

Joni Knuuttila

Julkisivurakenteen ääneneristys kerrostalossa

Rakennusliike J. Rajala Oy

Opinnäytetyö

Kevät 2015

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Tuotantotekniikka

Tekijä: Joni Knuuttila

Työn nimi: Julkisivun ääneneristys kerrostalossa

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2015 Sivumäärä: 36 Liitteiden lukumäärä: 2

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää betoni- ja puurakenteisen julkisivun ääneneristävyttä valmistuneisiin kerrostalokohteisiin Rakennusliike J. Rajala Oy:lle. Opinnäytetyössä tarkasteltiin äänitekniisiä asioita teorian pohjalta ja tutkittiin, tukevatko laskennalliset julkisivun ääneneristysluvut R_w paikalla mitattuja ääneneristyslukuja R'_w . Tehtävänä oli myös erotella ja selvittää kyseisten kahden julkisivun ominaisuuksia. Ääneneristävyysmittaus suoritettiin 01dB-Stell, Harmonie 4210 -laitteistolla.

Työ antaa lukijalle tiivistetyn ja tieteellisen pohjan, mitä tulee ottaa huomioon ääneneristävyys toteutuksessa julkisivurakenteen ja rakennusosien kannalta. Työn liitteinä ovat ääneneristysmittausraportit tutkituista julkisivurakenteista.

Avainsanat: ääneneristys, ääni, desibeli

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Joni Knuuttila

Title of thesis: Sound insulation in the facade of an apartment house

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2015 Number of pages: 36 Number of appendices: 2

The goal of thesis was to research soundproofing in concrete- and wood structured facades in an apartment house for Construction Company J. Rajala Oy. The thesis examined sound technical issues from a theoretical point of view, and if the calculatory soundproofing values R_w in the façade were supported by the measured soundproofing values R'_w . The goal was also to specify the features of these two facades in question. The soundproof measuring was done with 01dB-Stell, Harmonie 4210.

The thesis gives its reader a compact and scientific base about what should be taken into account in executing soundproofing in the facade of an apartment house. The thesis includes soundproofing measuring reports.

Keywords: soundproofing, sound, decibel

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva- ja kuvioluettelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Rakennusliike J. Rajala Oy	8
1.2 Työn tausta	8
1.3 Työn tavoite	9
1.4 Työn sisältö.....	9
2 MÄÄRITELMIÄ.....	10
2.1 Ääni yleisesti	10
2.2 Suureet ja tasot.....	11
2.3 Ilmaääneneristys.....	12
2.3.1 Yleisesti	12
2.3.2 Ilmaääneneristävyys & ilmaääneneristysluku	13
2.3.3 Massalaki.....	14
2.3.4 Resonanssi-ilmiö	15
2.3.5 Koinsidenssi-ilmiö	16
2.3.6 Sivutiesiirtymä.....	16
2.4 Julkisivun ääneneristys	17
2.4.1 Liikennemelun merkitys	17
2.4.2 Asemakaavamääräyksen muodostuminen	18
2.4.3 Rakenteen ilmaääneneristysluku liikennemelua vastaan.....	19
2.4.4 Ulkoseinän valinta.....	21
2.4.5 Ikkunoiden ja ikkunaovien ääneneristävyys.....	22
3 ILMAÄNENERISTÄVYYSLASKENTA	24
3.1 Puurakenteinen julkisivu	24
Laskuosio – puurakenteinen julkisivu.....	24
3.2 Betonirakenteinen julkisivu	26

Laskuosio – betonirakenteinen julkisivu	27
3.3 Epävarmuustekijät julkisivun ääneneristävyyden mitoittamisessa	27
4 ILMAÄÄNENERISTÄVYYSMITTAUS	29
4.1 Mittauslaitteisto	29
4.2 Mittauslaitteiston valmistelu	29
4.3 Mittauspaikan valmistelu	30
4.4 Vuotopaikannin SDT FLEX.US	31
4.4.1 Johdanto	31
4.4.2 Laitteen esittely	31
4.4.3 Vuotojen paikantaminen	32
5 POHDINTA	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	36

Kuva- ja kuvioluettelo

Kuva 1. Mittauslaitteisto.	29
Kuva 2. Ääneneristetty parveke.	30
Kuva 3. Vuotopaikannin SDT FLEX.US.	32
Kuva 4. Äänen vuotokohtien paikantaminen.	33
Kuvio 1. Eri lähteiden äänenpainetasoja.	12
Kuvio 2. Esimerkki ilmaääneneristysluvun määrittämisestä.	14
Kuvio 3. Valtioneuvoston päätöksien (993/1992) mukaiset melutason arvot eri tiloille.	18
Kuvio 4. Erot vahvemman ja heikomman ulkoseinärakenteen ääneneristyskyvyn merkityksestä.	20
Kuvio 5. Puurakenteinen julkisivu.	24
Kuvio 6. Betonirakenteinen julkisivu.	26
Kuvio 7. Merkittävimmät epävarmuustekijät.	28

Käytetyt termit ja lyhenteet

R	Ilmaääneneristävyys R [dB] suure, joka kertoo rakenteen kyvystä vähentää äänen siirtymistä rakenteen toiselle puolelle.
R_w	Ilmaääneneristysluku, joka määräytyy laboratorio-olosuhteissa vertailukäyrän mukaan 16 eri taajuuden (100 Hz–3150 Hz) ilmaääneneristävyysarvoista.
R'_w	Sama kun R_w , mutta mitattu valmiissa rakennuksessa.
$R_w + C_{tr}$	Ilmaääneneristysluku tieliikennettä vastaan.
$\Delta L_{A,vaad}$	Asemakaavassa määrätty äänitasoero rakennukselle.
Massalaki	Laki, jonka mukaan rakenteen m^2 -massan lisääntyessä ääneneristävyys paranee.
Resonanssi-ilmiö	Ilmiö syntyy, kun ääniaalto osuu rakenteeseen. Rakenne värähtelee, kun resonanssitaajuusalue on saavutettu.
Koinsidenssi-ilmiö	Koinsidenssi-ilmiö on tilanne, jossa levymäinen rakenne alkaa taivutusvärähdellä siihen kohdistuvasta ääniaallosta johtuen. Betonirakenteissa koinsidenssi-ilmiö ei ole ongelma.
Sivutiesiirtymä	Ääntä, joka kulkeutuu muita kun tarkasteltavaa reittiä pitkin kutsutaan sivutiesiirtymäksi.
Ilmaääni	Ilmaäänellä tarkoitetaan ääntä, joka kulkeutuu ilmassa.
Runkoääni	Runkoäänellä tarkoitetaan ääntä, joka kulkeutuu runkoa pitkin esimerkiksi huoneistosta tai tilasta (VP, VS) toiseen.

1 JOHDANTO

1.1 Rakennusliike J. Rajala Oy

Rakennusliike J. Rajala Oy on perustettu vuonna 2002. Se aloitti toimintansa toimintansa pienrakennuksien uudisrakentamisella, jolloin työntekijöitä oli noin 10. Vuosien varrella rakentaminen siirtyi pienrakennuksista rivitaloihin. Nykyään noin 15 työntekijän yritys rakentaa pääsääntöisesti kerrostaloja Seinäjoen alueelle. Yrityksen päätoimipiste sijaitsee Seinäjoella, ja se työllistää kaiken kaikkiaan 50 työntekijää. Yrityksen Seinäjoen alueen arkkitehtisuunnittelusta vastaa Arkkitehtitoimisto Aaron Rantala Oy. Viime vuosina yritys on perustanut toimipisteen Helsinkiin, jossa se työllistää projekteista riippuen 50–100 työntekijää aliurakoitsijat mukaan lukien. Rakennusliikkeen projektinjohdosta vastaa Rakennusliike P. Rajala Ky. Yrityksen budjetoitu liikevaihto vuodelle 2015 on 50 miljoonaa euroa, josta noin puolet jakautuu Seinäjoelle ja puolet Helsinkiin.

1.2 Työn tausta

Opinnäytetyön aiheena on julkisivurakenteen ääneneristävyys betoni- ja puurunkoisessa rakenteessa. Ääneneristysmittaus sekä -laskelma suoritetaan kahdelle Rakennusliike J. Rajala Oy:n rakentamalle seinärakenteelle eri kerrostaloissa. Ääneneristykselliset ominaisuudet jäävät usein toissijaiseksi lämmöneristämiseen verraten, joten tämä tarkastelutyö tulee olemaan tärkeä rakennusliikkeelle.

1.3 Työn tavoite

Päätavoitteena työlle on antaa Rakennusliike J. Rajala Oy:lle tieteellinen dokumentti, kumpi tarkasteluun valituista julkisivuista on ääneneristykseltään parempi. Toisena tavoitteena on hahmottaa rakennusliikkeelle ääneneristyksen tärkeimmät huomioon otettavat asiat sekä antaa numeerisia määräyksiä. Nämä asiat tulevat olemaan helpottavia tekijöitä tulevien julkisivurakenteiden suunnittelussa.

1.4 Työn sisältö

Alussa kerrotaan äänestä yleisesti ja kuinka ääneneristykselliset ominaisuudet vaikuttavat asuinrakennuksen olosuhteisiin. Sen jälkeen tarkastellaan seinärakenteita, joita Rakennusliike J. Rajala Oy on pyytänyt. Kolmannessa luvussa lasketaan rakenteiden laskennallinen ääneneristys. Neljännessä luvussa käydään mittaamassa, tukevatko konkreettiset mittaustulokset laskennallista tulosta. Työ keskittyy pääsääntöisesti ilmaääneneristävyteen.

2 MÄÄRITELMIÄ

2.1 Ääni yleisesti

Ääni on hyvin tärkeä ja välttämätön osa arjen kokemus- ja elämysmaailmaamme, koska suurin osa viestinnästä tapahtuu kuulo- ja puheaistin välityksellä. Nykypäivänä eletään keskellä ääniympäristöä, jonka tuotamme pääosin itse, osittain ääni on muiden elollisten olentojen ja elottoman luonnon aiheuttamaa. Ääni on suuren merkityksensä johdosta ollut tutkimuksen kohteena ainakin antiikin ajasta saakka. (Kylliäinen 2009, 5.)

Ääni on ilmassa tapahtuvaa painevaihtelua staattiseen ilmanpaineeseen nähden. Värähtelyn lähde saa ympäristössä aikaan ilman tihentymiä ja harventumia. Ilmahiukkasten liike saa hiukkaset liikenteeseen, ja tällä tavoin ääni etenee pitkätaimena äänilähteestä ympäristöönsä. (RIL 243-1-2007 2007, 35.)

Kuuloaistimus syntyy, kun korvan rumpukalvo värähtelee ilmanpaineen vaihtelun vuoksi. Tiheät värähtelyt koetaan korkeiksi ääniksi, kun taas harvat värähtelyt ovat matalia ääniä. Ääni tarvitsee aina edetäkseen väliaineen, eli tyhjiössä ääni ei voi edetä. Ilmassa etenevästä äänestä käytetään nimitystä ilmaääni. Ilmaäänien aiheuttajia ovat esimerkiksi puhe, musiikki, LVIS-laitteet ja muut erilaiset koneet. Äänen nopeus ilmassa on riippumaton taajuudesta. (Kylliäinen 2011, 13.)

Ääni voi edetä myös kiinteässä väliaineessa, kuten rakennuksen runkorakenteissa. Ilmaääni saa rakenteet värähtelemään, jolloin ääni etenee rakennuksessa taivutusaaltona. Taivutusaallossa rakenteeseen syntyy taipumia äänen kohtisuorassa etenemissuunnassa. Rakenteissa etenevä ääni on runkoääntä, jonka aiheuttajia ovat esimerkiksi esineiden putoaminen, kävely ja huonekalujen siirtely. Näiden lähteiden aiheuttamia ääniä sanotaan askelääniksi. Runkoäänien vaikutuksesta rakenteiden värähtely voidaan aistia ilmaääninä. Toisin kuin äänen nopeus ilmassa, taivutusaallon nopeus rakenteessa ei ole vakio, vaan se riippuu taajuudesta ja materiaalin ominaisuuksista. (Kylliäinen 2011, 13.)

2.2 Suureet ja tasot

Ääni kuvataan fysikaalisesti kolmella eri ulottuvuudella: äänen voimakkuutena, taa-juutena ja aikana. Voimakkuus voi olla suoraan äänenpaineen laajuus, eli amplitudi, jolloin se on absoluuttinen suure tai logaritminen taso. Jos ääni ei ole tasaista, tarvitaan aikaulottuvuutta. Tällöin voidaan määrittää äänen kesto aika ja vaihtelu. (Lahti 1995, 8.)

Äänen voimakkuutta kuvataan *taso*-käsitteen avulla, kun puhutaan äänipainetasosta ja äänitehotasosta. Eri tasoja ei saa sekoittaa toisiinsa, koska jokaiselle on oma määritelmä. Kaikki akustiikan tasosuureet ovat 10-kantaiseen logaritmiin perustuvia suureita ja niillä on sama yksikkö, desibeli. Desibeli-suuretta käytettäessä on ilmoitettava, mistä on kyse, koska pelkkä merkintä dB (desibeli) ei yksin kerro, mitä tarkastellaan ja mitataan. Puhekielessä kuitenkin käytetään desibeliä äänenpainetasona, ellei muuta mainita. (Lahti 1995, 8.)

Ihminen pystyy aistimaan vähintään 20 μPa :n ilmanpainemuutoksen. Ääniaistimus muuttuu kipuääniaistimukseksi noin 20 Pa:n äänenpaineessa. Ääniaistimuksen ilmanpainemuutoksessa käytetään nimitystä äänenpaine, jonka tunnus on p ja yksikkö Pa. Kuulo- ja kipukynnyksen ero on hyvin suuri, mutta lukuarvot ovat hyvin pieniä, näin ollen äänenpaineita olisi vaikea käyttää suunnittelu- ja laskentatyössä. Tästä syystä äänenpainetta p verrataan kuulokynnykseen p_0 , josta saadaan äänenpainetaso L_p [dB]. Pienimmän kuulokynnyksen arvo ihmisellä on 0 dB ja kipukynnys on noin 120 dB. (Kylliäinen 2011, 13.) Alla olevasta kuviosta (Kuvio 1.) voidaan havainnollistaa eri äänilähteiden suuruuksia.

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

Kuvio 1. Eri lähteiden äänenpainetasoja (Kylliäinen 2009, 14).

2.3 Ilmaääneneristys

2.3.1 Yleisesti

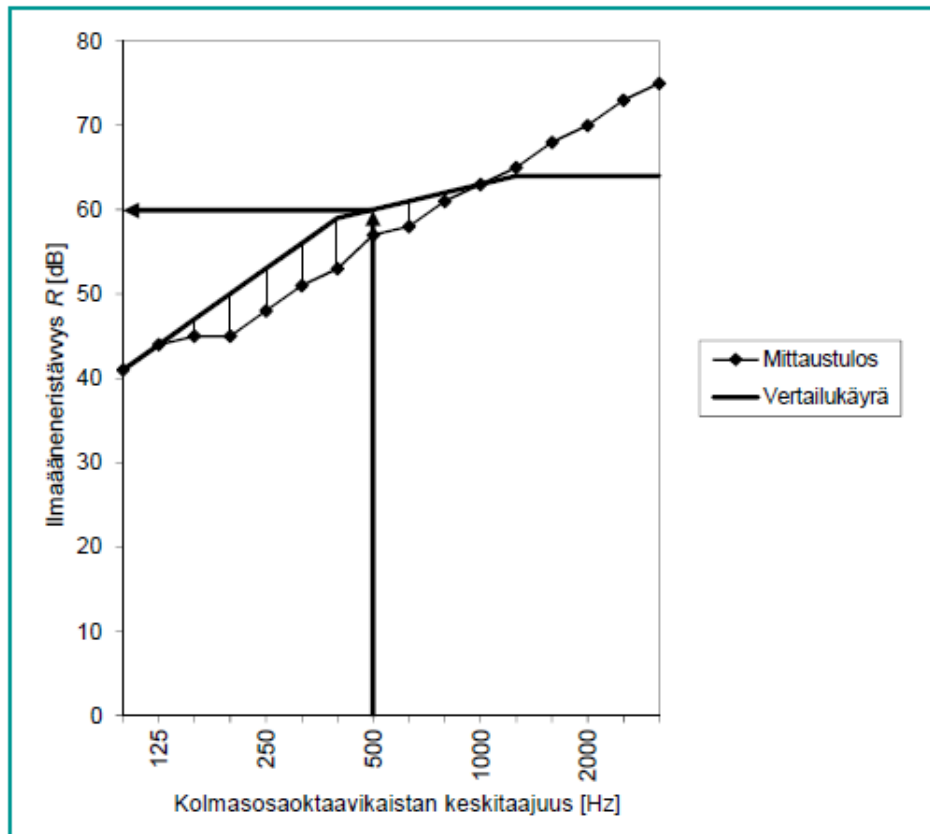
Ilmaääneneristävyyteen vaikuttavat rakenteen rakennusosan paino, kerroksellisuus, reiät, tiiviys ja liittyminen muihin rakenteisiin. Monikerroksisissa rakenteissa on suuri merkitys kerrosten keskinäisellä etäisyydellä, kun taas yksinkertaisen rakenteen ääneneristävyys riippuu rakenteen m^2 -painosta. Koska varsinkin puurakenteissa käytettävät tarvikkeet ovat kevyitä, niillä saavutetaan ilmaääneneristys vain monikerrosrakenteita käyttämällä. Tästä syystä rakenteisiin tulevien liitoksien merkitys korostuu tiiviyden kannalta. (Siikanen 1998, 113.)

2.3.2 Ilmaääneneristävyys & ilmaääneneristysluku

Ilmaääneneristävyys R [dB] on suure, joka kertoo rakenteen kyvystä vähentää äänen siirtymistä rakenteen toiselle puolelle. Määritelmänä käytetään rakenteen pinnalle kohdistuvan äänitehon ja rakenteen toiselle puolella siirtyvän äänitehon suhdetta. Suureena ilmaääneneristys on taajuudesta riippuva. Näin ollen ilmaääneneristävyydet lasketaan tai mitataan tavallisesti 16 taajuudella välillä 100 Hz–3150 Hz. Kyseisistä eri taajuuksilla määritetyistä ilmaääneneristävyyksistä voidaan määrittellä vertailukäyrämenettelyllä ilmaääneneristysluku R_w . (Kylliäinen 2011, 17–18.)

Vertailukäyrän muoto on määritelty tekemällä valtava määrä mittauksia ja haastatteleamalla ihmisiä. Kun ilmaääneneristävyys on vertailukäyrän muotoinen, se koetaan hyväksi puheääntä vastaan. Ilmaääneneristysluku R_w saadaan mittaustuloksista siten, että vertailukäyrää siirretään 1 dB kerralla muotoa muuttamatta asemaan, jossa eri taajuuksilla mitattujen ilmaääneneristävyyksien R poikkeamat negatiiviseen suuntaan ovat enintään, mutta kuitenkin mahdollisimman lähelle 32 dB. Vertailukäyrän paikan määräävät siis vertailukäyrän arvoista pienemmät ilmaääneneristävyydet. Kun vertailukäyrä on saatu sovitettua ylimpään mahdolliseen asemaan, ilmaääneneristysluku luetaan 500 Hz:n kohdalta. Rakenneneristää ilmaääntä paremmin, mitä suurempi ilmaääneneristysluku on. (Kylliäinen 2011, 18.)

Mikäli ilmaääneneristysluku on määritetty laboratorio-olosuhteissa, käytetään merkintää R_w [dB]. Jos ilmaääneneristysluku on määritetty konkreettisesti valmiissa huoneistossa, siitä käytetään merkintää R'_w [dB]. (Lahtela 2004, 12.)



Kuvio 2. Esimerkki ilmaääneneristysluvun määrittämisestä (Kylliäinen 2011, 18).

2.3.3 Massalaki

Kun rakenteeseen kohdistuu ääniaalto, se aiheuttaa värähtelyä rakenteessa. Mitä suurempi värähtely on, sitä enemmän ääniaallot siirtyvät runkoäänenä rakenteen toiselle puolelle. Samalla äänenpaineella kevyet rakenteet värähtelevät raskaita rakenteita enemmän, joten tästä syystä raskaiden rakenteiden koetaan eristävän paremmin ääntä. Tätä ilmiötä kutsutaan ääneneristävyyden massalaki. (Lahtela 2004, 18.)

Yksinkertaisissa rakenteissa ilmaääneneristävyys voidaan likimain määrittää kuvio 2. Määrittämällä ilmaääneneristävyys taajuudella 500 Hz, laskukaava antaa suuntaa antavan arvion rakenteen ilmaääneneristysluvun R_w suuruudesta. Tarkka ilmaääneneristysluku määritetään kuitenkin koko taajuusalueen mittaustuloksien mukaan (Kuvio 2.). (Lahtela 2004, 18.)

Massalaki pitää paikkansa vain pääpiirteittäin, koska alle 100 kg/m^2 painavien rakenteiden ääneneristävyyks kasvaa hitaammin kun rakenteiden, joiden massa on yli 100 kg/m^2 . Kun rakenne on hyvin raskas, pieni massan lisääminen ei kuitenkaan lisää rakenteen ääneneristävyyttä ratkaisevasti. Taloudellisesti järkevä ratkaisu ääneneristävyyden kannalta on, kun alkuperäisesti kevyen rakenteen massaa lisätään. Muistisääntönä pidetään, että rakenteen massan kaksinkertaistuksessa ilmaääneneristävyyttä voidaan parantaa 4–6 dB. (Lahtela 2004, 18.) Lahtelan (2004) mukaan massalain laskukaava voidaan tulkita alla olevasta kaavasta (1).

$$R = 20 \lg(mf) - 49 \quad (1)$$

missä:

R = rakenteen ilmaääneneristävyys [dB]

m = rakenteen massa [kg/m^2]

f = äänentaajuus [Hz]

2.3.4 Resonanssi-ilmio

Rakenteeseen syntyy resonanssi-ilmio, kun siihen osuvien ääniaaltojen taajuus on sama kuin rakenteen resonanssitaajuusalue eli ominaistajuusalue. Resonanssi-ilmion ansiosta rakenne värähtelee ja säteilee ääntä voimakkaasti, jolloin sen ääneneristävyys heikkenee. Tämä johtuu siitä, että rakenteen värähtelysystemi saa koko ajan lisää energiaa siihen kohdistuvista ääniaalloista. Resonanssi-ilmioita havaitaan myös, kun ääniaallon aiheuttama taajuus lähenee rakenteen alinta resonanssitaajuutta eli heräte on rakenteen resonanssitaajuusalueella. Resonanssitaajuusalue tulisi olla ihmisen kuulon kannalta taajuusalueen 100 Hz–3150 Hz alapuolella. (Lahtela 2004, 20.)

2.3.5 Koinsidenssi-ilmiö

Ilmaääneneristys ei silti lisääny taajuuden kasvaessa massalain mukaan. Massalain perusteella ilmaääneneristävyys on parempi, mitä suurempi massa rakenteella on. Ilmaääneneristävyttä rajoittaa pääsääntöisesti koinsidenssin rajataajuus f_c [Hz]. Koinsidenssi-ilmiö tarkoittaa sitä, että rakenteeseen kohdistuva ääni taivuttaa rakennetta tietyllä taajuusalueella, josta syntyy taivutusaalto. Koinsidenssin rajataajuudella äänen nopeus ilmassa on sama kuin rakenteessa, joten tällä taajuudella ääni välittyy rakenteen läpi ja ääneneristyskyky heikkenee huomattavasti. Rajataajuuden minimiarvon jälkeen ilmaääneneristävyys myötäilee massalain ennustamaa arvoa. (Kylliäinen 2011, 20.)

Tästä syystä rakenteen koinsidenssitaajuuden tulisi olla ihmisen kuulotaajuuden kannalta 100 Hz–3150 Hz:n yläpuolella. Raskailla yksinkertaisilla rakenteilla koinsidenssi-ilmiö ei ole ongelma, mutta esimerkiksi ohuet kivirakenteet olisi syytä tutkia ääneneristävyuden kannalta. Ohuilla rakennuslevyillä koinsidenssitaajuus on normaalisti 2000 Hz–3000 Hz ja mitä ylempänä rakennuslevyn koinsidenssitaajuus on, sitä vähemmän ilmiö heikentää rakenteen ääneneristävyttä. (Lahtela 2004, 21.)

2.3.6 Sivutiesiirtymä

Huonetilojen välisen eristävyuden ajatellaan usein riippuvan vain rakenteen eristävydestä. Tämä ajattelutapa on virheellinen ja johtaa usein vääriin rakenneratkaisuihin. Äänen siirtyminen rakennuksessa on hyvin kokonaisvaltainen ilmiö, koska äänenpainevaihtelut saavat huoneistojen rajapinnat värähtelemään ja äänen liiketila jatkuu huonetilojen ja niitä sivuavien rakenteiden välityksellä. Merkitys korostuu varsinkin, mitä parempi rakenteiden laskennallinen ääneneristys on. Massiivisissa kivirakennuksissa saavutetaan yleensä noin 5 dB heikompi ääneneristävyys kuin laboratorio-olosuhteissa. Sivutiesiirtymä saattaa heikentää ääneneristävyttä jopa 15–20 dB. (RIL 2003, 14.)

2.4 Julkisivun ääneneristys

Meluisilla alueilla on hyvin tärkeää, että liikennemelu ei siirry rakennuksen ulkovaipan kautta ulkoa sisään. Liikenteestä johtuva melu sisältää runsaasti pienitaajuisia ääniaaltoja, joten käytännössä eristäminen voidaan suorittaa vain rakenteen massalla. Varsinkin paikalla valetut betonirakenteet ja betonielementtirakenteet takaavat hyvän ääneneristävyuden ja viihtyvyyden melualueilla. (Kylliäinen 2011, 39.)

2.4.1 Liikennemelun merkitys

Melualueille rakennettaessa suurena asumismukavuutta ja -terveyttä rajoittavana tekijänä on liikenteestä johtuva melu, joka siirtyy rakennuksen ulkovaipan välityksellä sisälle asuinhuoneistoon. Terveysvaikutuksien vuoksi liikennemelu haittaa varsinkin potilas- ja opetustilojen tarkoituksenmukaista käyttöä. Meluhaittojen ehkäisemiseksi valtioneuvosto on antanut määräykset melutasojen ohjearvoista. (Kylliäinen 2011, 39.)

Rakennuksen julkisivuun kohdistuvaan melutasoon kohdistuvat tekijät ovat esimerkiksi liikennemäärä ja nopeusrajoitus, etäisyys liikenteeseen, erilaiset melusteet ja puusto, maastonmuoto ja maaperän äänenvaimennuskyky. Vaatimukset siis määräytyvät rakennuksen sijainnin perusteella, joten yleistä ääneneristysvaatimusta liikennemelua vastaan on mahdoton määrätä. Tästä johtuen ääneneristysmääräykset annetaan asemakaavassa. (Kylliäinen 2011, 39.)

Rakennuslupavaiheessa on esitettävä laskennallinen selvitys siitä, että täyttääkö rakennuksen ulkovaippa asemakaavassa merkityn vaatimuksen. Rakennuksen sisätilaan muodostuva melutaso riippuu kaikkien rakennusosien, kuten ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden, ikkunoiden ja ikkunaovien sekä korvausilmaventtiilien ääneneristyskyvystä. (Kylliäinen 2011, 39.)

2.4.2 Asemakaavamääräyksen muodostuminen

Asemakaavassa osoitetaan kaavamerkinnällä sen rakennusalan sivu, jolle on annettu kyseisen rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskeva kaavamääräys. Ympäristöministeriön ohjeen mukaan kaavamääräys voi olla esimerkiksi: ”Merkintä osoittaa rakennusalan sivun, jonka puoleisen rakennuksen ulkoseinän sekä ikkunoiden ja muiden rakenteiden ääneneristävyyden liikennemelua vastaan on oltava vähintään 35 dBA.” Kaavamääräyksiä vaatimukset ovat tyypillisesti 28–40 dB. (Kylliäinen 2011, 40.)

Ulkovaipan ääneneristystä koskevan määräyksen ohjearvot eri tiloille on annettu valtioneuvoston päätöksessä 993/1992. Ohjearvot on annettu sallittuina A-painotettuina keskiäänitasoina päivälle (klo 7-22) ja yölle (klo 22-7). Koska rakennuksen sisätilaan kuuluviin keskiäänitasoihin sisältyvät hetkelliset äänen huippuarvot voivat olla huomattavankin korkeita, eivät valtioneuvoston päätöksen mukaiset arvot tarkoita sitä, että liikennemelu ei välttämättä kuuluisi lainkaan sisälle (Kuvio 3.). (Kylliäinen 2011, 40.)

Tila	Päiväohjearvo $L_{A,eq,07-22}$	Yöohjearvo $L_{A,eq,22-07}$
Asuinhuoneet	35 dB	30 dB
Potilashuoneet	35 dB	30 dB
Majoitushuoneet	35 dB	30 dB
Opetustilat	35 dB	–
Kokoontumistilat	35 dB	–
Liikehuoneet	45 dB	–
Toimistohuoneet	45 dB	–

Kuvio 3. Valtioneuvoston päätöksiä (993/1992) mukaiset melutason arvot eri tiloille (Kylliäinen 2011, 40).

Asemakaavamääräys annetaan aina suurimman rakennuksen ulkovaipan kohdalle tulevan keskiäänitason $L_{A,eq,u}$ ja sisällä valtioneuvoston mukaisen sallittavan keskiäänitason $L_{A,eq,s}$ erotuksena. Kyseisen kaavamääräyksen selvittämiseksi on tunnettava yöllä ja päivällä vallitsevat keskiäänitasot. Asemakaavamääräyksen vaadittava äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$ [dB] on suurempi alla olevan kaavan (2) kahdesta erotuksesta. Jos sallittavan äänitasoeron määrä on vähemmän kuin 28 dB, kaavamääräystä ei yleensä anneta. Ääneneristyskyky on vaikea toteuttaa yli 40 dB äänitasoerolta vaativissa kohteissa, koska esimerkiksi ikkunat olisi suunniteltava ja teetettävä erikoisratkaisuna. (Kylliäinen 2009, 41.) Tässä työssä käsiteltävällä alueella annettu ohjeellinen äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$ on 35 dB. Kylliäisen (2009) mukaan äänitasoero voidaan laskea alla olevasta kaavasta (2).

$$\Delta L_{A,vaad} = MAX \begin{cases} L_{A,eq,07-22,u} - L_{A,eq,07-22,s} \\ L_{A,eq,22-07,u} - L_{A,eq,22-07,s} \end{cases} \quad (2)$$

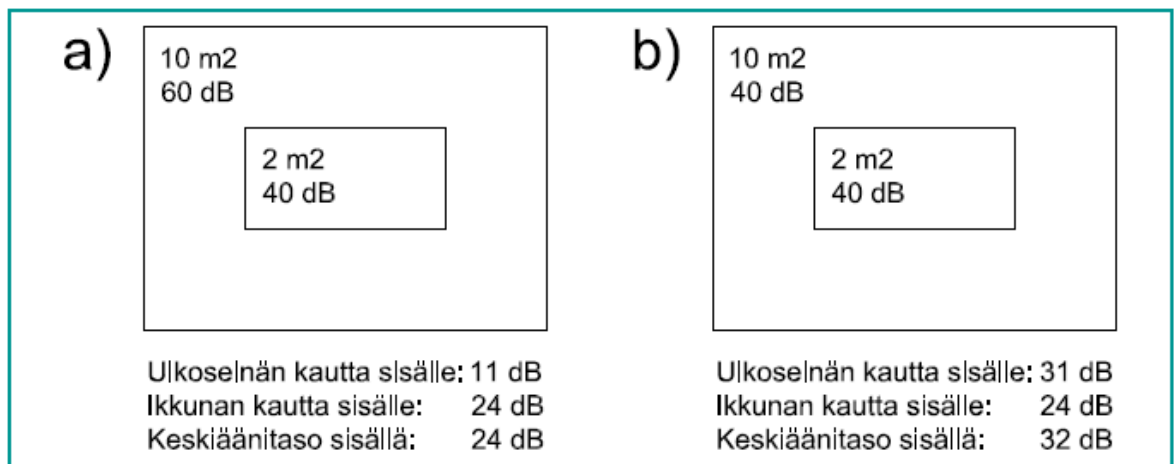
2.4.3 Rakenteen ilmaääneneristysluku liikennemelua vastaan

Ilmaääneneristysluvun R_w avulla arvioidaan yleensä rakennusosan ääneneristyskyky puhetta vastaan. Tieliikennemelun äänispektrit poikkeavat suuresti puheesta, joten ilmaääneneristysluku ei kuvaa rakennusosien ääneneristyskykyä riittävän tarkasti. Tästä syystä standardissa ISO 717-1 esitetään spektripainotustermit, joiden avulla ilmaääneneristysluku R_w korjataan vastaamaan ihmisen kokemaa eristävyyttä liikennemelua vastaan. (Kylliäinen 2011, 42.)

Ulkoseinärakenteiden, ikkunoiden ja ikkunaovien ääneneristyskyky ilmoitetaan aina tieliikennemelua vastaan ilmaääneneristyslukuina $R_w + C_{tr}$. Ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan eroaa tyypillisesti 1–10 dB pienempään suuntaan ilmaääneneristysluvusta R_w , koska liikenteen melu keskittyy pääsääntöisesti matalille taajuuksille ja rakenteen ääneneristyskyky on poikkeuksetta heikompi matalilla taajuuksilla verraten suuriin taajuuksiin. (Kylliäinen 2011, 42.)

Kaavamääräyksen vaatimaa äänitasoeroa $\Delta L_{A,vaad}$ ei kuitenkaan saa sekoittaa rakennuksen ulkovaipan ääneneristyslukuihin $R_w + C_{tr}$, sillä rakennuksen sisätilaan vaikuttavaan keskiäänitasoon vaikuttavat myös eri rakennusosien ääneneristyskyvyn lisäksi rakennusosien pinta-ala ja äänen vaimennuskyky huonetilassa. Rakennusosa välittää ulkoa päin enemmän ääntä sisälle, mitä suurempi huoneen pinta-ala on. Toisaalta ääni vaimenee huonommin pienessä huoneessa verraten suureen huoneeseen. (Kylliäinen 2011, 43.)

Huoneeseen syntyvään keskiäänitasoon $L_{A,eq,s}$ vaikuttaa eniten rakennusosista se, jonka ilmaääneneristysluku on heikoin. Kun esimerkiksi ikkunan ilmaääneneristysluku $R_w + C_{tr}$ on 40 dB, ikkunaan kohdistuvan tieliikenteen äänitehon läpäisy sisälle on 1/10000. Tätä voidaan verrata esimerkiksi betonisandwich-elementtiin, jonka ilmaääneneristysluku $R_w + C_{tr}$ on 50 dB. Tämänlainen ulkoseinärakenne läpäisee ääntä 1/100000, joten ikkuna läpäisee kymmenkertaisen määrän ääntä ulkoseinärakenteeseen verraten. Tällöin ulkoseinärakenne ei välttämättä vaikuta yhtään huoneeseen syntyvään keskiäänitasoon $L_{A,eq,s}$. Jos ulkoseinän ääneneristyskyky on alhainen, siitä tulee hallitseva äänen kulkureitti (Kuvio 4.). (Kylliäinen 2011, 44.)



Kuvio 4. Erot vahvemman ja heikomman ulkoseinärakenteen ääneneristyskyvyn merkityksestä (Kylliäinen 2011, 45).

2.4.4 Ulkoseinän valinta

Keskiäänitaso $L_{A,eq,s}$ huoneessa on tilakohtainen ilmiö, joten kaavamääräyksen äänitasoeron $\Delta L_{A,vaad}$ saavuttamiseksi on laskettava toteutuvan äänitasoeron $\Delta L_{A,tot}$ arvo myös kaikissa rakennuksen meluherkissä tiloissa. Tavallisesti ulkovaipan ääneneristyslaskelma tehdään ulkoseinän kohdalta, jossa ikkuna ja ikkunaovi tulevat määrääväksi tekijäksi laskelmaan. Tämänlainen rakenne on kerrostalossa lähes poikkeuksetta parvekkeen ja huoneiston välinen seinä. Hyvin usein joudutaan pienentämään ikkunoiden pinta-alaa, jotta kaavamääräyksen vaatima äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$ saavutettaisiin. Kaavamääräyksen edellyttäessä erittäin suurta äänitasoeroa (38–40 dB) on selvitettävä jo ennen rakennuslupavaihetta, millaiset ulkoseinärakenteet ja ikkunakoot ovat mahdollisia vaaditun ääneneristyksen toteutumiseen. (Kylliäinen 2011, 46.)

Kun määrätty äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$ on tavanomainen (28–35 dB), ulkovaipan ääneneristys selvitys voidaan tehdä rakennuslupavaiheessa. Selvitystä laadittaessa on tiedettävä asemakaavan vaatimukset, rakennusosien pinta-alat sekä ulkovaipan rakennetyyppien ilmaääneneristysluvut tieliikennemelua vastaan. Tästä syystä suunnittelun lähtötiedoiksi tarvitaan rakennuspaikan asemakaava, pohjapiirustukset, julkisivupiirustukset, leikkaukset sekä rakennetyypit. (Kylliäinen 2011, 46.)

Ulkoseinärakenteen vaikutus huoneiston sisätilan keskiäänitasoon $L_{A,eq,s}$ on merkittävämpi, mitä suurempi kaavamääräyksen äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$ on. Jos äänitasoero on pieni, ikkunat ovat tavallisesti määräävässä asemassa vaatimukseen. Mitä suurempi äänitasoero on, sitä enemmän on kiinnitettävä huomiota ulkoseinärakenteen valintaan.

- Äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 40$ dB: Kevytrakenteiset ulkoseinät, sekä eristerapatut ulkoseinät vaativat huolellista suunnittelua, rakennusainevalintaa ja toteutusta. Massiiviset kivrakenteet johtavat tässä tapauksessa parempaan ääneneristävyyteen massansa ansiosta ja tästä syystä ikkunoiden ääneneristysvaatimukset lieventyvät.
- Äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 35$ dB: Kevytrakenteiset ulkoseinät ovat yleensä mahdollisia, mutta rankarakenteisissa seinissä on oltava tuulensuojalevy, jonka

massa on vähintään 5 kg/m². Varauduttava sisäverhouslevyjen määrän lisäämiseen riittävän ääneneristävyyden saavuttamiseksi.

- Äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 30$ dB: Lähes kaikki tavanomaiset ulkoseinärakenteet täyttävät tämän määräyksen. Rankarakenteisissa seinissä tuulensuojalevyn on oltava myös vähintään 5 kg/m². Kaavamääräyksen toteutuminen riippuu myös ikkunoita, joten ulkovaipan ääneneristys on selvitettävä viimeistään rakennuslupaa haettaessa. (Kylliäinen 2011, 47.)

Ulkoseinärakenteita on mahdollista mittauttaa myös laboratoriossa, mutta on otettava huomioon, onko laboratoriomittaus kustannusystävällinen vaihtoehto. Tilaajan on varauduttava rakennusosan kuljettamiseen laboratorioon, jossa jonotusaika voi olla hyvinkin pitkä. Edullisempi vaihtoehto on laskea ilmanääneneristysluvut, koska nykyään ilmaääneneristysluvut voidaan määrittää laskemalla hyvinkin tarkasti. Laskemalla voidaan myös määrittää, mitä eroja rakennemuutokset tuovat ilmaääneneristyslukuun. (Kylliäinen 2011, 47.)

2.4.5 Ikkunoiden ja ikkunaovien ääneneristävyys

Ikkunoiden ääneneristyskyky pohjautuu lasikerrosten paksuuteen ja lasitusten välisen ilmvälän suuruuteen. Ääntä eristävät ikkunarakenteet ovat nykyään lähes poikkeuksetta kolminkertaisia, mikä tarkoittaa, että ulommainen lasi on omassa puitteessaan ja kaksi muuta lasia sisäpuiteessa. Lasien paksuudet ovat tavallisesti 3–8 mm, mutta yli 8 mm paksuja laseja ei yleensä kannata käyttää ääneneristystarkoitukseen, koska koinsidenssi-ilmiön vuoksi ääneneristävyys ei enää parane. Tästä syystä on edullisempaa käyttää suurien ääneneristävyyksien vaatiessa laminoituja ja ohutkerroksisia lasituksia paksujen lasikerrosten sijaan. Ikkunan ilmaääneneristysluku on parhaimmillaan silloin, kun lasikerrosten paksuudet ovat erilaiset ja karmisyvyys on mahdollisimman suuri. (Kylliäinen 2011, 49.)

Ikkunoiden ilmaääneneristysluvut tieliikennemelua $R_w + C_{tr}$ vastaan ovat tavallisesti enintään 46–48 dB. Vaikka ikkunoiden ilmaääneneristyslukuja voidaan parantaa lasitusten paksuuksia ja ilmvälejä säätämällä, ikkunoiden ääneneristyskykyä rajoittaa pääosin ulkoseinän paksuus. Metall- tai puukarmi kytkee lasiosat toisiinsa ja

välittää näin ääntä lasituksen ohi sivutiesiirtymänä. Näin ollen tiiviys on hyvin tärkeää ääneneristyksen kannalta ja käytännössä ikkunoiden tiivistyksiä on hyvin vaikea saada täysin tiiviiksi. (Kylliäinen 2011, 49.)

Pääsääntöisesti tiivisteiden vuoksi ikkunaovien ilmaääneneristysluvut ovat jonkin verran alhaisemmat kuin samankaltaisten ikkunoiden. Yksilehtisten ikkunaovien ilmaääneneristysluvut $R_w + C_{tr}$ ovat tavallisesti alle 35 dB, kun taas kaksilehtisillä ikkunaovilla voidaan saavuttaa yli 40 dB ilmaääneneristysluku. Melualueilla suositellaan käyttämään kaksilehtisiä ikkunaovia. (Kylliäinen 2011, 49.)

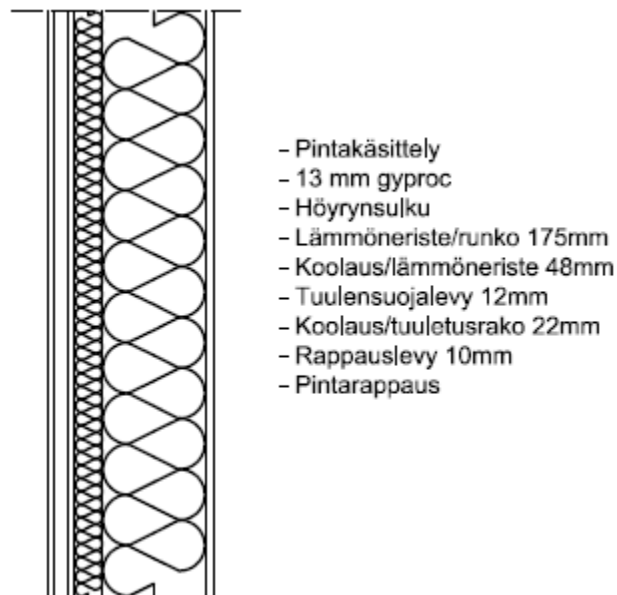
Ikkunoita tilattaessa on varmistettava, että ikkunavalmistajalla on esittää ikkunoistaan ilmaääneneristysluvut $R_w + C_{tr}$ laboratoriomittaustuloksien. Asennettaessa on syytä noudattaa valmistajan asennusohjeita. Asennuksessa oleellisinta on ulkoseinän ja ikkunan liitoksen tiiviys, joten ääneneristävyiden kannalta otollisin tulos saadaan mineraalivillakaistalla ja elastisella kitillä eli akryylimassalla. Kun äänitasoero-vaatimus on pienempi, liitos voidaan tiivistää polyuretaanivaahdolla, jonka ääneneristävyys varmistetaan elastisella kitillä vähintään toisella puolella ikkunaa. (Kylliäinen 2011, 49.) Käytännössä nykyään nopean työstön vuoksi ikkunat tiivistetään polyuretaanivaahdolla.

Ääneneristävyiden kannalta asumismukavuuteen kannattaa panostaa myös muillakin kun melualueilla. Mitä paremmin ulkovaipan rakennusosat eristävät ääntä, sitä vähemmän esimerkiksi puhe tai leikkivien lasten ääni kantautuu piha-alueilta sisätiloihin. Vaikka rakennuspaikan asemakaavassa ei ole äänitasoeromääräystä, on asuinmukavuuden takaamiseksi suositeltavaa valita ikkunat, joiden ilmaääneneristysluvut $R_w + C_{tr}$ ovat vähintään 37 dB. (Kylliäinen 2011, 50.)

3 ILMAÄNENERISTÄVYYSLASKENTA

3.1 Puurakenteinen julkisivu

Ilmaääneneristävyyssmittaus suoritettiin hiljattain valmistuneessa kerrostalohuoneistossa, joka sijaitsee rakennuksen kolmannessa kerroksessa. Huoneistossa ei ollut vielä asukkaita, joten mittaus voitiin suorittaa häiriöttä. Testattava rakenne on huoneiston ja parvekkeen välinen ulkoseinä, joka pääsääntöisesti koostuu ikkunasta ja ikkunaovesta. Mitattavan seinän yhteispinta-ala $A = 7,3 \text{ m}^2$; ikkunan pinta-ala $A = 2,2 \text{ m}^2$; ikkunaoven pinta-ala $A = 2,1 \text{ m}^2$ sekä runkorakenteen pinta-ala $A = 3,0 \text{ m}^2$. Ääneneristävyyssmittaustulokseksi saatiin $R'_w = 35 \text{ dB}$.



Kuvio 5. Puurakenteinen julkisivu.

Laskuosio – puurakenteinen julkisivu

Laskettaessa rakenteen yhteisääneneristävyyttä R_{kok} tulee ottaa huomioon rakenteen rakenneosien ääneneristävyydet R_i ja pinta-alat S_i sekä koko tarkasteltavan rakenteen yhteispinta-ala S . Ikkunavalmistaja ilmoittaa ikkunan ääneneristävyyden tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr} = 38 \text{ dB}$.

Puurunkoisen julkisivurakenteen kohdalla ikkunaovivalmistaja ei ollut mitannut ääneneristyslukua, joten siinä käytetään kaksoislasitetun ikkunaoven keskiarvoääneneristysarvoa tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ on 35 dB. Koska rakenteelle ei oltu laskettu laskennallista ilmaääneneristysarvoa, siinä tullaan käyttämään $R_{kok} = R'_w = 35$ dB ja rakenteen seinärakenneosan ääneneristävyys R_i merkitään kirjaimella X. Siparin & Saarisen (2003) mukaan yhteisääneneristävyys voidaan laskea alla olevasta kaavasta (3).

$$R_{kok} = -10 \lg \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{-R_i/10} \quad (3)$$

missä:

R_{kok} = rakenteen yhteisääneneristävyys

R_i = yksittäisen rakenneosan ääneneristävyys

S_i = yksittäisen rakenneosan pinta-ala

S = koko tarkasteltavan rakenteen yhteispinta-ala

Seuraavana avataan kaava (3), jolloin sitä on helpompi tarkastella.

$R_{kok} = -10 * \log (\text{julkisivun ala} / \text{kokonaisala} * 10^{-(\text{julkisivun ääneneristävyys}/10)} + \text{ikkunan ala} / \text{kokonaisala} * 10^{-(\text{ikkunan ääneneristävyys}/10)} + \text{ikkunaoven ala} / \text{kokonaisala} * 10^{-(\text{ikkunaoven ääneneristävyys}/10)})$

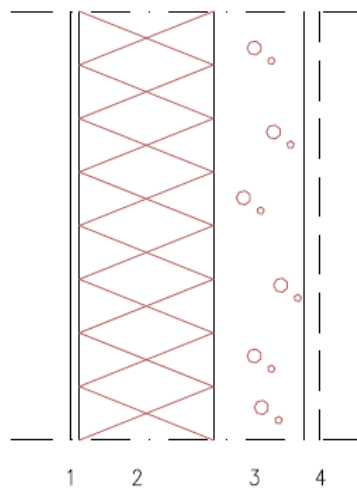
$35 \text{ dB} = -10 * \log (3,0 \text{ m}^2 / 7,3 \text{ m}^2 * 10^{-(X/10)} + 2,2 \text{ m}^2 / 7,3 \text{ m}^2 * 10^{(-38 \text{ dB}/10)} + 2,1 \text{ m}^2 / 7,3 \text{ m}^2 * 10^{(-35 \text{ dB}/10)})$

Arvot sijoitetaan laskimeen ja laskin antaa arvoksi $X = 33,6 \text{ dB} \sim 34 \text{ dB}$, eli laskin antaa julkisivun runkorakenneosan ääneneristyslukuksi $R_{i, runko} = 34 \text{ dB}$.

Näiden lähtöarvojen ja laskutoimituksen perusteella voidaan päätellä, että julkisivun runkorakenne on määräävässä merkityksessä julkisivurakenteen ääneneristysluokkaan, koska runkorakenteen ääneneristysluku on heikompi, kun ikkunan ja ikkunaoven ääneneristysluku $R_w + C_{tr}$.

3.2 Betonirakenteinen julkisivu

Ilmaääneneristävyyssmittaus suoritettiin hiljattain valmistuneessa kerrostalohuoneistossa, joka sijaitsee rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa. Huoneistossa oli asukkaita, joten ilmaääneneristävyyssmittaus vaati hieman enemmän järjestelyä. Testattava rakenne on makuuhuoneen ja parvekkeen välinen seinä, joka koostuu pääosin ikkunasta ja ikkunaovesta. Mitattavan seinän yhteispinta-ala $A = 8,3 \text{ m}^2$; ikkunan pinta-ala $A = 1,9 \text{ m}^2$; ikkunaoven pinta-ala $A = 2,1 \text{ m}^2$ sekä runkorakenteen pinta-ala $A = 4,3 \text{ m}^2$. Ääneneristävyyssmittaustulokseksi saatiin $R'_w = 41 \text{ dB}$.



- | | | |
|---------|---|--|
| 10–15mm | 1 | Pohjarappaus + muovip. lasikuituverkko, tasoitekerros + viimeistelyrappaus |
| 220 mm | 2 | Paroc FAL1 mineraalivilla, villapinnassa sääsuojarappaus tehtaalla. |
| 150 mm | 3 | Teräsbetoniseinä rakennesuunnitelman mukaan. |
| | 4 | M1-päästöloukan pintamateriaali ja -käsittely huoneselityksen mukaan. |

Kuvio 6. Betonirakenteinen julkisivu.

Laskuosio – betonirakenteinen julkisivu

Betonirunkoisen julkisivurakenteen tapauksessa ongelmaksi koitui toimintansa lopettanut ikkunoita ja ikkunaovia valmistava yritys. Ilmaääneneristysarvoja tiedustellessa korvaava yritys ei kyennyt antamaan tarvittavia tietoja vanhentuneen tietokannan takia, joten tässäkin laskuosiossa tullaan käyttämään kolmoislasketun 175 mm karmillisen ikkunan ja kaksoislasketun ikkunaoven ilmaääneneristyskeskiarvoja tieliikennemelua vastaan. Betonirakenteelle luvattu $R_w + C_{tr}$ on 47 dB. Laskennallinen arvo tutkitaan Siparin & Saarisen (2003) antaman yhteisääneneristävyyden laskukaavan (Kaava 3.) mukaan.

$$R_{kok} = -10 * \log \left(4,3 \text{ m}^2 / 8,3 \text{ m}^2 * 10^{(-47 \text{ dB}/10)} + 1,9 \text{ m}^2 / 8,3 \text{ m}^2 * 10^{(-38 \text{ dB}/10)} + 2,1 \text{ m}^2 / 8,3 \text{ m}^2 * 10^{(-35 \text{ dB}/10)} \right)$$

$$R_{kok} = 40,6 \text{ dB} \sim 41 \text{ dB}$$

Näiden lähtöarvojen ja laskutoimituksen perusteella voidaan tulkita, että betonirakenteisessa julkisivussa ilmaääneneristysarvon määräävänä tekijänä ovat ikkunan ja ikkunaoven $R_w + C_{tr}$, koska yhteisääneneristävyytluku on heikompi kuin betonirakenteen ilmaääneneristysarvo tieliikennemelua vastaan.

3.3 Epävarmuustekijät julkisivun ääneneristävyyden mitoittamisessa

Ääniteknisessä suunnittelussa tulisi aina tehdä epävarmuustarkastelu vaatimus- tai tavoitearvoon asti, koska sillä voidaan tuoda tarvittavat varmuuslisät melukuormituksen ja mitoitusmenetelmän vaikutuksien hallitsemiseksi. Koska julkisivun ääneneristävyyden mitoittamisessa on lähes poikkeuksetta ilmoitettu asetettu sisämelutaso, tulisi hallita myös ulkopuolisen melutason vaihtelut. Julkisivun ja rakennusosien mitoitukseen liittyviä epävarmuustekijöitä on useita ja varmuutta voidaan tarkastella kolmessa eri epävarmuustekijäluokassa; ulkomelutason arviointi, julkisivun mitoituksessa käytettävät epävarmuustekijät sekä rakennusosien ääneneristävyyden käyttäytymisen hajonnat. (Sipari & Saarinen 2003, 30.)

Suurimmat epätarkkuudet ja hajonnat tapahtuvat ulkomelutason arvioinnissa, koska ne korostuvat hetkellisen melutapahtuman aikana. Ulkomelutason voimakkuudesta

ja varmuudesta ei ole olemassa täsmällistä tietoa, koska eräässä tapauksessa on saatu jopa ± 5 dB:n eroja keskiäänitasoissa. Jos liikennetiedot ovat tarpeeksi luotettavia, voidaan keskiäänitasot ennustaa ± 3 dB:n tarkkuudella vilkasliikenteisten teiden ja katujen varsilla lähellä ajorataa. (Sipari & Saarinen 2003, 31.) Alla olevassa taulukossa (Kuvio 7.) on eritelty merkittävimmät epävarmuustekijät rakennusosien ääneneristävyyden mitoituksessa.

Tekijä/Vaikutus	Vaihtelu/Virhe (dB)
Äänikenttäoletuksien poikkeamat	$\pm 1...2$
Absorbtioalan korjaustekijä	$\pm 1...2$
Yhteisääneneristävyyden kaava	0...+3
Poikkeamat laboratoriomittauksissa	$\pm 1...2$
Ikkunakoon ja reunaehtojen vaikutus	-1
Työ- ja asennusvirheiden vaikutus	-2
Ulkomelun taajuusjakaumien vaihelut	± 3

Kuvio 7. Merkittävimmät epävarmuustekijät (Sipari & Saarinen 2003, 31).

Koska kaikki edellä luetellut hajonnat ovat satunnaisia, voidaan niiden huomioon ottamiseksi tarvita kaavamääräyksen kannalta noin 5–6 dB:n varmuusvara. Tämän suuruinen varmuusvara riittää myös, jos kahden suurimman epävarmuustekijän yhteisvaikutus tapahtuu samanaikaisesti. Sisämelutason kannalta varmuusvaraan tulisi ottaa huomioon ulkomelutason epätarkkuudesta aiheutuva vaikutus. Tällaisissa tapauksissa tulisi varmuusvara kasvattaa arvoon 6–7 dB. (Sipari & Saarinen 2003, 32.)

4 ILMAÄNENERISTÄVYYSMITTAUS

4.1 Mittauslaitteisto

Huoneistojen ilmaääneneristävyysmittaukset suoritettiin käyttäen 01dB-Stell, Harmonie 4210 -laitetta, kannettavaa tietokonetta, yhtä mikrofonia, äänilähdettä ja vahvistinta. Mittaukset suoritettiin SFS-EN ISO 717-1 -standardia käyttäen.



Kuva 1. Mittauslaitteisto.

4.2 Mittauslaitteiston valmistelu

Mittauslaitteiston vahvistin ja kannettava tietokone asetettiin kaiuttimen kantokotelon päälle, jota sai hyödynnettyä työpöytänä. Tarvittavat kytkennät suoritettiin ja avattiin mittauskalustoon tarkoitettu tietokoneohjelma. Ohjelma vaati asettamaan tiettyjä alkuasetuksia liittyen tuotettuun meluun, taustameluun, jälkikaiunta-aikaan sekä tutkittavaan ilmaääneneristävyyteen.

Mikrofoni kalibroitiin 94 dB:iin, jota kalibraattori tuotti. Asetukset valittiin 100 Hz–3150 Hz taajuusalueelle ja kustakin yllä mainitusta neljästä meluosasta otettiin kuusi mittaustulosta. Mittauksia tuli näin ollen yhteensä 24 kappaletta. Koska mittaus tehtiin tieliikennemelua vastaan, on erityisen tärkeää saada mittaukseen vaikuttavien seikkojen yhteisvaikutus selville korrekten mittaustulosten saamiseksi.

4.3 Mittauspaikan valmistelu

Koska mittauksessa käytettiin SFS-EN 717-1 -standardia soveltavasti, lasitettu parveke jouduttiin eristämään paksulla mineraalivillalla. Tällä tavoin parvekkeesta saadaan tehtyä toinen huone, jota standardi vaatii, koska kyseinen mittaustapa suoritettiin huoneistojen välisen seinän mittaustapaa käyttäen. Parvekkeen mineraalivillaeeristys suoritettiin mahdollisimman huolellisesti, koska ääni pääsee kulkeutumaan pienestäkin aukosta ja läpiviennistä. Kuulohavaintojen perusteella tieliikennemelusta kantautuneet äänet vaimenivat varsinkin korkeilla taajuuksilla merkittävästi.



Kuva 2. Ääneneristetty parveke.

4.4 Vuotopaikannin SDT FLEX.US

4.4.1 Johdanto

Ääneneristävyysmittauksissa on syytä myös dB-arvon lisäksi selvittää, mistä kohtaa rakennetta ääni mahdollisesti pääsee vuotamaan ja kulkeutumaan huonetilasta toiseen. Tämä tapa on mittaajalle ja työn tilaajalle nopea, yksinkertainen ja edullinen ratkaisu, josta saa konkreettisen tiedon esimerkiksi ikkunoiden ja ikkunaovien tiivistyksen toimivuudesta.

Vuotopaikanninta käyttäessä mittaaja saa varman tiedon, jos on syytä epäillä esimerkiksi seinärakenteen esteettisen virheen vaikuttavan ääneneristävyyteen. Tästä syystä kyseisellä äänen vuotopaikannustavalla saa hyvän yleiskäsityksen pelkällä silmäilyllä, millainen kohta rakenteessa mahdollisesti vuotaa ääntä ja mikä ei.

4.4.2 Laitteen esittely

Kyseisellä laitteistolla voidaan paikantaa mahdolliset äänen vuotokohdat. Laitteisto koostuu korkeataajuisista ultraääntä lähettävästä äänilähteestä, korkeita taajuuksia mittaavasta mikrofoniasta sekä kuulokkeista. Kun ultraääni kantautuu mikrofoniin, se muuntaa äänen ihmisen korvalla kuultavaksi ääneksi. Laite on hyödyllinen, koska ultraäänilähteen melu ei sekoitu taustamelun kanssa eikä häiritse tilassa oleskelevia tai työskenteleviä ihmisiä, joten tästä syystä äänen vuotopaikannus voidaan suorittaa myös meluisassa paikassa.

Vuotopaikanninta voidaan käyttää rakennuksien lisäksi myös kaikissa suljetuissa järjestelmissä. Esimerkiksi jarru- ja paineilmajärjestelmien sekä autoteollisuudessa korin ääneneristävyysvuotokohdat voidaan paikantaa.



Kuva 3. Vuotopaikannin SDT FLEX.US.

4.4.3 Vuotojen paikantaminen

Vuotopaikannukset suoritettiin kummassakin rakennuksessa viemällä mikrofonia noin 3 cm:n päässä rakenteen pinnasta (Kuva 4.). Äänivuodon paikantamiseksi käytiin läpi ikkunan ja ikkunaoven tiivisteet sekä lattian- ja katonrajat. Kummassakin rakennuksessa ongelmaksi muodostui ikkunaoven tiivistys, sillä laite ilmoittaa äänen kovenemisella suuremman vuotokohtan.

Laite ilmoitti puurakenteisen ulkoseinän katonrajassa pientä äänen kovenemista, joka oli ennustettavissa repeytyneen akustisen massan ansiosta. Lisäksi samaisessa rakennuksessa ääni kuului hyvin lujana ikkunaoven alareunasta, ja syytä tarkastelemalla tiivistyksen huomattiin olevan asennettu puutteellisesti ääneneristävyyteen nähden. Betonirakenteisessa ulkoseinässä ei paikannettu ikkunaovea lukuun ottamatta mitään äänen vuotokohtaa.



Kuva 4. Äänen vuotokohtien paikantaminen.

5 POHDINTA

Kerrostalon julkisivun ääneneristämässä on otettava monta eri vaikuttavaa tekijää huomioon. Yksi suuri tekijä on sivutiesiirtymä, jonka vaikutus on minimoitava huolellisilla rakenneliitoksilla. Kuten tässä opinnäytetyössä todetaan, meluisilla alueilla on huomioitava esimerkiksi ikkunoiden ja ikkunaovien valinta mahdollisimman kustannustehokkaasti, joten ääneneristävyteen vaikuttava suunnittelutyö vaatii tietoa.

Tämän opinnäytetyön tarkastelukohteet sijaitsevat 1. ja 3. kerroksessa, joista betonirunkoinen julkisivu 1. ja puurunkoinen julkisivu 3. kerroksessa. Betonijulkisivuisessa kohteessa yksi määräävä vaikutus on tieliikenteestä kantautuva runkoääni, jonka voi estää vaihtamalla täytemurskettä mahdollisimman pitkältä matkalta tiestä rakennukseen. Luonnon maa-aines on tiivistä, joten se kantaa ääntä ja tieliikenteen tärinää paljon paremmin kuin rakentamisessa käytettävä täyttömurske. Puujulkisivuisen rakennuksen lähtökohdat ovat paremmat ääneneristävyysmittauksia katsoen, koska tieliikenteestä kantautuva runkoääni on olematon ja tässä tapauksessa rakennuksen ylimmässä kerroksessa sijaitsevassa huoneistossa sivutiesiirtymä on estetty yläpohjan lämmöneristyksen ansiosta.

Ilmaääneneristävyysmittaustulokset tukevat hyvin teoriaosuutta, mikä nähdään liitteiden puurunkoisen julkisivun hyvistä ääneneristävyysluvuista alemmilla taajuuksilla ja betonirunkoisen julkisivun hyvistä ääneneristävyysluvuista korkeammilla taajuuksilla. Puurunkoisen julkisivun ääneneristävyysalenema 1600 Hz–2000 Hz:n alueella kertoo levyrakenteisen koinsidenssitaajuusalueesta, eli silloin rakenteeseen syntyy taivutusaaltoja, jotka heikentävät ääneneristävyttä ratkaisevasti tietyllä taajuusalueella. Betonirunkoisen julkisivun tasainen ääneneristävyystulos tukee teoriaa kertoen, että tässäkään tapauksessa koinsidenssi-ilmiö ei koidu ongelmaksi. Kummankin kohteen ilmaääneneristävyystulokset olisivat vielä paremmat, jos äänen vuotopaikoiksi herkät alueet eli ikkunoiden ja ikkunaovien tiivisteet kehittyisivät.

LÄHTEET

- Kylliäinen, M. 2009. Mitä ääni on? Akustiikan vaiheita antiikin ajatuksista nykyaikaisen äänenhallinnan alkuun. [Verkkojulkaisu]. Tekniikan Waiheita (2), 5-17, [Viitattu 21.1.2015]. Saatavana: http://www.ths.fi/Kylliainen_TW209.pdf
- Kylliäinen, M. 2011. Kivitalojen ääneneristys [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.3.2015]. Saatavana: <http://www.rudus.fi/Download/24785/Kivitalojen%20%c3%a4%c3%a4neneristys.pdf>
- Lahti, T. 1995. Akustinen mittaustekniikka [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.1.2015]. Saatavana: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/s-89.3430/materiaali/S-89_3430_akustinen_mittaustekniikka.pdf
- Lahtela, T. 2004. Ääneneristys puutalossa. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Wood Focus Oy. [Viitattu 7.2.2015]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>
- RIL 129. 2003. Ääneneristyksen toteuttaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Siikanen, U. 1998. Puurakennusten suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Sipari P. & Saarinen A. 2003. Rakennuksen julkisivun ääneneristävyuden mitoittaminen. [Verkkojulkaisu]. Ympäristöopas 108. Ympäristöministeriö. Helsinki: 2003. [Viitattu 27.3.2015] Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/download/none/%7B03383912-8822-4618-AD69-5866E01D8AAA%7D/77255>

LIITTEET

Liite 1. Puurunkoisen julkisivun ääneneristävyyssmittaustulos

Liite 2. Betonirunkoisen julkisivun ääneneristävyyssmittaustulos

LIITE 1 Puurunkoisen julkisivun ääneneristävyysmittaustulos



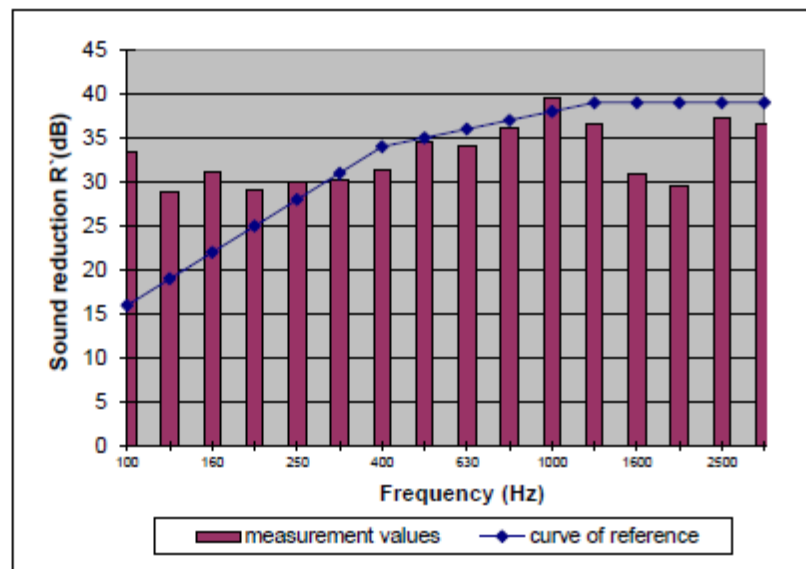
KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

Ilmaääneneristävyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

Tehtävä:	Julkisivurakenteen ilmaääneneristävyden määrittäminen
Menetelmät:	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R' _w :n määrittäminen)
Mittauskohde:	
Mittauspvm:	23.1.2015
Mittajat:	Joni Knuutila, Jorma Tuomisto
Lähetyshuone:	A20
Vastaanottohuone:	Mineraalivilloitettu parveke
Kuvaus rakenteista:	Monikerroksellinen puurunkoinen seinä
Vastaanottohuoneen tilavuus:	24 m ³
Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:	7,3 m ²
Laitteisto:	01dB-Stell, Harmonie 4210

Ilmaääneneristävyys R' _w :	35 dB	Korjaus, dB: -17
Ei-toivottujen poikkeamien summa:	30,5 dB	(< 32 dB)

Taajuus f (Hz)	Mittaustulos R' _w (dB)
100	33,3
125	28,8
160	31,1
200	29,1
250	30
315	30,3
400	31,4
500	34,6
630	34,2
800	36,1
1000	39,6
1250	36,7
1600	30,9
2000	29,5
2500	37,2
3150	36,6



LIITE 2 Betonirunkoisen julkisivun ääneneristävyysmittaustulos



KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

Ilmaääneneristävyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

Tehtävä:	Julkisivurakenteen ilmaääneneristävyden määrittäminen
Menetelmät:	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R':n määrittäminen)
Mittauskohde:	
Mittauspvm:	30.1.2015
Mittajat:	Joni Knuutila, Jorma Tuomisto
Lähetyshuone:	A4
Vastaanottohuone:	Mineraalivilloitettu parveke
Kuvaus rakenteista:	Betonirakenteinen kantava seinä, mineraalivilla, ohutrappaus
Vastaanottohuoneen tilavuus:	21 m ³
Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:	8,3 m ²
Laitteisto:	01dB-Stell, Harmonie 4210

Ilmaääneneristävyys R' :	41 dB	Korjaus, dB: -11
Ei-toivottujen poikkeamien summa:	31,7 dB	(< 32 dB)

Taajuus	Mittaustulos
f	R'
(Hz)	(dB)
100	27,9
125	32,8
160	32,1
200	36,9
250	30
315	34,6
400	38,5
500	35,6
630	38,7
800	40,7
1000	41,4
1250	44,2
1600	39,5
2000	41,1
2500	45,0
3150	48,4

