta äänitasa. Äänitasojen suuruudelle on asetettu tilakohtaiset vaatimukset, joilla otetaan huomioon paremmin LVIS-laitteiden aiheuttamaa melua. Keskiäänitason ($L_{A,eq,T}$) tulee olla keittiössä alle 33 dB ja muissa asuinhuoneissa alle 28 dB. Vastaavasti enimmäisäänitason ($L_{A,max}$) tulee olla keittiössä alle 38 dB ja muissa asuinhuoneissa alle 33 dB. Käytännössä ensin mainittu

keskiäänitaso kohdistuu pääasiassa jatkuvatoimisiin laitteisiin, esimerkiksi ilmanvaihtokoneisiin ja jälkimmäinen enimmäistasovaatimus kohdistuu puolestaan toiminnaltaan hetkellisesti toimiviin laitteisiin, esimerkiksi viemäri-laitteisiin (Lahtela 2004, 39).

4.2 Ilmanvaihtolaitteet ja putkistot

Peruskorjauskohteen ilmanvaihdon uusiminen on järkevää, mikäli rakennuksessa on ennestään huono ilmanvaihto. Tällöin vaihtoehtona voi olla koneellisen poiston tai koneellisen tulo- ja poistoilmalaitteiston asentaminen paremman ilmanvaihdon saavuttamiseksi. Ilmanvaihdon äänitekniinen suunnittelu tehdään aina tapauskohtaisesti, koska siihen vaikuttavia asioita on monia, esimerkiksi kanaviston pituudet, mutkat, valitun ilmanvaihtokoneen ominaisuudet, ilmanvirtausnopeudet ja pääte-laitteiden äänenvaimennus. Mikäli peruskorjauskohteena on pari- tai rivitalo on suositeltavaa, että jokaiseen huoneistoon tuodaan oma ilmanvaihtokone. Näin vähennetään ilmanvaihtokanavien kautta tapahtuvaa äänen sivutiesiirtymää huoneis-tosta toiseen ja mahdollistetaan samalla parempi huoneistokohtainen säätö.

Pientaloissa ilmanvaihtolaite on kooltaan melko pieni, mutta sen käytöstä aiheutuu silti ilmanvaihtokanavistoihin ääntä ja rakenteisiin värähtelyä, jotka huomioidaan laitteiston asennuksessa. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneen seinäkiinnitys aiheuttaa tavallisesti runkoääntä ja häiritsevää värähtelyä seinärakenteeseen. Laitteen sijoit-tamista vältetään makuu- ja olohuoneiden seiniin. Mikäli ilmanvaihtokoneen sijoi-tuspaikkaan ei voida vaikuttaa, niin kannattaa suosia kattokiinnitystä, jossa on oi-kein mitoitettut tärinäneristimet. Näin vähennetään seinärakenteeseen kohdistuvaa värähtelyä edellyttäen, että ilmanvaihtokoneen ja seinän välissä on ilmaväli. (RIL 243-1-2007 2007, 177.)

Koska ilmanvaihtokoneen puhallin aiheuttaa ilmaääntä, asennetaan kanavistoon tavallisesti äänenvaimentimia ilmanvaihtokoneen läheisyyteen. Äänenvaimennin mitoitetaan siten, että saadaan asuinhuoneen 28 dB keskiäänitasovaatimus täytet-tyä yhdessä muiden laitteiden kanssa. Äänenvaimennin kannattaa kuitenkin valita paremmaksi, sillä esimerkiksi kesäaikaan voi olla tarvetta tehostetulle ilmanvaih-dolle ja äänenpainetaso saattaa nousta jopa 10 dB koneen mallista ja tehosta riip-

puen. Äänenpainetaso 28 dB vastaa käytännössä hyttysen ininää, joten on suositeltavaa pyrkiä hyvään ilmanvaihdon äänenvaimennukseen. (Talotekniikka.eu, [Viitattu 23.3.2014].)

Äänenvaimentimen lisäksi ilmanvaihdon päätelaitteilla on merkitystä äänenpaine-tason voimakkuuteen. Valitsemalla paremmin ääntä vaimentavat päätelaitteet voi-daan saavuttaa huomattavasti hiljaisempi äänenpainetaso. Päätelaitteilla voidaan vähentää äänen sivutiesiirtymää ja huoneiden ääneneristävyys paranee. Lisäksi kanavan koolla vaikutetaan äänenpainetasoon. Suurempaa kanavakokoa käytet-täessä ilman virtausnopeus voi olla pienempi saman ilmamäärän vaihtamiseksi ja huonetilaan kuuluva ääni pienenee. (Lahtela 2004, 45.) Mikäli peruskorjauskoh-teessa on jo toimiva koneellinen ilmanvaihto, helpoin keino äänitasojen alentami-seen on käyttää edellä mainittuja ääntä vaimentavia ilmanvaihdon päätelaitteita.

4.3 Lämpö- ja vesijohtoverkostot

Lämmityslaitteiden uusiminen on tyypillinen ratkaisu peruskorjauksen yhteydessä ja tällöin lämpöputkiston äänitekniinen toiminta tulee ottaa huomioon. Lämpöputkis-toissa virtaavat vedet voivat aiheuttaa ääniä, jotka saattavat häiritä etenkin ma-kuuhuoneissa. Virtausmelua voidaan vähentää suurentamalla putkikokoa, jolloin veden virtausnopeus pienenee ja häiritsevät äänet vähenevät. Virtausmelu tulee harvemmin lämminvesiverkostossa kuitenkaan ongelmaksi, koska lämpöputkissa esiintyy äänenjohtumista putkistoa pitkin eli ääni pyrkii siirtymään huoneesta toi-seen patteriputkistoa pitkin. Tällöin eri huoneissa olevat lämpöpatterit toimivat lä-hettimen ja kaiuttimen tavoin, aiheuttaen voimakkaan äänensiirtymisreitit, etenkin jos lämpöjohtoverkostona käytetään metallisia putkia. (Lahtela 2004, 43.)

Tilannetta voi Lahtelan (2004, 43) mukaan parantaa käyttämällä suojaputkillä va-rustettua muoviputkea, jossa äänen johtuminen huoneesta toiseen saadaan pa-remmin estettyä. Suojaputkellinen muoviputki johtaa ääntä huomattavasti hei-kommin kuin metalliputki. Mikäli kyseessä on vanha metalliputkinen patteriverkos-to, jonka äänenjohtumista on tarvetta vähentää ilman putkistojen vaihtamista, voi-daan käyttää ääntä eristäviä patteriventtiilejä lämpöpattereissa sekä huolellista putkien läpivientien tiivistämistä huonetilasta toiseen, esimerkiksi joustavalla kitta-

uksella. Metalliputkistoista ääni voi myös johtua kannakkeiden välityksellä rakenteisiin, jolloin voi syntyä haitallisia runkoääniä. Äänen johtumisen estämiseksi kannakointi pyritään tekemään joustavana esimerkiksi kumieristeillä varustetuilla putkikannakkeilla, jolloin estetään myös galvaanista korroosiota metalliputkistoissa.

Käyttövesiverkoston äänet syntyvät pääasiassa virtausäänistä ja paineiskuista, joita voidaan vähentää suurentamalla putkikokoja sekä käyttämällä paineentasausventtiilejä ja joustavia kiinnikkeitä. Lisäksi valitsemalla ääniluokan 1 vesihanat, voidaan vähentää melun syntymistä. Putkimateriaalilla ei ole juurikaan merkitystä putkessa syntyvän äänenvoimakkuuteen, mutta äänenjohtumiseen eli sivutiisiirtymien estämiseen sillä puolestaan on huomattava merkitys. (Lahtela 2004, 42.)

4.4 Viemäröinti

Äänitekniikan kannalta viemärien meluongelmat tulevat esiin pääasiassa kaksi- tai useampikerroksisissa asuinrakennuksissa. RIL 129-2003:n (2003, 236) mukaan viemäriputkien suurin meluhaitta syntyy usein pystykokoojaviemäriin alaosan pohjakulmassa, johon putkistossa kulkeutuva aine iskeytyy aiheuttaen voimakkaan iskuäänen. Pohjakulman iskuäänen vaimentamiseksi se kannattaa tehdä mahdollisimman loivaksi, jolloin isku ei kohdistu niin terävänä ja samalla varmistetaan viemäriin toimivuus. Kun halutaan tehokasta äänenvaimennusta, pohjakulmaan tehdään betoninen äänenvaimennin eli sen ympärille valetaan raskas betoninen kerros, joka vaimentaa iskun aiheuttamaa värähtelyä. Vaihtoehtoisesti pohjakulmana voidaan käyttää muoviputken sijaan valurautaputkea, koska raskas valurautaputki on ääniteknisesti muoviviemäriä parempi.

Samantapainen iskuääni voi aiheutua, mikäli pystykokoojaviemäriin tehdään sivutiisiirto, esimerkiksi muiden rakenteiden vuoksi. Tällöin ratkaisuna voisi olla viemäriputken eristäminen mineraalivillalla tai kotelointi paremmin ääntä eristäväksi. Muovisen viemäriputken eristäminen vaimentaa putkistosta syntyvää ääntä, sitä paremmin mitä painavampaa eriste on. Esimerkiksi mineraalivilloista kivivillalla on suuri tiheys ja hyvä absorptiokyky, jolloin sen tuoma äänenvaimennus on tehokain viemäriputkistojen eristämiseen. Koteloinnilla puolestaan pyritään usein peit-

tämään putkistot jo ulkonäöllisten seikkojenkin vuoksi ja samalla haetaan parempaa äänenvaimennusta. Kaksinkertaisesta kipsi- tai lastulevykerroksesta tehty pintaverhous muodostaa tavallisesti kotelon pintarakenteen, jonka taakse on sijoitettu 50 mm mineraalivilla. Lisäksi kotelon huolellinen tiivistäminen joustavalla tiivistysmassalla on tärkeää, jotta rakenne olisi mahdollisimman hyvin ääntä eristävä. Mikäli viemäriputki sijaitsee asuintilojen yhteydessä, saavutetaan äänen enimmäistasovaatimus 33 dB pääasiassa käyttämällä viemäriputken eristämisen ja eristetyn kotelon yhdistelmää. (Lahtela 2004, 41.)

4.5 Sähkölaitteet

Peruskorjattavassa rakennuksessa pääasiassa uusitaan tai vaihtoehtoisesti lisätään sähkölaitteita ja johdotuksia. Sähkölaitteiden vaikutus voi olla kaksiosainen. Joko ne rakenteisiin sijoitettuna heikentävät ääneneristävyttä tai sitten ne aiheuttavat itsessään ääntä. Sähköjohtojen ja rasioiden sijoittamista ääntä eristäviin seinärakenteisiin pyritään välttämään, koska ne heikentävät ääneneristävyttä aina jossain määrin. Yleinen periaate ääneneristyksen kannalta on, ettei sähkörasioita tulisi koskaan sijoittaa kohdakkain seinärakenteen vastakkaisille puolille, koska niiden väliin voi jäädä tyhjä tila. Mikäli yksittäisiä rasioita sijoitetaan levyrakenteeseen ääntä eristävään seinään, tulee sen tausta vahvistaa esimerkiksi rakennuslevyllä. Ääneneristävyden heikentyminen voi myös tapahtua äänen sivutiesiirtymänä tilojen välillä, esimerkiksi avointa suojaputkea pitkin tai tiivistämättömän läpiviennin kautta. Vaadittaessa hyvää ääneneristävyttä, suojaputket tiivistetään johdotusten jälkeen joustavalla kittauksella sekä mahdolliset tyhjät putket tulpaan. Lisäksi kiinnitetään huomiota läpivientien tiiviuteen, koska hyvä ilmatiiviys on ääntä eristävän rakenteen yksi perusedellytyksistä. (RIL 129-2003 2003, 250.)

5 POHDINTA

Peruskorjattavissa puurakennuksissa ääneneristykseen parantaminen vaatii hyvää suunnittelua ja huolellista toteutusta. Ääntä eristävän rakenteen suunnittelu voi olla erityisen haastavaa peruskorjauskohteissa, koska suunnittelijan täytyy toimia vanhan rakenteen ehdoilla ja pyrkiä silti saavuttamaan kunnollinen lopputulos. Suunnittelijan tulee ottaa huomioon ääneneristävyyden lisäksi rakenteen muut vaatimukset ja ominaisuudet. Ääntä eristävissä rakenteissa huolellinen toteutus korostuu sitä enemmän, mitä parempaa ääneneristävyyttä vaaditaan.

Erityisesti tulee kiinnittää huomiota liittyvien rakenteiden liitoksiin ja niiden huolelliseen tiivistämiseen äänen sivutiesiirtymien vähentämiseksi. Liitoksissa rakenne voi liikkua ajan myötä, jolloin voi muodostua ääneneristystä heikentäviä ilmarakojia. Rakojen tiivistämisessä kannattaa suosia joustavia tiivistämateriaaleja.

Työssä havaittiin, että ääneneristykseen parantaminen johtaa usein pintamateriaalien uusimiseen sekä mahdollisesti vanhan rakenteen osittaiseen purkamiseen. Ääneneristystä kannattaa parantaa etenkin peruskorjausten yhteydessä, kun pintarakenteita uusitaan jo muutenkin. Lisäksi kannattaa muistaa, että saavutetun ääneneristävyyden voi todeta ainoastaan äänitekniisten mittausten avulla, koska tarkasteltavan tilan ääneneristävyys koostuu kaikista niistä rakenneosista, joiden kautta ääni voi siirtyä tilasta toiseen.

LÄHTEET

- Brüel & Kjær. 2001. Environmental Noise. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 02.04.2014]. Saatavana: http://www.bksv.com/~media/Applications/EnvironmentalNoiseAndVibration/EnvironmentalNoiseBooklet_English.ashx
- Dir Air Oy. Ei päiväystä. Air-in TL Tuuletusluukkuventtiilit. [Verkkajulkaisu]. Riihimäki: Dir Air Oy. [Viitattu 18.3.2014]. Saatavana: <http://www.dir-air.fi/fi/ohjeet>
- Dir Air Oy. Ei päiväystä. Air-in® Paso ovivirtaussäleikkö. [Verkkajulkaisu]. Riihimäki: Dir Air Oy. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavana: <http://www.dir-air.fi/fi/ohjeet>
- Ekovilla. Ei päiväystä. Puruseinän ulkopuolinen lisäeristys. [Verkkosivu]. Kuusankoski: Ekovilla Oy. [Viitattu 21.3.2014]. Saatavana: <http://www.ekovilla.com/ohjeet/lisaeristaminen/lisaeristyskohteet/>
- Finlex. 18.6.1999. A:59 Palovaroitin tekniset ominaisuudet ja sijoitus. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Sisäasiainministeriö. [Viitattu 29.1.2014]. Saatavana: www.finlex.fi/data/normit/24717-1999-256-tu-33.pdf
- Halme, A. & Seppänen, O. 2002. Ilmastoinnin äänitekniikka. Helsinki: Suomen LVI-liitto.
- Kipsivalu.fi. Ei päiväystä. Miksi kipsivalu?. [Verkkosivu]. Ruutana: JoKa-Remontit Oy. [Viitattu 12.3.2014]. Saatavana: <http://www.kipsivalu.fi/kayttotarkoitus.html>
- Lahtela, T. 2004. Ääneneristys puutalossa. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Wood Focus Oy. [Viitattu 24.1.2014]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa>
- Paroc. 2014a. Väliseinät. [Verkkosivu]. Helsinki: Paroc Group Oy. [Viitattu 1.3.2014]. Saatavana: <http://www.paroc.fi/ratkaisut-tuotteet/Ratkaisut/Ulko-ja-valiseinat/valiseinat>
- Paroc. 2014b. Tuulettuvat ulkoseinät: puurunkoseinät, korjausrakentaminen. [Verkkosivu]. Helsinki: Paroc Group. [Viitattu 20.3.2014]. Saatavana: <http://www.paroc.fi/ratkaisut-tuotteet/ratkaisut/ulko-ja-valiseinat/-puurunkoseinat--korjausrakentaminen>
- Peltonen, H., Perkkiö, J. & Vierinen, K. 2007. Insinöörin (AMK) Fysiikka Osa 2. Lahti: Lahden Teho- Opetus Oy.

- Pilkington. 2012. Lasifakta 2012 Ääneneristys. [Verkkójulkaisu]. Tampere: Pilkington Automotive Finland Oy. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavana: <http://www.pilkington.com/fi-fi/fi/lasiratkaisuja-kotitalouksille/lasifakta-2012>
- RIL 129. 2003. Ääneneristuksen toteuttaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RIL 174-4. 1988. Korjausrakentaminen IV. Runkorakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RT 38363. 2013. Hunton-tuotteet. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 41-10726. 2000. Puuikkunat, Korjausrakentaminen. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 41-10947. 2009. Puu- ja puualumiini-ikkunat, sekä niiden asennus. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 822.33. 1946. Väliseinä, lauta. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 832.2. 1947. Puupohjat. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 832.32. 1947. Puupohjat, väli. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 84-10617. 1996. Puulattiat. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 983.712. 1949. Omakotirakennus. Helsinki: Rakennustieto.
- Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy/Gyproc. Ei päiväystä. Väliseinien ääneneristuksen parantaminen. [Verkkosivu]. Kirkkonummi: Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy/ Gyproc. [Viitattu 2.4.2014]. Saatavana: <http://www.gyproc.fi/ratkaisut/korjausrakentaminen/aaneneristuksen-parantaminen>
- Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy/Gyproc. Toukokuu 2012. Gyproc Käsikirja. [Verkkójulkaisu]. Kirkkonummi: Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy/ Gyproc. [Viitattu 16.2.2014]. Saatavana: <http://www.gyproc.fi/tilaa-ja-lataa/gyproc-kasikirja>
- Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka: Perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. [Uud. ja laaj. p.]. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Suomen RakMK C1. 1998, Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto.

Suomen RakMK D2. 2012. Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto.

Suomen RakMK G1. 2005. Asuntosuunnittelu. Määräykset ja ohjeet 2005. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto.

Talotekniikka.eu. Ei päiväystä. Asunnon ääneton ilmanvaihto. [Verkojulkaisu]. Espoo: Suomen Talotekniikkaoporaalit Oy. [Viitattu 23.3.2014]. Saatavana: [http://www.talotekniikka.eu/tate-lehti/fi_FI/aaneton ilmanvaihto/](http://www.talotekniikka.eu/tate-lehti/fi_FI/aaneton_ilmanvaihto/)