



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VILLE KOVALAINEN
LASITETTUIJEN PARVEKKEIDEN MELUNTORJUNNAN
SUUNNITTELU JA MITTAAMINEN LIIKENNEMELUALUEILLA

Diplomityö

Tarkastajat: professori Juha Vinha ja
yliassistentti Mikko Kylliäinen.
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
Tuotantotalouden ja rakentamisen
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
4. marraskuuta 2015

TIIVISTELMÄ

VILLE KOVALAINEN: Lasitettujen parvekkeiden meluntorjunnan suunnittelu ja mittaaminen liikennemelualueilla
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 193 sivua, 46 liitesivua
Helmikuu 2016
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Rakennesuunnittelu
Tarkastaja: professori Juha Vinha ja yliassistentti Mikko Kylliäinen

Avainsanat: akustiikka, parveke, meluntorjunta, ilmanvaihto, ääneneristys

Parvekkeille sovelletaan jo useissa kunnissa valtioneuvoston päätöksen 993 mukaisia ulkoalueiden melutason ohjearvoja vuodelta 1992. Ohjearvot perustuvat pitkälti WHO:n suosituksiin, joissa raja-arvot on määritetty häiritsevyyden perusteella. Yhteistä käytäntöä parvekkeiden meluntorjuntavaatimusten esittämiseen, mitoittamiseen tai mittaamiseen ei vielä ole. Tästä johtuen parvekkeiden meluntorjuntavaatimusten määrittelyn, meluntorjunnan suunnittelun ja todentamisen käytännöt vaihtelevat. Jos melutasojen parvekkeella edellytetään täyttävän valtioneuvoston päätöksen mukaiset ohjearvot, tarvitaan yhtenäinen kaavoituskäytäntö sekä suunnittelumenetelmä parvekelasitusten valitsemiseksi ja vaatimusten todentamiseksi mittauksin.

Parvekkeiden meluntorjuntaa koskeva kaavamääräys voidaan esittää samoin kuin rakennuksen ulkovaipalle, äänitasoerona ΔL_A . Parvekkeet kuitenkin eroavat asuinhuoneista, jolloin ulkovaipan ääneneristävyuden suunnittelu- ja mittauskäytäntöjä ei voida suoraan siirtää parvekkeille. Parvekkeet eroavat asuinhuoneista muun muassa jälkikaiunta-ajaltaan, absorptioalaltaan ja tilavuudeltaan. Lisäksi parvekkeen ulkoilmaan rajoittuva rakenne on yleensä aina selvästi huonompi ääneneristävyydeltään kuin tyypillinen ulkoseinä. Lasituksissa on myös runsaasti rakoja esimerkiksi ilmanvaihdon takia. Kehitetyn ilmanvaihdon laskentamallin perusteella rakojen optimoimiselle on vielä varaa, jolloin ääneneristävyyttä voidaan parantaa ilman, että ilmanvaihto parvekkeella heikkenee.

Kehitetty suunnittelumenetelmä parvekelasitusten valitsemiseksi liikennemelualueilla perustuu parvekelasituksen laboratoriossa mitattuihin ilmaääneneristysarvoihin, parvekkeen sisällä olevaan äänikenttään (absorptioon), kaiderakenteeseen ja sen viivamaisiin rakoihin ja rakennusosien pinta-aloihin. Mitoitusmenetelmän tuottamia laskennallisia tuloksia verrattiin tehtyjen kenttämittausten tuloksiin. Mittauksia suoritettiin 5 uudiskohteessa, jotka sijaitsevat liikennemelualueella. Yhteensä 10 parvekettä mitattiin tutkimusta varten. Suunnittelumenetelmän tulokset erosivat mittaustuloksista keskiarvoltaan -5 dB eli mitoitus on noin 5 dB suurempi kuin mitattu arvo. Tätä käytetään mitoituksessa korjausterminä, jolloin suunnittelumenetelmän tarkkuus on tieliikennemelun kohdalla ± 1 dB, ja raide- ja lentomelun kohdalla ± 2 dB mitatuilla parvekkeilla.

Mittausmenetelmäksi valittiin standardiin ISO 140-5:1998 perustuva julkisivujen ääneneristävyuden mittaus. Standardin menetelmistä valittiin käytettäväksi globalmenetelmä kaiuttimella. Mitattu äänitasoero ΔL_A johdetaan painottamattomasta spektripainotetusta äänitasoeroluvusta $D_w + C_j$ vähentämällä tästä julkisivuheijastus.

ABSTRACT

VILLE KOVALAINEN: Noise abatement of glazed balconies – design and measurement against traffic noise

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 193 pages, 46 Appendix pages

February 2016

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Structural Engineering

Examiner: Professor Juha Vinha and Research Fellow Mikko Kylliäinen

Keywords: acoustics, balcony, noise abatement, ventilation, sound insulation

The reference values of the noise levels issued by the Council of State in 1992 have already been applied to balconies in several cities. These values are mainly based on the recommendations of WHO, where the values have been determined from annoyance research. There are no generally agreed methods for stating planning regulations for the noise abatement of glazed balconies or measuring and designing them. This complicates the work of planning and designers alike and a need for such methods exists if the noise abatement of balconies is demanded in the future.

The requirement for noise abatement for balconies can be stated as it is done with a façade, as sound level difference ΔL_A . Glazed balconies do, however, differ from regular dwellings and the methods cannot be directly applied to balconies. The differences include reverberation time, sound absorption area, volume and the exterior structure. The exterior structure of a balcony usually has a much poorer sound insulation than a typical façade. This is mostly caused by apertures in the glazing and balustrade, which for example take care of the ventilation of the balcony. A calculation model developed for estimation of aperture sizes is able to calculate the natural ventilation of a glazed balcony in design precision. The results indicate that theoretically the apertures in the exterior surface can be optimized in such a way that the natural ventilation of the balcony is not disturbed and the sound insulation is improved.

The design method for selection of glazings is based on the laboratory measurement values of airborne sound insulation of the glazing used in the balcony. The method also takes into account the noise field inside the balcony (sound absorption), balustrade and its slit-shaped apertures and the surface areas of these building elements. The design method was compared with field measurements done with the proposed method. Measurements were done in 5 new buildings from which 10 glazed balconies were measured (2 balconies each). The average difference between measurement and design values was found to be -5 dB, which is used as a correction term in the final design method. The accuracy of the method was found to be ± 1 dB for traffic noise and ± 2 dB for railway or air traffic noise when compared to the measurements.

Standard ISO 140-5:1998 describes methods for measuring the sound insulation of a façade. The global method in this standard was chosen as the proposed measurement method for glazed balconies. The measurement is to be done using a loudspeaker as the sound source. The sound level difference ΔL_A is calculated from the unweighted sound level difference index against chosen transportation noise $D_w + C_j$ and subtracting the effect of façade reflection.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on toteutettu Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitoksella ja sen ovat rahoittaneet Liikennevirasto ja ympäristöministeriö. Tutkimuksen päätavoitteena oli tuottaa yhtenäiset käytännöt lasitettujen parvekkeiden meluntorjunnan suunnitteluun ja todentamiseen, joiden lisäksi lasitettujen parvekkeiden muita merkityksiä tutkittiin. Haluan kiittää Liikennevirastoa ja ympäristöministeriötä tutkimuksen mahdollistamisesta sekä Erkki Poikolaista, Ari Saarista ja Pekka Lukkarista miellyttävästä ja asiantuntevasta johtoryhmätyöskentelystä.

Osoitan erityiset kiitokset Mikko Kylliäiselle työn erinomaisesta ohjauksesta ja asiantuntevista kommentteista. Kiitän myös Timo Huhtalaa (A-Insinöörit Suunnittelu Oy), jolla oli keskeinen osuus työn käynnistämisessä. Ilman heidän panostustaan tätä työtä ei olisi.

Kiitokset kuuluvat myös Kimmo Hilliaholle ja Anssi Laukkariselle Tampereen teknilliseltä yliopistolta, Pekka Latvanteelle, Jesse Lietzénille ja Mikael Ruohoselle A-Insinöörit Suunnittelu Oy:stä ja Valtteri Hongistolle Työterveyslaitokselta. Kimmolta sain korvaamattomia neuvoja lasitettujen parvekkeiden energiansäästön, rakennusfysiikan ja muiden meluun liittymättömien seikkojen ongelmiin. Kimmon kanssa myös aherrettiin ilmanvaihtokysymysten parissa useampi tuokio. Anssia kiitän avusta rakennusfysiikan ongelmiin. Pekkaa, Jesseä ja Mikaelia haluan kiittää avusta suoritetuissa mittauksissa. Valtteri Hongistoa haluan kiittää hänen toimittamistaan liikennemeluspektreistä.

Lopuksi kiitän Annea ja muita läheisimpiäni, jotka ovat tukeneet minua tutkimuksen aikana.

Tampereella 31.12.2015

Ville Kovalainen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tausta	1
1.2	Parvekkeiden meluntorjunta	2
1.3	Tavoitteet	4
2.	PARVEKKEITA KOSKEVAT VAATIMUKSET JA ODOTUKSET	5
2.1	Parvekkeen määritelmä.....	5
2.2	Parvekkeen merkitys eri käyttäjäryhmille	5
2.3	Meluntorjuntaa koskevat säädökset ja ohjeet	8
2.3.1	Meluntorjunnan tavoitteet	8
2.3.2	Valtioneuvoston päätös melutason ohjeista	8
2.3.3	WHO:n ohjeet meluntorjunnasta.....	9
2.3.4	Muut parvekkeiden meluntorjuntaan liittyvät ohjeet	10
2.3.5	Asukkaiden kokemukset melusta parvekkeella	10
2.4	Melutason ohjeiden soveltaminen parvekkeilla	11
2.4.1	Parvekkeella sallittava äänitaso.....	11
2.4.2	Kaavamääräyksen muodostuminen.....	12
2.4.3	Toteutettuihin parvekkeisiin kohdistuvat äänitasot ja äänitasoerovaatimukset.....	13
2.5	Muut ominaisuudet.....	18
2.5.1	Paloturvallisuus	18
2.5.2	Pitkäaikaiskestävyys	18
2.5.3	Parvekkeen sisäilmasto ja energiatalous	19
2.5.4	Ilmanvaihto	21
3.	PARVEKKEEN ILMANVAIHTO.....	23
3.1	Parvekkeen ilmanvaihtotarve	23
3.2	Aukon kautta kulkeva tilavuusvirta.....	24
3.3	Lasitetun parvekkeen lämpötilan laskenta.....	27
3.4	Parvekkeen ilmanvaihdon laskentamalli	33
3.5	Laskentamallin vertailu simuloiteihin	34
3.6	Laskentaesimerkki	41
3.6.1	Ilmanvaihtokertoimen ajallinen vaihtelu.....	41
3.6.2	Ilmanvaihdon ja ilmansuunnan vaikutus ylikäynnemiseen.....	46
4.	PARVEKKEEN ÄÄNENERISTÄVYYS	50
4.1	Liikennemelun häiritsevyys.....	50
4.2	Äänikenttä parvekkeella	53
4.3	Äänikenttä parvekkeen ulkopuolella	57
4.4	Rakennusosien ilmäeneristävyys	62
4.5	Raon ilmäeneristävyuden laskentamalli	65
4.5.1	Viiivamainen rako (Gomperts ja Kihlman).....	66

4.5.2 Viivamainen rako (Mechel)	69
5. MITTAUSMENETELMÄ.....	74
5.1 Mittausstandardit	74
5.2 Mittaukset parvekkeella.....	74
5.2.1 Jälkikaiunta-ajan mittaus.....	75
5.2.2 Pienten taajuuksien mittaus standardiluonnoksen ISO CD 16283-3 mukaan	76
5.3 Mittaukset ulkona	76
5.4 Äänilähde.....	77
5.5 Mittalukujen laskenta	80
5.6 Mittausmenetelmän ongelmakohtia.....	82
5.6.1 Mittausmenetelmän epävarmuus.....	90
5.7 Ulkopuoliseen äänikenttään tehtävät korjaukset	92
5.7.1 Yhteenveto julkisivukorjauksesta	95
5.8 Parvekkeilla sovellettavat käytännöt	98
5.8.1 Mittaukset ulkona.....	98
5.8.2 Äänilähde	98
5.8.3 Taajuusalue	99
5.8.4 Ulkopuoliseen äänikenttään tehtävä korjaukset.....	99
5.8.5 Äänitasoeron $\Delta L_{A,mit}$ laskenta mittauksista.....	99
6. PARVEKKEIDEN KENTTÄMITTAUKSET	103
6.1 Mittauskohteet	103
6.2 Mittausten suoritus	105
6.3 Mittaustulokset	106
6.3.1 Parvekkeen ulkopuolella mitatun äänenpainetason vaihtelu	106
6.3.2 Kaiuttimen sijoittelu.....	107
6.3.3 Parvekkeiden jälkikaiunta-aika ja absorptio	111
6.3.4 Parvekkeiden äänitasoerot.....	116
6.3.5 Teippausten vaikutus.....	117
6.3.6 Nurkkamittaukset	120
7. MITOITUSMENETELMÄ	124
7.1 Mitoitusmenetelmän johtaminen	124
7.2 Vaihtoehtoiset liikennemeluspektrit	128
7.3 Mittauskohteiden mitoitukselmat.....	128
7.3.1 Raide- ja lentomelu (R_w+C)	128
7.3.2 Tieliikennemelu (R_w+C_{tr}).....	131
7.4 Korjaustermi K	133
7.4.1 Raide- ja lentomelu (R_w+C)	134
7.4.2 Tieliikennemelu (R_w+C_{tr}).....	138
7.5 Mittauskohteille vaadittavat parvekelasitukset.....	142
7.6 Menetelmän käyttäytyminen	144
7.7 Ilmanvaihtoaukkojen vaikutus ääneneristävyyteen	148

8.	PARVEKKEEN ÄÄNENERISTÄVYYDEN SUUNNITTELU JA MITTAUS	154
8.1	Ehdotus suunnittelu- ja mittausmenetelmäksi	154
8.2	Kaavamääräys.....	154
8.3	Mitoitusmenetelmä	154
8.3.1	Lähtötiedot	154
8.3.2	Rakennusosan äänitasoero	155
8.3.3	Lasikaiteen ääneneristävyys.....	156
8.3.4	Lasitetun parvekkeen vaipparakenteen kokonaisäänitasoero.....	156
8.3.5	Parvekelasitukselta vaadittu ääneneristävyys	157
8.3.6	Mitoitusehto	157
8.3.7	Tarkkuus.....	157
8.4	Taulukkomenetelmä	158
8.4.1	Lähtötiedot	158
8.4.2	Rakennusosan äänitasoero	158
8.4.3	Lasikaiteen ääneneristävyys.....	159
8.4.4	Lasitetun parvekkeen vaipparakenteen kokonaisäänitasoero.....	160
8.4.5	Mitoitusehto	160
8.4.6	Tarkkuus.....	161
8.5	Laskentaesimerkkejä	161
8.5.1	Mitoitusmenetelmä.....	161
8.5.2	Taulukkomenetelmä.....	166
8.6	Mittaukset	170
8.6.1	Mittausstandardi ja taajuusalue	170
8.6.2	Äänenpainetason mittaaminen ulkona	170
8.6.3	Kaiuttimen sijainti.....	170
8.6.4	Äänenpainetason mittaaminen parvekkeella a	172
8.6.5	Jälkikaiunta-ajan ja absorptioalan mittaaminen	173
8.6.6	Äänitasoeron $\Delta L_{A,mit}$ laskenta	174
8.6.7	Vaihtoehtoiset liikennemeluspektrit.....	175
8.6.8	Normalisoidun äänitasoeron $\Delta L_{A,mit,n}$ laskenta	175
9.	YHTEENVETO	176
	LIITTEET	179
	LÄHTEET.....	181

MÄÄRITELMÄT

Absorptioala	Ääntä absorboivan materiaalin painotettu pinta-ala. Pinta-ala painotetaan materiaalin absorptiosuhteella.
A-painotus	Äänen taajuuspainotus, joka ottaa huomioon ihmisen kuulokyvyn.
Diffraktio	Ääniaallon muoto muuttuu kohdatessaan esteen tai raon. Esimerkiksi ääniaalto taipuu rakennuksen nurkan yli rakennuksen taakse.
Diffuusi äänikenttä	Äänikenttä, jossa äänienergia on jakaantunut tasaisesti koko tilaan, ääniaalloilla on yhtä suuri todennäköisyys saapua mistä tahansa suunnasta ja saapuvilla ääniaalloilla on satunnainen vaihe.
Ilmanvaihtokerroin	Kerroin, joka kertoo, montako kertaa tunnissa tilan ilma vaihtuu.
Ilmääneneristysluku	Standardin ISO 717-1 vertailukäyrämenettelyn mukaan määritetty mittaluku, joka kuvaa rakenteen ilmääneneristävyttä.
Ilmääneneristävyys	Rakenteen kyky eristää ilmasta rakenteeseen siirtyvää ääntä ja tämän kulkeutumista rakenteen toiselle puolelle.
Interferenssi	Ääniaaltojen yhdistyminen superpositioperiaatteen mukaan.
Jälkikaiunta-aika	Aika, jossa tilan äänenpainetaso laskee 60 dB.
Lasitettu parveke	Parveke, jonka avoin osa on korvattu avattavalla lasirakenteella, kuten liukulasilla.
Melualue	Alue, jossa melutason ohjearvot ylittyvät.
Modaalinen äänikenttä	Äänikenttä, jossa diffuusin äänikentän määritelmät eivät toteudu, ja äänenpainetason määrää suuresti tilan ominaistajuudet.
Painovoimainen ilmanvaihto	Tilojen lämpötilaeroista johtuva ilmavirtaus tilojen välillä.
Parveke	Kerrosalaan lukematon kylmä tila, joka voidaan suojata avattavilla rakenteilla.
Sironta	Ääntä heijastuu pinnasta peilimäisen heijastuksen lisäksi myös muihin suuntiin.

Sivutiesiirtymä	Äänen kulkureitti, joka ei ole suoraan tiloja erottava rakenne.
Spektri	Tässä tapauksessa ääni, joka koostuu eri taajuuksista.
Spektripainotusermi	Termi, jolla ääneneristävyyttä kuvaava mittaluku muutetaan kuvaamaan haluttua melua.
Taajuuskaista	Yksittäisistä taajuuksista koostuva alue, jolla on alaja ylärajataajuus. Taajuuskaistalle esitetään yleensä yksi arvo, joka kuvaa kaikkia taajuuskaistaan kuvaavia taajuuksia.
Tilan mooditaajuus	Tilan mitoista riippuva taajuus, jolla tilassa syntyy todennäköisesti seisova aalto.
Varatie	Uloskäytävän ohella pelastautumiseen käytettävä asuntokohtainen tie, joka voi olla parveke.
Vertailukäyrämenettely	Standardin ISO 717-1 tapa laskea mittaluku ääneneristävyysspektristä.
Vertailuspektri	Melun taajuusjakauma, jota käytetään mittalukujen painotuksessa. Ks. spektripainotusermi.
Viherhuone	Kerrosalaan luettava tila, jossa ulkoilmaan rajoittuva rakenne voi olla myös suljettu.

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Ääni

A	Tilan mitattu absorptioala [m^2]
A_0	Tilan referenssiabsorptioala (asuinhuoneella 10 m^2) [m^2]
$A_{ref,parv}$	Tyhjän parvekkeen referenssiabsorptioala [m^2]
C	Standardin ISO 717-1 [717-1] raide- ja lentomelun spektripainotusermi [dB]
C_j	Liikennemelun j spektripainotusermi [dB]
C_{tr}	Standardin ISO 717-1 [717-1] tieliikennemelun spektripainotusermi [dB]
D_{2m}	Äänitasoero [dB]
$D_{ls,2m}$	Äänitasoero, joka on mitattu käyttämällä kaiutinta [dB]
D_w	Äänitasoeroluku [dB]
f_c	Schröderin rajataajuus [Hz]
K	Korjausermi, jolla otetaan epävarmuuksia huomioon laskennassa [dB]
K_{abs}	Tilan absorptioalasta riippuva korjausermi [dB]
K_j	Liikennemelun j korjausermi (A-painotettu kokonaisäänepainetaso) [dB]
$K_{S,i}$	Rakennusosan pinta-alasta riippuva korjausermi [dB]
K_{sum}	Äänitasoerojen yhdistämisen korjausermi [dB]
$L_{1,2m}$	Äänenpainetaso mitattu 2 metrin päässä ulkovaipan keskipisteen edestä 1,5 metrin korkeudelta parvekkeen lattiatasosta [dB]
L_2	Normaalilla menettelyllä mitattu äänenpainetaso tilassa [dB]
$L_{2,Corner}$	Nurkasta mitattu äänenpainetaso tilassa [dB]
$L_{2,LF}$	Alle 100 Hz taajuuskaistojen äänenpainetaso tilassa [dB]
$L_{A,eq}$	A-painotettu ekvivalentti äänenpainetaso [dB]
$L_{A,eq,22-7}$	A-painotettu ekvivalentti äänenpainetaso yöaikaan 22-7 [dB]
$L_{A,eq,7-22}$	A-painotettu ekvivalentti äänenpainetaso päiväaikaan 7-22 [dB]
$L_{A,s}$	Parvekkeella vallitseva melutaso [dB]
$L_{A,u}$	Parvekkeeseen kohdistuva melutaso [dB]
L_{den}	Päivä-ilta-yöpainoettu äänenpainetaso [dB]
L_p	Äänenpainetaso [dB]
$L_{j,i}$	Liikennemelun j äänenpainetaso taajuuskaistalla i [dB]
R	Ilmaääneneristävyys [dB]
R'_{45}	Ulkovaipan ilmaääneneristävyys, joka on mitattu käyttämällä kaiutinta [dB]
$R'_{tr,s}$	Ulkovaipan ilmaääneneristävyys, joka on mitattu käyttämällä liikennemelua [dB]
$R_{lasi,vaad}$	Parvekelasitukselta vaadittava ilmaääneneristysarvo [dB]
$R_w + C_j$	Ilmaääneneristysluku liikennemelua j vastaan [dB]
$R_w + C$	Ilmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan [dB]
$R_w + C_{tr}$	Ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan [dB]
R_w	Ilmaääneneristysluku [dB]
S	Erottavan rakenteen pinta-ala [m^2]
S_{abs}	Absorptiomateriaalin pinta-ala [m^2]
S_{lasi}	Parvekelasituksen pinta-ala [m^2]
T	Jälkikaiunta-aika [s]

T	Tilan mitattu jälkikaiunta-aika [s]
T_0	Tilan referenssijälkikaiunta-aika (asuinhuoneella 0,5 s) [s]
α_{abs}	Absorptiomateriaalin absorptiosuhde [-]
$\Delta L_{A,\text{lask}}$	Tyhjän parvekkeen laskennallinen äänitasoero [dB]
$\Delta L_{A,\text{lask,min}}$	Pienin kahdesta yhdistettävästä laskennallisesta äänitasoerosta [dB]
$\Delta L_{A,\text{mit}}$	Mitattu äänitasoero [dB]
$\Delta L_{A,\text{mit,n}}$	Normalisoitu mitattu äänitasoero [dB]
$\Delta L_{A,\text{vaad}}$	Vaadittu äänitasoero [dB]

Gomperts & Kihlman

β	Raon leveys [m]
l	Raon syvyys [m]
e	Raon päätekorjauskerroin [-]
α	Raon päätekorjaus
m	Lähetyspuolen äänikentästä riippuva kerroin [-]
n	Vastaanottopuolen raon sijainnista riippuva kerroin [-]

Mechel

$2a$	Raon kokonaisleveys [m]
c_0	Äänen nopeus ilmassa [m/s]
d	Raon syvyys [m]
$H_n^{(2)}(u)$	Toisen tyyppin Hankel-funktio (kolmannen tyyppin Bessel-funktio) parametreilla n ja u [-]
k_0	Äänen aaltoluku [1/m]
m	Pintamassa [kg/m ²]
P_e	Lähetyspuolen rakoon kohdistuvan äänenpaineen amplitudi [Pa]
$S_n(u)$	Struve-funktio parametreilla n ja u [-]
V_2	Äänen hiukkasnopeuden keskiarvo vastaanottopuolen raon pinnalla [m/s]
Z_0	Ilman akustinen impedanssi [Pa*s/m]
Z_1	Raon lähetyspuolen pinnan akustinen impedanssi [Pa*s/m]
Z_2	Raon vastaanottopuolen pinnan akustinen impedanssi [Pa*s/m]
Z_a	Raon sisällä olevan materiaalin akustinen impedanssi [Pa*s/m]
Z_{r2}	Vastaanottopuolen raon pinnan äänensäteilyn impedanssi [Pa*s/m]
θ_2	Äänen kulkusuunta raossa [deg]
θ_i	Äänen tulokulma raon pintaa kohtisuorassa tasossa [deg]
ρ_0	Ilman tiheys [kg/m ³]
τ	Äänenläpäisykerroin [-]
τ_{dif}	Äänenläpäisykerroin diffuusissa äänikentässä [-]
φ_i	Äänen tulokulma raon pinnan tasossa [deg]
ω	Kulmataajuus [Hz]
Γ_a	Raon sisällä olevan materiaalin karakteristinen etenemisvakio [1/m]

Ilmanvaihto

A	Aukon pinta-ala [m ²]
A_1	Kahden aukon virtausmallin aukon 1 pinta-ala [m ²]
A_2	Kahden aukon virtausmallin aukon 2 pinta-ala [m ²]
A_{eff}	Ilmavirtausaukon tehollinen pinta-ala [m ²]
C_d	Aukon muodon ja tyyppin huomioon ottava kerroin [-]
g	Gravitaatiovakio 9,81 m ² /s

h	Kahden aukon virtausmallin aukkojen keskipisteiden välinen korkeusero [m]
H	Yhden aukon virtausmallin aukon korkeus [m]
p_{e0}	Ulkona vallitseva paine koordinaatiston origossa [Pa]
p_{i0}	Sisällä vallitseva paine koordinaatiston origossa [Pa]
p_{ref}	Mielivaltainen vakio, jolla määritetään koordinaatiston origon paine-ero [Pa]
p_w	Tuulenpaine [Pa]
q, Q	Ilman tilavuusvirta [m^3/s]
Q_b	Lämpötilaerosta johtuva tilavuusvirta [m^3/s]
T_e	Lämpötila ulkona [$^{\circ}C$]
T_i	Lämpötila sisällä (parvekkeella) [$^{\circ}C$]
z	Korkeuskoordinaatti [m]
Δp	Paine-ero aukon eri puolilla [Pa]
Δp_0	Koordinaatiston origon paine-ero tilojen eri puolilla [Pa]
$\Delta \rho$	Ilman tiheusero aukon eri puolilla [kg/m^3]
ρ	Ilman tiheys [kg/m^3]

Lämpötila

A_j	Osan j pinta-ala [m^2]
c_p	Ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 J/(kg*K))
$Q_{aur,j}$	Osan j pinnalle tuleva auringon säteilyenergia [W/m^2]
S	Lasitetun parvekkeen kyky varastoida auringon säteilyä [-]
T_j	Tilan lämpötila, joka kulkee osan j kautta [$^{\circ}C$]
U	Lämmönläpäisykerroin [$W/(m^2K)$]
$\alpha_{lämp}$	Parvekkeen lämmön kokonaisabsorptiosuhde [-]
Δt	Ajanjakson pituus [h]
ΔT	Lämpötilaero [$^{\circ}C$ tai K]
$\tau_{lasi,aur,j}$	Osan j läpäisykerroin lyhytaaltoiselle auringonsäteilylle [-]
Φ	Lämpövirta [W]

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Vuoden 2012 loppuun mennessä Suomessa oli noin 1,27 miljoonaa kerrostaloasuntoa, joka vastaa noin 44,3 % koko rakennuskannasta [116]. Tähän aikaan asuntokohtaisia parvekkeita näyttää olleen 63 % kerrostaloasunnoista [34][68]. Kerrostaloasuntojen määrä kasvoi 1,31 miljoonaan vuoden 2014 loppuun mennessä, jolloin kerrostaloasuntojen osuus oli noin 44,9 % koko asuntokannasta [117]. Valtaosaan uusista asuinkerrostaloista tehdään parveke, sillä asukkaat kokevat sen merkittäväksi asumismukavuuteen liittyväksi tekijäksi [33].

Parvekkeet voidaan toteuttaa esimerkiksi teräsbetonista, puusta tai teräksestä [122]. Suomessa yleisin toteutustapa lienee kuitenkin teräsbetoni johtuen pitkälti 1960- ja 1970-luvun betonielementtiteollisuuden nopeasta kehityksestä, jolloin teräsbetonin käyttö oli yleistä [95]. Parveke voi sijaita rakennuksen rungon ulkopuolella (ulokeparveke), osittain sisäänvedettynä, täysin sisäänvedettynä (rungon sisällä) tai rakennuksen nurkassa (nurkkaparveke). Erilaisia parvekkeita esitetään kuvissa 1.1 ja 1.2 [122]



Kuva 1.1. Vasemmalla osittain sisäänvedetty parveke ja oikealla ulokeparveke. Kuvälähde: Google Maps.



Kuva 1.2. Vasemmalla sisäänvedetty parveke ja oikealla nurkkaparveke. Kuvälähde: Google Maps.

Parvekkeiden lasittaminen suojaa parvekettä ja pidentää parvekerakenteiden käyttöikä [35]. Lasittamisen seurauksena parvekkeiden käyttö ja merkitys asukkaalle yleensä myös kasvaa [33][113]. Lasitus onkin monesti toivottu ja haluttu varuste eri käyttäjäryhmille [3][33]. Lasitus on tällä hetkellä käytetyin – ja tosiasiallisesti ainoa – parvekkeiden meluntorjuntatoimenpide. Lasitettujen parvekkeiden meluntorjunnan suunnittelusta ja todentamisesta ei kuitenkaan ole vielä yhteisiä käytäntöjä.

1.2 Parvekkeiden meluntorjunta

Meluntorjunnan päämääränä on tuottaa terveellinen, viihtyisä ja vähämeluinen elinympäristö [156]. Vuonna 2005 tehdyn tilannekatsauksen [90] mukaan noin joka kuudes suomalainen asuu alueella, jossa melun keskiäänitaso päivällä ylittää annetun raja-arvon 55 dB. Meluntorjunnan yhtenä tavoitteena on vähentää tällaisilla alueilla asuvien ihmisten määrää 20 % vuoden 2003 määrään verrattuna vuoteen 2020 mennessä [156]. Tiedossa ei ole, miten parvekkeet Suomessa jakaantuvat eri melualueille.

Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista [157] ei määrittele, pitääkö melutason ohjearvojen toteutua myös parvekkeella. Valtioneuvoston päätöksen muistiossa [125] parvekkeet ja terassit rinnastetaan ulkoalueisiin, mihin useiden kuntien tulkinta parvekkeiden meluntorjunnasta perustuu [1][144]. Käytännöt parvekkeiden meluntorjuntavaatimusten määrittelemiseksi vaihtelevat kuntien välillä. Kaavamääräyksessä saatetaan esittää, että parvekkeisiin tulee asentaa parvekelasitus,

mutta tämä ei välttämättä yksistään takaa ohjearvojen saavuttamista. Toisaalta rakennusvalvontaviranomaiset ovat varsinkin pääkaupunkiseudulla usein edellyttäneet, että melutason ohjearvojen täytyminen tarkistetaan melumittauksin [72].

Yleisesti hyväksytyä menetelmää parvekkeen meluntorjunnan suunnitteluun ja mittaamiseen ei ole, mikä vaikeuttaa suunnittelua ja valvontaa. Suunnittelumenetelmälle on selvä tarve, jos parvekkeilta vaaditaan jatkossakin melutason ohjearvojen täytyminen. Tämä yhtenäistäisi myös meluntorjuntavaatimusten esittämisen kaavoituksessa. Suunnittelumenetelmää on jo hahmoteltukin [60][73]. Lasitetun parvekkeen ääneneristävyyden muodostuminen muistuttaa rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden muodostumista, jolloin ulkovaipan suunnitteluperiaatteita voi olla mahdollista käyttää parvekkeelle [73]. Lasitetulla parvekkeella saavutettava ääneneristävyys on kuitenkin aina reilusti huonompi kuin julkisivun. Tämä johtuu suurimmaksi osakseen siitä, että lasirakenteissa on runsaasti rakoja [60], eikä rakenne saa olla ulkoseinän omainen [61]. Lisäksi lasitetun parvekkeen huoneakustiset olosuhteet poikkeavat kalustetuista asuinhuoneista [73][74].

Melutaso parvekkeella riippuu vaipparakenteeseen kohdistuvasta melutasosta, ulkoilmaan rajoittuvien rakennusosien ääneneristävyyksistä ja pinta-aloista, raoista ja parvekkeen huonevaimennuksesta. Tästä syystä ääneneristävyys on parvekekohtainen ilmiö, eikä yhtä yleispätevää vaatimusta voida esittää pelkästään avattaville lasituksille. Avattava lasitus on suhteellisen monimutkainen rakenne ääneneristävyyden kannalta, koska pelkästään lasin lisäksi siinä esiintyy avoimia tai muovilistoin peitetyjä lasivälejä, silikonitiivisteitä liittymissä muihin rakenteisiin ja metalliprofiileita. Profiileissa on yleensä myös monimutkaisia rakoja, joiden vaikutus ilmääneneristykseen voi olla suuri [60]. Kaiteen asennustavallakin on merkitystä [60]. Tällaisen rakenteen ilmääneneristävyyden laskenta on erittäin haastavaa nykyisillä menetelmillä, ja siksi lasivalmistajat saattavatkin esittää laboratoriomittauksia lasituksilleen. Laboratoriomittauksissa äänentulokulma on kuitenkin eri kuin todellisessa tilanteessa. Laboratoriossa äänen ajatellaan saapuvan kaikista mahdollisista tulokulmista ja parvekkeilla rajatuista tulokulmista. Tosiasiallisesti ilmääneneristävyys riippuu suuresti äänen tulokulmasta [48][85][131][133], jolloin laboratoriomittaukset eroavat lähtökohtaisesti jo kenttätilanteesta. Äänen tulokulmalla on suuri vaikutusta erityisesti lasin ilmääneneristävyyteen [22]. Julkisivurakenteille tätä eroa on tutkittu, mutta lasitetuilla parvekkeilla vaikutuksen suuruudesta ei ole tietoa.

Parvekelasituksen ääneneristävyyteen sisältyy suuri määrä erilaisia epävarmuuksia, joita ei voida ottaa laskennallisesti huomioon riittävän tarkasti. Siksi parvekelasitusten suunnittelumenetelmän tulee sisältää korjaustermi [72][73], jolla nämä epävarmuudet voidaan ottaa huomioon. Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden mitoituksessa ikkunoiden ääneneristysarvoihin on tehty 3 dB korjaus [70]. Parvekelasitusten suunnittelua varten sopivaa korjaustermin arvoa ei tunneta.

1.3 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää käytäntö parvekkeille asetettavien meluntorjuntavaatimusten asettamiseksi asemakaavoituksessa, menetelmä liikennemelualueille rakennettavien parvekkeiden meluntorjunnan suunnittelemiseksi ja suunnitelmien tarkastamiseksi rakennuslupaprosessissa sekä mittausmenetelmä parvekkeiden meluntorjunnan todentamiseksi valmiissa rakennuksessa. Tutkimus jakautuu seuraaviin osatutkimuksiin:

1. Kartoitus siitä, millaisilla melualueilla parvekkeita sijaitsee, ja millaisia meluntorjuntavaatimuksia näillä parvekkeilla on
2. Lasitettujen parvekkeiden ilmaääneneristävyyden mitoitusmenetelmän kehittäminen
3. Lasitettujen parvekkeiden ilmaääneneristävyyden mittausmenetelmän kehittäminen ja tarkasteltavan mittaluvun valinta
4. Työkalun kehittäminen rakennusvalvonnalle parvekelasitusten ääneneristävyyden tarkistamiseksi
5. Tiedon tuottaminen rakennustuoteollisuudelle parvekelasitusten tuotekehitystä varten
6. Parvekkeen ilmanvaihtoon tarvittavien rakojen määrän arvioiminen

Tutkimuksessa suoritetaan kenttämittauksia melualueilla sijaitsevilla parvekkeilla kehitetyn mittausmenetelmän mukaisesti. Näitä tuloksia vertaillaan kehitettävään mitoitusmenetelmään.

2. PARVEKKEITA KOSKEVAT VAATIMUKSET JA ODOTUKSET

2.1 Parvekkeen määritelmä

Ympäristöopas 72 [61] määrittää parvekkeen rakennuksen ulkotilaksi, johon on yhteys rakennuksen sisältä. Parveke on kylmä tila, eikä sitä lueta kerrosalaan. Parvekkeessa on kaide, jonka lisäksi se voidaan suojata avattavilla rakenteilla kuten liukulaseilla. Ulkotilaan rajoittuva rakenne ei saa olla ulkoseinän omainen. Avattavan lasituksen osuutena pystysuorasta, ulkoilmaan rajoittuvasta pinnasta voidaan pitää 30 % osuutta. [61] Tätä osuutta on käytetty yleisesti raja-arvona [33], ja on olennainen seikka tilan tulkittamisessa parvekkeeksi.

Tila lasketaan viherhuoneeksi, jos edellä esitetyistä periaatteista poiketaan. Viherhuone lasketaan kerrosalaan, ja se soveltuu ympärivuotiseen käyttöön. [61] PK-seudun tulkinnan mukaan viherhuone on lämmin tai puolilämmin tila [82][161][61].

Rakentamista koskevat säädökset eivät edellytä parvekkeiden rakentamista asuinkerrostaloihin [139][140][141]. Siten säädökset antavat mahdollisuuden tulkintaan, jonka mukaan parvekkeilta ei tarvitsisi edellyttää meluohjearvojen täyttymistä, jos asuinrakennuksen pihalta on osoitettavissa melulta suojaisa oleskelualue. Käytännössä kuitenkin kunnat voivat kaavoituksessa määritellä meluntorjuntavaatimuksia parvekkeille, sillä kunnilla on maankäyttö- ja rakennuslain mukaan kaavoitusmonopoli [1][93].

Parvekkeiden rakentamistarpeeseen voi vaikuttaa tämän käyttö varatienä palotilanteessa. Enintään kahdeksankerroksisessa rakennuksessa (esimerkiksi asuntorakennus) sallitaan vain yksi uloskäytävä palotilanteessa, mutta tällöin tulee jokaisessa asunnossa olla varatie, jonka kautta voidaan pelastautua itse tai palokunnan avustuksella. Parveketta tai ikkuna-aukkoa voidaan käyttää asuntokohtaisena varatienä. [138]

2.2 Parvekkeen merkitys eri käyttäjäryhmille

Nykyään lähes kaikkiin asuinkerrostalojen asuntoihin rakennetaan parveke [152], ja se nähdään välttämättömänä osana kerrostaloasuntoa [142]. Tilavat ja viihtyisät parvekkeet nostavat asunnon arvoa, ja parveke toimii asunnon lisähuoneena [33][68]. Eräässä tutkimuksessa [33] yli 50-vuotiaista suurempi osa koki parvekkeen lisähuoneena kuin nuoremmista ikäryhmistä. Arkkitehtihaastattelujen mukaan asiakkaalle on tärkeää

parvekkeen toimivuus, koko, valoisuus, kestävyys, ympäristö ja esteettisyys [68]. Parvekkeet toimivat kytköksenä ulkotilaan ihmisille ja ovat erityisen tärkeitä vanhuksille, joiden on muutoin vaikea liikkua ulkona. Toisaalta, parveke voi myös motivoida asukkaan liikkumaan myös muilla ulkoalueilla. Parvekkeella voi olla elämänlaatua parantava vaikutus. [3]

ARA:n suunnitteluoppaan [142] mukaan tuetun rakentamisen asunnot tulee varustaa oleskeluparvekkeilla, ja näiden lasittamista suositellaan [142]. Palvelutaloissa parvekelasituksen lisäys onkin ollut suosituin parvekkeiden parannustoive [3]. Lasitettujen parvekkeiden haltijat ovat yleisesti tyytyväisempiä kuin avoimien parvekkeiden haltijat [33]. Lasitetut parvekkeet nähdään asuinhuoneeseen verrattavana lisätilana yleisemmin kuin avoparvekkeet, ja lasitus lisää parvekkeen käyttömahdollisuuksia [33].

Parvekkeita käytetään yleiseen oleskeluun ja harrastetoimintaan [3][33]. Eri toimintoja ovat muun muassa vaatteiden tuulettaminen, lukeminen, kasvien ja kukkien hoito ja kahvinjuonti. Muita yleisiä toimintoja ovat tupakointi, auringonotto, vauvaikäisten lasten ulkoilutus- ja nukutuspaikka, vilvoittelu ja tavaroiden varastointi. Parvekettä voidaan käyttää myös lasten leikkien tarkkailuun pihalla [33]. Parvekettä saatetaan käyttää lähes päivittäin [3][33], ja pääasiallinen käyttö painottuu iltapäivään ja iltaan. Käyttö on selvästi yleisempää lämpiminä kuin kylminä vuodenaikoina. Talvisin parvekkeen oleskelukäyttö vähenee, mutta vuodenaika ei juuri vaikuta parvekkeen käyttöön alle 2-vuotiaiden lasten ulkoilutuspaikkana. Tavaroiden säilytystoiminta yleistyy hieman talvisin. [33]

Parvekkeen käyttöä haittaavia tekijöitä ovat sade, lumi, pöly, lika ja parvekkeen pieni koko. Lisäksi tuulisuus ja melu haittaavat parvekkeen käyttöä. [3][33] Vaikka melu koetaan häiritsevänä tekijänä, tämän merkitys koetaan pienemmäksi kuin muiden esitettyjen tekijöiden [33]. Avattavalla parvekelasituksella voidaan vähentää sateen, lumen, pölyn, lian, tuulen ja melun aiheuttamia haittoja, jolloin myös käyttö monipuolistuu [3][33][113]. Tämä näkyy myös siinä, että lasitetuilla parvekkeilla esiintyy enemmän kalusteita kuin avoparvekkeilla.

Lasitus voi pidentää joidenkin tutkimuksien mukaan parvekkeiden käyttöä jopa yli 2 kuukautta vuodessa [3], vaikkakin Oulussa tehdyn tutkimuksen [33] perusteella arvioitu käyttöajan pidennys on noin 3 viikkoa. Putaan vuokratalojen perusparannuskokeilussa vuonna 1990 [113] käyttöaika piteni vähintään 4 viikkoa vuodessa. Lasitettujen parvekkeiden lämpötilamittaukset tukevat ajatusta, että niiden käyttöaika voisi pidentyä jopa 2 kuukautta vuodessa, vaikkakin keskimääräinen pidennys oli noin 1 kuukausi [38]. Lasituksen myötä parvekkeen lämpötila saattaa kuitenkin nousta haitallisen korkeaksi [35], mutta tämä ei välttämättä haittaa valtaosaa asukkaista [33]. Toisaalta kuumeneminen koettiin haitalliseksi 75 % lasitetuista parvekkeista Putaalla [113]. Lasien huurtuminen ei näytä haittaavan asukkaita Oulussa [33] tai Putaalla [113].

Taulukossa 2.1 esitetään yhteenvedona tämän kappaleen tuomia seikkoja parvekkeen ja lasituksen käyttötavoista ja merkityksistä.

Harva pitää parvekelasituksia kokonaan auki, ja yleensä avoimuus riippuu sääolosuhteista ja vuodenajasta [3][33][38]. Lasituksen avoimuusaste vaihtelee erityisesti niissä asunnoissa, joissa parvekkeen käyttötarkoitus vaatii lisääntyntä ilmanvaihtuvuutta, kuten vilvoittelu tai tupakointi [36]. Oulussa tehdyssä tutkimuksessa [33] lasitus oli kesäisin osittain auki 80 % ja talvella täysin kiinni 90 % tutkituista parvekkeista.

***Taulukko 2.1.** Yhteenvedo parvekkeen ja lasituksen vaikutuksesta.*

Parvekkeen käyttötavat

- Vanhusten ja liikuntarajoitteisten ulkoilutila
- Yleinen oleskelu
- Vaatteiden tuuletus
- Lukeminen
- Kasvien ja kukkien hoito
- Kahvinjuonti
- Tupakointi
- Auringonotto
- Alle 2-vuotiaiden lasten ulkoilutus- ja nukutuspaikka
- Vilvoittelu
- Tavaroiden varastointi
- Lasten leikkien tarkkailu

Parvekkeen merkitys

- Asunnon arvo kasvaa
- Lisähuone
- Harrastuspaikka
- Kytkös ulkoilmaan

Lasituksen merkitys

- Asukkaat tyytyväisempiä
 - Lisää käyttömahdollisuuksia
 - Suojaa sateelta, lumelta, pölyltä, lialta, melulta ja tuulelta
 - Lisää mahdollista käyttöaikaa
-

Parvekkeella on useita eri käyttäjäryhmiä, joista merkittävimmät vaikuttavat olevan vanhukset ja lapsiperheet. Lasitus vaikuttaa olevan lähinnä positiivinen ominaisuus parvekkeella, ja sitä usein toivotaan. Parveke itsessään on myös toivottu ja haluttu ulkotila asunnossa, ja se pyritään usein myös rakentamaan.

2.3 Meluntorjuntaa koskevat säädökset ja ohjeet

2.3.1 Meluntorjunnan tavoitteet

Melu määritellään äänenä, jonka ihminen kokee häiritseväksi tai epämiellyttäväksi tai joka vaikuttaa haitallisesti ihmisen terveyteen tai muuhun hyvinvointiin [98]. Melu on yleisin ja yksi tärkeimmistä ympäristön laatua heikentävistä ympäristötekijöistä. Melu vähentää viihtyisyyttä ja on pitkään jatkuessaan terveydelle haitallista. Terveysvaikutusten lisäksi melun seurauksena voi olla toiminta- ja työkyvyn heikentymistä. [59]

Meluntorjunnan päämääränä on tuottaa terveellinen, viihtyisä ja vähämeluinen elinympäristö [156]. Vuonna 2005 tehdyn tilannekatsauksen [90] mukaan noin joka kuudes suomalainen asuu alueella, jossa melun keskiäänitaso päivällä ylittää Valtioneuvoston päätöksessä 993/1992 [157] annetun raja-arvon 55 dB. Meluntorjunnan yhtenä tavoitteena on vähentää tällaisilla alueilla asuvien ihmisten määrää 20 % vuoden 2003 määrään verrattuna vuoteen 2020 mennessä. [156]

2.3.2 Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista

Edelleen voimassaoleva valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 993/1992 [157] annettiin meluntorjuntalain 382/1987 [99] nojalla. Meluntorjuntalaki 382/1987 [99] ei ole enää voimassa, ja se on korvattu vuonna 2000 ympäristönsuojelulaille 86/2000 [165] ja ympäristönsuojeluasetuksella 169/2000 [163]. Nämä on vastaavasti korvattu vuonna 2014 lailla 527/2014 [164] ja 713/2014 [154] (samassa järjestyksessä).

Ennen vuoden 1992 päätöstä ei ole ollut melutasoja koskevaa säädöstä, vaan yleisenä suosituksena käytettiin lääkintöhallituksen ohjekirjettä n:o 21/87 [125]. Päätöksessä esitetään, että asumiseen käytettävillä alueilla, virkistysalueilla taajamissa ja taajamien välittömässä läheisyydessä ulkona vallitsevan keskiäänitason $L_{A,eq}$ ohjearvo päivällä (7-22) olisi 55 dB ja yöllä (22-7) 50 dB. Uusilla alueilla sovelletaan 45 dB raja-arvoa yöllä. Asuin-, potilas- ja majoitushuoneissa ulkoa kantautuvan melun keskiäänitason tulee alittaa päivällä ohjearvo 35 dB ja yöllä 30 dB. [157] Arvot esitetään myös taulukossa 2.2.

Taulukko 2.2. Valtioneuvoston päätöksen 993/1992 [157] mukaiset asuinalueen melutason ohjearvot päivällä (7-22) ja yöllä (22-7).

Kohde	$L_{A,eq,7-22}$ [dB]	$L_{A,eq,22-7}$ [dB]
Asuinalue		
- ulkona	55	50/45 ¹⁾
- sisällä	35	30

1) Uusilla asuinalueilla 45 dB.

Valtioneuvoston päätöksen muistiossa (päiväys 26.10.1992) [125] parvekkeet ja terassit rinnastetaan ulkoalueisiin, mihin tulkinta parvekkeiden meluntorjuntatarpeesta perustuu [144]. Tämän perusteella parvekkeilla sovelletaan melutason ohjearvoja päivällä (55 dB) ja yöllä (50/45 dB), mutta perustelumuistio [125] ei kuitenkaan ole velvoittava. Tulkinta parvekkeiden meluntorjunnasta ei ole siirtynyt itse päätökseen, eikä sitä siten siis suoraan vaadita Valtioneuvoston päätöksessä.

2.3.3 WHO:n ohjeet meluntorjunnasta

Valtioneuvoston päätöksen perustelumuistion [125] päiväyksen aikaan vaikuttaa olleen EHC 12 ”Noise” vuodelta 1980 [50] WHO:n (engl. World Health Organization) meluun liittyvä ohje. Hieman muistion päiväyksen jälkeen (24.–28.11.1992) WHO:n kutsuma työryhmä kokoontui arvioimaan linjauksia julkaisun EHC 12 korvaajaksi. Kokousmuistio julkaistiin vuonna 1993, jonka perusteella vuonna 1995 julkaistiin ”Community Noise” [12]. Tämän seuraajaksi julkaistiin vuonna 1999 ”Guidelines for Community Noise” [13].

WHO:n oppaan EHC 12 [50] mukaan asuinalueilla tulisi täyttyä äänitason päiväohjearvo 55 dB, jolloin merkittävä osa väestöstä ei koe melua erittäin häiritseväenä. Arvo on määritetty kyselytutkimuksien perusteella, ja arvoa suositellaan yleisesti käytettäväksi melutason raja-arvona asumiseen tarkoitetuilla ulkoalueilla päiväaikaan. Yöllä ulkona suositellaan käytettäväksi raja-arvona 45 dB, jotta varmistetaan riittävä unenlaatu. EHC 12 [50] ei ota kantaa, tulisiko ohjearvojen toteutua myös parvekkeilla.

Työryhmän muistiossa [146] vuodelta 1993 esitetään aiempien ohjeiden tapaan ulkoalueiden ohjearvoiksi 55 dB ja 45 dB. Ilta- (19-22) ja yöarvot (22-7) määritetään päiväohjearvon perusteella vähentämällä siitä 5 ja 10 dB (tässä järjestyksessä), koska häiritsevyyden ajatellaan riippuvan myös kellonajasta. Päiväohjearvo tulee ohjeen mukaan toteutua parvekkeilla, terasseilla ja asuinalueiksi laskettavilla ulkoalueilla, jotta suurin osa ihmisistä ei koe melua erittäin häiritseväksi. Yöajan ulkomelun raja-arvoksi ohjeistetaan 45 dB, mutta tämän perusteluna on taata riittävä unenlaatu silloin, kun makuuhuoneen ikkuna on auki. Avoimen ikkunan oletetaan vaimentavan melua 15 dB, jolloin makuuhuoneessa on 30 dB melutaso, joka on yleisesti käytetty raja-arvo asuinhuoneissa. Yöohjearvon täyttymistä häiritsevyyteen nojaten ei suoraan ohjeisteta asuinhuoneilla, eikä siten parvekkeillakaan. [146]

Työryhmän muistion [146] pohjalta julkaistiin vuonna 1995 WHO:n julkaisu ”Community Noise” [12], jossa tulkinnat pysyivät samoina. Vuonna 1999 julkaistiin täydentävä opas ”Guidelines for Community Noise” [13], jossa aiemmat havainnot pysyivät samoina [12][13]. Vuonna 2004 WHO julkaisi oppaan ”Night noise guidelines

in Europe” [103], mutta se ei käsittele parvekkeiden meluntorjunnan kannalta olennaisia asioita.

2.3.4 Muut parvekkeiden meluntorjuntaan liittyvät ohjeet

Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjearvoista esitetään, että ympäristöministeriö antaa tarkemmat ohjeet päätöksen täytäntöönpanosta. Parvekkeiden kohdalla ei kuitenkaan ole ympäristöministeriön antamia ohjeita, mutta ympäristöministeriön julkaisussa SY696 [98] on maininta, että melun keskiäänitaso päivällä ei saisi ylittää arvoa 55 dB parvekkeilla (50 dB, jos tavoitteena on, ettei huomattava osa ihmisistä koe melua kohtalaisen häiritseväksi). Tässä kuitenkin tarkastellaan WHO:n ohjetta [13]. Valtioneuvoston periaatepäätös (vuodelta 2006) [157] perustuu selvitykseen SY696 [98], mutta periaatepäätöksessä ei ole mainintaa parvekkeista.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 [135] mukaan LVIS-laitteiden tuottama keskiäänitaso saa olla enintään 45 dB parvekkeella tai ikkunan ulkopuolella. Muiden melulähteiden tuottamaan keskiäänitasoon parvekkeella ei oteta kantaa osassa C1 [135] eikä muissakaan rakentamismääräyskokoelman osissa.

Uudenmaan ELY-keskuksen ohje [1] vuodelta 2013 rinnastaa oleskeluparvekkeet asuntojen pihoihin viitaten Sarkkisen muistioon [125]. Uudenmaan ELY-keskus suosittelee, että parvekkeita ei rakennettaisi julkisivulle, jossa melun keskiäänitaso on yli 65 dB, koska riittävää ääneneristävyyttä ei voi taata. On kuitenkin osoitettu, että parvekkeet on teknisesti mahdollista toteuttaa myös alueille, joilla melutaso ylittää 65 dB [72]. Haluttaessa parveke voidaan korvata viherhuoneella, jota koskevat oleskelu- ja leikkialueen ohjearvot. Näiden kahden tilan ero selitetään osaksi lasituksella: parvekelasitus tarkoittaa pääsääntöisesti avattavaa lasitusta, jossa lasiväleissä on raot, kun taas viherhuoneen lasitus on tavallisesti kiinteä [1], jolloin tarvitaan koneellinen ilmanvaihto.

Tampereen kaupungin kesällä 2015 hyväksytyt, kaavoituksessa noudatettavat melulinjaukset [144] muistuttavat Uudenmaan ELY-keskuksen ohjeita [1] ja koskevat myös parvekkeita. Oleskeluparvekkeilta vaaditaan asuntojen pihoilta vaadittavat melun ohjearvot, mutta parvekkeiden rakentaminen sallitaan julkisivuille, joissa keskiäänitaso päivällä ylittää 65 dB. Haluttaessa parveke voidaan muuttaa viherhuoneeksi ELY-keskuksen ohjeen tavoin [144].

2.3.5 Asukkaiden kokemukset melusta parvekkeella

Asukkaiden kokemuksista melusta parvekkeella on vähän tutkimuskirjallisuutta. Asiaa on saatettu sivuta muissa parveketutkimuksista, kuten Oulussa tehdyssä tutkimuksessa [33]. Tutkimuksessa [33] noin neljännes vastaajista koki liikennemelun erittäin tai

melko paljon häiritseväksi parvekkeella. Kyselytutkimus suoritettiin vuonna 1994, jonka aikaisista Oulun melukartoista ei ole saatavissa tietoa.

Oulun kaupungin vuonna 2002 tehdyn liikennemelun torjuntaohjelman ennustevuoden 2020 liikennemelukartan [89] perusteella arviolta vain yksi tutkitusta 25 kohteesta sijaitsee alueella, jossa päiväajan melutaso ylittää 55 dB ohjearvon. Oulun kaupungin vuonna 2012 tehdyn meluselvityksen melukarttojen [105] perusteella arviolta 7 kohdetta näistä luettaisiin nyt melualueella sijaitsevaksi. Vuoden 2012 selvityksen melualueella olevien kohteiden määrä on suurin piirtein linjassa tutkimuksessa [33] esitettyyn tulokseen (noin neljännes). Tutkimuksen [33] perusteella ei voi kuitenkaan erotella, missä kohteissa melu koettiin häiritseväksi, joten häiritsevyyttä ja kohdetta ei voi suoraan kytkeä toisiinsa. Loogista kuitenkin on, että häiritsevyys olisi riippuvainen melutasosta ja lasituksen olemassaolosta.

Jos oletetaan, että liikennemäärät kaupungeissa kasvavat ajan kuluessa (useimmissa tapauksissa on perusteltu oletus), vuoden 2002 tehdyn meluselvityksen [89] perusteella kyselyjen aikana vuonna 1994 suurimmillaan vain muutama (jos yksikään) kohde on voinut sijaita melualueella. Tällöin neljännes kokee melun häiritseväksi, vaikka alueen päiväajan äänitaso on alle 55 dB. Tämän perusteella liikennemelualueella melu parvekkeilla aiheuttaa haittaa.

Jos oletetaan, että vuonna 1994 melutasot ovat vuoden 2012 melukarttojen [105] mukaiset, ovat kohteiden ja meluhaittojen määrät yhtenevät. Siten parvekkeella olevan melun häiritsevyys riippuisi suoraan melualueella sijaitsemisesta. Toisaalta, melualueella olevan kohteen parvekkeet saattavat olla kohteen suojatulla puolella, jossa melutaso ei ylitä päivällä arvoa 55 dB. Lisäksi kohteessa saattaa esiintyä niin lasitettuja että lasittamattomia parvekkeita. Nämä seikat voivat aiheuttaa sen, että melu saatetaan kokea häiritseväksi muuallakin kuin melualueilla. Tarkempi tarkastelu vaatisi kyselytutkimusten asuntokohtaisen tarkastelun, joka ei ole tässä tutkimuksessa mahdollista. Tutkimuksen [33] perusteella voidaan kuitenkin todeta, että vähintään melualueella sijaitsevilla parvekkeilla melu voidaan kokea häiritseväksi. Päteviä linjauksia yhden kyselytutkimuksen perusteella on kuitenkin vaikea tehdä.

2.4 Melutason ohjearvojen soveltaminen parvekkeilla

2.4.1 Parvekkeella sallittava äänitaso

Liikennemelu saatetaan kokea häiritseväksi alueilla, jossa päiväajan melutaso on pienempi kuin 55 dB [33][106]. On myös viitteitä siitä [33], että tämä voisi päteä myös parvekkeiden tapauksissa. WHO:n suositukset [12] myös erittelevät, että päiväajan ohjearvon 55 dB olisi hyvä toteutua myös parvekkeilla. Siten on perusteltua, että parvekkeille sovellettaisiin melutason päiväohjearvoa, jolloin suurin osa asukkaista ei kokisi melua erittäin häiritsevänä.

Yleisesti oletetaan, että samanlainen ääniympäristö koetaan herkemmin häiritseväksi ilta- ja yöaikaan kuin päiväaikaan [12]. Häiritsevyyden aikariippuvuudelle on löydetty todisteita, mutta täysin pätevää ilta- ja yöaikapainotusta ei ole kuitenkaan löydetty [27][28][katso [12]]. Yleisesti on kuitenkin käytössä 5 dB ilta- ja 10 dB yöaikapainotus erilaisissa melun ja häiritsevyyden indikaattoreissa, kuten päivä-ilta-yöpainotetussa keskiäänitasossa L_{den} . Muitakin aikapainotuksia on aikanaan ehdotettu, mutta täysin pätevän aikapainotuksen löytäminen häiritsevyytustutkimuksien perusteella ei kuitenkaan välttämättä ole mahdollista [12][13].

Toisaalta, samaan yöohjearvoon 45 dB päästään, kun kyseessä on unenlaatuun vaikuttavat tekijät [12]. Tätä arvoa ei kuitenkaan suoraan valtioneuvoston päätöksessä 993/1992 [157] tai perustelumiestiossa [125] ole, vaan asia esitetään sisällä sallittavana A-painotettuna ekvivalenttitasona, joka asuinhuoneissa saa yöllä olla enintään 30 dB. Siten parvekkeen takana olevan tilan meluntorjunnan mitoittavana tekijänä on sisälle syntyvä melutaso, eikä suoraan parvekkeella (asuintilan ulkoseinällä) vallitseva melutaso. Asuintilaan syntyvä melutaso riippuu ulkovaipan rakennusosista, kuten ikkunoista, ikkunaovista ja ulkoseinärakenteista, jolloin asuinhuoneen yöohjearvojen täyttyminen voidaan yleensä taata, vaikka parvekkeella yöohjearvo ylittyisikin. Tämä kuitenkin vaikeuttaa asuintilan korvausilman ottamista tai tuulettamista parvekkeen kautta, koska avoimen ikkunan tai oven ja tuuletusventtiilien ääneneristävyys voi olla merkittävästi huonompi kuin muun erottavan rakenteen. Jos parvekkeen yöohjearvon ylitys siis sallitaan, tulisi nämä seikat ottaa huomioon parvekkeen ja asuintilan välisen ulkoseinärakenteen ja ilmanvaihdon mitoittamisessa.

Yöajan äänitasoero vaatimus määrää herkästi parvekkeelta vaadittavan meluntorjuntatason (kuvat 2.3, 2.4, 2.5 ja 2.6). Yöajan äänitasoero vaatimus on yleensä 2...3 dB suurempi kuin päiväajan. Parvekkeiden käyttö yöllä ei kuitenkaan liene yleistä, koska pääsääntöinen käyttö rajoittuu iltapäivään ja iltaan [33]. Parvekkeiden osalta 2...3 dB kasvanut ääneneristysvaatimus voi vaatia jo suuriakin toimenpiteitä. Yöohjearvon vaatiminen parvekkeilla ei siis välttämättä ole tarkoituksenmukaista, kun otetaan lisäksi huomioon parvekkeiden käyttötottumukset ja yöajan ohjearvon määrittelyn tausta. Tämä myös keventäisi parvekelasitusten vaatimuksia, jotka ovat toisinaan jo päiväaikaan (07-22) haastavaa saavuttaa. Parvekkeiden ääneneristävyttä tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 3.

2.4.2 Kaavamääräyksen muodostuminen

Mitoittava suure on parvekkeella sallittava melutaso. Tämän suureen mittaaminen on kuitenkin työlästä, sillä se olisi tehtävä liikennemelumittausohjeen [147] mukaan, jolloin mittauksen aikana olisi laskettava liikennemäärä. Toisaalta rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyysmitoittava suure on sisällä sallittava melutaso, mutta kaavamääräysten toteutumista valvotaan mittaamalla rakennuksen ulkovaipan äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$, joka määritellään rakennuksen ulkovaipan pinnalla ilman

julkisivuheijustuksia vallitsevan äänitason $L_{A,u}$ ja sisällä sallittavan äänitason $L_{A,s}$ erona (kaava (2.1)) [70][115]. Tämän äänitasoeron toteaminen mittauksin on yksikäsitteistä [69][70].

$$\Delta L_{A,vaad} = L_{A,u} - L_{A,s} \quad (2.1)$$

Edellä olevan johdosta on perusteltua, että myös parvekkeiden meluntorjuntaa koskevat vaatimukset esitetään kaavamääräyksissä äänitasoerona $\Delta L_{A,vaad}$ eli parvekkeen ulkovaipan pinnalla vallitsevan ja parvekkeella sallittavan äänitason erona. Koska ulkoalueilla sallittava päiväajan keskiäänitaso on 55 dB ja yöajan keskiäänitaso on 50 tai 45 dB, parvekkeita koskevan kaavamääräyksen arvo voi käytännössä olla luokkaa 1–20 dB (kuva 2.3).

Äänitasoeron käyttöä kaavoituksessa vaikeuttaa tilanne, jossa parvekkeen eri sivuihin kohdistuu eri melutasot ja siten eri äänitasoerovaatimukset. Jos äänitasoero jokaiselle sivulle määritetään suoraan vain melutason ohjearvojen mukaan, lopullinen melutaso parvekkeella voi olla suurempi kuin on alun perin ajateltu. Esimerkiksi nurkkaparvekkeen sivuille kohdistuessa 65 ja 70 dB melutasot, jolloin päiväajan ohjearvon perusteella vaatimukset olisivat 10 ja 15 dB. Tällöin kummankin sivun kautta parvekkeelle siirtyy melua 55 dB. Toisin sanottuna parvekkeelle syntyvä melutaso on (kaava (2.2)):

$$10 \log(2 * 10^{55/10}) = 58 \text{ dB} \quad (2.2)$$

Parvekkeiden sivujen äänitasoerovaatimuksissa, tai vastaavasti mitoituksessa, tulisi siis ottaa huomioon tämä seikka. Yksinkertaisinta on käyttää koko parvekkeelle vain suurinta vaatimusta, jolloin mitoitus on varmalla puolella. Tarkemmassa suunnittelussa voidaan tarkastella vaatimuksia sivuttain ja optimoida rakenteita.

2.4.3 Toteutettuihin parvekkeisiin kohdistuvat äänitasot ja äänitasoerovaatimukset

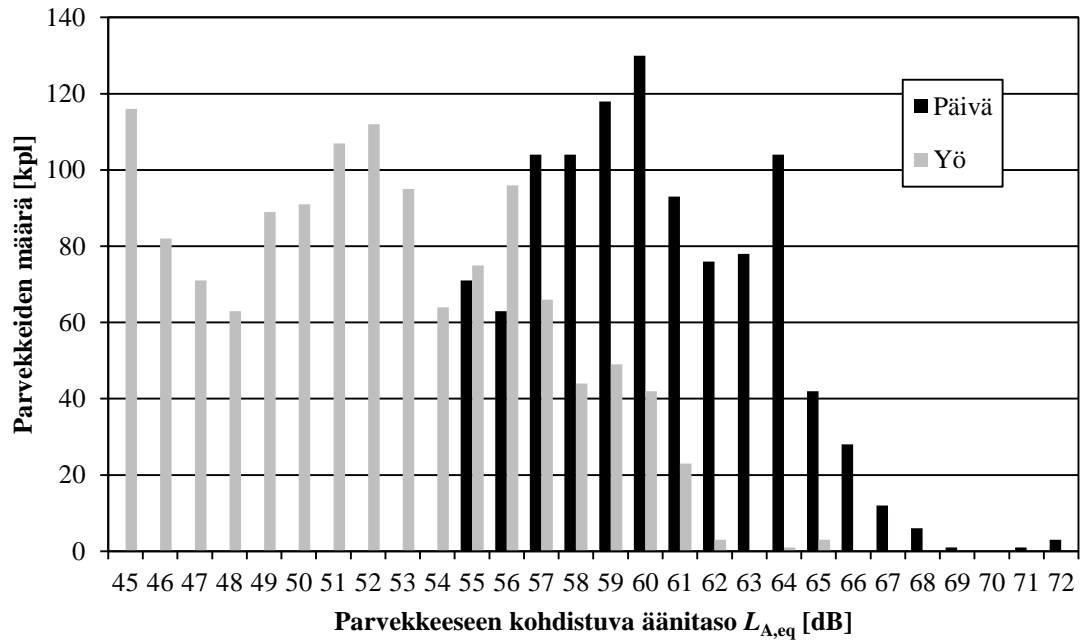
Kirjallisuudessa ei esiinny tutkimusta, jossa tarkasteltaisiin parvekkeiden meluntorjuntavaatimusten määrää ja jakaantumista Suomessa. Mielenkiintoista olisi tietää, millaisia äänitasoja parvekkeisiin yleisesti kohdistuu, ja millaisille melualueille parvekkeita rakennetaan. Tätä asiaa tutkitaan tarkastelemalla A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n akustiikkasuunnitteluyksikön vuosina 2013–2015 tekemiä meluselvityksiä, joissa esitetään parvekkeisiin kohdistuvat mallinnetut äänitasot päivällä ja yöllä. Tarkasteluun löytyi 25 soveltuvaa projektia, joissa oli vaihteleva määrä parvekkeita ja rakennuksia. Tilastollisen tarkastelun tietoja esitetään alla:

1. Projekteja 25 kpl.

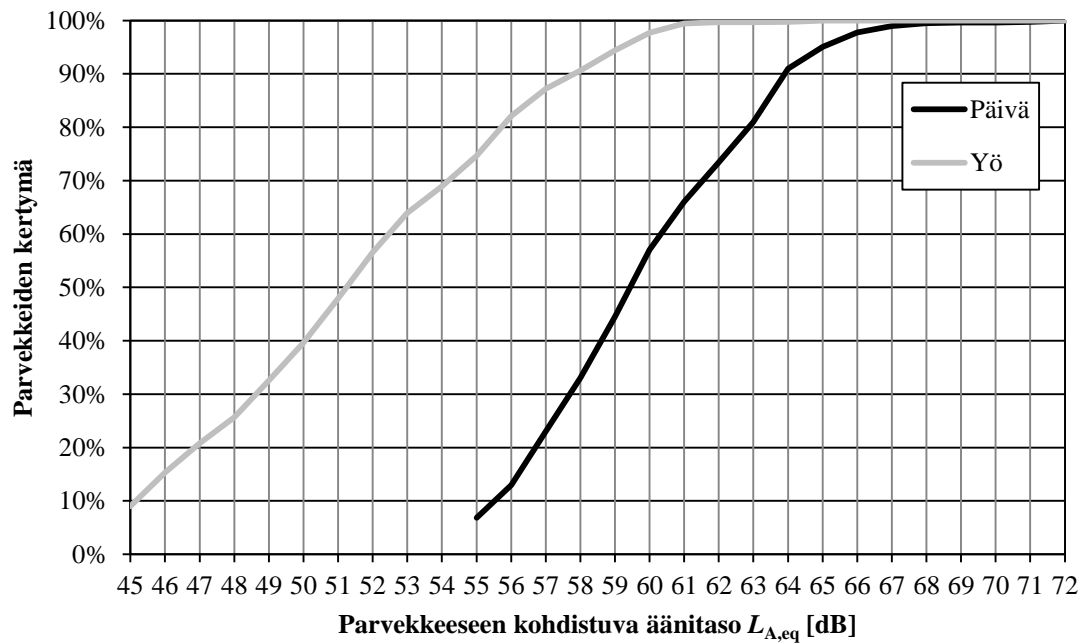
2. Yöohjearvolla 50 dB mitoitettuja kohteita 4 kpl (vanhaksi luokiteltava alue).
3. Yksittäisessä projektissa suurimmillaan 188 kpl äänitasoarvoja.
4. Yksittäisessä projektissa pienimmillään 15 kpl äänitasoarvoja.
5. Parvekkeita yhteensä 1958 kpl, joiden lasituksen ulkopinnalla melutason ohjearvon ylittävät päivällä 943 ja yöllä 1105 tapauksessa.

Jos parvekkeelle on esitetty useampia äänitasoja johtuen siitä, että kyseisellä parvekkeella on useita lasisivuja, on näistä otettu tarkasteluun suurin arvo. Äänitasoihin ei sisälly parvekkeen vaipparakenteen aiheuttamaa heijastusta, joten arvot kuvaavat parvekkeeseen kohdistuvaa äänitasoa. Kuvien tulkinnoissa tulee ottaa huomioon, että tuloksiin vaikuttaa kohteen parvekemäärä, jolloin yksittäinen kohde voi painottaa suurestikin tuloksia. Kuvassa 2.1 esitetään parvekkeisiin kohdistuvat äänitasot päivällä ja yöllä. Kuvassa 2.1 esitetään vain melutason ohjearvot ylittävät arvot. Kuvassa 2.2 esitetään äänitasojen kertymät. Parvekkeeseen kohdistuva äänitaso riippuu liikennemelusta, parvekkeen etäisyydestä liikennemeluun nähden ja parvekkeen korkeuspisteestä.

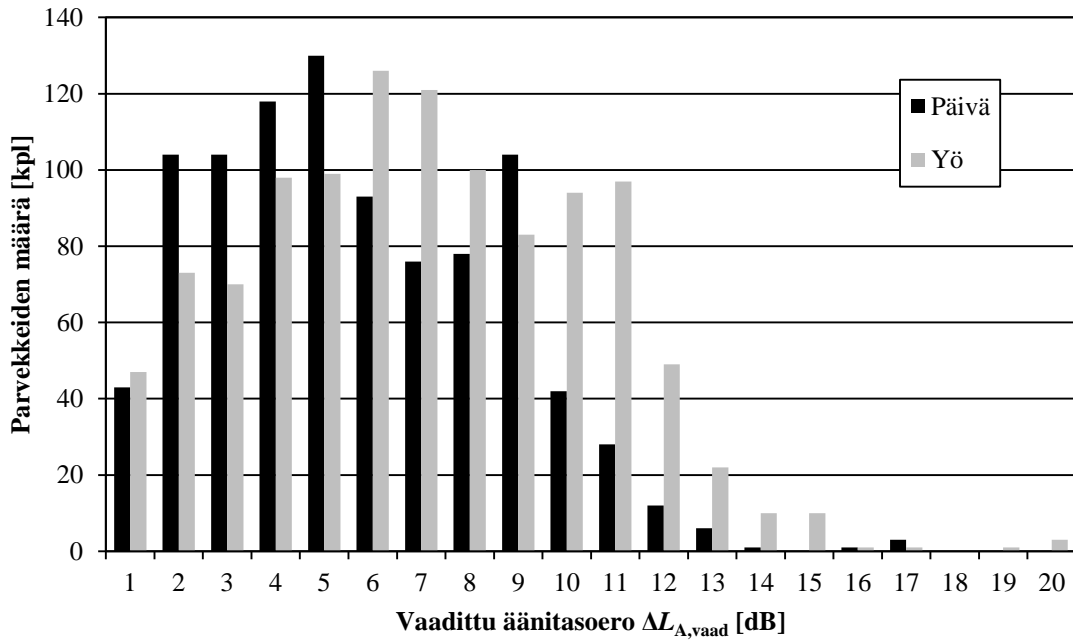
Mielenkiintoisempaa on kuitenkin verrata näiden äänitasojen mukaisia äänitasoeroja, jotka esitetään kuvassa 2.3. Kuvan 2.3 tuloksissa on otettu huomioon, että kohteen sijaitessa vanhalla alueella yöajan melutason ohjearvo on 50 dB. Kuvassa 2.4 esitetään vaadittujen äänitasoerojen kertymä. Kuvista 2.3 ja 2.4 nähdään, että yöajan melutason ohjearvo koituu yleensä merkittävämmäksi kuin päiväajan ohjearvo. Parvekkeista 90 % vaatii suurimmillaan äänitasoeroksi 9 dB päivällä ja 11 dB yöllä. Suurimmillaan vaatimus on päivällä 17 dB ja yöllä 20 dB. Ero kuitenkin saattaa vaihdella parvekkeittain. Kuvassa 2.5 esitetään parvekkeiden päivä- ja yöajan äänitasoero vaatimusten ero. Kuvassa 2.6 esitetään vastaava kertymä. Kun ero on negatiivinen (<0), yöajan vaatimus on suurempi kuin päiväajan.



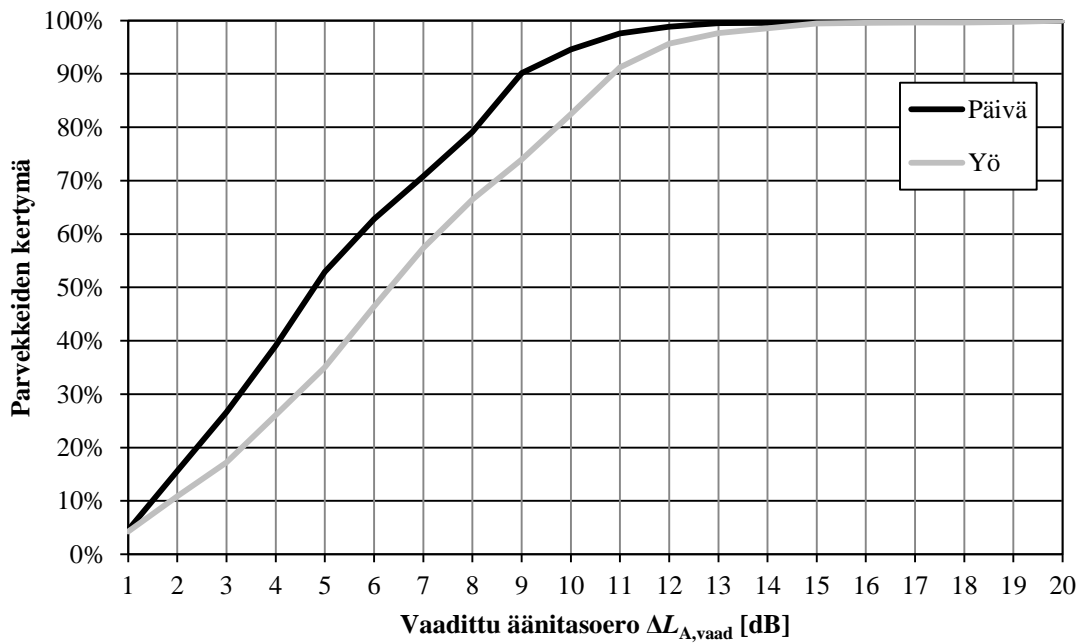
Kuva 2.1. Parvekkeisiin kohdistuvat äänitasot päivällä ja yöllä.



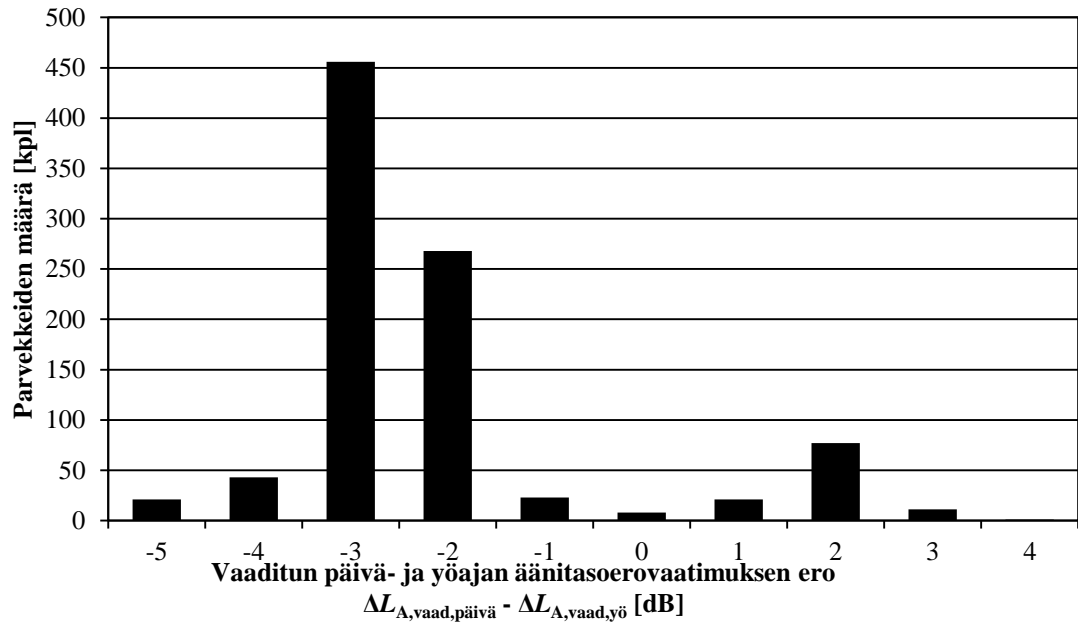
Kuva 2.2. Parvekkeisiin kohdistuvien äänitasojen kertymät päivällä ja yöllä.



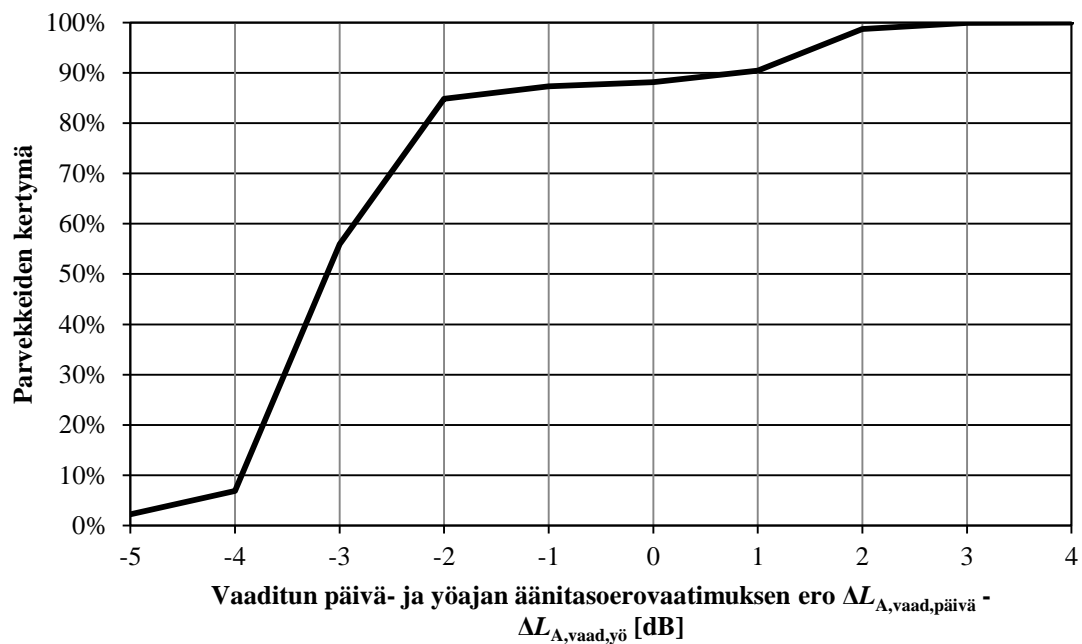
Kuva 2.3. Parvekkeiden vaadittu äänitasoerot päivällä ja yöllä.



Kuva 2.4. Parvekkeiden vaadittujen äänitasoerojen kertymä päivällä ja yöllä.



Kuva 2.5. Vaadittujen päivä- ja yöaikojen äänitasoero vaatimusten erot parvekkeittain.



Kuva 2.6. Vaadittujen päivä- ja yöaikojen äänitasoero vaatimusten erojen kertymä parvekkeittain.

Kuvista 2.5 ja 2.6 nähdään, että päivä- ja yöajan äänitasoero vaatimuksen ero on yleensä -3 tai -2 dB. Kaikki parvekkeet, joissa päiväajan äänitasoero vaatimus on suurempi kuin yöajan, olivat vanhoiksi laskettavilla alueilla, joilla yöajan melutason ohjearvo on 50 dB. Kaikkien parvekkeiden äänitasoero vaatimus ei kuitenkaan määräydy päiväajan ohjearvon mukaan, vaikka yöajan ohjearvo olisikin 50 dB. Käytännössä siis yöohjearvo määrää parvekkeelta vaadittavan äänitasoeron.

2.5 Muut ominaisuudet

2.5.1 Paloturvallisuus

Määräysten [138] mukaan palo ei saa levitä parvekkeiden kautta vaaraa aiheuttavalla tavalla. Parvekkeiden palonkestävyyksivaatimus on puolet kantavien rakenteiden vaatimuksesta [138]. PK-seudun ohjeiden [6] mukaan lasitetut parvekkeet tulee osastoida toisistaan, ja savukaasut tulee ohjata lasituksen ulkopuolelle. Ulkoseinä on yleensä palo-osastoitu vain erikoistapauksissa, mutta palon leviäminen ulkoseinän kautta tulee ottaa huomioon [138].

Ikkunoiden suunnittelussa tulee varmistua siitä, ettei palo leviä osastojen välillä vastakkain tai sisänurkissa olevien ikkunoiden kautta [138]. Jos ulkoseinän sisänurkan muodostavilla sivuilla on ovia tai ikkunoita alle 2 metrin etäisyydellä toisistaan ja nämä tilat on palo-osastoitu toisistaan, ei palo-osastointia saa päättää sisänurkan rajaan [118]. Ulokeparvekkeet muodostavat usein sisänurkan ulkoseinän kanssa, ja tämä ulkoseinä voi kuulua toiseen huoneistoon, jolloin huoneistojen väliseinä voi olla palo-osastoitu. Jos ulokeparvekkeen sivu on lasia, ja ulkoseinässä on ikkuna, tulisi tämä ottaa huomioon suunnittelussa.

Yleisesti saatetaan olettaa, että lasitetun parvekkeen paloturvallisuus on eri tai huonompi kuin avonaisen parvekkeen [65]. Tätä perustellaan lisääntyneellä palokuormalla (kalusteiden määrällä) ja lasituksen tuomalla tiiviydellä (kuumuus ja savukaasut parvekkeella) [118]. Riskianalyysin perusteella lasitetun parvekkeen kautta leviävän palon riski ei eroa juurikaan lasittamattomasta parvekkeesta, kun parvekkeita erottava osastoiva seinä on vähintään luokkaa EI15 [65]. Tuoreempi tutkimus [34] puoltaa myös tätä väitettä. Parvekkeen lasituksella ei siis vaikuta olevan merkittävää vaikutusta palon leviämiseen parvekkeelta.

2.5.2 Pitkäaikaiskestävyys

Parvekkeen kantavien rakenteiden vaurioituminen aiheutuu pääosin säärasituksesta. Keskeisimpiä vauriomekanismeja ovat huokoisten materiaalien pakkasrapautuminen, raudotteiden korroosio ja orgaanisten aineiden mikrobivaurioituminen [77]. Betoni lienee parvekkeiden käytetyin materiaali [33][76], ja betoniparvekkeiden vauriot johtuvat yleensä eri kosteustekijöistä, joista merkittävin on julkisivulle kohdistuva viistosade [35]. Ilmastonmuutoksella ennustetaan olevan vain haitallisia vaikutuksia julkisivujen ja parvekkeiden kokemiin rasitukseen [35][77], joten säärasitusten voidaan olettaa kasvavan.

Pakkasrapautumista tapahtuu huokoisessa rakenteessa, kun huokosissa jäätyvän veden laajenemisen aiheuttama hydraulinen paine ylittää materiaalin kestävyysrajan toistuvasti. Pakkasekestävyyttä voi parantaa lisäämällä materiaaliin suojahuokosia, joihin

laajeneva vesi työntyy. Arviolta vain 10 % parvekkeista täyttää betoninormien vaatiman suojahuokossuhteen [77], joten suuri osa parvekkeista on alttiina vaurioitumiselle. Pakkasrapautumisen riskiä voidaan pienentää käyttämällä tiivistä betonia (pieni vesi-sementtisuhde) ja suojaamalla rakenne kosteusrasitukselta. Suojaus voidaan toteuttaa esimerkiksi pinnoittamalla tai parvekelasituksella [35]. Parvekelasitus kuitenkin suojaa vain parvekkeen sisärakenteita. Rapautumisen seurauksena betonin kantavuus heikkenee ja teräkset voivat paljastua, jolloin ne ovat alttiina korroosiolle.

Betonirakenteissa raudoitteet ovat yleensä hyvin suojattuna korroosiolta, koska betonin alkalisuus tuottaa sen betoniteräksille suojaavan passiivikalvon. Suojaus menetetään, jos teräs paljastuu esimerkiksi pakkasrapautumisen johdosta tai terästä ympäröivä betoni on karbonatisoitunut tai kloridipitoinen. Ilman hiilidioksidi neutralisoi betonin emäksisyyttä, jolloin passiivikalvo häviää. Yleensä parvekelaattojen alapinnat karbonatisoituvat muita parvekerakenteita nopeammin, koska alapinta on yleensä kuiva, eikä vesi estä hiilidioksidin tunkeutumista betoniin [35]. Korroosio on toisaalta hidasta, jos rakenne on hyvin suojassa kosteusrasituksilta tai on tiivis [77]. Korroosiotuotteet saattavat myös aiheuttaa betonin halkeilua tai rapautumista [78]. Korroosio heikentää terästen kestävyyttä, koska teräksen tehollinen pinta-ala pienenee.

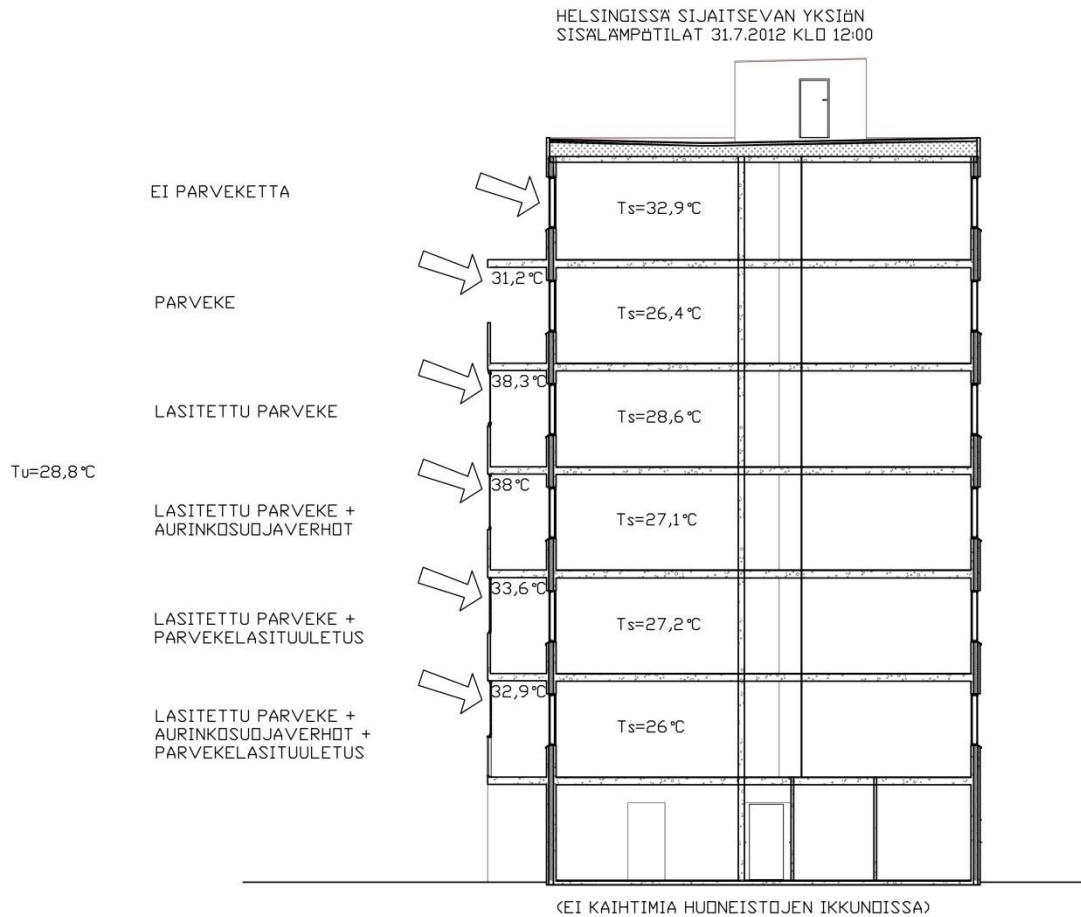
Kaikista parvekkeista 42 % arvioidaan vaativan jonkintasoista korjaustarvetta. Yleensä parvekkeiden vaurioitumisen korjaus suoritetaan suojaamalla parveke. Parvekelasituksen lisäyksen arvioidaan siirtävän korjaustarpeita 5...10 vuotta, koska lasitus hidastaa merkittävästi pakkasrapautumista ja korroosion etenemistä parvekkeen sisäpuolisilla pinnoilla [35]. Korjausrakentamiseen perehtyneet suunnittelijat arvioivat, että parvekkeiden korjausrakentamisen yhteydessä asennetaan parvekelasitus 70...90 % kohteista [68].

2.5.3 Parvekkeen sisäilmasto ja energiatalous

Lasitetun parvekkeen lämpötila saattaa nousta haitallisen korkeaksi kesäaikaan, mikä näkyy simuloinneissa, mittauksissa ja asukaskyselyissä [3][35]. Parvekkeen korkea lämpötila nostaa myös sen takana olevan asuutilan lämpötilaa, ja vaikutus on yleensä suurempi lasitetulla kuin lasittamattomalla parvekkeella [102]. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 [137] määrittelee, ettei asuinhuoneen lämpötila saa ylittää kesäaikana jäähdytysrajan arvoa (27 °C) enemmän kuin 150 °Ch 1.6 ja 31.8 välisenä aikana.

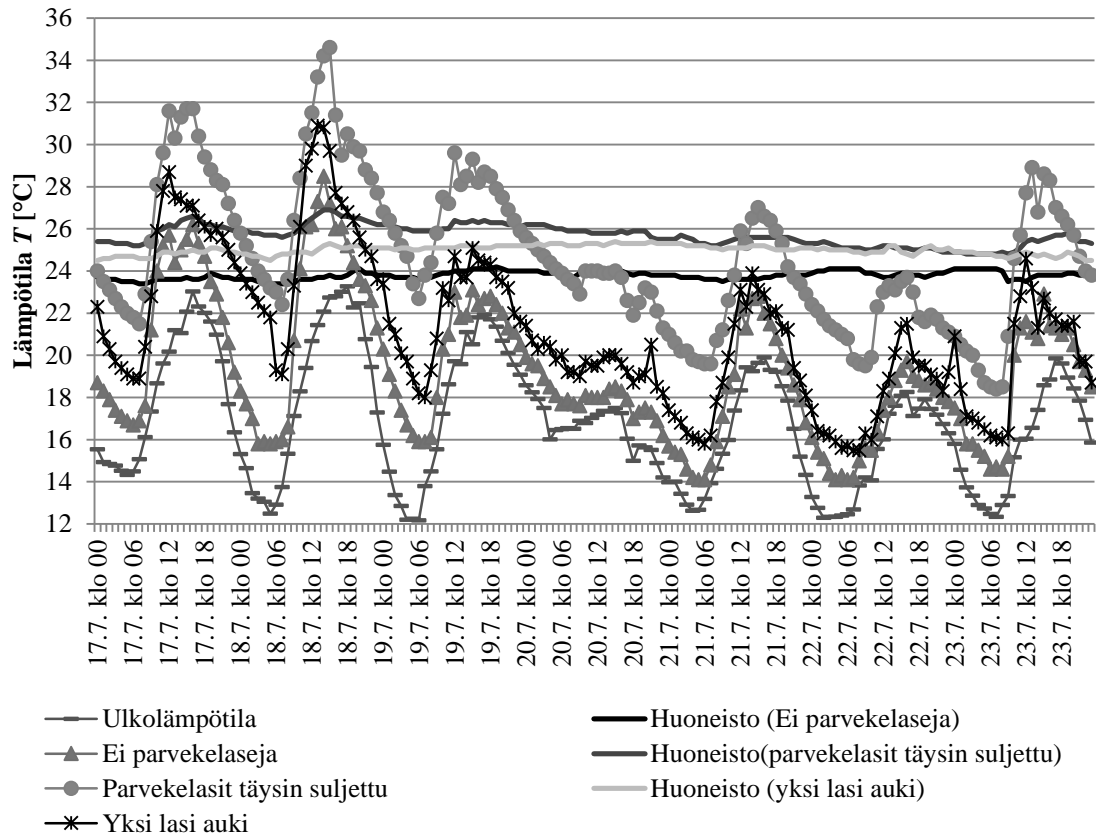
Mäkitalo ja Hilliaho [102] ovat tutkineet eri parvekekonfiguraatioiden ja erilaisten toimenpiteiden vaikutusta parvekkeen takana olevan asuinhuoneen sisälämpötilaan. Perustapauksissa ranskalaisen parvekkeen takana olevan asuinhuoneen astetuntiyllitys voi olla jopa yli 5000 °Ch, lasitetulla parvekkeella yli 1750 °Ch ja lasittamattomalla parvekkeella vähemmän kuin lasitetulla parvekkeella. Parvekekaihtimet olivat keskimäärin tehokkain ratkaisu sisälämpötilojen hallintaan. Ikkunasuojauksista

ikkunaväliin asennettavat sälekaihtimet toimivat tehokkaimmin yksittäisenä ylityksen pienentäjänä. Asuinhuoneen ilmanvaihdon tehostuksella (30 %) oli pienin vaikutus. Mäkitalo ja Hilliaho [102] toteavatkin, että tulosten perusteella parveke- ja lasitusratkaisuilla voidaan pienentää merkittävästi asuinhuoneen sisälämpötiloja. Parvekkeen lämpötila voidaan saada hallintaan tuuletuksella ja auringonsuojaverhoilla, joilla on positiivinen vaikutus myös asunnon sisälämpötilaan [35]. Kuvassa 2.7 esitetään lähteen [35] laskentatapaukset lämpötiloineen.



Kuva 2.7. Lähteen [35] mukaiset laskentatapaukset ja eri tilojen lämpötilat.

Kenttämittausten [36] perusteella avoparvekkeen lämpötila oli keskiarvoltaan 1,7 °C ja lasitetun parvekkeen lämpötila 4,7 °C korkeampi kuin ulkolämpötila. Eroa lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen välillä on siis noin 3 °C. Lämpötilaerot riippuvat vuorokauden- ja vuodenajasta. Lasitettu parveke tasaa ulkoilman olosuhteita varastoimalla auringon säteilyä, keräämällä rakennuksen lämpöhäviöitä ja suojaamalla rakennusta tuulelta. Kuvassa 2.8 esitetään lähteen [35] mittaustuloksia parvekkeen ja asuintilan lämpötiloista heinäkuussa eri lasitusasteilla.



Kuva 2.8. Lähteessä [35] esitetyjä mittaustuloksia ulkoilman, parvekkeen ja asuintilan lämpötiloista.

Hilliahon [38] tekemien simulointien perusteella keskimääräinen energiansäästö parvekelasitusten vaikutuksesta on 5,9 % (helsinkiläinen 80 m² kokoinen kerrostalohuoneisto). Energiansäästön kannalta merkittävin yksittäinen tekijä on tuloilman otto parvekkeelta, mutta tämä koskee lähinnä vanhoja rakennuksia. PK-seudun ohjeiden mukaan [82] voidaan yhden huoneen korvausilma kuitenkin ottaa parvekkeelta. Muita tekijöitä ovat parvekkeen suuntaus (etelä) ja parveketyyppi. Rakennuksen sijainti, eristystaso tai parvekkeen tiiviys eivät kuitenkaan vaikuttaneet merkittävästi energiansäästöön. [36]

2.5.4 Ilmanvaihto

Parvekkeen lasituksen tulee olla niin väljä, että sen kautta saadaan riittävästi korvausilmaa [82]. Ilma ei saisi kuitenkaan vaihtua viereisten parvekkeiden kautta, jotta esimerkiksi tupakansavu ei siirry parvekkeelta toiselle [3]. Tähän vaikuttavat myös palomääräykset [138], koska parvekkeet tulee palo-osastoida toisistaan. PK-seudun tulkintana on myös, että savukaasut ohjataan lasitusrakenteen ulkopuolelle [6]. Ilmanvaihtuvuus vaikuttaa myös parvekkeen lämpötilaan, koska auringon säteilyn lämmittämä ilma vaihtuu yleensä viileämpään ulkoilmaan.

Parvekkeen ilmanvaihdossa tulee ottaa huomioon, että lasitettu parveke tulee palo-osastoida toisista parvekkeista. Alapuolisen parvekkeen savukaasut tulee ohjata siten, että ne eivät siirry yläpuoliselle parvekkeelle. Tämä rajaa rakojen sijoittelun parvekkeen ulkoilmaan rajoittuvaan rakenteeseen, mutta esimerkiksi kaiteen mahdollinen otsakiinnitys parvekelaattaan tulee olla tiivis, jotta savukaasut eivät nouse suoraan yläpuoliselle parvekkeelle. Yleensä rakoja on lasiosien välillä ja osien kiinnityskohdissa. Lumon esittää ohjeessaan [92], että lasivälit ovat 2...3 mm. RunkoRYL-ohjekortin RTS 10:41 [123] mukaan lasivälin tulee olla vähintään 3 mm.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 [136] kohdan 3.4.1.5 mukaan ulkoilmalaitteet tulee sijoittaa mahdollisen parvekelasituksen ulkopuolelle. Tämä ajaa ottamaan parvekkeen takana olevan tilan raitisilman muualta, kuin lasitetulta parvekkeelta. Espoon [119] ja Helsingin kaupungin [108] ohjeet kuitenkin mahdollistavat raitisilman oton myös parvekkeelta, jos ilmanvaihtosuunnitelma täyttää määräykset. Avattavan parvekelasituksen ilmanvaihtoa voidaan parantaa esimerkiksi venttiilin avulla [108].

Parvekkeen ilmanvaihto voidaan toteuttaa koneellisesti tai painovoimaisesti. Painovoimainen ilmanvaihto lienee lasitettujen parvekkeiden kohdalla yleisin. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilmavirtauksen aiheuttaa tilojen välinen lämpötilaero, aukkojen korkeuserot ja koot ja tuuli. Joissain tapauksissa parvekkeen takana olevan asuintilan raitisilma voidaan kuitenkin ottaa koneellisesti parvekkeen kautta, mikä vaikuttaa parvekkeen omaan ilmanvaihtoon. Toisaalta, koneellinen ilmanvaihto voitaisiin toteuttaa pienitehoisilla siirtoilmapuhaltimilla, jolloin parvekkeen ja asuintilan välillä ilmaa ei liikkuisi. Pienitehoisia puhaltimia on käytetty onnistuneesti tietokoneluokan hiilidioksidipitoisuuden alentamisessa eräässä tutkimuksessa [83], ja saattaisi soveltua myös parvekkeen ilmanvaihdon toteuttamiseen. Tällöin haluttuun ilmanvaihtokertoimeen vaadittavien avoimien aukkojen määrä pienentyisi, ilmanvaihtoa voitaisiin tehostaa ääneneristävyttä alentamatta ja tarvittava ilmanvaihto on helpompi saavuttaa myös silloin, kun lämpötilaero ulkoilman ja parvekkeen välillä on pieni (painovoimainen ilmanvaihto on pieni).

3. PARVEKKEEN ILMANVAIHTO

3.1 Parvekkeen ilmanvaihtotarve

Parvekkeilla tulee huolehtia riittävästä ilmanvaihdosta, jolloin rakoja esiintyy kaikissa parvekkeissa. Lasitettujen parvekkeiden ilmanvaihto toteutetaan nykyään pääsääntöisesti painovoimaisesti, ja ilmanvaihtoon tarvitaan siten parvekkeen vaipparakenteeseen aukkoja tai muita ilmanvaihtoventtiilejä. Raot voivat vaikuttaa merkittävästi rakenteen ilmaääneneristävyyteen, joten parvekkeen ilmanvaihtotarkastelu on myös olennaista meluntorjunnan kannalta. Ilmanvaihtotarkastelun tarkoituksena on löytää aukoilta vaadittava ala, jolla päästään tarvittavaan ilmanvaihtuvuuteen. Parvekkeelle ei kuitenkaan ole täsmällisesti esitetty ilmanvaihtokertoimen arvoa määräyksissä [136].

Asuintilojen ilmanvaihtokertoimena vaaditaan yleensä arvoa 0,5 1/h [136], mutta parveke luetaan yleensä ulkotilaksi. Parvekkeen käyttö rajoittuu pääsääntöisesti lämpimiin vuodenaikoihin, joten kylminä vuodenaikoina ei välttämättä ole perusteltua pyrkiä saavuttamaan oleskelutilojen mukaista ilmanvaihtokerrointa. Muun kuin asuinrakennuksen käyttöajan ulkopuolella voidaan Suomen RakMk:n osan D2 kohdan 3.2.3.3 [136] mukaan käyttää ulkoilmavirtaa $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$, joka vastaa karkeasti ilmanvaihtokerrointa 0,2 1/h. Käyttöajan ulkopuolella parvekkeen lämpötila saa vapaasti nousta. Käyttöaikana parvekkeen yllilämpenemisen estäminen pelkällä ilmanvaihdolla voi vaatia suuria ilmanvaihtokertoimia, jos sitä ei estetä muilla keinoin, kuten auringonsuojaverhoilla/kaihtimilla ja tuuletuksella.

Todellisuudessa parvekkeen ilmanvaihdon suunnittelussa tulisi ottaa huomioon myös muut nykyisissä parvekerakenteissa esiintyvät epäideaaliset raot, joiden kautta ilmaa kulkee. Siten todellinen ilmavirtaus on todennäköisesti suunniteltua suurempi. Näiden huomioon ottaminen on kuitenkin epävarmaa, eikä tällä hetkellä vaikuta olevan yleistä linjausta asiasta. Toisaalta, jos parvekerakenteita pyritään kehittämään meluntorjunnan kannalta, epämääräisten rakojen esiintyminen luultavasti vähenee.

3.2 Aukon kautta kulkeva tilavuusvirta

Kahden tilan välisen aukon kautta kulkeman ilman tilavuusvirta Q voidaan laskea kaavalla (3.1) staattisessa tilassa [25]:

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (3.1)$$

jossa C_d on aukosta riippuva kerroin (engl. still-air discharge coefficient), A on aukon pinta-ala, Δp on aukon eri puolien välinen paine-ero ja ρ on virran suunnasta riippuen joko parvekkeen tai ulkoilman ilmantiheys. Tiheytenä voidaan käyttää pienellä virheellä tilojen tiheyksien keskiarvoa. Vaakasuoran aukon paine-ero voidaan luonnollisessa ilmanvaihdossa esittää kaavalla (3.2), kun tiheyden oletetaan pysyvän tilassa vakiona [25]:

$$\Delta p(z) = \Delta p_0 - \Delta \rho g z + p_w \quad (3.2)$$

jossa Δp_0 on lattiatason (koordinaatiston) paine-ero aukon eri puolilla, z on korkeuspiste alkaen lattiatasosta, $\Delta \rho$ on aukon eri puolella olevien ilmojen tiheysero, g on gravitaatiovakio ($9,81 \text{ m/s}^2$) ja p_w on tuulen aiheuttama paine. Kaavan (3.2) mukaiseen paine-eroon vaikuttaa siis tilojen välinen lähtöpaine-ero, ilman hydrostaattinen paine ja vakiotuulenpaine. Tilojen lattiatason paine-ero on [25]:

$$\Delta p_0 = p_{e0} - p_{i0} + p_{\text{ref}} \quad (3.3)$$

jossa p_{e0} on ulkona oleva lattiatason paine, p_{i0} on sisällä oleva lattiatason paine ja p_{ref} on mielivaltainen vakio, jonka arvoksi voi olettaa 0 Pa. Tilan massavirtojen tulee toteuttaa tasapainoyhtälö kaavalla (3.4) [25]:

$$\sum_i \rho_i Q_i = 0 \quad (3.4)$$

Laskentaa voidaan helpottaa sallimalla pieni virhe (kirjallisuuden mukaan) [25], jolloin kaava (3.4) voidaan esittää kaavana (3.5):

$$\sum_i Q_i = 0 \quad (3.5)$$

Yksinkertaistus helpottaa laskentaa. Kaavoilla (3.1)-(3.5) voidaan ratkaista tilojen aukkojen tilavuusvirrat, mutta aukkojen lisääntyessä ja mallin monimutkaistuessa ei ole kuitenkaan mielekäästä tai helppoa laskea virtauksia käsin (tuntemattomia muuttujia paljon). Yhden tai kahden aukon kautta kulkevien virtojen laskenta pystytään käsin helposti kuitenkin suorittamaan. Jos tulo- ja poistovirtaus kulkevat omista, erillisistä

aukoistaan, voidaan yhden aukon kautta kulkenut tilavuusvirta laskea kaavalla (3.6) [88]:

$$Q_b = C_d A_{\text{eff}} \sqrt{2 \frac{(T_i - T_e)gh}{T_e}} \quad (3.6)$$

jossa Q_b on lämpötilaeroista johtuva tilavuusvirta, C_d on aukon mitoista ja luonteesta riippuva kerroin (engl. discharge coefficient), A_{eff} on aukkojen tehollinen pinta-ala ja h on aukkojen korkeusero. Hieman eri lähestymistapaa käyttäen voidaan johtaa yksiaukkoisen seinän kautta kulkema tilavuusvirta kaavalla (3.7) [2], jonka johtaminen esitetään lähteessä [17]:

$$Q_b = \frac{1}{3} C_d A \sqrt{\frac{(T_i - T_e)gH}{T_e}} \quad (3.7)$$

jossa A on aukon pinta-ala, H on aukon korkeus, T_i on sisälämpötila ja T_e on ulkolämpötila. Yksiaukkoisen seinän aukossa kulkee kaksisuuntainen virtaus. Kuvassa 3.1 esitetään näiden kahden approksimaationkaavan periaatteet. Suhteellisen ohuille, teräväreunaisille aukoilta (kuten lasiväleille) kerroin C_d voidaan approksimoida olevan (kaava (3.8)) [25]:

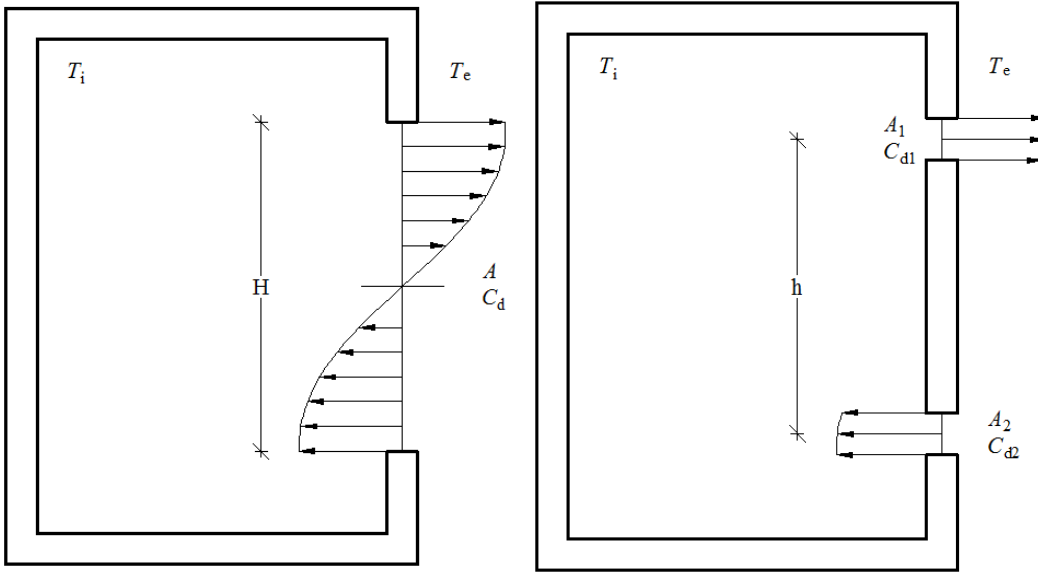
$$C_d = 0,611 \quad (3.8)$$

Kerroin kuitenkin riippuu myös aukkojen jaottelusta, mutta tässä tarkastelussa kertoimen oletetaan pysyvän samana. Aukkojen tehollinen pinta-ala lasketaan kaavalla (3.9), kun aukot ovat samantyyppisiä (C_d on sama) [88]:

$$A_{\text{eff}} = \frac{A_1 A_2}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}} \quad (3.9)$$

jossa A_1 on aukon 1 pinta-ala ja A_2 on aukon 2 pinta-ala. Tilavuusvirran suuruuden määrää siis pienempi aukko. Kun aukot ovat yhtä suuret, kaavan (3.6) kerroin 2 häviää ja A_{eff} saa arvon $A=A_1=A_2$ (kaava (3.10)):

$$Q_b = C_d A \sqrt{\frac{(T_i - T_e)gh}{T_e}} \quad (3.10)$$



Kuva 3.1. Yksiaukkoisen (vasen) ja kaksiaukkoisen (oikea) virtauksen periaate. Kaksiaukkoisen virtaus on tehokkaampi keino ilmanvaihdon järjestämiseksi parvekkeella, jos aukkoja on parvekkeen ylä- ja alareunassa koko vaipan pituudella.

Kaavoista (3.6) ja (3.7) voidaan johtaa karkea yhteys symmetrisen kaksisuuntaisen virtauksen ja kahden aukon laskentamallin välille (kaava (3.11)):

$$C_{d2}A_2 \sqrt{\frac{(T_i - T_e)gh}{T_e}} = \frac{1}{3} C_{d1}A_1 \sqrt{\frac{(T_i - T_e)gH}{T_e}} \quad (3.11)$$

jossa 1 on yksiaukkoisen, kaksisuuntaisen virtauksen mukaisen teorian parametrejä ja 2 on kaksiaukkoisen virtauksen teorian parametrejä. Jos aukot eri malleissa ovat luonteeltaan samanlaisia ($C_{d1}=C_{d2}$), saadaan aukkojen geometrioiden suhde (kaava (3.12)):

$$A_2 = \frac{1}{3} A_1 \sqrt{\frac{H}{h}} \quad (3.12)$$

Kaavalla (3.12) voidaan karkeasti approksimoida yksi- ja kaksisuuntaisista virtauksista muodostuvan systeemin ilmavirtaus muuttamalla pystyaukkojen (lasiväli) virtaus ekvivalentiksi yksisuuntaiseksi virtaukseksi, jolloin kokonaisilmavirta voidaan jommalla kummalla laskentamallilla. Aukkojen pinta-alat yhdistetään. Kaavasta (3.12) huomataan, että (kun $H = h$) kaksisuuntaisen virtauksen aukko vaatii kolminkertaisen pinta-alan samaan virtaukseen yksisuuntaisen virtauksen aukkoon verrattuna. Käytännössä siis erilliset aukot ovat pinta-alan ja tuulettumisen kannalta tehokkaampia kuin yksittäiset korkeat aukot.

3.3 Lasitetun parvekkeen lämpötilan laskenta

Lasitetun parvekkeen painovoimainen ilmanvaihto riippuu oleellisesti parvekkeen ja ulkoilman välisestä lämpötilaerosta. Parvekkeen lämpötila toisaalta riippuu ilmavirtauksen suuruudesta, joten tasapaino lämpötilan ja ilmavirran välille tulee löytää. Laukkarinen ja Hilliaho [84] ovat esittäneet lasitetun parvekkeen lämpötilalle laskentamallin lämpöhäviöihin, ilmavirtoihin ja auringon säteilyyn perustuen. Parvekkeen lämpöenergian tulee säilyä [84]:

$$\sum_j \Phi_{j \rightarrow k} = 0 \quad (3.13)$$

jossa Φ_i on lämpövirta pisteestä j pisteeseen k . Lämpövirta on positiivinen, kun sen suunta on parvekettä kohti. Parvekkeen energiatase voidaan esittää muodossa (kaava (3.14)):

$$\Phi_{\text{joht}} + \Phi_{\text{vuoto}} + \Phi_{\text{sät}} = 0 \quad (3.14)$$

jossa otetaan huomioon lämmön johtuminen sisältä parvekkeelle ja parvekkeelta ulos, ilmavirtojen aiheuttama lämmön siirtyminen ja auringonsäteilyn lämmitysteho. Kuvassa 3.2 esitetään lämpövirrat parvekkeella. Johtumisen ja vuotoilman lämpövirrat lasketaan kaavoilla (3.15) ja (3.16):

$$\Phi_{\text{joht}} = \sum_j U_j A_j \Delta T_j \quad (3.15)$$

$$\Phi_{\text{vuoto}} = \sum_j \rho_j c_{pj} q_j \Delta T_j \quad (3.16)$$

jossa U on osan lämmönläpäisykerroin, A on osan pinta-ala, ΔT on tilojen lämpötilaero osan kautta, ρ on siirtyvän ilman tiheys, c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti (~1000 J/kgK) ja q on ilman tilavuusvirta. Lämpötilaerossa tulee ottaa huomioon lämpövirran suunta (kaava (3.17)):

$$\Delta T_j = (T_j - T_b) \quad (3.17)$$

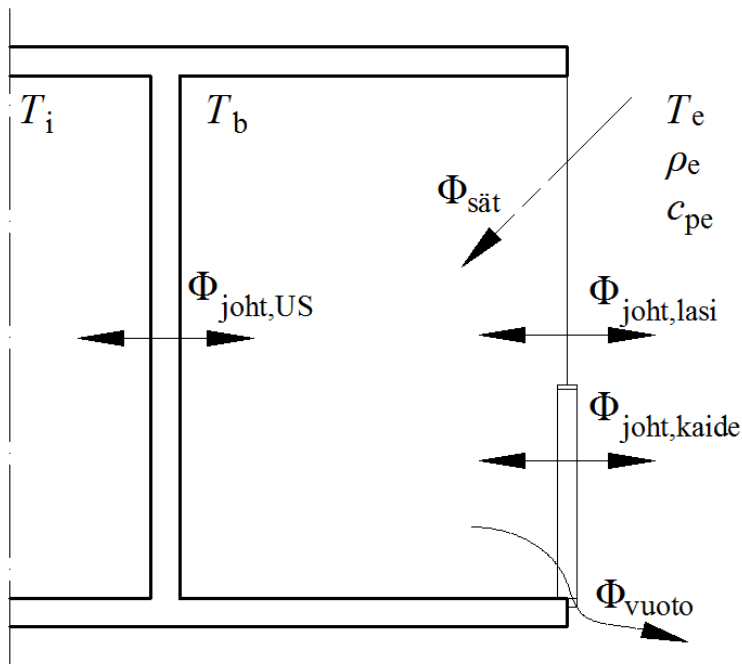
jossa T_j on viereisen tilan tai ulkoilman lämpötila ja T_b on parvekkeen lämpötila. Lämpövirran ollessa positiivinen, lämpöä siirtyy parvekkeelle. Parvekkeen lämpötila voidaan ratkaista kaavalla (3.18), jossa otetaan huomioon lämmön johtuminen asuintilaan ja ulos, ilmavirtaus ulos ja auringonsäteily [84]:

$$T_b = \frac{[\sum_j (U_{us,j} A_{us,j}) + \rho_i c_{pi} q_i] T_i + [\sum_j (U_{b,j} A_{b,j}) + \rho_e c_{pe} q_e] T_e + \Phi_{\text{sät}}}{\sum_j (U_{us,j} A_{us,j}) + \sum_j (U_{b,j} A_{b,j}) + \rho_i c_{pi} q_i + \rho_e c_{pe} q_e} \quad (3.18)$$

jossa alaindeksi i tarkoittaa parvekkeen takana olevaa asuinhuonetta ja alaindeksi e tarkoittaa ulkoilmaa. Jos asuinhuoneen lämpötilanousua ei oteta kesäaikana huomioon, tulee parvekkeen viileneminen sisäänpäin ottaa pois laskennasta. Auringon säteilyn lämpövirta voidaan laskea kaavalla (3.19) [84]:

$$\Phi_{\text{sät}} = S \frac{\sum_j (\tau_{\text{lasi,aur},j} Q_{\text{aur},j} A_j)}{\Delta t} \quad (3.19)$$

jossa S lasitetun parvekkeen kyky varastoida auringon säteilyä, $\tau_{\text{lasi,aur},j}$ on osan j läpäisykerroin lyhytaaltoiselle auringonsäteilylle, $Q_{\text{aur},j}$ on pinnalle j tuleva auringon säteilyenergia, A_j on osan j pinta-ala ja Δt on ajanjakson pituus, jolta auringon säteilyenergia on määritetty. Säteilyn huomioon ottaminen vaikuttaa olevan tärkeää realististen tulosten kannalta, vaikka Laukkarisen ja Hilliahon [84] malli ei vielä tuota täysin yhteneviä tuloksia mittauksiin nähden. Säteilyn huomioon ottaminen kuitenkin parantaa mallin tarkkuutta [84].



Kuva 3.2. Parvekkeen lämpövirrat. Kuvassa ei näy mahdolliset ulkoilmaan rajoittuvat parvekepielet.

Lasitetun parvekkeen kykyä varastoida auringon säteilyä riippuu parvekkeen pintojen lämmönabsorptiosuhteista, aurinkoa läpäisevien pintojen määrästä ja sijainnista. Hilliaho *et al.* [37] ovat tutkineet lasitetun parvekkeen säteilyn varastointikykyä erilaisilla konfiguraatioilla (taulukko 3.1). Kertoimen S laskentaan esitetään kirjallisuudessa [153] myös laskentakaavoja, mutta näissä tilamalleissa on aina lasinen kattorakenne, joka vaikuttaa tuloksiin.

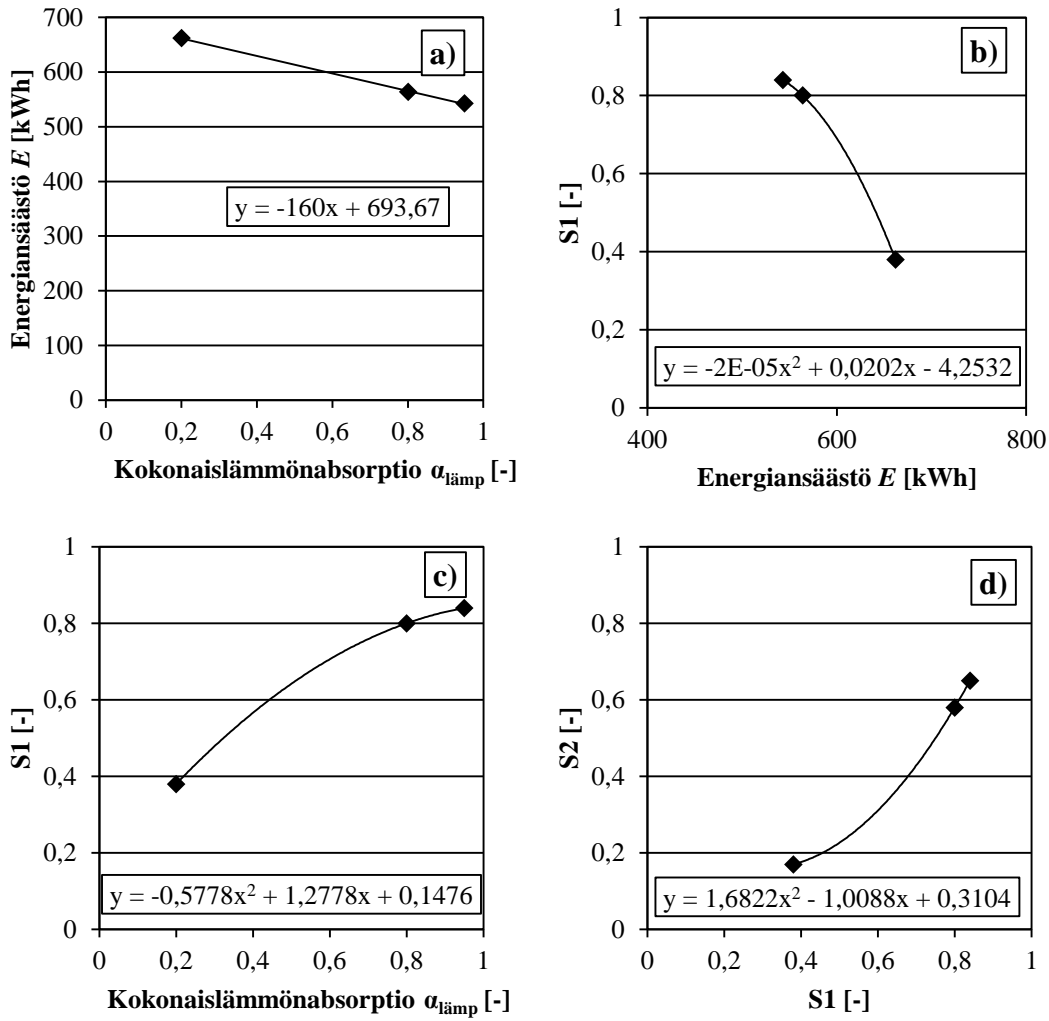
Taulukko 3.1. Parvekkeiden S -kertoimen arvoja eri konfiguraatioilla [37].

Lasitus	Parvekkeen kokonaislämmönabsorptiosuhde $\alpha_{\text{lämp}}$		
	0,95	0,8	0,2
1 sivu lasitettu	0,84	0,8	0,38
3 sivua lasitettu	0,65	0,58	0,17

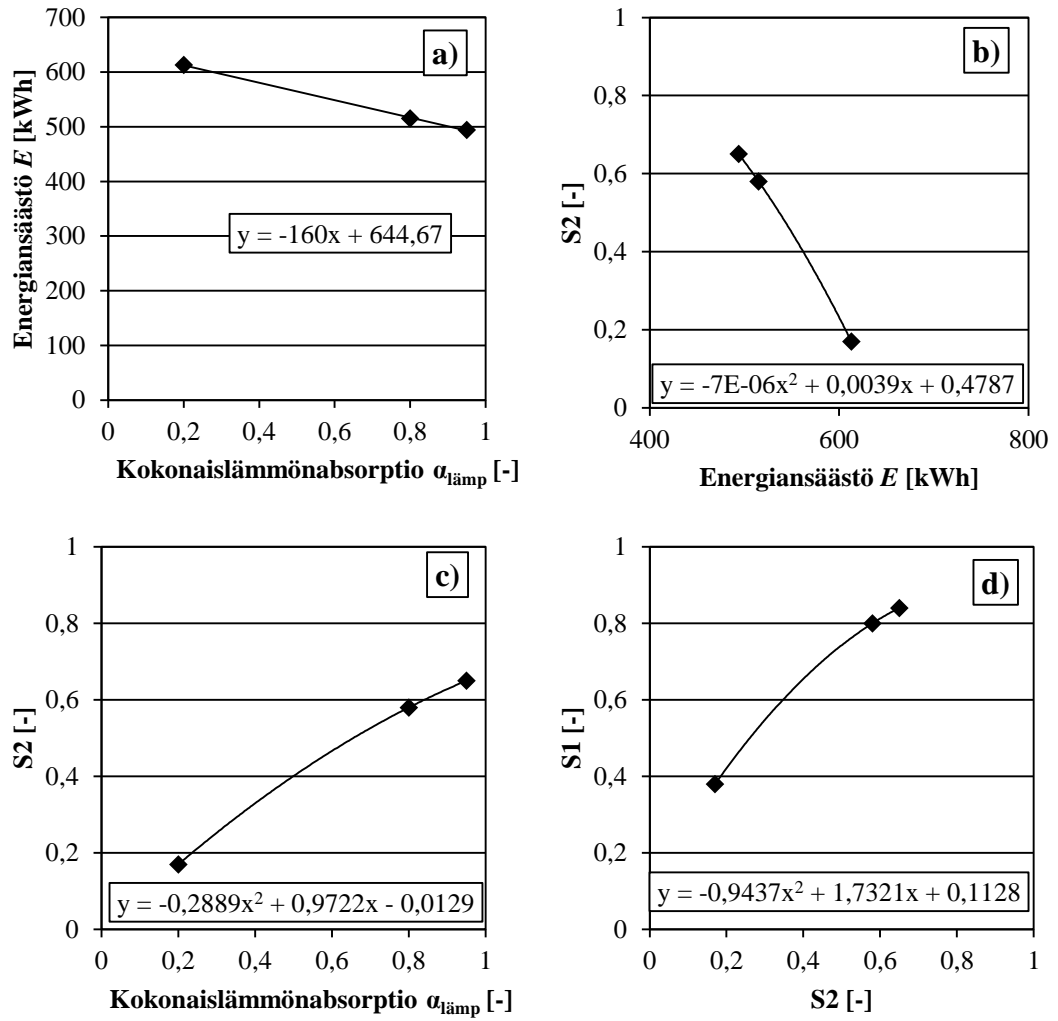
Eri parvekkeiden lämmönabsorptiosuhteita vastaavat S -kertoimet arvioidaan tekemällä sovituksia lähteen [37] tietoihin perustuen. Otoksiin tehdään joko lineaarinen tai toisen polynomin sovitus, joita käytetään arvojen interpoloinnissa. Auringonsäteilyn varastointikyky johdetaan eri tavoin:

1. Parvekkeen energiansäästö arvioidaan halutulle lämmönabsorptiosuhteelle, ja S lasketaan energiansäästön ja S -kertoimen sovituksista.
2. Parvekkeen S lasketaan halutulle lämmönabsorptiosuhteelle suoraan lämmönabsorptiosuhteen ja S -kertoimen sovitteesta.
3. Parvekkeen S lasketaan halutulle lämmönabsorptiosuhteelle parvekkeiden S -kertoimien sovitteesta, kun tiedetään toisen parvekkeen S kohdan 1 tai 2 perusteella.

Parvekkeen 1 tietoihin tehdyt sovitteet esitetään kuvassa 3.3 ja parvekkeen 2 tietoihin tehdyt sovitteet esitetään kuvassa 3.4. Auringon kokonaissäteilyenergia saadaan Ilmatieteenlaitokselta [24]. Taulukossa 3.2 esitetään vyöhykkeiden I ja II mukaiset kokonaissäteilyenergiat pystypinnoille eri ilmansuuntiin. Näitä säteilyenergioita vastaavat kuukausittaiset keskilämpötilat esitetään taulukossa 3.3. [24] Lasien läpäisykertoimet saadaan esimerkiksi Pilkingtonin Lasifakta-julkaisusta [81]. Karkaistulle 6 mm lasille voidaan käyttää arvoa 0,82 [81].



Kuva 3.3. Parvekkeen 1 energiansäästö, kokonaislämmönabsorption ja auringonsäteilyn varastointikyvyn S sovitteet.



Kuva 3.4. Parvekkeen 2 energiansäästö, kokonaislämmönabsorptio ja auringonsäteilyn varastointikyvyn S sovitteet.

Taulukko 3.2. Vyöhykkeiden I ja II auringon kokonaissäteilyenergiat pystypinnoille [24].

Auringon kokonaissäteilyenergia eri ilmansuuntiin osoittaville pystypinnoille vyöhykkeillä I ja II (Vantaa) $G_{\text{säteily,pystypinta}}$ [kWh/m ²]								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	5	5	5,9	11,1	14,1	11,1	5,8	5
Helmikuu	14,1	14,3	20,7	35,1	43,8	34,8	20,6	14,3
Maaliskuu	40,5	42,9	60,3	86,1	97,8	80,6	55,6	41,9
Huhtikuu	41,5	57,4	86,4	106,8	110,1	107,4	87,4	58,1
Toukokuu	57,4	85,2	119,8	128,3	118	122,9	112,5	79,9
Kesäkuu	70,7	91,4	116,5	114,1	102,9	115,5	118,7	93
Heinäkuu	66,5	95,4	127	128,5	117,5	133,9	130,6	95,1
Elokuu	47,8	67,9	98,8	111,6	102,7	98,4	86	63
Syyskuu	29	37,1	61,8	89	103,1	92	64,3	37,5
Lokakuu	13,2	13,5	19,3	30,2	38,1	31,9	20,5	13,6
Marraskuu	5,1	5,1	6,7	13,6	17,5	13,6	6,7	5,1
Joulukuu	3,2	3,2	3,8	9,3	12,5	9,8	4,1	3,2
Koko vuosi	393,9	518,3	726,9	863,6	878	851,7	712,7	509,7

Taulukko 3.3. Vyöhykkeiden I ja II keskimääräiset ulkolämpötilat kuukausittain [24].

Keskimääräiset ulkolämpötilat kuukausittain vyöhykkeillä I ja II (Vantaa)	
Kuukausi	T_e [°C]
Tammikuu	-4
Helmikuu	-4,5
Maaliskuu	-2,6
Huhtikuu	4,5
Toukokuu	10,8
Kesäkuu	14,2
Heinäkuu	17,3
Elokuu	16,1
Syyskuu	10,5
Lokakuu	6,2
Marraskuu	0,5
Joulukuu	-2,2
Koko vuosi	5,6

Tarkastelu suoritetaan siis kuukausitasolla. Tällöin malli ei ota kantaa mitoittaviin tilanteisiin, jolloin parvekkeen maksimilämpötila tai pienin tilavuusvirta saavutetaan. Siten mallilla saavutettava ilmavirtaus on vuoden ajalta vaadittava keskiarvo, jolla ei välttämättä saavuteta haluttuja olosuhteita kaikkina päivinä. Tämä vaatisi, että

valittaisiin jokin mitoittava tilanne, jonka perusteella määritettäisiin parvekkeen aukkomäärät. Erilaisia mitoittavia tilanteita voisivat olla:

1. Riittävä ilmanvaihtokerroin käyttöaikana
2. Parvekkeen yllämpenemisen estäminen
3. Parvekkeen kuivumiskyvyn varmistus

Kohdat 1 ja 3 määräytyvät parvekkeen ilmanvaihtokertoimen perusteella ja kohta 2 parvekkeen lämpötilan perusteella. Järkevää olisi varmistaa ehtojen toteutuminen tarkemmin kuin kuukausitasolla, koska sääolosuhteet voivat vaihdella voimakkaasti kuukauden sisällä. Yllämpenemisen estäminen pelkästään ilmanvaihdolla ei välttämättä ole kovin tehokasta. Kaihtimien ja tuuletuksen yhteiskäyttö vaikuttaisi olevan tähän tehokkain tapa [35]. Tarkempi tarkastelu ja muiden kuin tuuletuksen käyttö ei kuitenkaan ole mahdollista tämän tutkimuksen puitteissa, joten tarkastelu on suhteellisen kapea.

3.4 Parvekkeen ilmanvaihdon laskentamalli

Kappaleissa 3.2 ja 3.3 esitettyjen periaatteiden avulla voidaan toteuttaa parvekkeen luonnollisen ilmanvaihdon laskentamalli, jossa parvekkeen muuttuva lämpötila otetaan huomioon. Koska parvekkeen lämpötila riippuu lasketusta ilmavirtauksesta ja ilmavirtaus riippuu tilojen lämpötilaerosta (eli parvekkeen lämpötilasta, koska ulkoilman lämpötila on vakio), tulee laskennassa löytää tasapaino näiden kahden muuttujan välille. Käytännössä laskennassa tarvitaan alkuarvaus, josta tasapaino etsitään iteroimalla. Laskennan vaiheet voidaan toteuttaa esimerkiksi näin:

1. Arvataan parvekkeen lämpötilaksi jokin arvo ulkoilman ja asuinhuoneen lämpötilojen väliltä
2. Lasketaan ilmavirtaus arvatulla lämpötilalla
3. Lasketaan parvekkeen lämpötila tällä ilmavirtauksella
4. Lasketaan ilmavirtaus tällä lämpötilalla
5. Jos ilmavirtaukset eivät ole yhtä suuret, jatketaan iterointia

Tasapainossa iteroinnin peräkkäiset arvot lämpötilalle ja ilmavirtaukselle ovat yhtä suuret halutulla tarkkuudella (esimerkiksi 0,1 °C ja 0,01 l/s). Parvekkeen lämpötilan määrää ulkoilman ja asuinhuoneen lämpötilat, parvekerakenteiden ja ilmavirtauksien lämpöhäviöt ja säteily. Ilmavirtausta parvekkeen ja asuinhuoneen välillä ei ole tarkasteluissa otettu huomioon.

Laskentamallissa on kuitenkin rajoitteita, jotta se ei olisi liian monimutkainen käytettäväksi. Laskentamalli ei ota huomioon lämpötilan epätasaista jakaantumista tilassa. Ilmavirtauksia tarkastellaan laskentamallissa vain yhdessä tasossa, joten rakojen kolmiulotteinen sijoittelu ei ole mahdollista. Tämä yksinkertaistus toteuttaa pienimmän

virheen parvekkeella, jolla on aukkoja vain yhdessä tasossa. Malli rajoittuu täysin avonaisiin aukkoihin, jolloin monimutkaisten ja osittain peitettyjen aukkojen laskenta ei ole mahdollista. Myöskään erittäin kapeiden rakojen kautta liikkuva virtaus ei välttämättä ole sama kuin laskentamallin antama arvo, joka tulisi ottaa huomioon kertoimessa C_d . Laskentamalli ei ota huomioon rakenteiden lämpökapasiteettia, joka saattaa vaikuttaa parvekkeen lämpötilaan. Laskentamalli ei huomioi myöskään asuintilan muuttuvaa lämpötilaa, joka voi lämmittää parvekettä.

3.5 Laskentamallin vertailu simulointeihin

Laskentamallia verrataan tätä tutkimusta varten IDA-ICE –ohjelmistolla tehtyihin simulointeihin. Simuloinneissa ja laskentamallissa ei oteta huomioon tuulenpainetta. IDA-ICE:ssä laskenta suoritetaan tunneittain ja laskentamallilla kuukausittain. Simuloinnissa ja laskentamallissa käytettävät säteilytiedot kylläkin perustuvat samaan säädädataan. Simulointitulokset saatetaan julkaista myöhemmin.

Laskentamalliin sijoitetut lähtöarvot esitetään taulukossa 3.4. Parvekkeet ovat ulokeparvekkeita. Parvekkeessa 1 on teräsbetonipielet ja –kaide, ja kaiteen päällä on parvekelasitus. Parvekkeessa 2 on lasikaide ja parvekelasitus kolmella sivulla. Parvekkeet on suunnattu etelään, jolloin lyhyemmät sivut osoittavat itään ja länteen. Koska asuinhuoneen sisälämpötila oletetaan vakioksi, kesällä tapahtuvaa parvekkeen viilennystä asuinhuoneeseen päin ei huomioida.

Ulkolämpötiloina käytetään IDA-ICE:n esittämiä lämpötiloja ilmatieteenlaitoksen tietojen sijaan, jotta tämä ei tuottaisi virhettä. Käytetyt ulkolämpötilat esitetään taulukossa 3.5. Laskenta suoritetaan molemmille parvekkeille kahdella eri ulkoseinällä, joiden on ajateltu kuvaavan 1970-luvun ja 2010-luvun ulkoseinärakenteita U-arvoiltaan. Tämän lisäksi parvekkeen lämmön kokonaisabsorption vaikutusta arvioidaan käyttämällä tällä arvoja 0,95 ja 0,4. Näistä arvo 0,4 kuvaa tyypillistä parvekettä, jota vastaavat mahdolliset S-kertoimet arvioidaan kuvien 3.3 ja 3.4 perusteella (taulukot 3.6 ja 3.7).

Taulukko 3.4. Laskentamallin lähtöarvot.

Lähtöarvot	Parveke 1	Parveke 2
Sijainti	Helsinki	
Suuntaus	Etelä	Etelä (Itä, Länsi)
Asunnon lämpötila [°C]	21 (vakio)	
Parvekkeen koko (LxBxH) [m ³]	4,06x1,53x2,6	
Parvekkeen vaippa:		
Lasisivuja [kpl]	1	3
Lasituksen korkeus [m]	1,6	
Kaiteen korkeus [m]	1	
Lasituksen U-arvo [W/(K*m ²)]	5,8	5,8
Kaiteen U-arvo [W/(K*m ²)]	4,76	5,8
Parvekepielen U-arvo [W/(K*m ²)]	4,27	5,8
Lasituksen läpäisykerroin [-]	0,82	
Pintojen kokonaislämmönabsorptio [-]	0,95 / 0,4	
S [-]	0,84 / 0,57	0,65 / 0,33
Ulkoseinän osat:		
Ikkunan U-arvo (A=3,36 m ²) [W/(K*m ²)]	2,9 / 1	
Parvekeoven umpiosan U-arvo (A=1,14 m ²) [W/(K*m ²)]	2,9 / 1	
Parvekeoven lasiosa U-arvo (A=0,93 m ²) [W/(K*m ²)]	2,9 / 1	
Ulkoseinän U-arvo (A=5,126 m ²) [W/(K*m ²)]	0,38 / 0,18	
Aukot:		
Aukkokoot [mm ² / m]	875	11000
Aukkojen korkeusero [m]	1,6	2,6
C _d [-]	0,65	

Taulukko 3.5. Ilmatieteenlaitoksen ja IDA-ICE:n esittämät keskimääräiset ulkolämpötilat kuukausittain.

Kuukausi	Ilmatieteenlaitos	IDA-ICE
	T_e [°C]	T_e [°C]
Tammikuu	-4	-4
Helmikuu	-4,5	-4,7
Maaliskuu	-2,6	-2,1
Huhtikuu	4,5	4,8
Toukokuu	10,8	10,7
Kesäkuu	14,2	14,5
Heinäkuu	17,3	17,6
Elokuu	16,1	15,7
Syyskuu	10,5	10,4
Lokakuu	6,2	6
Marraskuu	0,5	0,4
Joulukuu	-2,2	-2,2
Koko vuosi	5,6	5,6

Taulukko 3.6. Parvekkeelle 1 määritetyt auringonsäteilyn varastointikyvyt S . Merkinnot: E = energiansäästö, $\alpha_{\text{lämp}}$ = kokonaislämmönabsorptio, S = auringonsäteilyn varastointikyky.

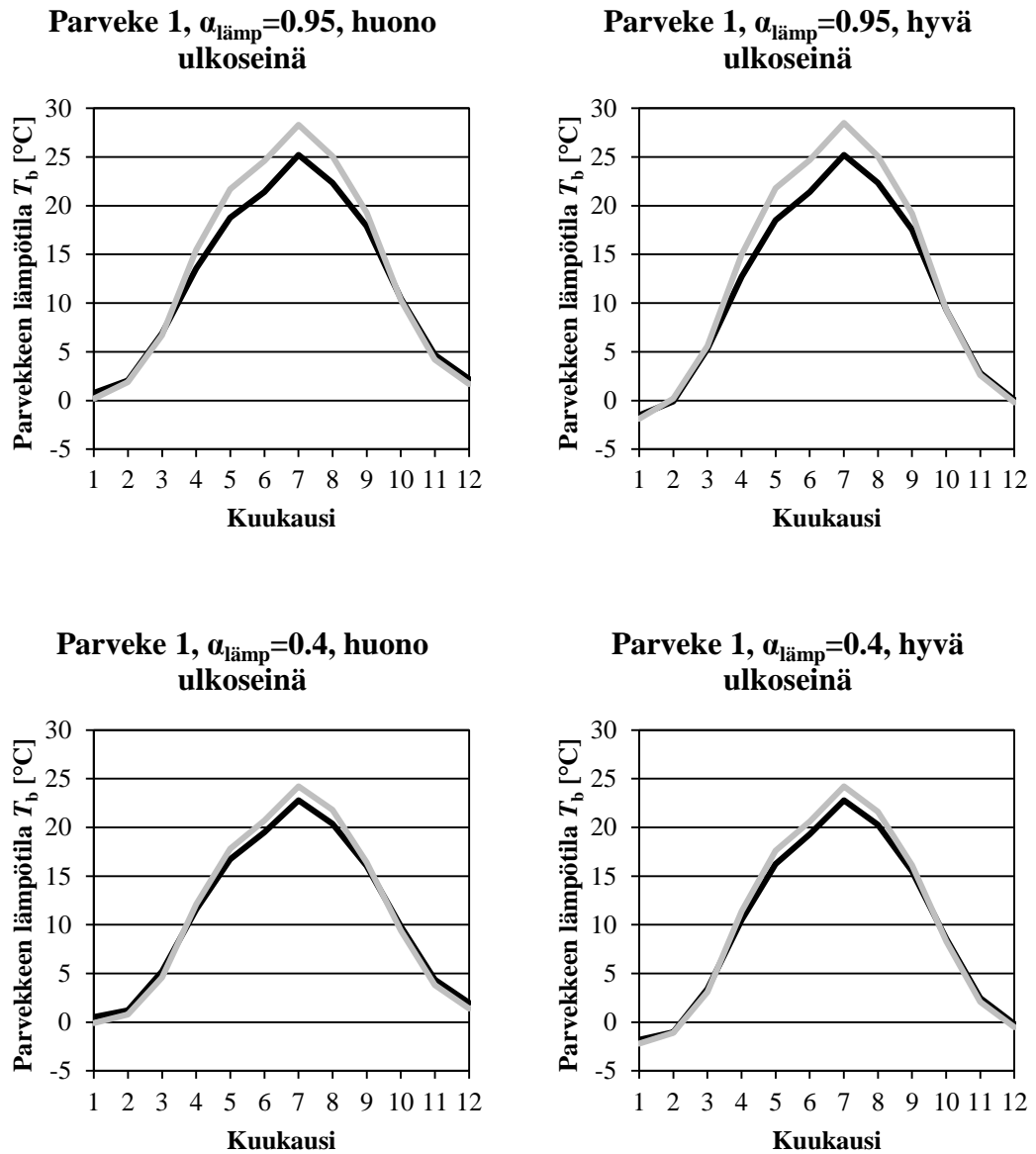
Menetelmä	E - $\alpha_{\text{lämp}}$, S - E	$\alpha_{\text{lämp}}$ - S
E - $\alpha_{\text{lämp}}$, S - E	0,54	-
$\alpha_{\text{lämp}}$ - S	-	0,57
S - S	0,64	0,58

Taulukko 3.7. Parvekkeelle 2 määritetyt auringonsäteilyn varastointikyvyt S . Merkinnot: E = energiansäästö, $\alpha_{\text{lämp}}$ = kokonaislämmönabsorptio, S = auringonsäteilyn varastointikyky.

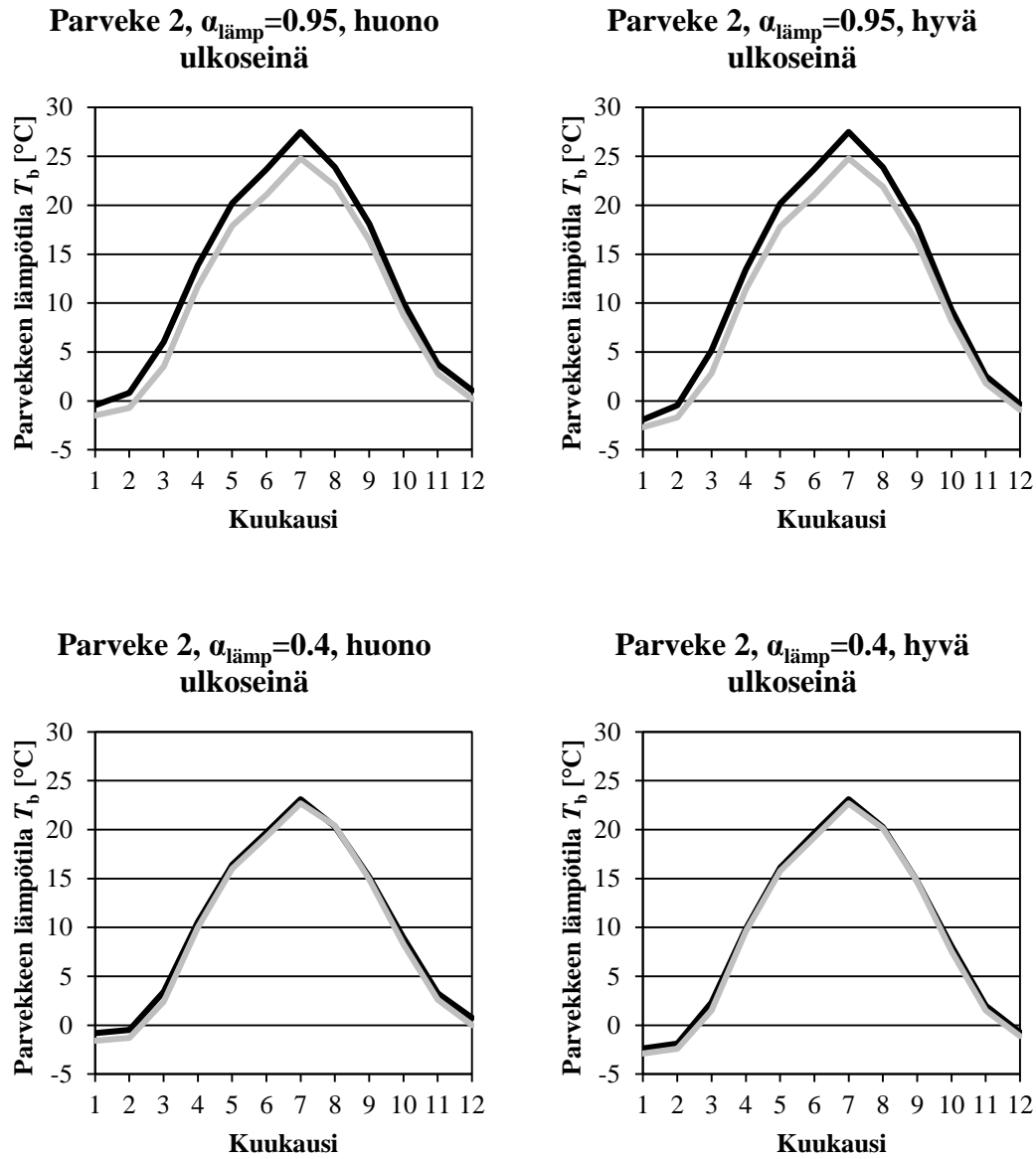
Menetelmä	E - $\alpha_{\text{lämp}}$, S - E	$\alpha_{\text{lämp}}$ - S
E - $\alpha_{\text{lämp}}$, S - E	0,38	-
$\alpha_{\text{lämp}}$ - S	-	0,33
S - S	0,25	0,28

Taulukoiden 3.6 ja 3.7 perusteella parvekkeen 1 S -kerroin voisi olla välillä 0,54...0,64 ja parvekkeen 2 välillä 0,25...0,38. Näistä arvoista päädyttiin laskelmissa käyttämään lämmön absorptiosuhteen ja S -kertoimen sovitteesta ($\alpha_{\text{lämp}}$ - S) määritettyjä arvoja (0,57 ja 0,33). Kuvissa 3.5 ja 3.6 esitetään laskentamallin mukaiset ja simuloitujen parvekkeiden kuukausittaiset lämpötilat eri konfiguraatioilla. Kuvissa 3.7 ja 3.8

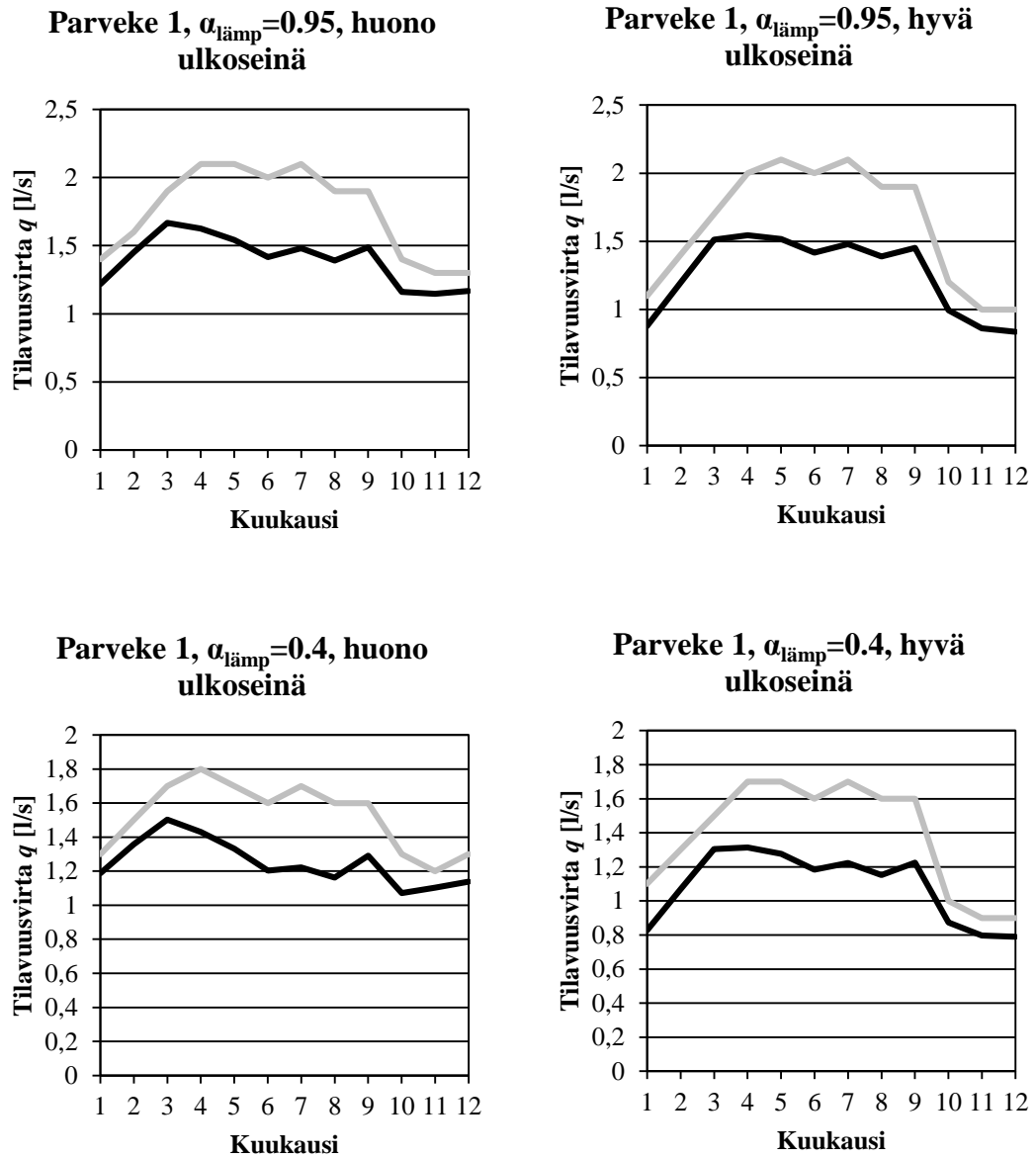
esitetään vastaavasti tilavuusvirrat. Musta viiva on laskentamallilla laskettu ja harmaa viiva simuloitu tulos.



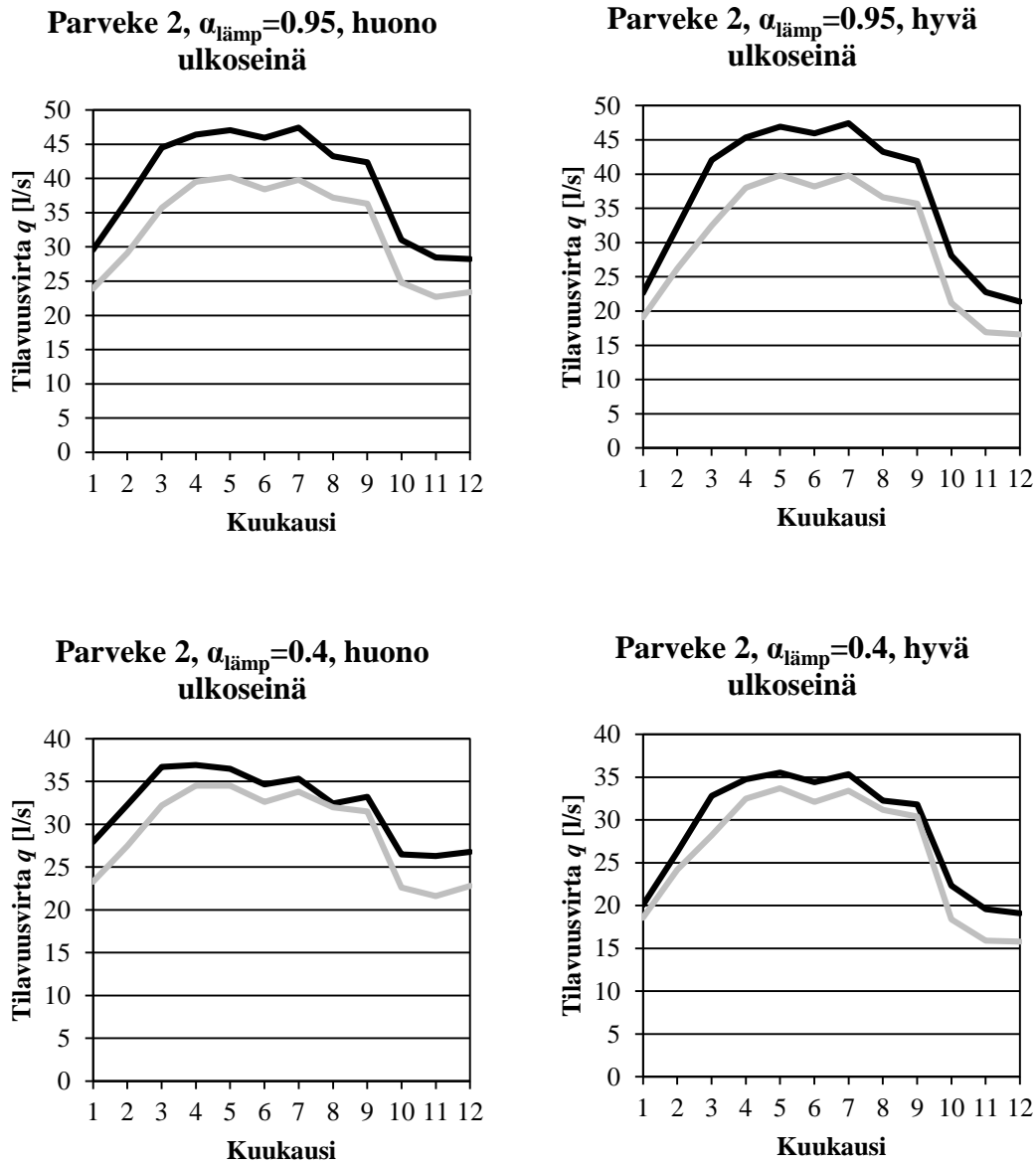
Kuva 3.5. Parvekkeen 1 laskentamallin mukaiset (musta viiva) ja simuloitut (harmaa viiva) lämpötilat, kun parvekkeen kokonaislämmönabsorptio on 0,95 tai 0,4.



Kuva 3.6. Parvekkeen 2 laskentamallin mukaiset (musta viiva) ja simuloidut (harmaa viiva) lämpötilat, kun parvekkeen kokonaislämmönabsorptio on 0,95 tai 0,4.



Kuva 3.7. Parvekkeen 1 laskentamallin mukaiset (musta viiva) ja simuloitut (harmaa viiva) tilavuusvirrat, kun parvekkeen kokonaislämmönabsorptio on 0,95 tai 0,4.



Kuva 3.8. Parvekkeen 2 laskentamallin mukaiset (musta viiva) ja simuloidut (harmaa viiva) tilavuusvirrat, kun parvekkeen kokonaislämmönabsorptio on 0,95 tai 0,4.

Kuvista 3.5-3.8 nähdään, että laskentamalli ja simulointi eivät täysin vastaa toisiaan. Vastaavuutta parantaa lämmön kokonaisabsorptio pienentäminen realistisempaan arvoon 0,4. Vertailun perusteella laskentamalli aliarvioi parvekkeen 1 lämpötilaa ja tilavuusvirtaa ulos. Parvekkeen 2 tapauksessa sen sijaan molemmat suuret tulevat yliarvioituiksi. Yksinkertaisella laskentamallilla voidaan saada suuntaa-antavia tuloksia, joilla parvekkeen ilmanvaihdon suunnittelu voidaan aloittaa. Tarkempiin laskelmiin on kuitenkin syytä käyttää esimerkiksi IDA-ICE:ä. Täsmällisiä syitä eroihin laskentamallin ja simulointien välillä ei tämän tutkimuksen puitteissa ole mahdollista selvittää, mutta syinä voivat olla ainakin seuraavat tekijät:

1. Auringonsäteilyn laskennan epävarmuudet (varastointikyky, säteilymäärät)
2. Lämpötilojen epätasainen jakaantuminen ja ajallinen vaihtelu tiloissa
3. Rakenteiden lämpeneminen
4. Tilavuusvirtakaavojen yksinkertaistamisesta johtuvat virheet
5. Malli toimii yhdessä tasossa, kun taas simulointi on kolmiulotteista
6. Parvekkeen ulkopuolista varjostusta ei ole huomioitu
7. Laskentatarkkuuden ero (kuukausitaso vs. tunneittain)

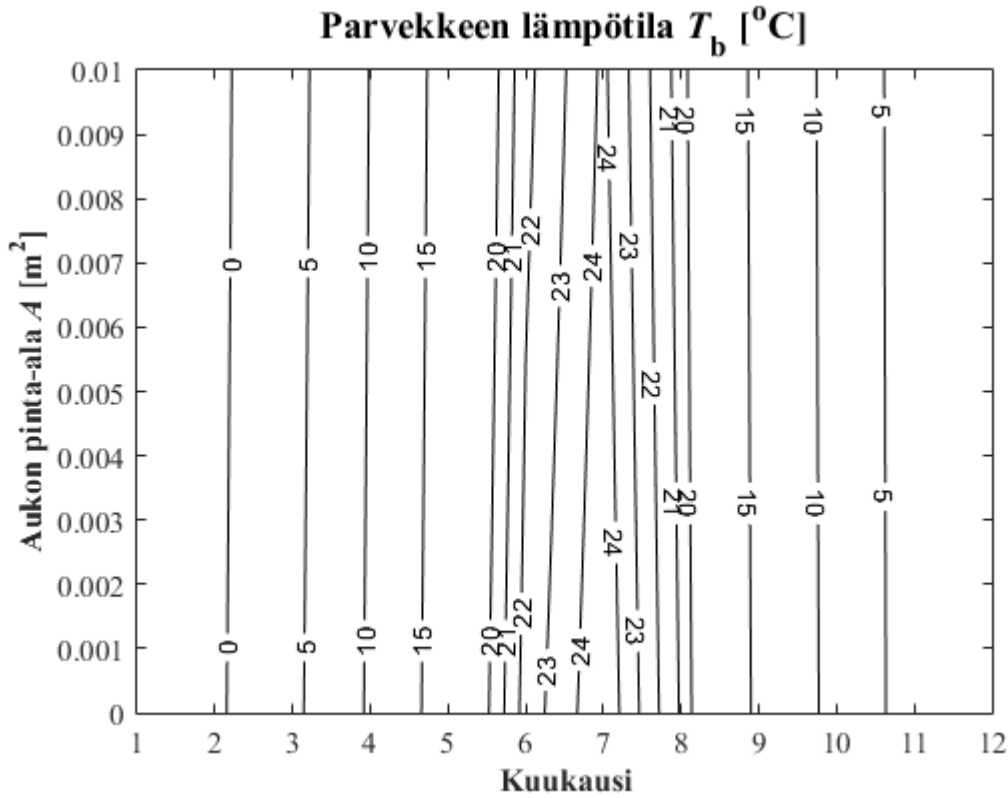
Parvekkeen lämmön kokonaisabsorptiosuhteen muutos arvosta 0,95 arvoon 0,4 viittaisi siihen, että auringonsäteilyn lisääntyvä merkitys aiheuttaa virhettä simulointien ja laskennan välillä.

3.6 Laskentaesimerkki

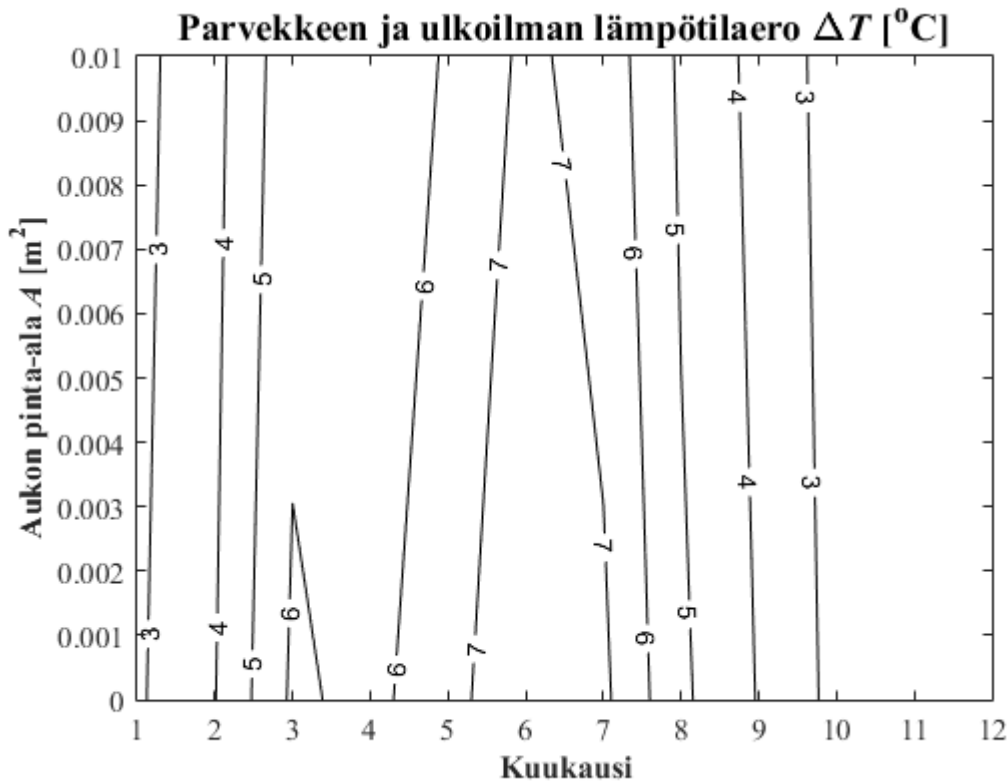
Suoritetaan laskenta $4 \times 2 \times 2,6 \text{ m}^3$ kokoiselle ulokeparvekkeelle, jolla on yksi lasisivu, ja muuten teräsbetoniset parvekepielet. Parvekepielet rajoittuvat sivuiltaan muihin parvekeisiin, joten lämpötilaero parvekkeiden välillä voidaan olettaa olevan 0, eikä parvekepieliä siten tarvitse ottaa huomioon laskennassa. Parvekelasituksen korkeus on 1,6 m ja lasikaiteen 1,0 m. Kokonaisabsorptiona käytetään arvoa 0,4, ja tämän mukaista auringon säteilyn varastointikykyä $S = 0,57$. Aukkojen C_d on 0,611. Parvekkeet ovat uusia, joten käytetään parempaa ulkoseinää. Muilta osin käytetään laskentaesimerkeissä samoja lähtöarvoja kuin kappaleessa 3.5. Ilmavirtauksien aukot sijaitsevat kaiteen alapuolelle ja lasituksen yläpuolelle, jolloin aukkojen välinen etäisyys on noin 2,6 m. Aukot ovat yhtä suuria, joten käytetään kaavaa (3.10).

3.6.1 Ilmanvaihtokertoimen ajallinen vaihtelu

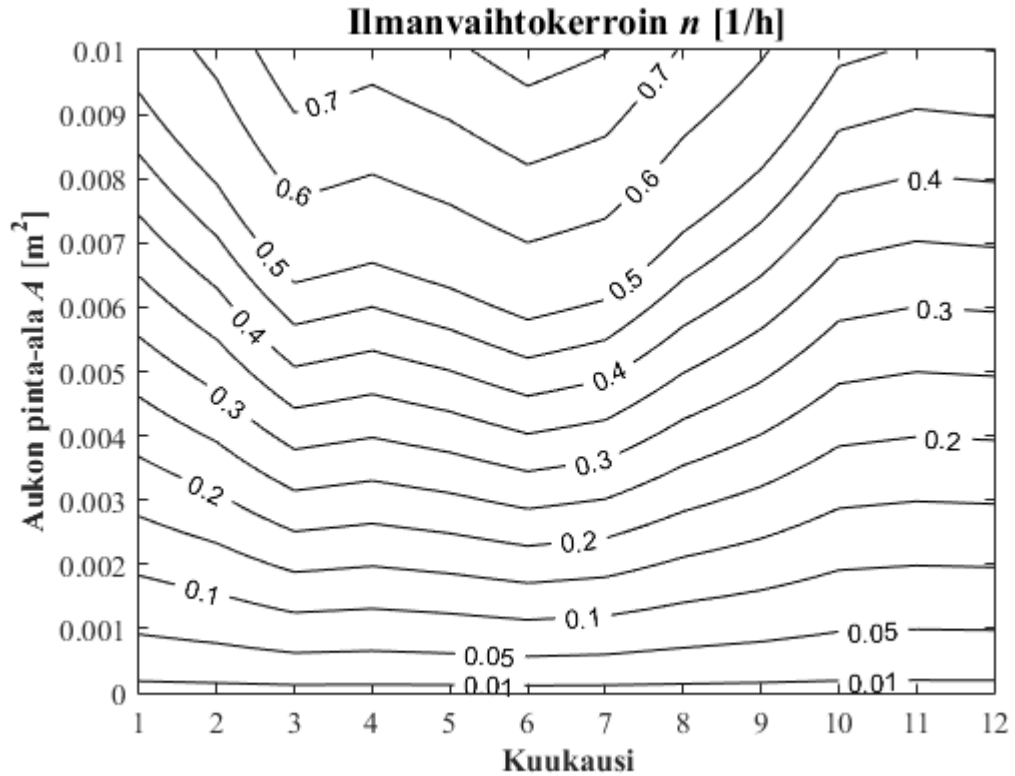
Parveke on suunnattu pohjoiseen, jolloin auringonsäteilyä on vähiten muihin ilmansuuntiin verrattuna, ja ilmanvaihto on pienimmillään (parvekkeen lämpötilaero ulkoilmaan pieni). Kuvassa 3.9 esitetään parvekkeen lämpötila kuukauden ja aukkokoon mukaan. Kuvassa 3.10 esitetään parvekkeen ja ulkoilma lämpötilaero. Kuvassa 3.11 esitetään ilmanvaihtokerroin riippuen aukon pinta-alasta ja kuukaudesta. Pohjoiseen suunnattuna parvekkeen lämpötila ei nouse jäähdytysrajaan asti suunnittelutason tarkastelulla.



Kuva 3.9. Pohjoiseen suunnatun parvekkeen lämpötila kuukausittain, kun rakenteessa on 2 aukkoa, joiden välinen etäisyys on 2,6 m.



Kuva 3.10. Pohjoiseen suunnatun parvekkeen ja ulkoilman lämpötilaero kuukausittain, kun rakenteessa on 2 aukkoa, joiden välinen etäisyys on 2,6 m.



Kuva 3.11. Pohjoiseen suunnatun parvekkeen ilmanvaihtokerroin kuukausittain, kun rakenteessa on 2 aukkoa, joiden välinen etäisyys on 2,6 m.

Kuvasta 3.11 huomataan, että ilmavirtaus on pienimmillään kylminä vuodenaikoina. Taulukossa 3.8 esitetään kuukausittain vaadittavat aukkoalat, ja taulukossa 3.9 esitetään aukkoalat metriä kohden, kun halutaan ilmanvaihtokertoimeksi 0,5 1/h. Taulukoissa 3.10 ja 3.11 esitetään samat tulokset, kun ilmanvaihtokertoimena vaaditaan 0,2 1/h. Kahden aukon tapauksessa taulukoissa 3.8 ja 3.10 esitetään yhdeltä aukolta vaadittava pinta-ala ja korkeus (aukkoja tarvitaan kaksi). Parvekkeiden yleisimmän käyttöajan (touko-syyskuu) on eroteltu viivoin.

Taulukko 3.8. Pohjoiseen suunnatun esimerkkiparvekkeen vaadittavat aukkokoot, kun halutaan ilmanvaihtokertoimeksi 0,5 l/h. Kahden aukon laskentamallilla esitetään yhden aukon pinta-ala, joita tarvitaan kaksi kappaletta.

Kuukausi	Kaksi aukkoa (pituus 4 m)		Lasivälejä (korkeus 1,6 m)			Lasivälejä (korkeus 2,6 m)		
	A	h	A	2 mm	3 mm	A	2 mm	3 mm
	[m ²]	[mm]	[m ²]	[kpl]	[kpl]	[m ²]	[kpl]	[kpl]
Tammikuu	0,0093	2,3	0,0356	11,1	7,4	0,0279	8,7	5,8
Helmikuu	0,0079	2,0	0,0302	9,4	6,3	0,0237	7,4	4,9
Maaliskuu	0,0064	1,6	0,0245	7,6	5,1	0,0192	6,0	4,0
Huhtikuu	0,0067	1,7	0,0256	8,0	5,3	0,0201	6,3	4,2
Toukokuu	0,0063	1,6	0,0241	7,5	5,0	0,0189	5,9	3,9
Kesäkuu	0,0058	1,5	0,0222	6,9	4,6	0,0174	5,4	3,6
Heinäkuu	0,0061	1,5	0,0233	7,3	4,9	0,0183	5,7	3,8
Elokuu	0,0071	1,8	0,0272	8,5	5,7	0,0213	6,7	4,4
Syyskuu	0,0081	2,0	0,0310	9,7	6,5	0,0243	7,6	5,1
Lokakuu	0,0097	2,4	0,0371	11,6	7,7	0,0291	9,1	6,1
Marraskuu	0,0101	2,5	0,0386	12,1	8,0	0,0303	9,5	6,3
Joulukuu	0,0099	2,5	0,0379	11,8	7,9	0,0297	9,3	6,2
Keskiarvo	0,0078	1,9	0,0298	9,3	6,2	0,0234	7,3	4,9

Taulukko 3.9. Pohjoiseen suunnatun esimerkkiparvekkeen vaadittavat aukkokoot metriä kohden, kun halutaan ilmanvaihtokertoimeksi 0,5 l/h. /h. Kahden aukon laskentamallilla esitetään yhden aukon pinta-ala, joita tarvitaan kaksi kappaletta.

Kuukausi	Kaksi aukkoa (pituus 4 m)	Lasivälejä (korkeus 1,6 m)	Lasivälejä (korkeus 2,6 m)
	A	A	A
	[m ² /m]	[m ² /m]	[m ² /m]
Tammikuu	0,0023	0,0089	0,0070
Helmikuu	0,0020	0,0076	0,0059
Maaliskuu	0,0016	0,0061	0,0048
Huhtikuu	0,0017	0,0064	0,0050
Toukokuu	0,0016	0,0060	0,0047
Kesäkuu	0,0015	0,0055	0,0044
Heinäkuu	0,0015	0,0058	0,0046
Elokuu	0,0018	0,0068	0,0053
Syyskuu	0,0020	0,0077	0,0061
Lokakuu	0,0024	0,0093	0,0073
Marraskuu	0,0025	0,0097	0,0076
Joulukuu	0,0025	0,0095	0,0074
Keskiarvo	0,0019	0,0074	0,0058

Taulukko 3.10. Pohjoiseen suunnatun esimerkkiparvekkeen vaadittavat aukkokoot, kun halutaan ilmanvaihtokertoimeksi 0,2 l/h. /h. Kahden aukon laskentamallilla esitetään yhden aukon pinta-ala, joita tarvitaan kaksi kappaletta.

Kuukausi	Kaksi aukkoa (pituus 4 m)		Lasivälejä (korkeus 1,6 m)			Lasivälejä (korkeus 2,6 m)		
	A	h	A	2 mm	3 mm	A	2 mm	3 mm
	[m ²]	[mm]	[m ²]	[kpl]	[kpl]	[m ²]	[kpl]	[kpl]
Tammikuu	0,0036	0,9	0,0138	4,3	2,9	0,0108	3,4	2,3
Helmikuu	0,0031	0,8	0,0119	3,7	2,5	0,0093	2,9	1,9
Maaliskuu	0,0025	0,6	0,0096	3,0	2,0	0,0075	2,3	1,6
Huhtikuu	0,0026	0,7	0,0099	3,1	2,1	0,0078	2,4	1,6
Toukokuu	0,0025	0,6	0,0096	3,0	2,0	0,0075	2,3	1,6
Kesäkuu	0,0023	0,6	0,0088	2,7	1,8	0,0069	2,2	1,4
Heinäkuu	0,0024	0,6	0,0092	2,9	1,9	0,0072	2,3	1,5
Elokuu	0,0028	0,7	0,0107	3,3	2,2	0,0084	2,6	1,8
Syyskuu	0,0032	0,8	0,0122	3,8	2,5	0,0096	3,0	2,0
Lokakuu	0,0038	1,0	0,0145	4,5	3,0	0,0114	3,6	2,4
Marraskuu	0,0039	1,0	0,0149	4,7	3,1	0,0117	3,7	2,4
Joulukuu	0,0039	1,0	0,0149	4,7	3,1	0,0117	3,7	2,4
Keskiarvo	0,0031	0,8	0,0117	3,6	2,4	0,0092	2,9	1,9

Taulukko 3.11. Pohjoiseen suunnatun esimerkkiparvekkeen vaadittavat aukkokoot metriä kohden, kun halutaan ilmanvaihtokertoimeksi 0,2 l/h. /h. Kahden aukon laskentamallilla esitetään yhden aukon pinta-ala, joita tarvitaan kaksi kappaletta.

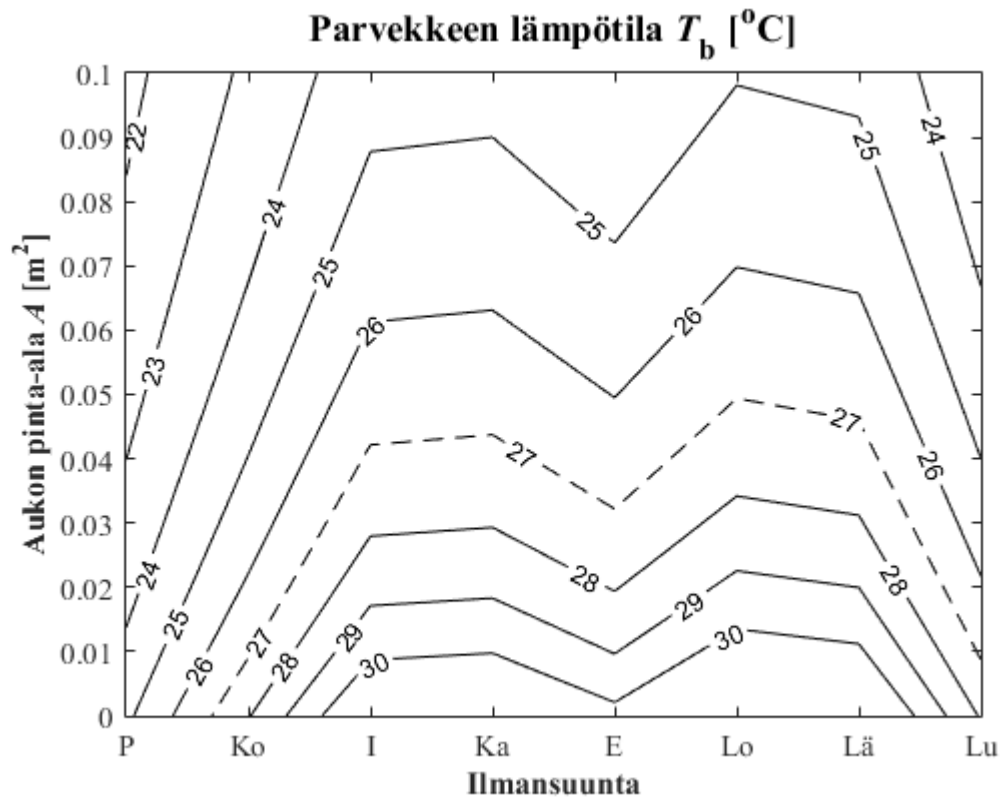
Kuukausi	Kaksi aukkoa (pituus 4 m)	Lasivälejä (korkeus 1,6 m)	Lasivälejä (korkeus 2,6 m)
	A	A	A
	[m ² /m]	[m ² /m]	[m ² /m]
Tammikuu	0,0009	0,0034	0,0027
Helmikuu	0,0008	0,0030	0,0023
Maaliskuu	0,0006	0,0024	0,0019
Huhtikuu	0,0007	0,0025	0,0020
Toukokuu	0,0006	0,0024	0,0019
Kesäkuu	0,0006	0,0022	0,0017
Heinäkuu	0,0006	0,0023	0,0018
Elokuu	0,0007	0,0027	0,0021
Syyskuu	0,0008	0,0031	0,0024
Lokakuu	0,0010	0,0036	0,0029
Marraskuu	0,0010	0,0037	0,0029
Joulukuu	0,0010	0,0037	0,0029
Keskiarvo	0,0008	0,0029	0,0023

Parvekkeiden yleisimpänä käyttöaikana riittäisi lattia- ja kattotasoon 2 mm korkeat (ja 4 m pitkä) raot, joka vastaa lasituksessa 10 kpl 2 mm lasiväliä ja 7 kpl 3 mm lasiväliä, jos halutaan ilmanvaihtokertoimeksi 0,5 1/h. Koko parvekkeen korkuisia lasivälejä tarvittaisiin vastaavasti 8 ja 5 kpl. Koko parvekkeen korkuinen lasiväli tarkoittaa sitä, että lasiväli esiintyy kaiteessa ja lasituksessa, mutta tämä ei kaikilla rakenteilla ole välttämättä mahdollista toteuttaa. Jos ilmanvaihtokertoimeksi halutaan 0,2 1/h, tarvitaan pitkän raon korkeudeksi 0,8 mm. Lasivälejä tarvitaan 4 ja 3 kpl lasituksessa tai 3 ja 2 kpl kaiteessa ja lasituksessa. Tähän ilmanvaihtuvuuteen päästään siis jo nykyisin esiintyvillä lasiväleillä, jos näitä ei ole peitetty listoilla.

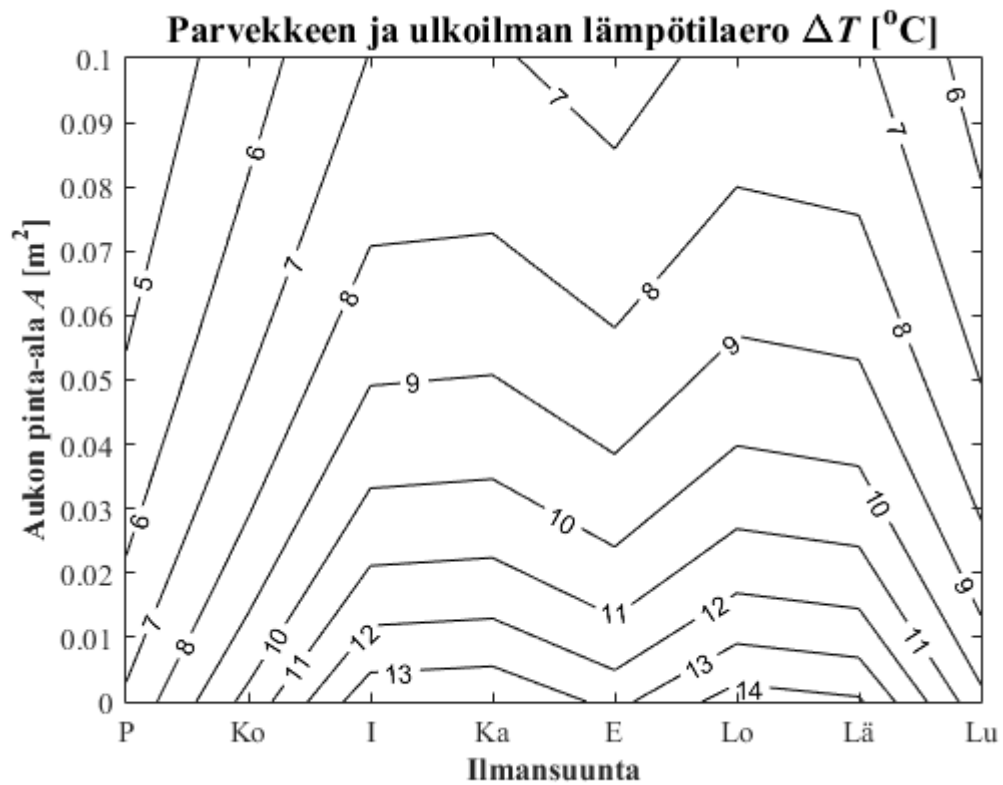
Parvekkeen käyttöajan ulkopuolella (kylminä vuodenaikoina) tarvitaan vähintään 1,0 mm korkeat raot, jos parvekkeelta vaaditaan ilmanvaihtokertoimeksi 0,2 1/h. Tämä tarkoittaa 5 ja 3 kpl lasivälejä lasituksessa tai 4 ja 3 kpl lasivälejä lasituksessa ja kaiteessa. Nykyisillä avoimilla lasiväleillä siis päästään myös käyttöajan ulkopuolella vaadittuun ilmanvaihtuvuuteen. Mitoittavaksi tekijäksi muodostuu käyttöaikana vaadittava ilmanvaihto, jos käytetään ilmanvaihtokertoimena 0,5 1/h.

3.6.2 Ilmanvaihdon ja ilmansuunnan vaikutus yllälämpenemiseen

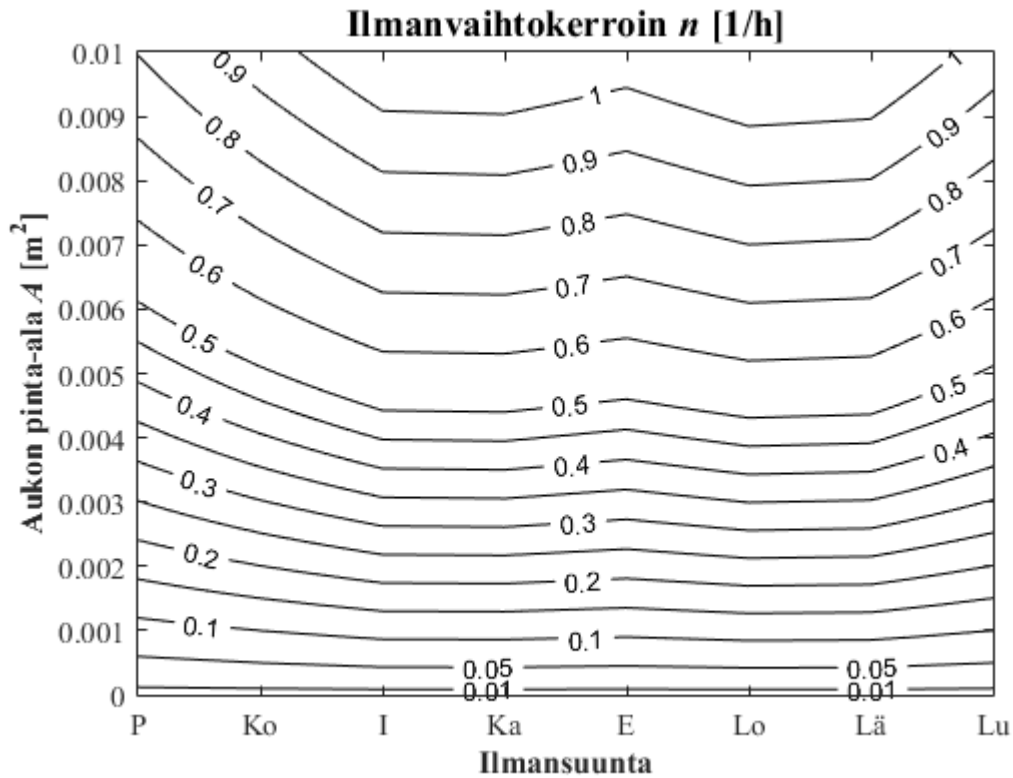
Tutkitaan esitetyllä mallilla parvekkeen ilmanvaihdon vaikutusta parvekkeen lämpötilaan. Tarkoituksena on tutkia, voiko aukkokokoa kasvattamalla pienentää merkittävästi parvekkeen lämpötilaa. Tilan yllälämpeneminen määritetään siten, että 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisenä aikana tilan lämpötila ei ylitä jäähdytysrajan arvoa 27 °C enemmän kuin 150 °Ch [137]. Koska ilmanvaihdon laskentamalli toimii tällä hetkellä kuukausitasolla, eikä siten ylitystä voi laskea, käytetään lämpötilan raja-arvona suoraan 27 °C. Taulukkojen 3.2 ja 3.3 perusteella heinäkuu on mitoittavin kuukausi. Tarkastellaan parvekkeen suuntausta eri ilmansuuntiin. Kuvassa 3.12 esitetään parvekkeen lämpötila heinäkuussa eri ilmansuuntiin suunnattuna, jossa katkoviiivalla on eroteltu jäähdytysraja. Kuvassa 3.13 esitetään parvekkeen ja ulkoilman lämpötilaero. Kuvassa 3.14 esitetään parvekkeen ilmanvaihtokerroin heinäkuussa eri ilmansuuntiin suunnattuna. Kuvan 3.14 pystyakselin maksimiarvo on eri kuin kuvien 3.12 ja 3.13 siitystä, että tarvittavaan ilmanvaihtoon riittää merkittävästi pienempi aukkokoko kuin mitä yllälämpenemisen estäminen vaatii.



Kuva 3.12. Esimerkkiparvekkeen lämpötila eri ilmansuuntiin aukkoon mukaan. Katkoviivalla erotettu jäähdytysraja.



Kuva 3.13. Esimerkkiparvekkeen lämpötilaero ulkoilmaan eri ilmansuuntiin aukkoon mukaan.



Kuva 3.14. Esimerkkiparvekkeen ilmanvaihtokerroin eri ilmansuuntiin aukkokoon mukaan.

Jäähdytysrajan mukaan määritetyt vaadittavat aukkokoot, 4 metrin pituisen viivamaisen raon korkeudet ja ilmanvaihtokertoimet ilmansuunnittain esitetään taulukossa 3.12. Taulukossa 3.13 esitetään vaihtoehtoisesti lasivälien vaaditut pinta-alat ja määrät. Pohjoiseen suunnatun parvekkeen lämpötila ei saavuta laskentamallilla jäähdytysrajaa, joten tälle ei ole yllälämpenemisen kannalta vaadittavaa aukkokokoa.

Taulukko 3.12. Esimerkkiparvekkeen jäähditysrajan perusteella vaaditut aukkokoot, vaaditun aukkokoon mukainen pitkä rako ja ilmanvaihtokerroin ilmansuunnan mukaan.

Ilmansuunta	P	Ko	I	Ka	E	Lo	Lä	Lu
Aukkokoko [m ²]	0,0000	0,0090	0,0421	0,0437	0,0322	0,0494	0,0459	0,0087
Ilmanvaihtokerroin n [1/h]	0,0	0,9	4,0	4,2	3,1	4,7	4,4	0,8
Aukon (L=4 m) korkeus [mm]	0,0	2,3	10,5	10,9	8,1	12,4	11,5	2,2

Taulukko 3.13. Esimerkkiparvekkeen jäähditysrajan perusteella vaaditut aukkokoot lasiväleille ja lasivälien määrät 2 mm ja 3 mm leveälle raolle.

Ilmansuunta	P	Ko	I	Ka	E	Lo	Lä	Lu
Lasivälin 1,6 m aukkokoko [m ²]	0,0000	0,0344	0,1610	0,1671	0,1231	0,1889	0,1755	0,0333
Lasiväli 2 mm [kpl]	0,0	10,8	50,3	52,2	38,5	59,0	54,9	10,4
Lasiväli 3 mm [kpl]	0,0	7,2	33,5	34,8	25,7	39,4	36,6	6,9
Lasivälin 2,6 m aukkokoko [m ²]	0,0000	0,0270	0,1263	0,1311	0,0966	0,1482	0,1377	0,0261
Lasiväli 2 mm [kpl]	0,0	5,2	24,3	25,2	18,6	28,5	26,5	5,0
Lasiväli 3 mm [kpl]	0,0	3,5	16,2	16,8	12,4	19,0	17,7	3,3

Jos parvekkeen ylälämpeneminen pyritään ottaa huomioon vain ilmanvaihdolla, vaaditaan suuria aukkoja. Käytännössä ylälämpenemistä ei voida ottaa huomioon vain lasiväleillä. Myös ilmanvaihtokerroin kasvaa suureksi useimmilla ilmansuunnilla: suurimmillaan kerroin saa arvon 4,7 1/h, joka vastaa pinta-alaa 0,1889 m². Suuri tilavuusvirta voi aiheuttaa vedon tunnetta parvekkeella, mutta tätä ei tarkastella tässä työssä. Ilmanvaihtoa voidaan tehostaa avaamalla lasitusta. Vaaditaan ilmanvaihtokertoimeksi 0,5 1/h käyttöaikana (lattia- ja kattorajassa 0,0081 m² aukko), joka muutetaan lasiväliksi (0,0310 m²). Tämä pinta-ala vähennetään tuuletukseen vaadittavasta pinta-alasta, jolloin saadaan lisätuuletukseen vaadittava aukon leveys parvekelasituksessa:

$$b_{\text{avaus}} = \frac{0,1889\text{m}^2 - 0,0310\text{m}^2}{1,6\text{m}} = 0,0987\text{m} = 9,9\text{cm} \quad (3.20)$$

Jäähdytykseen päästään laskennallisesti, jos lasitusta avataan siten, että syntyy noin 10 cm leveä aukko. Tämän vaikutus ilmaaneneristävyyteen on kuitenkin suuri. Tarkastelun perusteella ei ole järkevää pyrkiä estämään ylälämpenemistä vain ilmanvaihdon ja tuuletuksen avulla, vaan tehokkaampaa olisi käyttää lisäksi parvekekaihtimia [102].

4. PARVEKKEEN ÄÄNENERISTÄVYYS

4.1 Liikennemelun häiritsevyys

Ympäristöministeriön selvityksen SY 809 (vuodelta 2005) [90] mukaan Suomessa yleisin ympäristömelua tuottava tekijä on tieliikenne. Seuraaviksi yleisimpinä melulähteinä ovat rautatie- ja lentoliikenne. Arviolta 800 000...900 000 suomalaista asuu alueilla, missä melutaso ylittää 55 dB ohjearvon päivällä. Suomen asukkaista tämä käsittää noin 17 %, mutta todellisen osuuden arvioidaan olevan tätä pienempi, koska osa asukkaista altistuu samanaikaisesti usealle eri melulähteelle, jolloin nämä näkyvät tilastoissa useampana näytteenä. [90]

Suomessa on vastikään suoritettu liikennemeluun liittyen kyselytutkimus [106], johon vastasi 1112 suomalaista. Vastaaajista noin 80 % ilmoitti altistuvansa edes jonkintasoiselle liikennemelulle kotona ja 65 % ilmoitti liikennemelun häiritsevän vähintään hieman. Noin 17 % vastaaajista ilmoitti liikennemelun häiritsevän paljon tai erittäin paljon. Tämä 17 % osuus vastaa arviota [90] melualueilla asuvista ihmisistä. Tutkimuksessa [106] todetaan, että osa asukkaista kokee liikennemelun häiritseväksi myös alueilla, joita ei virallisesti lasketa melualueiksi.

Tieliikenteen aiheuttama melu otetaan standardissa ISO 717-1:2013 [57] huomioon spektripainotusermillä C_{tr} , jossa käytetään tyypillisen liikennemelun A-painotettua meluspektriä. Hongisto ja Koskinen [41] ovat kuitenkin todenneet, että standardoitu spektri yliarvioi pientaajuisten melun osuutta. Tulokset perustuvat Työterveyslaitoksen julkaisuun [66]. Standardoidun spektrin huomattiin vastaavan vain tieliikennettä, jonka nopeus on alle 50 km/h. Tätä suuremmilla nopeuksilla pientaajuisten melun yliarvio voi olla jopa 10 dB. He esittävät, että 60 km/h ja 80 km/h nopeusalueilla julkisivurakenteet voivat olla ääneneristävyydeltään siten jopa 10 dB ylimitoitettuja, jolloin kustannuksetkin nousevat. [41]

Tutkimuksen [41] mukaan taajuusalueen laajentaminen koskemaan myös taajuuskaistoja 50, 63 ja 80 Hz vain pahentaisi asiaa, koska se entisestään korostaisi pientaajuisten melun osuutta. Ylimitoitukset kasvaisivat, ja pientaajuisten melun eristäminen vaatisi entistä massiivisimpia rakenteita. Lisäksi pienillä taajuuksilla voi esiintyä mittausepävarmuuksia, jotka eivät ole hyväksyttävissä. [39]

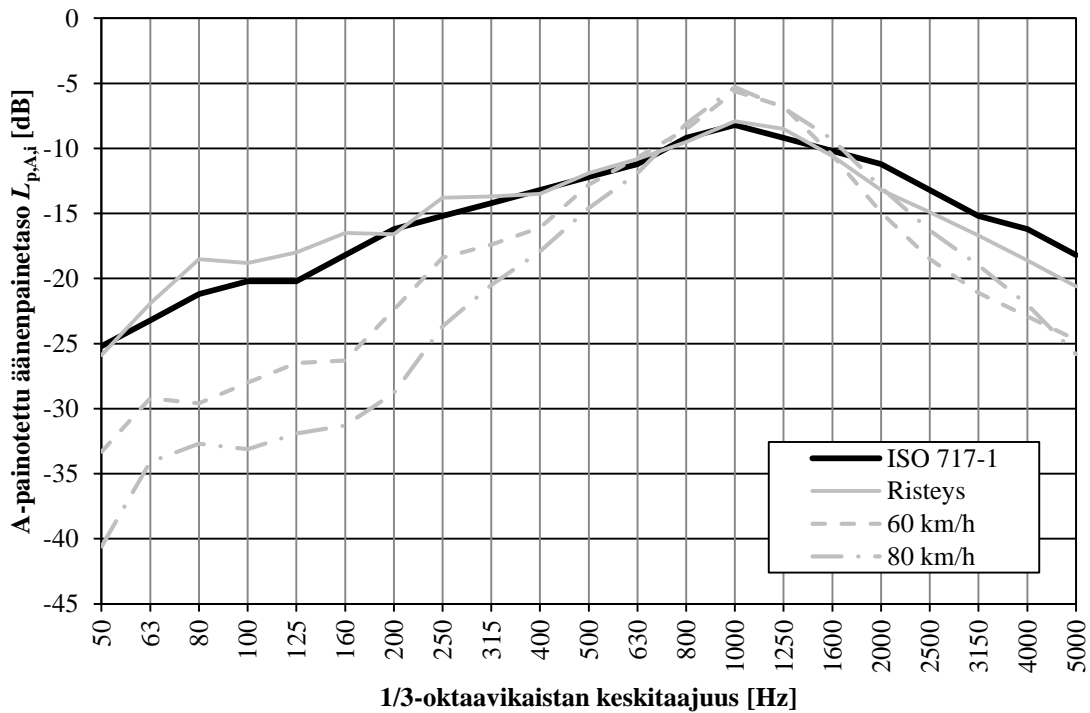
Parvekkeiden meluntorjunnan kannalta on olennaisin kriteeri melun häiritsevyys, koska ulkoalueiden melutason ohjearvot määräytyvät sen perusteella. Hongisto *et al.* [43] ovat tutkineet standardin ISO 717-1:2013 [57] mukaisten mittalukujen korrelaatiota

kuuntelukokeiden tuloksiin, jossa liikennemelu suodatettiin seinärakenteen läpi. Kuuntelukokeissa käytettiin viittä eri liikennemelua, jotka mitattiin tutkimusta varten. Meluina olivat:

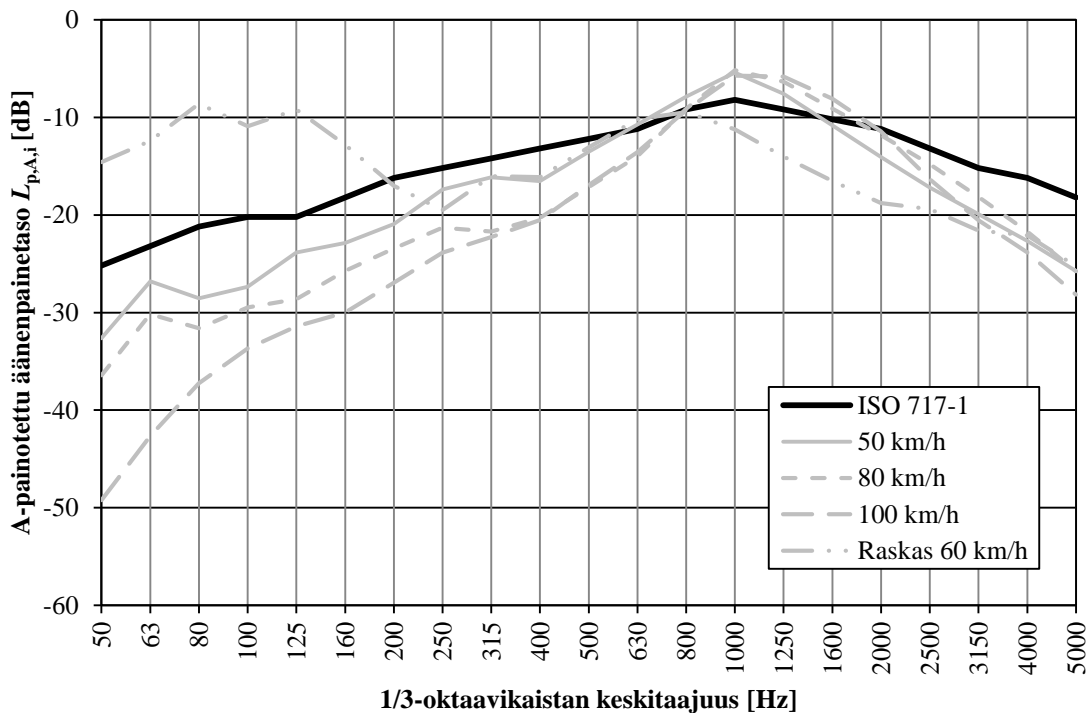
1. Henkilöautoliikenne 50 km/h ($L_{A,eq} = 75$ dB)
2. Henkilöautoliikenne 80 km/h ($L_{A,eq} = 75$ dB)
3. Henkilöautoliikenne 100 km/h ($L_{A,eq} = 77$ dB)
4. Raskas liikenne 60 km/h ($L_{A,eq} = 68$ dB)
5. ISO 717-1:2013 [iso 717-1] mukainen standardispektri ($L_{A,eq} = 73$ dB)

Nämä eivät siis ole samoja kuin tutkimuksissa [41] ja [66] esitetyt. Melulähteet ja seinät olivat spektreiltään hyvinkin erilaisia. Tutkimuksen [43] tulosten perusteella ei ole perusteltua laajentaa taajuusaluetta koskemaan taajuuskaistoja 50, 63 ja 80 Hz, koska korrelaatio kuuntelukokeiden häiritsevyyksien ja mittalukujen välillä ei parantunut merkittävästi laajennettaessa taajuusalue. Häiritsevyyden ja mittalukujen välinen selitysaste R^2 (Pearsonin lineaarisen korrelaatiokertoimen neliö) oli kaikissa tapauksissa alle 0,7. He [43] esittävät, että meluntorjunnan kannalta olisi järkevää käyttää eri mittalukuja eri nopeus- ja liikennealueille, kuten Norjassa nähtävästi on jo tapana [63].

Kuvissa 4.1 ja 4.2 esitetään tutkimuksissa [41][43][66] mitatut liikennemelun taajuusjakaumat risteysalueella, nopeuksilla 50, 60, 80 ja 100 km/h, raskaalla liikenteellä nopeudella 60 km/h sekä standardin ISO 717-1 [57] mukainen referenssispektri. Nämä spektrit esitetään myös arvoina taulukossa 4.1. Kuvan spektrit on normalisoitu siten, että niiden A-painotetut kokonaisäänepainetasot ovat 0 dB. Kuvien 4.1 ja 4.2 perusteella risteysalueen liikennemelu kuvaa parhaiten standardin ISO 717-1 [57] mukaista referenssispektriä. Henkilöautoliikenteen melu alle 800 Hz ja yli 2000 Hz taajuuskaistoilla on merkitykseltään pienempi kuin standardin ISO 717-1 [57] mukaan. Raskaalla liikenteellä (nopeus 60 km/h) alle 200 Hz taajuuskaistojen merkitys toisaalta on suurempi kuin standardissa [57]. Kuten tutkimuksissa [41][43][66] onkin todettu: liikennemeluspektrien perusteella ääneneristävyyden painottaminen standardin ISO 717-1 [57] mukaisella spektrillä korostaa varsinkin pientaajuista melua, kun liikennenopeus on vähintään 50 km/h.



Kuva 4.1. Tutkimuksien [41][66] mitatut liikennemeluspektrit ja standardoitu liikennemeluspektri [57]. Mitatut A-painotetut spektrit on normalisoitu tasoon 0 dB.



Kuva 4.2 Tutkimuksien [43] mitatut liikennemeluspektrit ja standardoitu liikennemeluspektri [57]. Mitatut A-painotetut spektrit on normalisoitu tasoon 0 dB.

Taulukko 4.1. Mitattuja liikennemeluspektrejä [41][43][66] ja standardin ISO 717-1 [57] mukainen tieliikennemeluspektri, joiden A-painotetut kokonaisäänienpainetasot on normalisoitu tasoon 0 dB.

f [Hz]	ISO 717-1 [57][57]	Hongisto et al. 2015 [57]				Koskinen ja Hongisto 2011 [41][66]		
	C_{tr}	50 km/h	80 km/h	100 km/h	Raskas 60 km/h	Risteys	60 km/h	80 km/h
50	-25	-32,6	-36,4	-49,2	-14,6	-25,9	-33,3	-40,6
63	-23	-26,8	-30,2	-42,7	-12,4	-21,9	-29,2	-34,1
80	-21	-28,5	-31,6	-37,3	-8,6	-18,5	-29,6	-32,7
100	-20	-27,4	-29,5	-33,7	-10,9	-18,8	-28,0	-33,1
125	-20	-23,8	-28,6	-31,4	-9,2	-18,0	-26,5	-31,9
160	-18	-22,9	-25,7	-30,0	-12,8	-16,5	-26,3	-31,3
200	-16	-20,9	-23,5	-27,0	-17,0	-16,6	-22,4	-28,8
250	-15	-17,4	-21,3	-23,9	-19,5	-13,8	-18,4	-23,7
315	-14	-16,1	-21,7	-22,3	-16,0	-13,7	-17,4	-20,5
400	-13	-16,5	-20,3	-20,5	-16,1	-13,5	-16,1	-17,9
500	-12	-13,5	-17,1	-17,0	-13,1	-11,9	-12,8	-14,6
630	-11	-10,7	-14,0	-13,6	-10,2	-10,8	-10,7	-11,9
800	-9	-7,9	-9,1	-9,3	-9,5	-9,5	-8,5	-8,1
1000	-8	-5,4	-5,2	-5,7	-11,2	-7,9	-5,6	-5,3
1250	-9	-7,6	-6,4	-5,8	-14,0	-8,5	-6,8	-6,9
1600	-10	-10,8	-9,1	-8,1	-16,5	-10,6	-10,5	-9,3
2000	-11	-14,1	-11,8	-11,4	-18,8	-13,2	-14,9	-13,0
2500	-13	-17,2	-14,8	-16,4	-19,4	-14,9	-18,5	-16,3
3150	-15	-19,9	-18,2	-20,5	-21,6	-16,7	-21,1	-19,0
4000	-16	-22,7	-21,7	-23,8	-22,1	-18,6	-22,9	-22,0
5000	-18	-25,8	-25,8	-28,2	-25,2	-20,6	-24,7	-25,8

Pientaajuinen melu ei vaikuta myöskään olevan suuria taajuuksia merkittävämpi tekijä unenlaadun takaamisessa [158]. Kotimaisten tutkimusten [41][43][66][158] tulokset pientaajuisten melun osuudesta häiritsevyyteen ovat kuitenkin osittain ristiriidassa yleisen oletuksen ja tutkimusten [91][104][145] kanssa, joissa pienet taajuudet vaikuttavat olevan merkittäviä häiritsevyyden tulkinnassa.

4.2 Äänikenttä parvekkeella

Tilojen äänikenttää tarkastellaan yleensä *diffuusin* ja *modaalisen* äänikentän perusteella. Diffuusissa äänikentässä äänienergia on jakautunut tasaisesti koko tilaan, ääniaalloilla on yhtä suuri todennäköisyys saapua mistä tahansa suunnasta ja saapuvilla ääniaalloilla on satunnainen vaihe. Todellisuudessa täysin diffuuseja äänikenttiä ei esiinny, mutta oletus on perusteltu joissain tapauksissa. Oletus yksinkertaistaa huomattavasti mittauksia ja laskennallisia tarkasteluja [48]. Laboratorio-olosuhteissa voidaan tuottaa

lähellä diffuusioita oleva äänikenttä tilan keskialueille taajuusalueella 50...5000 Hz. Äänikenttä riippuu kuitenkin [48]:

1. Taajuudesta
2. Tilan mitoista
3. Pintojen ominaisuuksista
4. Kalusteista
5. Absorptioalasta ja sijoittelusta

Modaalisessa äänikentässä tilan moodit eli seisovat aallot aiheuttavat äänenpainetaso vaihtelua tilassa. Seisova aalto syntyy, kun tilassa heijastuneet aallot yhdistyvät siten, että aallon kupu- ja solmukohdat pysyvät samoissa kohdissa. Tällöin aallon äänenpainetasot vaihtelevat sijainnin perusteella. Aaltojen yhdistymistä kutsutaan *interferenssiksi*. Interferenssi voi olla vaimentavaa (destruktiivista) tai vahvistavaa (konstruktiivista) riippuen yhdistyvien aaltojen vaihe-erosta. Samassa vaiheessa olevat aallot vahvistavat toisiaan ja vastakkaisessa vaiheessa olevat aallot vaimentavat toisiaan. Täydellisessä, häviöttömässä, heijastuksessa vaihe-eroa ei synny, mutta tällaista tilannetta ei käytännössä juuri esiinny, vaikka lähelle on mahdollista päästä [45][48]. Vaihe-eroa aiheuttaa epätäydellisen heijastuksen lisäksi yhdistyvien aaltojen kulkemien reittien ero: aaltojen vaiheet pysyvät samana, kun reittien ero on aallonpituuden kokonaisluku. Kun tähän eroon lisätään vielä puolikas aallonpituus, syntyy vastakkainen vaihe. Suorakulmaiselle tilalle mooditaajuudet voidaan laskea kaavalla (4.1):

$$f(n_x, n_y, n_z) = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2} \quad (4.1)$$

jossa c_0 on äänennopeus ilmassa, n_i on suunnan i järjestysluku ja L_i on suunnan i mukainen tilan mitta. Tilan moodit riippuvat siis suuresti tilan mitoista. Kaava (4.1) olettaa tilan pintojen olevan sileitä ja jäykkiä, mikä monissa tiloissa aiheuttaa vain pieniä virheitä mooditaajuuksien sijainneissa [48]. Kaava (4.1) olettaa myös, että tila on tiivis, eikä tilassa ole äänilähdettä. Vastaavasti voidaan laskea mooditaajuuksien tiheys kolmannesoktaavikaistoin kaavalla (4.2):

$$n(f) = \frac{4\pi f^2 V}{c_0^3} + \frac{\pi f S_T}{2c_0^2} + \frac{L_T}{8c_0} \quad (4.2)$$

jossa f on kolmannesoktaavikaistan keskitaajuus, V on tilan tilavuus, c_0 on äänennopeus ilmassa, S_T on tilan pintojen kokonaisala ja L_T on tilan reunojen kokonaismitta. Kokonaismitat suorakulmaiselle tilalle voidaan laskea kaavoilla (4.3) ja (4.4):

$$S_T = 2(L_x L_y + L_x L_z + L_y L_z) \quad (4.3)$$

$$L_T = 4(L_x + L_y + L_z) \quad (4.4)$$

Moodien kokonaismäärä kolmannesoktaavikaistalla voidaan laskea kaavalla (4.5):

$$N(f) = n(f)B(f) \quad (4.5)$$

jossa $n(f)$ on kolmannesoktaavikaistan f mooditiheys kaavan (4.2) mukaan ja $B(f)$ on kolmannesoktaavikaistan f kaistanleveys kaavan (4.6) mukaan:

$$B(f) = 0,23f \quad (4.6)$$

Jos kolmannesoktaavikaistalla on vähän mooditaajuuksia, yksittäisten moodien kupu- ja solmukohdat erottuvat tilassa. Useampi moodi tasoittaa yhdistyessään painevaihteluja, koska moodien aallonpituus vaihtelee, ja siten myös kupu- ja solmukohtien sijainnit. Jos kolmannesoktaavikaistalla ei ole moodeja ollenkaan, äänenpainetason vaihtelu tilassa pienenee. Alimman mooditaajuuden alapuolella ei kuitenkaan heti havaita äänikentän tasoittumista [47].

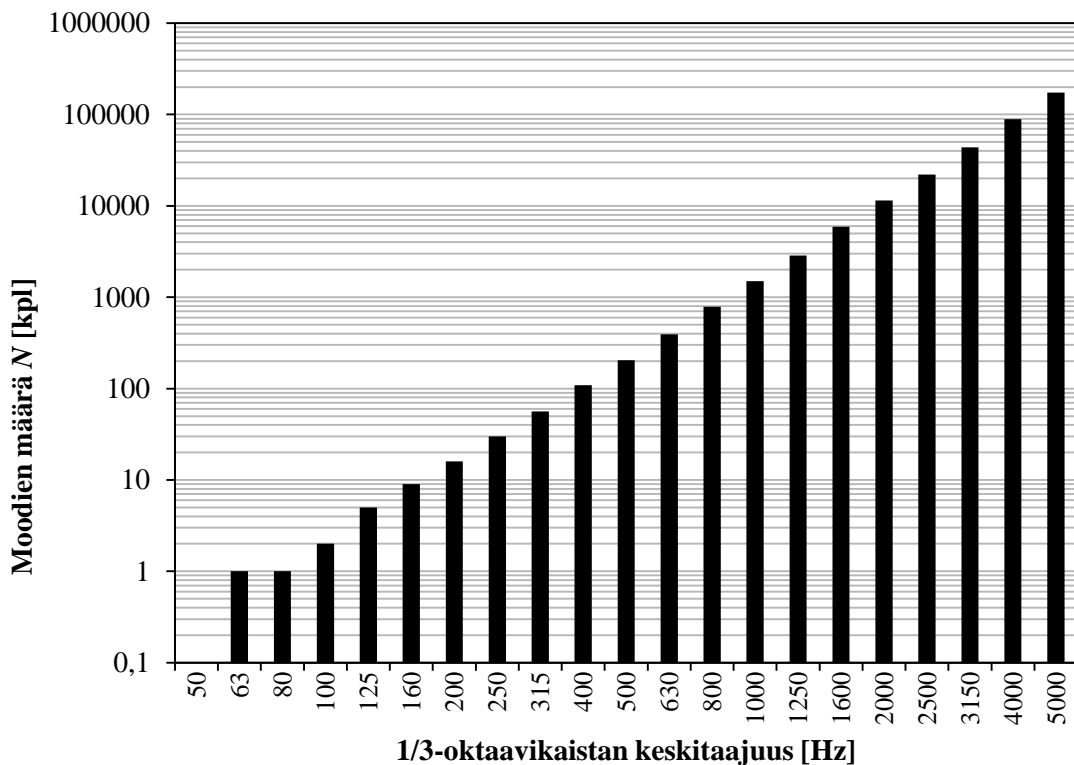
Taajuuden f_c yläpuolella huoneen äänikentän ajatellaan kuuluvan suurtaajuiseen alueeseen, jolloin mooditiheys on suuri. Tarkemmin tämä määritellään siten, että terssikaistalla on 3 päällekkäistä moodia puolentehon kaistanleveydellä [129]. Schröder [127] määritteli tämän rajataajuuden alun perin vuonna 1954, jolloin moodeja sisällytettiin 10 kpl, mutta mittausten perusteella 3 kpl tuottaa hyviä tuloksia, ja siten laskee rajataajuutta [128]. Suurtaajuisella alueella ajatellaan olevan diffuusin äänikentän piirteitä [129], ja niin kutsuttua Schröderin taajuutta onkin käytetty diffuusin ja modaalisen äänikentän rajataajuutena (modaalinen äänikenttä ja pientaajuinen alue tarkoittavat myös käytännössä samaa asiaa). Schröderin taajuus f_c lasketaan kaavalla (4.7):

$$f_c = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}} \quad (4.7)$$

jossa T on tilan jälkikaiunta-aika ja V on tilan tilavuus. Esimerkkiparvekkeelle esitetään kaavan (4.5) laskennalliset mooditiheydet 1/3-oktaavikaistoin kuvassa 4.3. Parvekkeen mitat (L_x ; L_y ; L_z) ovat (2,7; 3,2; 2,2) m ja tilavuus V on 19 m³. Mitat on valittu todellisesta sisäänvedetystä parvekkeesta. Parvekkeen jälkikaiunta-ajaksi oletetaan 0,8 s, joka on arvioitu mittausten perusteella. Tällöin parvekkeen Schröderin taajuus on 410 Hz. Voitaisiin siis arvioida, että tämän kokoisen parvekkeen äänikenttä on diffuusi yli 400 Hz terssikaistoilla.

Esimerkkiparvekkeen moodijakaumasta huomataan, että äänikenttä ei ole diffuusi varsinkaan pienillä taajuuksilla, koska alle 100 Hz taajuuskaistoilla on suurimmillaan yksi mooditaajuus. Taajuuskaistalla 125 Hz on vain 4 mooditaajuutta. Modaalinen

äänikenttä tuottaa ongelmia juurikin pienillä taajuuksilla alle 50 m^3 tiloissa, koska mooditiheys on pieni [53]. Todellisuudessa tilan moodijakauma ei ole tällainen, koska tilat ovat kytköksissä viereisiin tiloihin. Parvekkeen voidaan olettaa kytkeytyvän ulkoilmaan vahvasti, koska rakenne on harvoin täysin tiivis, jolloin laskennalliset moodit eivät välttämättä ole todellisia. Tilan mooditaajuuksien herääminen riippuu myös vahvasti äänilähteestä ja sen sijainnista. Parvekkeen tapauksessa äänilähde on useimmiten ulkona, ja ääni saapuu rajatuista tulokulmista, jolla voi olla vaikutusta sisällä vallitsevaan äänikenttään. Joidenkin kenttämittausten perusteella asuinhuoneessa mitattu äänenpainetaso ei ollut herkkä kaiuttimen sijoittelun muutoksille [8]. Tilanne voi olla erilainen parvekkeella, kun kytkentä ulkoilmaan on erilainen. Kroppin ja Bérillon [67] mukaan avoimen parvekkeen ensimmäiset resonanssit voivat vahvistaa pienten taajuuksien äänenpainetasoja parvekkeella. Tilannetta pahentaa entisestään parvekerakenteiden heikko ilmaääneneristävyys pienillä taajuuksilla [67]. Asiaa ei kuitenkaan ole tutkittu lasitetuilla parvekkeilla.



Kuva 4.3. Esimerkkiparvekkeen ($V=19 \text{ m}^3$) moodien lukumäärä 1/3-oktaavikaistoin.

Äänikenttä on erilainen lähellä tilan pintoja kuin keskellä tilaa. Suoran ja heijastuneen äänen interferenssi pinnan lähellä kasvattaa äänenpainetasoa diffuusiin kenttään nähden [48][149]. Tämä johtuu myös siitä, että suoran ja heijastuneen äänen välinen vaihe-ero ei ole satunnainen pinnan lähellä [48]. Ideaalisen tilan nurkissa saavutetaan 9 dB suurempi äänenpainetaso kuin diffuusissa äänikentässä. Oletus ei kuitenkaan päde pienillä taajuuksilla seisovien aaltojen vuoksi. Tällöin äänenpainetaso vaihtelee sijainnin perusteella [110]. Parvekkeiden ulkoilmaan rajoittuvilla pinnoilla on yleensä rakoja, joiden lähellä äänikenttä ei välttämättä käyttäydy suljetun tilan tavoin.

Sileät ja jäykät pinnat heijastavat ääntä peilimäisesti, ja vahvistavat seisovien aaltojen syntymistä. Sileästä pinnasta eroavat muodot, kuten profiloinnit ja rakennusosien muutokset, aiheuttavat *diffuusia heijastusta*, jossa pintaan kohdistunut ääni heijastuu useaan satunnaiseen suuntaan peilimäisen heijastuksen lisäksi. Ilmiötä kutsutaan yleensä *sironnaksi*. Sirontaa aiheuttavat myös tilassa olevat kalusteet. Tilan absorptiomateriaali heikentää heijastuksia, ja sen suuri määrä ja/tai kohdistettu sijoittelu laskee äänikentän diffuusisuutta, koska ääniaaltojen heijastukset vähenevät tai heikentyvät. [48]. Absorptiomateriaalia lisäämällä voidaan siis laskea parvekkeella olevaa melutasoa, ja siten toimii yhtenä meluntorjuntakeinona. Parvekkeilla ei kuitenkaan aina esiinny merkittävää määrää kalusteita, jotka takaisivat diffuusin äänikentän. Parvekkeella on yleensä myös paljon lasi- ja betonipintaa, joista heijastus tapahtuu pääsääntöisesti peilimäisesti. Sirontaa kuitenkin aiheuttavat parvekelasien, -pielien ja ikkunoiden profiilit ja parvekeovi, eikä parvekkeella ole juuri absorboivaa materiaalia. Parvekkeet ovat yleensä myös melko pieniä, jolloin diffuusia keskialuetta ei juuri ole. Tällöin pintojen lähellä vaikuttava äänenpainetaso kasvu voi ulottua jo yleensä ”diffuusiksi äänikentäksi” katsotulle alueelle.

4.3 Äänikenttä parvekkeen ulkopuolella

Toisin kuin suljetuissa tiloissa, julkisivun ulkopuolella äänikenttä on harvoin diffuusi tai tasoalto, koska ääni saapuu rajatuista tulokulmista [85]. Kiinteällä kaiuttimella on vain yksi äänen (suora) tulokulma. Liikennemelu koostuu liikkuvista äänilähteistä, jolloin äänen tulokulmia on useita. Liikennemelua ei siis tulisi ajatella vain viivamaisena äänilähteenä [32]. Tämä johtuu siitä, että viivamaisen äänilähteen äänen oletetaan etenemän sylinterimäisesti.

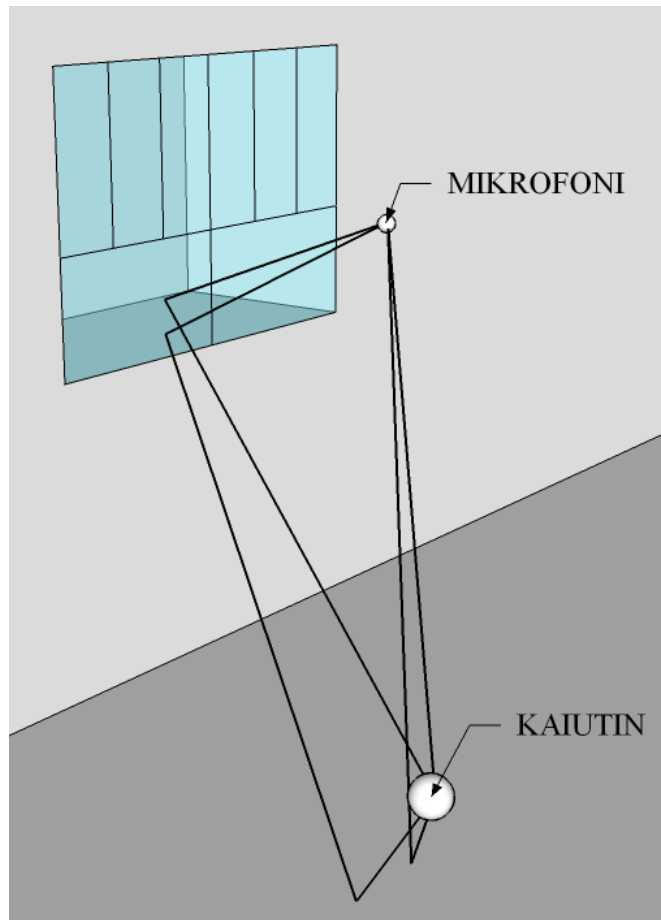
Vaikka parvekkeen ulkopuolella vallitseva äänikenttä ei ole diffuusi, siihen sisältyy suoran äänen lisäksi maan, julkisivun ja viereisten rakennusten kautta tulevat heijastukset, reunojen ja esteiden vaikutus sekä sääolosuhteisiin liittyvät tekijät [9][48][85][114]. Sääolosuhteista varsinkin turbulenssin vaikutus syntyvään äänenpainetasoon kasvaa yli 1000 Hz taajuuksilla [48][114]. Äänilähteen ja mikrofonin sijainnit vaikuttavat myös suuresti mitattuun äänenpainetasoon [8][11][45][48], jonka lisäksi äänenpainetaso voi vaihdella julkisivun pinnalla suurestikin [14].

Heijastusten vaikutusta syntyvään äänenpainetasoon on tutkittu teoriassa ja mittauksin, joissa yleisesti todetaan, että heijastuksilla on suuri vaikutus ulkona syntyvään äänenpainetasoon [7][8][16][32][45][51][58][85][94][100][114]. Julkisivun ilmajääneneristävyyden mittauksen kannalta destruktiivinen interferenssi on yleensä merkittävä tekijä varsinkin pienillä taajuuskaistoilla, missä destruktiivisen interferenssin alimmat ominaistaajuudet yleensä sijaitsevat [8][48]. Suuremmilla ominaistaajuuksilla interferenssin vaikutus näyttäisi noudattavan energian ja paineen kaksinkertaistumista kiinnostavalla taajuusalueella (taajuuskaistoja tarkasteltaessa) [45][8][114]. Tämä

johtuu osaksi siitä, että destruktiivisen interferenssin ominaistajuuksien tiheys kasvaa taajuuden kasvaessa.

Interferenssin laatu määräytyy pitkälti yhdistyvien aaltojen vaihe-eroista, johon vaikuttaa aaltojen kulkema matka ja heijastuksessa tapahtuva vaiheensiirto. Hopkins [48] ja Hopkins ja Lam [45] esittävät laskentamallin, jolla voidaan julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen laskea lähellä julkisivua. Huomioitavat heijastukset esitetään myös kuvassa 4.4. Laskennassa otetaan huomioon 4 ääniaaltoa:

1. Suora ääni
2. Maan kautta heijastunut ääni
3. Julkisivun kautta heijastunut, pois julkisivusta kulkeva ääni
4. Maan ja julkisivun kautta heijastunut, pois julkisivusta kulkeva ääni



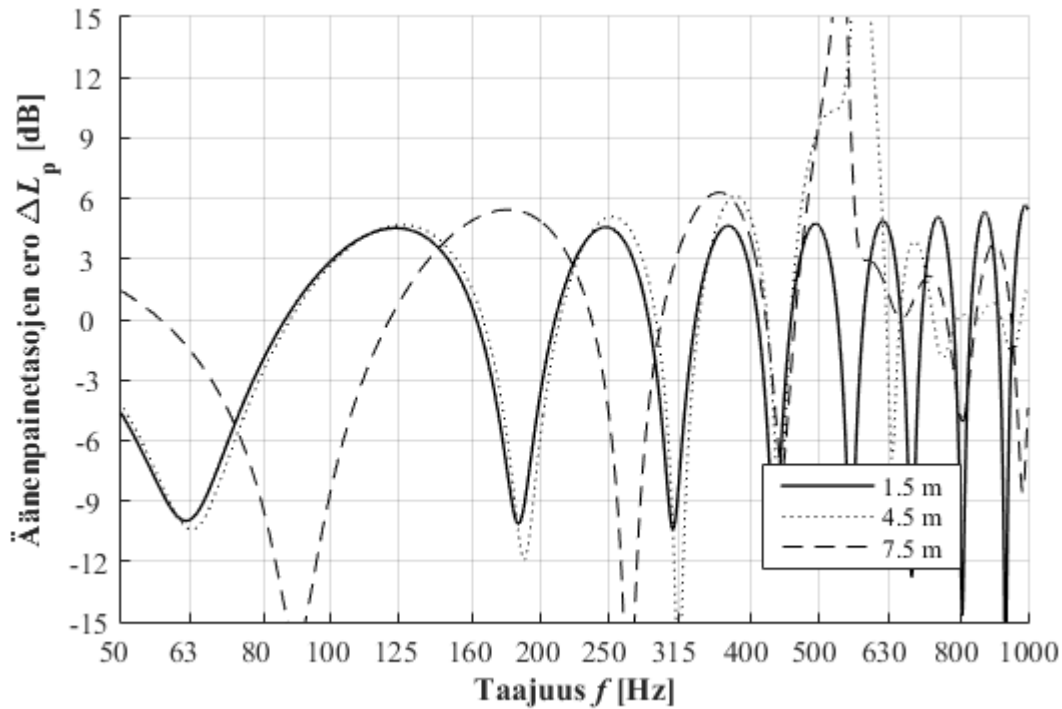
Kuva 4.4. Mittauspisteeseen kohdistuvat neljä ”ensimmäistä” ääniaaltoa.

Ääniaallot 3 ja 4 eivät siis ole suoraan julkisivuun kohdistuvaa ääntä. Heijastus oletetaan ideaaliseksi, jolloin absorptiota, sirontaa, eikä vaiheensiirtoa oteta huomioon. Siten interferenssiä aiheuttaa vain aaltojen kulkevat matkat (tarkemmin ajateltuna reittien pituuksien erot). Sijoittelua rajoittaa mikrofonin fyysinen koko, rakennuksen sijainti, käytettävissä oleva tila ja standardit. Berardi *et al.* [8] esittävät laskennallisen esimerkin (lähteen [45] laskentamallilla), jossa äänilähteen etäisyyden muutos 7,5

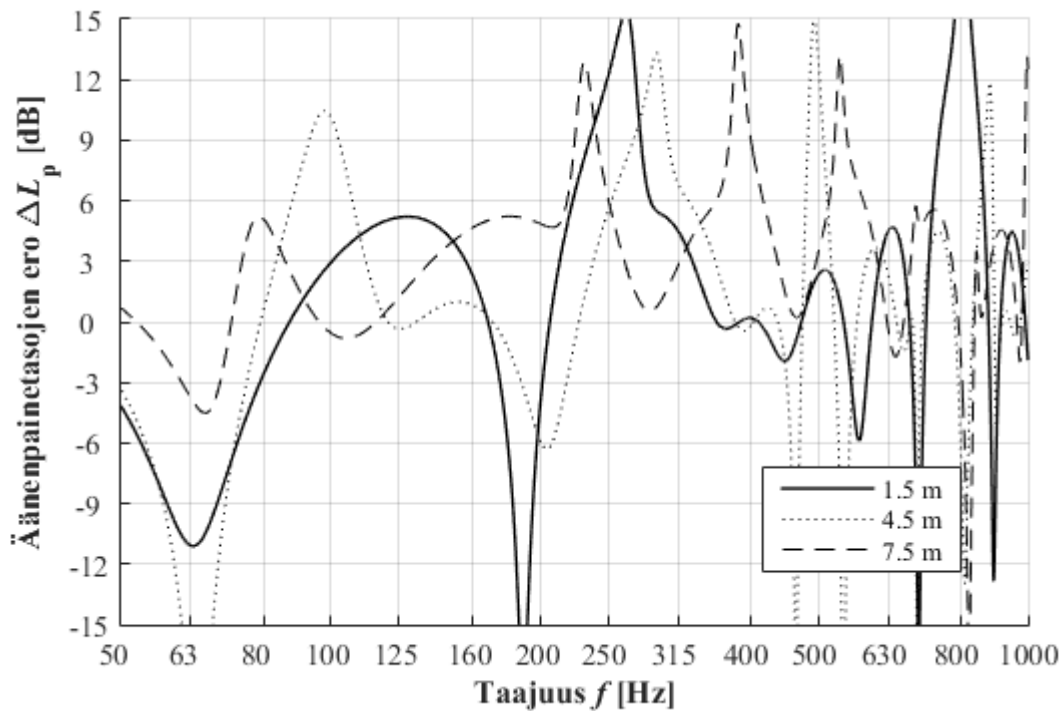
metristä 40 metriin siirtää destruktiivista interferenssiä taajuuskaistalta 63 Hz taajuuskaistalle 50 Hz. Etäisyyden kasvattaminen näin suureksi ei kuitenkaan ole välttämättä käytännöllistä teiden tai muiden rakennusten takia, kun halutaan destruktiivisen interferenssin alimpia ominaistajuuksia siirtää. Lähteen [8] laskennallista havaintoa ei myöskään pystytty toistamaan laskennallisesti (lähteen [45] teorialla), joten kaiuttimen etäisyyden kasvattaminen on arveluttavaa pelkästään destruktiivisen interferenssin pienentämiseksi. Mikrofonin sijainnilla vaikuttaisi olevan suurempi vaikutus ominaistajuuksien sijaintiin. Kuvissa 4.5, 4.6, 4.7 ja 4.8 esitetään laskentaesimerkkejä eri kerroksissa oleville parvekkeille ja silloin, kun kaiutin on maassa tai jalustalla. Muut parametrit on valittu kappaleen 5 mukaan. Lähtöarvot ovat seuraavat:

1. Kaiuttimen korkeus maasta $h_s = 0,2$ m tai 1,3 m
2. Mikrofonin korkeus maasta $h_m = 1,5$ m, 4,5 m tai 7,5 m
3. Julkisivun keskipisteen korkeus maasta $h_k = 1,5$ m (ei ole eritelty lähteessä)
4. Kaiuttimen ja julkisivun keskipisteen välinen avaruuskulma $\alpha = 45^\circ$
5. Mikrofonin kohtisuora etäisyys parvekkeesta $d_m = 2$ m
6. Kaiuttimen kohtisuora minimietäisyys julkisivusta $d = 5$ m
7. Kaiuttimen ja julkisivun keskipisteen minimietäisyys $r = 7$ m

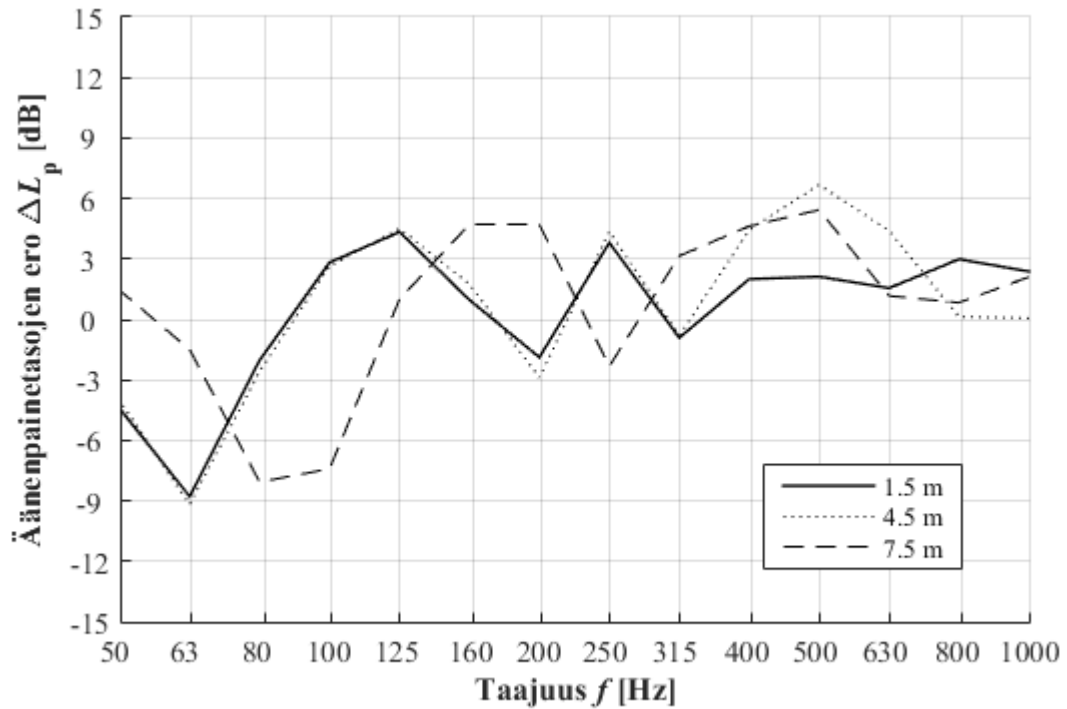
Kuvissa 4.5 ja 4.6 heijastuksen vaikutus esitetään taajuuksittain laskettuja ja kuvissa 4.7 ja 4.8 terssikaistoin laskettuna. Kuvissa 4.5 ja 4.7 kaiutin on maassa (korkeuspiste 0,2 m) ja kuvissa 4.6 ja 4.8 kaiutin on jalustalla (korkeus 1.3 m). Destruktiivisen interferenssin vaikutus muuttuu merkittävästi eri sijoitteluilla.



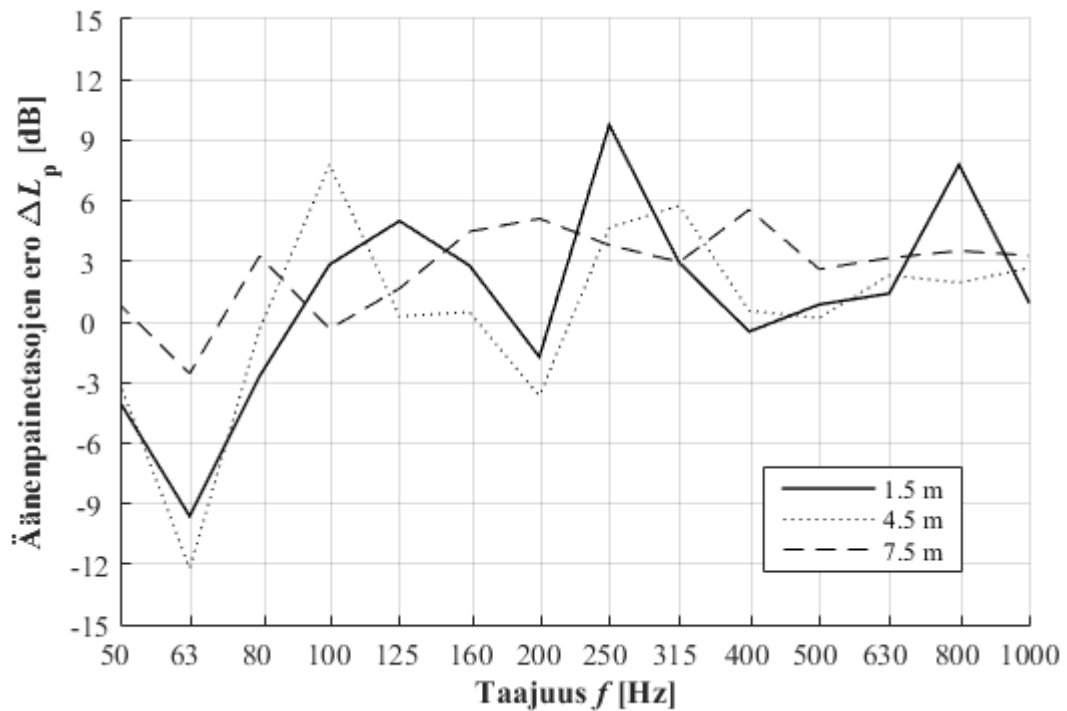
Kuva 4.5. Julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen eri mikrofonin korkeuspisteillä, kun kaiutin on maassa.



Kuva 4.6. Julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen eri mikrofonin korkeuspisteillä, kun kaiutin on jalustalla.



Kuva 4.7. Julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen taajuuskaistoin laskettuna eri mikrofonin korkeuspisteillä, kun kaiutin on maassa.



Kuva 4.8 Julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen taajuuskaistoin laskettuna eri mikrofonin korkeuspisteillä, kun kaiutin on jalustalla.

Aallon muodon muuttumista sen kohdatessa esteen tai raon kutsutaan *diffraktioksi*. Ennustemalleissa saatetaan olettaa, että tarkasteltava pinta on ääretön ja tasainen, jolloin

diffraktiota ei oteta huomioon. Julkisivussa diffraktiota kuitenkin aiheuttavat rakennuksen kulmat, ulokkeet ja syvennykset. Reunojen diffraktion vaikutus ajatellaan olevan pieni julkisivun pinnalla kaukana reunoista, kun aallonpituus on pieni verrattuna julkisivun mittoihin [45]. Pienillä taajuuksilla (50...200 Hz) äänen aallonpituudet voivat olla samaa luokkaa rakennusten mittojen kanssa, ja siten reunojen diffraktion vaikutus mitattuun äänenpainetasoon voi olla merkittävä [45]. Davy [21] esittää laskentamallin, jolla voidaan laskea diffraktion keskimääräinen vaikutus levyn pinnalla vallitsevaan äänenpainetasoon. Mallissa voidaan valita äänen tulokulma ja pinnan mitat, mutta tarkastelupistettä ei voida valita tarkemmin.

Hopkins ja Lam [45] vertasivat puoliäärettömän heijastinlevyn teoriaa laboratoriossa mitattuihin arvoihin äärellisillä levyillä, ja tutkivat, miten diffraktion vaikutus riippuu levyn mitoista ja mikrofonin etäisyydestä levyn pinnasta. Tulosten perusteella pienillä taajuuksilla (alle 200 Hz) diffraktion vaikutus voi olla merkittävä, kun tarkasteltavan pinnan mitta on alle 5 metriä (etäisyys reunasta alle 2,5 metriä). Parvekkeet eivät ole yleensä näin pitkiä, jolloin diffraktio voi vaikuttaa ulkona mitattavaan äänenpainetasoon varsinkin ulokeparvekkeilla [48]. Quirt [114] kuitenkin toteaa, että diffraktion vaikutus lähellä reunoja on pieni maaheijastuksen aiheuttamaan interferenssiin verrattuna taajuusalueella 100...1000 Hz. Diffraktion vaikutus on pienempi kauempana julkisivusta kuin julkisivun pinnalla, kun äänilähteenä on lentomelu, mutta vaikutus voi olla eri maanpinnalla olevilla äänilähteillä [16].

Julkisivun ulkopuolella vallitsevan äänikentän laskentamalleissa oletetaan yleensä peilimäinen heijastus eri pinnoista. Tällainen pinta on esimerkiksi lasi, mutta kaikille julkisivuille peilimäinen heijastus ei täysin pidä paikkaansa, koska kaikki pinnat eivät ole tasaisia ja vähän ääntä absorboivia, jolloin ääntä *siroaa*. Sironna jakaa äänienergiaa eri suuntiin, jolloin sillä voi olla vaikutusta parvekkeen ulkopuolelle syntyvään äänenpainetasoon. Kenttämittausten perusteella sironnan vaikutus näyttäisi keskittyvän suurille taajuuksille lähellä julkisivua, mutta vaikutus pienenee siirryttäessä kauemmas julkisivusta [112]. Joidenkin tutkimusten perusteella julkisivuilla on yleensä pieni sironnakerroin, jolloin äänen voidaan olettaa heijastuvan pääsääntöisesti peilimäisesti [45][51].

4.4 Rakennusosien ilmaääneneristävyys

Parvekkeen ulkoilmaan rajoittuva rakenne koostuu yleensä useasta rakennusosasta, joita voivat olla avattava parvekelasitus, kaide, parvekepielet ja -laatat. Jokaisen rakennusosan ääneneristävyys on yleensä erilainen. Ilmanvaihtuvuuden takia parveke on harvoin täysin tiivis, ja rakenteissa esiintyy erilaisia rakoja. Raot sijaitsevat yleensä lasiväleissä ja eri osien liitoksissa kuten kaiteen ja parvekepielen välissä, ja osa raoista on voitu tiivistää. Parvekkeelle syntyvä äänenpainetaso ei välttämättä määräydy yksittäisen rakennusosan perusteella, vaan tärkeää on ottaa huomioon koko rakenteen

ilmääneneristävyys. Eri rakennusosien ilmasteneristävyys voidaan yhdistää kaavalla (4.8) [48][75]:

$$R_{\text{tot}} = -10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^N S_i 10^{-R_i/10}}{S_{\text{tot}}} \right) \quad (4.8)$$

jossa i on rakennusosan järjestysluku, N on rakennusosien lukumäärä, S_i on rakennusosan i pinta-ala ja R_i on rakennusosan i ilmasteneristävyys. Kaava (4.8) olettaa, että rakennusosiin kohdistuu diffuusi äänikenttä, jolloin rakennusosaan kohdistuva äänienergia riippuu vain osan pinta-alasta. Näin ei kuitenkaan parvekkeen tapauksessa ole, koska ulkona vallitseva äänikenttä ei ole diffuusi ja äänenpainetaso vaihtelee rakennusosittain. Rakennusosia tulisi painottaa siihen kohdistuvan äänikentän perusteella. Asiaa voidaan lähestyä laskemalla parvekkeelle syntyvä äänenpainetaso jokaiselle rakennusosalle erikseen, joista lasketaan parvekkeelle syntyvä kokonaisäänepainetaso $L_{p,\text{tot}}$ kaavalla (4.9):

$$L_{p,\text{tot}} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{L_{p,i}/10} \right) \quad (4.9)$$

jossa $L_{p,i}$ on rakennusosan i kautta parvekkeelle syntyvä äänenpainetaso. Rakennusosille ilmoitetaan yleensä laboratoriossa mitattu ilmasteneristävyys. Erilaisille lasille esitetään standardissa EN 12758:2011 [23] laboratoriossa mitattuja ilmasteneristysarvoja (taulukko 4.2).

Taulukko 4.2. Standardissa EN 12758:2011 [23] esitetyt yksinkertaisen ja laminoitun lasin laboratoriossa mitatut ilmasteneristysluvut ja spektripainotusermit.

Lasityyppi	Paksuus [mm]	R_w [dB]	+C [dB]	+C _{tr} [dB]
Yksinkertainen	3	28	27	24
	4	29	27	26
	5	30	29	28
	6	31	29	28
	8	32	30	29
	10	33	31	30
	12	34	34	32
Laminoitu	6	32	31	29
	8	33	32	30
	10	34	33	31
	12	35	34	32
	16	36	35	33
	20	37	36	34
	24	38	37	35

Laboratoriossa mitatut ilmaääneneristävyydet vastaavat kahden diffuusin äänikentän omaavan tilan välistä ilmaääneneristävyyttä, jossa ääntä saapuu erottavaan rakenteeseen monista äänen tulokulmista. Materiaaliominaisuuksien lisäksi rakennusosan ilmaääneneristävyys riippuu siihen kohdistuvan äänen tulokulmasta [48][85][131][133], joten ilmaääneneristävyys on eri kentällä kuin laboratoriossa. Standardin EN 12354-3:2000 [22] mukaan diffuusin äänen tulokulman mukainen laskennallinen ilmaääneneristysluku (sivutiesiirtymät huomioon ottaen) R'_{w} voidaan muuttaa 45 asteen tulokulman ilmaääneneristävyyteen kaavalla (4.10):

$$R'_{45,w} = R'_{w} + 1\text{dB} \quad (4.10)$$

Standardi EN 12354-3:2000 [22] toteaa, että mittalukujen välinen ero on tyypillisesti ± 1 dB. Taajuuskaistoittain tarkasteltuna eron keskiarvo on ± 2 dB. Standardi esittää, että usean tulokulman tapauksessa (liikennemelu) korjausta diffuusista tulokulmasta ei tarvita. Standardissa [22] kuitenkin mainitaan, että nämä huomiot eivät päde lasipinnoille, koska koinsidenssin rajataajuus muuttuu merkittävästi äänen tulokulman perusteella. Tällöin mittalukujen välinen ero ei ole enää systemaattinen, eikä mittalukujen välistä suhdetta voida määrittää tarkasti [22].

Vaihtoehtoisesti rakenteen ilmaääneneristävyys voidaan pyrkiä ennustamaan laskennallisesti. Yksinkertaisten rakenteiden ilmaääneneristävyys voidaan myös ennustaa suhteellisen tarkasti esimerkiksi laskentamenetelmällä [42][71]. Tällaisia ovat homogeeniset levyt kuten lasilevyt ja betoniseinät. Yleensä ennustemallit käsittelevät laboratoriomittauksen tavoin diffuusin äänikentän omaavien tilojen välistä ilmaääneneristävyyttä, mutta joissain malleissa voidaan tarkastella yksittäisiä äänen tulokulmia. Ennustemalleihin liittyy kuitenkin aina epävarmuutta, jota kasvattaa rakenteen monimutkaisuus. Siksi joidenkin rakennusosien ennustaminen ei ole järkevää tai mahdollista. Tällaiseksi voidaan parvekkeen tapauksessa laskea avattavan lasituksen ja kaiteen profiilit, rakojen tiivistyslistat tai –kumit ja epämääräiset raot. Ainakin raoilla voi olla merkittävä vaikutus rakenteen kokonaisilmaääneneristävyyteen [31][40][44][48][150][151], vaikka näiden pinta-alat ovat yleensä pieniä suhteessa muihin pintoihin. Parvekerakenteiden laboratorio- ja kenttämittauksissa [60] on todettu, että eri osien raot ovat merkittävien parvekkeen ilmaääneneristävyyteen vaikuttava tekijä. Siten on olennaista käsitellä rakojen ilmaääneneristävyyden muodostumista yksityiskohtaisesti. Yksinkertaisten rakojen ilmaääneneristävyys pystytään ennustamaan suhteellisen tarkasti, ja laskentateoriaa tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 4.5.

Standardin ISO 140-5:1998 [54] perusteella voidaan mitata kentällä myös yksittäisen rakennusosan ilmaääneneristävyys rajatulla äänen tulokulmalla. Mittausmenetelmä rajoittuu rakennusosiin, joiden ilmaääneneristävyys on merkittävästi huonompi kuin ympäröivän rakenteen, jolloin äänen sivutiesiirtymät eivät ole merkittävässä roolissa sisällä vallitsevaan äänenpainetasoon. Mittausmenetelmä on käytännössä mahdollinen

ikkunoille, eikä sen soveltaminen monimutkaisille ja suurehkoille rakenteille ole järkevää. Tätä mittausmenetelmää on kuitenkin käytetty kenttämittauksissa [60], ja tulosten vastaavuus laboratorioarvoihin raportoitiin hyväksi. Tämän menetelmän käyttö ei siis välttämättä ole täysin perusteetonta.

4.5 Raon ilmaääneneristävyyden laskentamalli

Rakojen ilmaääneneristävyyttä on tutkittu laajasti [19][26][29][30][31][40][44][86][87][97][107][132][148][150][151][160][162]. Yksinkertaisissa malleissa tarkastellaan raossa kulkevaa ääntä yksiulotteisesti, mutta myös kolmiulotteisia malleja on kehitetty. Kolmiulotteiset mallit ovat laskennallisesti raskaampia ja monimutkaisempia kuin yksiulotteiset mallit, ja ne voivat olla vaikeita ottaa käyttöön käytännön suunnittelussa, vaikka tarkkuus kasvaa. Rakennusakustiikassa käytetyimmät mallit lienevät Gompertsin [31], Gompertsin ja Kihlmanin [30] ja Mechelin [96][97] esittämät yksiulotteiset teoriat. Tarkkoja kolmiulotteisia malleja vaikuttaisivat olevan [132] ja [87], mutta näitä ei käsitellä tarkemmin tässä tutkimuksessa.

Suoritettavissa laskennoissa käytettiin Gompertsin ja Kihlmanin [30] ja Mechelin [96][97] mukaisia teorioita viivamaisille raoille. Pyöreitä tai suorakaiteen muotoisia rakoja ei tutkittu, koska parvekkeissa esiintyy pääsääntöisesti viivamaisiksi luokiteltavia rakoja. Suunnitteluvaiheessa harvoin on tiedossa muiden kuin lasiväljen rakojen koot ja sijainnit, joten näiden huomioon ottaminen suunnittelussa on vaikeaa ja epävarmaa. Pyöreille raoille Wilson ja Sorokan [162] tai Mechelin [96][97] laskentamenetelmät vaikuttaisivat olevan yksiulotteisista malleista luotettavimpia. Gompertsin [31] pyöreiden rakojen laskentamenetelmä antaa hyväksyttäviä tuloksia vain rajatulla taajuusalueella, joten tämän käyttö ei ole suositeltavaa. Suorakaiteen muotoisille raoille Sauter ja Sorokan [126] laskentamenetelmä vaikuttaa luotettavimmalta. [132]

Trompette *et al.* [148] osoittivat, että Gompertsin ja Kihlmanin [30] tekemät rakomittaukset, ja siten menetelmän tarkkuuden tarkastelu, ovat epäluotettavia. Mechelin [96][97] viivamaisen raon laskentateoria vaikuttaisi vastaavan mittauksia hyväksyttävästi yli 500 Hz taajuuksilla [148]. Gompertsin ja Kihlmanin [30] laskentamenetelmä tuottaa myös hyväksyttäviä tuloksia yli 500 Hz taajuuksilla [148].

Yksiulotteisissa viivaraon teorioissa oletetaan yleensä raon olevan äärettömän pitkä, jolloin pituussuuntaisia ominaisuuksia ei tarvitse tarkastella. Tämä tuottaa virhettä taajuudella, jonka aallonpituus on suurempi kuin raon pituus. Virhe kolmiulotteisiin malleihin nähden esiintyy siis yleensä pienillä taajuuksilla, jolloin aallonpituus on suuri. Tähän vaikuttaa myös raon leveys. [132] Pienillä taajuuksilla voidaan kuitenkin olettaa, että äärettömän pitkä rako antaa varmalla puolella (huonompia) olevia tuloksia [132], jolloin tämän puolesta yksiulotteisia malleja voidaan suunnittelussa käyttää. Suurilla taajuuksilla raon pituuden vaikutus on monimutkaisempi, koska mooditaajuudet voivat sijaita eri kohdissa tai niitä voi olla enemmän, kuin äärettömän pitkällä raolla. Yleisesti

pituuden huomioon ottaminen kuitenkin parantaa raon ilmaääneneristävyyttä, joten yksiulotteiset teoriat vaikuttaisivat olevan suunnittelumielessä varmallalla puolella. [132]

Rakojen ennustemallit rajoittuvat yleensä täysin avonaisiin rakoihin. Tämä saattaa erota todellisesta tilanteesta:

1. Rako voi olla tiivistetty molemmin puolin tai toispuoleisesti hyvinkin erilaisilla tiivisteillä
2. Raossa voi olla muutakin kuin ilmaa
3. Rako ei välttämättä ole teräväreunainen
4. Raon ilmareitti voi olla monimutkainen

Nämä kohdat vaikuttavat raon lopulliseen ilmaääneneristävyyteen eri tavoin [4][40][44][48][97][150][160].

4.5.1 Viivamainen rako (Gomperts ja Kihlman)

Seuraavaksi esitellään Gompertsin ja Kihlmanin [30] ilmaääneneristävyyden laskentateoria viivamaiselle raolle. Teoria olettaa, että rako on kohdistuu diffuusi äänikenttä. Tämä on suotuisaa, koska laboratoriossa mitatut ääneneristävyydsarvot kuvaavat myös kahden diffuusin tilan välistä ääneneristävyyttä, joihin raon on tarkoitus myös yhdistää. Määritetään kaavojen (4.11)-(4.13) mukaiset dimensiottomat suureet, joita käytetään laskennassa.

$$K = \frac{2\pi f \beta}{c_0} \quad (4.11)$$

$$L = \frac{l}{\beta} \quad (4.12)$$

$$e = \frac{\alpha}{\beta} \quad (4.13)$$

joissa β on raon leveys, l on raon syvyys, e on raon pätekorjauskerroin ja α on raon pätekorjaus. Pätekorjauskerroin e voidaan approksimoida viivamaiselle raolle kaavalla (4.14):

$$e = \frac{1}{\pi} \left(\ln \frac{8}{K} - \gamma' \right) \quad (4.14)$$

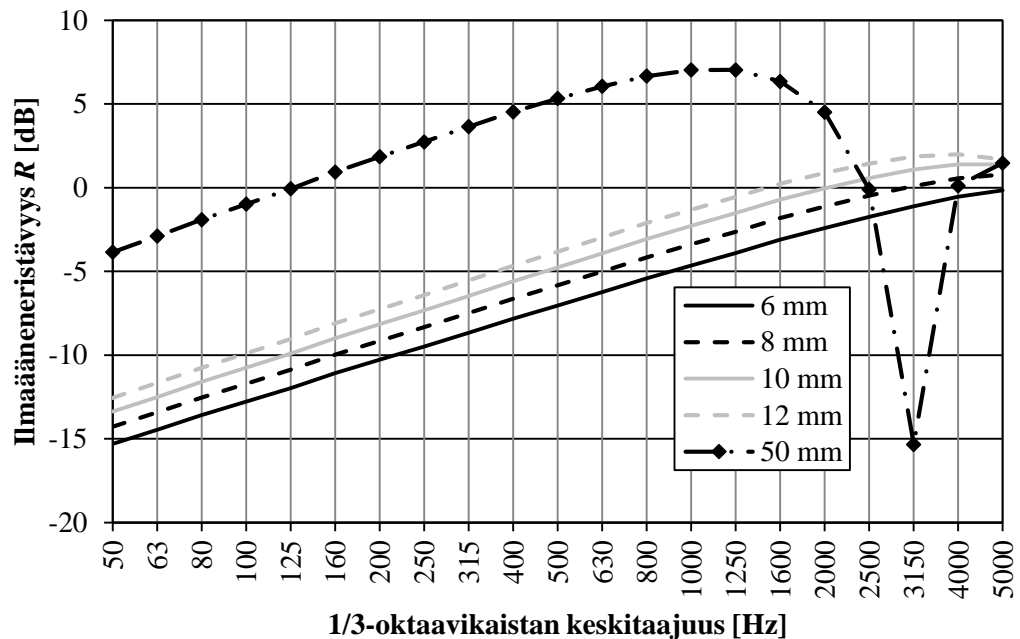
jossa γ' on Eulerin vakio. Kaava (4.14) pätee, kun $K \leq 0,5$, joka vastaa taajuudella 5000 Hz 5,46 mm leveää rakoja. Siten yli 5,5 mm leveiden rakojen laskenta muuttuu epävarmaksi. Raon ilmaääneneristävyys lasketaan kaavalla (4.15):

$$R_{slit} = 10 \log_{10} \left(\frac{2n^2 \left\{ \frac{\sin^2(K(L+2e))}{\cos^2(Ke)} + \left(\frac{K^2}{2n^2} \right) * (1 + \cos(K(L+2e)) * \cos(KL)) \right\}}{m * K * \cos^2(Ke)} \right) \quad (4.15)$$

jossa K lasketaan kaavalla (4.11), L lasketaan kaavalla (4.12), e lasketaan kaavalla (4.14), m on 8 diffuusille äänikentälle, ja n on 1, jos rako on keskellä pintaa tai $\frac{1}{2}$, jos rako on nurkassa. Kerroin n ottaa huomioon raon lähetyspuolella olevan äänenpaineen kasvu lähellä olevan pinnan johdosta, joten raon sijaintia tulee tarkastella vain lähetyspuolella.

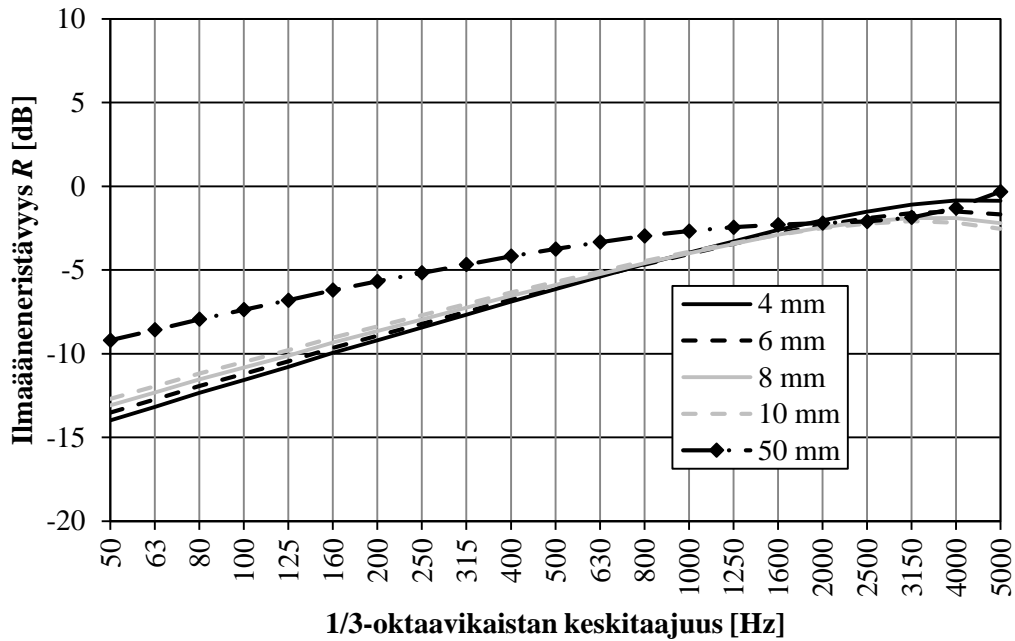
Kuvissa 4.9 ja 4.10 esitetään parvekkeissa mahdollisesti esiintyviä viivamaisien rakojen laskennallisia ilmaääneneristävyyksiä. Kuvassa 4.11 esitetään 50 ja 100 mm syvien rakojen laskentatuloksia. Laskenta on suoritettu taajuuskaistojen keskitaajuuksilla, joka lienee melko tyypillistä rakennusakustiikassa. Osa mitoista on valittu mahdollisten lasivälien mittojen mukaan. Laskennassa raot on oletettu olevan keskellä pintaa diffuusissa kentässä, jolloin $m = 8$ ja $n = 1$.

Syvyyden muutos (leveys 2 mm)

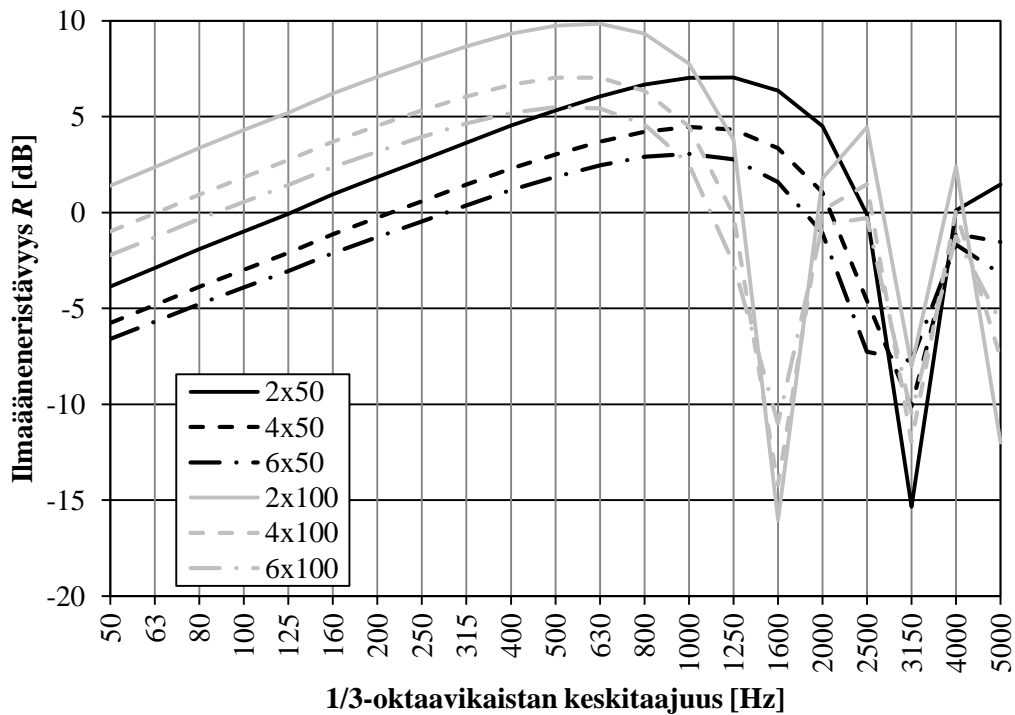


Kuva 4.9. Laskentaesimerkkejä 2 mm leveälle viivamaiselle raolle eri leveyksillä.

Leveyden muutos (syvyys 8 mm)



Kuva 4.10. Laskentaesimerkkejä 8 mm syvälle viivamaiselle raolle eri syvyyksillä.



Kuva 4.11. Laskentaesimerkkejä 50 ja 100 mm syville viivamaisille raoille eri leveyksillä.

Tulosten perusteella raon ilmaääneneristävyys riippuu suuresti kummastakin dimensiosta, mutta parvekkeella esiintyvissä raoissa harvemmin esiintyy yhtäkään

ominaistaajuutta. Tämä ei päde profiileissa oleviin rakoihin, joissa rako voi olla jopa yli 50 mm syvä. Lasivälien syvyys kasvattaa ilmaääneneristävyyttä tehokkaammin kuin leveys. Leveyden suurentuessa myös raon pinta-ala kasvaa, joka kasvattaa raon vaikutusta ilmaääneneristävyyteen.

4.5.2 Viivamainen rako (Mechel)

Mechelin viivamaisen raon ilmaääneneristävyyden laskentamenetelmä esitetään teoksen [96] (vuodelta 2008) mukaan. Esitystapa eroaa alkuperäisteoksesta [97] (vuodelta 1986) hieman, mutta teoria on sama. Tässä kappaleessa esitetään laskentateoria pääpiirteittäin.

Äänenläpäisykerroin τ äärettömän pitkälle viivamaiselle raolle tietyllä taajuudella ja tulokulmalla lasketaan kaavalla (4.16):

$$\tau(\theta_i, \varphi_i) = \frac{Z_0}{\cos \theta_i} \operatorname{Re}\{Z_{r2}(\theta_i, \varphi_i)\} \left| \frac{V_2(\theta_i, \varphi_i)}{P_e} \right|^2 \quad (4.16)$$

jossa θ_i on äänen tulokulma raon pinnan kohtisuorassa tasossa, φ_i on äänen tulokulma raon pinnan tasossa, $\operatorname{Re}\{Z_{r2}\}$ on vastaanottopuolen raon pinnan äänensäteilyn impedanssin (engl. radiation impedance) reaaliosa, V_2 on äänen hiukkasnopeuden keskiarvo vastaanottopuolen raon pinnalla ja P_e on lähetyspuolen rakoön kohdistuva äänenpaineen amplitudi, jolle voidaan antaa arvo 1. Amplitudi P_e vastaa karkeasti Gompertsin [31] esittämää kerrointa n , jolla voidaan raon sijainnin aiheuttama äänenpaineen kasvu ottaa huomioon. Hiukkasnopeuden keskiarvo V_2 lasketaan kaavalla (4.17):

$$V_2(\theta_i, \varphi_i) = \frac{2 \frac{Z_a}{\cos \theta_2} \operatorname{sinc}(k_0 \sin \theta_i \sin \varphi_i)}{\frac{Z_a}{\cos \theta_2} (Z_1 + Z_2) \cosh(\Gamma_a d \cos \theta_2) + \left[\left(\frac{Z_a}{\cos \theta_2} \right)^2 + Z_1 Z_2 \right] \sinh(\Gamma_a d \cos \theta_2)} \quad (4.17)$$

jossa Z_a on raossa olevan materiaalin akustinen impedanssi, θ_2 on äänen kulkusuunta raossa, k_0 on äänen aaltoluku, Z_1 on lähetyspuolen raon pinnan akustinen impedanssi, Z_2 on vastaanottopuolen raon pinnan akustinen impedanssi, Γ_a on raon materiaalin karakteristinen etenemisvakio (engl. characteristic propagation constant) ja d on raon syvyys. Jos rako on tyhjä (sisältää vain ilmaa), materiaalin impedanssi Z_a ja karakteristinen etenemisvakio Γ_a saavat kaavojen (4.18) ja (4.19):

$$Z_a = Z_0 = \rho_0 c_0 \quad (4.18)$$

$$\Gamma_a = ik_0 \quad (4.19)$$

jossa Z_0 on ilman akustinen impedanssi, ρ_0 on ilman tiheys ja c_0 on äänennopeus ilmassa. Aaltoluku k_0 lasketaan kaavalla (4.20):

$$k_0 = \frac{\omega}{c_0} \quad (4.20)$$

jossa ω on tarkasteltava kulmataajuus ($2\pi f$). Raon eri puolien akustinen impedanssi lasketaan kaavalla (4.21):

$$Z = i\omega m + Z_r \quad (4.21)$$

jossa m on raon pinnalla olevan elastisen tiivistysmassan pintamassa. Pinnan äänensäteilyn impedanssi viivamaiselle raolle lasketaan kaavalla (4.22):

$$Z_r = Z_0 * 2k_0 a \left\{ H_0^{(2)}(u) + \frac{\pi}{2} \left[H_1^{(2)}(u) S_0(u) - H_0^{(2)}(u) S_1(u) \right] - \frac{1}{u} H_1^{(2)}(u) + \frac{2i}{\pi u^2} \right\} \quad (4.22)$$

jossa $2a$ on raon kokonaisleveys, $H_n^{(2)}(u)$ ovat toisen tyyppin Hankel-funktioita (kolmannen tyyppin Bessel-funktio), $S_n(u)$ ovat Struve-funktioita ja u lasketaan kaavalla (4.23):

$$u = 2\gamma a = 2a \sqrt{k_0^2 - k_x^2} \quad (4.23)$$

jossa k_x lasketaan kaavalla (4.24):

$$k_x = k_0 \sin(\theta_i) \cos(\varphi_i) \quad (4.24)$$

Äänen kulkusuuntaraossa θ_2 lasketaan kaavalla (4.25):

$$\cos \theta_2 = \frac{\sqrt{\Gamma_{an}^2 + \sin^2(\theta_i) \cos^2(\varphi_i)}}{\Gamma_{an}} \quad (4.25)$$

jossa Γ_{an} on Γ_a/k_0 . Raon äänenläpäisykerroin diffuusilla tulokulmalla lasketaan kaavalla (4.26):

$$\tau_{dif} = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} \tau(\theta, \varphi) \cos \theta \sin \varphi \, d\theta d\varphi \quad (4.26)$$

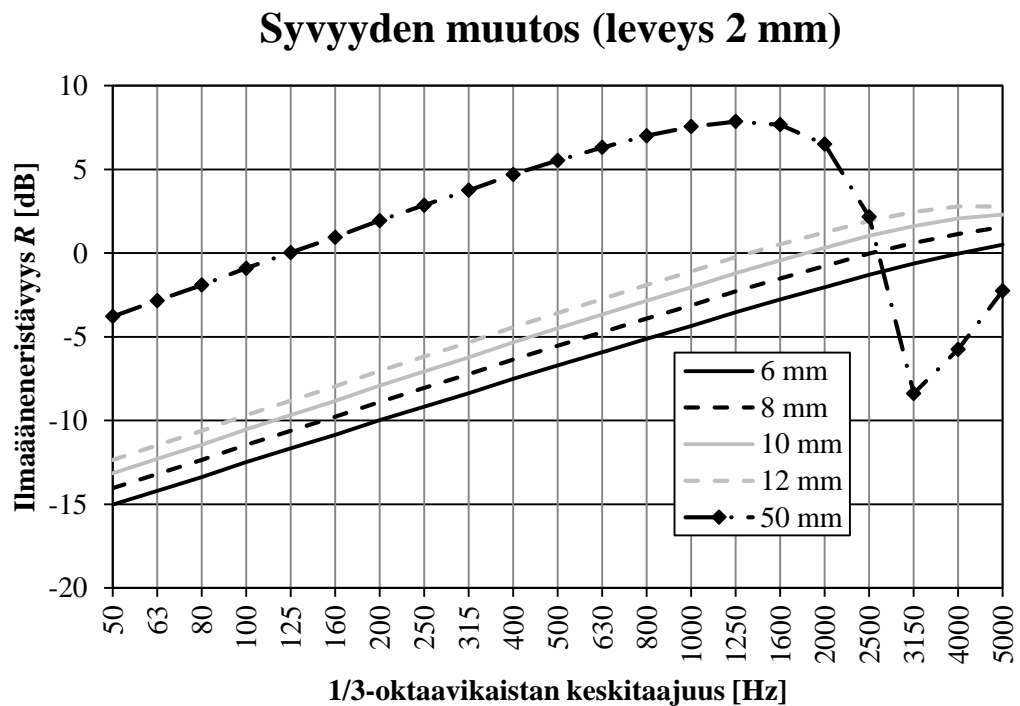
Ilmaääneneristävyys saadaan kaavalla (4.27):

$$R_{dif} = -10 \log_{10}(\tau_{dif}) \quad (4.27)$$

Kyseinen teoria pätee yksittäisille taajuuksille, joista tulee taajuuskaistaiset arvot muodostaa erikseen. Tässä voitaisiin käyttää myös taajuuskaistan keskitaajuutta, mutta ominaistaajuuksien lähettyvillä eroa tarkkaan tulokseen syntyy. Oikeaoppisempi tapa olisi laskea taajuuskaistaa kohden useita erillisiä taajuuksia, jotka yhdistetään. Tässä

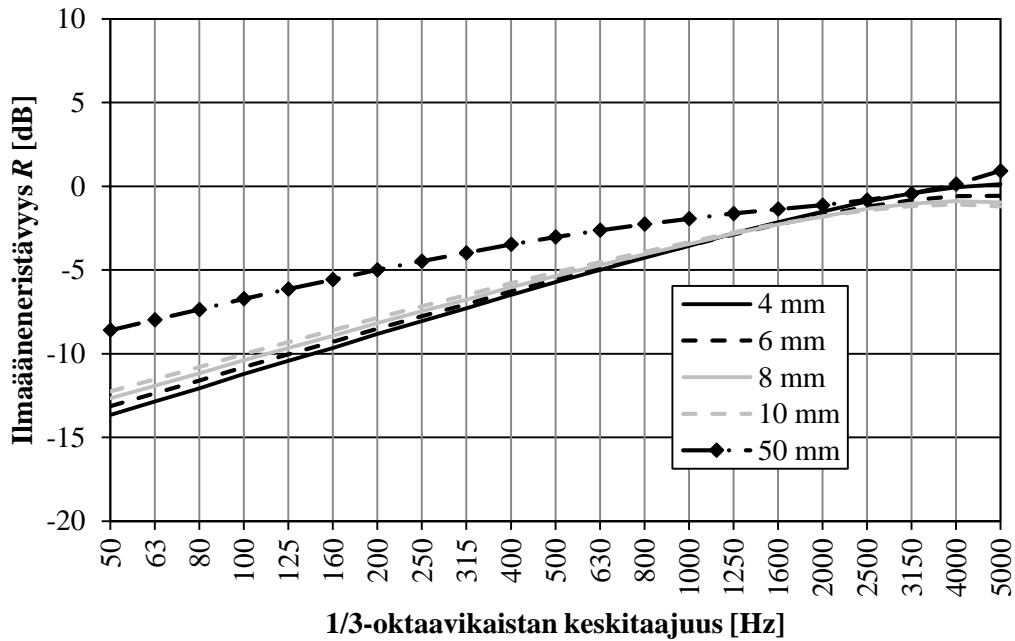
tarkastelussa taajuuskaistaa kohden on laskettu 7...8 kpl yksittäistä taajuutta, jonka arvioitiin olevan sopiva määrä ilman, että laskenta-aika ei kasvaisi tarpeettoman suureksi.

Kuvissa 4.12 ja 4.13 esitetään parvekkeissa mahdollisesti esiintyviä viivamaisien rakojen laskennallisia ilmaääneneristävyyksiä. Kuvassa 4.14 esitetään 50 ja 100 mm syvien rakojen laskentatuloksia. Laskenta on suoritettu taajuuskaistojen keskitaajuuksilla. Osa mitoista on valittu mahdollisten lasivälien mittojen mukaan. Kuvat eroavat kappaleessa 4.5.1 laskettuihin kuviin varsinkin ensimmäisen ominaistaajuuden jälkeen johtuen suuresti yksittäisten taajuuksien yhdistämisestä taajuuskaistaa kohti, jota ei kappaleen 4.5.1 laskennoissa tehty. Ominaistaajuuksien kohdalla ilmaääneneristävyyden vaihtelu on pienempää kuin kappaleessa 4.5.1.

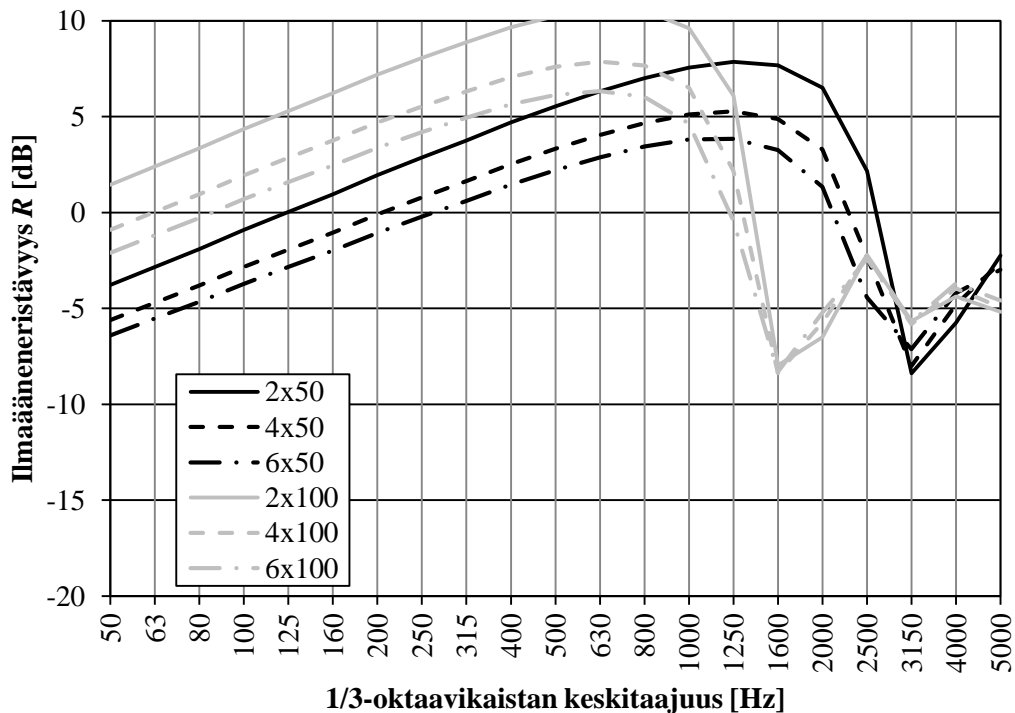


Kuva 4.12. Laskentaesimerkkejä 2 mm leveälle viivamaiselle raolle eri leveyksillä.

Leveyden muutos (syvyys 8 mm)



Kuva 4.13. Laskentaesimerkkejä 8 mm syvälle viivamaiselle raolle eri syvyyksillä.



Kuva 4.14. Laskentaesimerkkejä 50 ja 100 mm syville viivamaisille raoille eri leveyksillä.

Samat huomiot voidaan tehdä kuin kappaleessa 4.5.1: raon ilmäeneristävyys riippuu suuresti kummastakin dimensiosta, mutta parvekkeella esiintyvissä raoissa harvemmin

esiintyy yhtäkään ominaistaajuutta. Tämä ei päde profiileissa oleviin rakoihin, joissa rako on reilusti syvempi kuin lasivälit. Lasivälien syvyys kasvattaa ilmääneneristävyyttä tehokkaammin kuin leveys. Leveyden suurentuessa myös raon pinta-ala kasvaa, joka kasvattaa raon vaikutusta ilmääneneristävyyteen.

5. MITTAUSMENETELMÄ

5.1 Mittausstandardit

Standardia, joka määritteli parvekkeen ulkovaipan ääneneristävyydelle sopivan mittausmenetelmän, ei ole olemassa. Melutason muodostuminen lasitetulle parvekkeelle kuitenkin muistuttaa melutason muodostumista huoneeseen julkisivun kautta [72]. Tällä hetkellä Suomessa noudatetaan rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden mittauksissa standardia ISO 140-5:1998 [54], jonka korvaava standardi ISO CD 16283-3 [20] on luonnosvaiheessa. Standardin mukaan rakennuksen ulkovaipan ilmääneneristävyys määritetään mittaamalla ulkona ja sisällä vallitsevat äänenpainetasot, joiden lisäksi mittaustulos normalisoidaan absorptioalan tai standardisoidaan jälkikaiunta-ajan avulla. Vastaava standardi ASTM E966-10e1 [5] on vuodelta 2010. Standardin ASTM E966-10e1 [5] ohjeet eroavat ISO-standardien [20][54] ohjeista, mutta peruseriaate on sama.

Mittaukset suoritetaan yleensä kolmannesoktaavikaistoilla 100...3150 Hz, mutta tarkasteltava taajuusalue voidaan laajentaa taajuuskaistoihin 50...80 ja 4000...5000 Hz. Taajuuskaistaisista arvoista lasketaan yleensä mittaluvut standardin ISO 717-1:2013 [57] mukaisesti.

5.2 Mittaukset parvekkeella

Äänenpainetasot mitataan standardin ISO 140-5 [54] mukaan tilan sisällä vähintään viidestä kohdasta siten, että seuraavat minimietäisyydet toteutuvat:

1. Kiinteiden mikrofonipisteiden välinen etäisyys vähintään 0,7 metriä
2. Mikrofonipisteen etäisyys tilan pintoihin tai esineisiin vähintään 0,5 metriä
3. Mikrofonipisteen ja äänilähteen välinen etäisyys vähintään 1,0 metriä

Mittauspisteet jaetaan näiden kriteerien perusteella tilaan mahdollisimman laajalti, että saadaan kattava kuva tilassa vallitsevasta äänikentästä. [54] Standardiluonnoksen ISO CD 16283-3 [20] perusteella kiinteät mittauspisteet tulee lisäksi sijoittaa tilaan epäsymmetrisesti, eikä kaksi mittauspistettä saisi olla samalla tasolla, joka on samansuuntainen tilan jonkin pinnan kanssa. Jos mittaaja on sisällä tilassa, tulee mittaajan olla vähintään yhden käsimitan päässä mikistä. Standardiluonnos [20] antaa mahdollisuuden myös pitää mikrofonia kiinteässä pisteessä käsin. Standardiluonnos esittää kiinteän mittauspisteen minimimittausajaksi seuraavat [20]:

1. 50...80 Hz, 15 sekuntia

2. 100...400 Hz, 6 sekuntia
3. 500...5000 Hz, 4 sekuntia

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää koneellisesti pyörivää mikrofonia [54], jonka pyörimissäde on vähintään 0,7 metriä, ja liikerata on asetettu kaltevaksi siten, ettei se ole yhdensuuntainen tilan pintojen kanssa (vähintään 10 asteen kallistus pintoihin nähden). Tämän lisäksi standardiluonnos [20] mahdollistaa myös manuaalisesti liikuteltavan mikrofonin neljällä eri liikeradalla.

Tilalle mitataan lisäksi taustäänenpainetaso. Signaalin ja taustäänen yhdistetylle äänenpainetasolle L_{sb} tehdään taustäänikorjaus ΔL seuraavasti riippuen tämän ja taustäänenpainetason L_b erosta $d = L_{sb} - L_b$:

1. 0 dB, kun $d \geq 10$ dB,
2. Korjaus kaavan (5.1) mukaan, kun $6 \text{ dB} < d < 10 \text{ dB}$
3. 1,3 dB, kun $0 \text{ dB} \leq d \leq 6 \text{ dB}$

Kohdassa 2 korjaus ΔL lasketaan käyttäen kaavaa (5.1):

$$\Delta L = L_{sb} - 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad (5.1)$$

jossa L_{sb} on signaalin ja taustäänen yhdistetty äänenpainetaso ja L_b on taustäänen äänenpainetaso. Korjattu äänenpainetaso L_2 lasketaan siis kaavalla (5.2):

$$L_2 = L_{sb} - \Delta L \quad (5.2)$$

Korjatut äänenpainetasot yhdistetään energeettisesti kaavalla (5.3):

$$L_2 = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{2,i}/10} \right) \quad (5.3)$$

jossa $L_{2,i}$ on taustäänikorjattu äänenpainetaso tilassa kohdassa i ja n on mittauspisteiden lukumäärä.

5.2.1 Jälkikaiunta-ajan mittaus

Tilasta mitataan myös jälkikaiunta-aika joko katkotun kohinan menetelmällä (engl. interrupted noise method) [20][54] tai integroidun impulssivasteen menetelmällä (engl. integrated impulse response method) [20]. Jälkikaiunta-aikoja mitataan tilasta vähintään kuusi kappaletta siten, että [54]:

1. Käytetään vähintään yhtä kaiutinpaikkaa
2. Käytetään vähintään kolmea mikrofonipaikkaa, joista jokaisesta otetaan kaksi mittausta

Standardiluonnos ISO CD 16283-3 [20] mahdollistaa kuitenkin kohdassa 2 käytettävän vähintään kuutta mikrofoni paikkaa, joista jokaisesta otetaan yksi mitta.

5.2.2 Pienten taajuuksien mittaus standardiluonnoksen ISO CD 16283-3 mukaan

Pienillä taajuuksilla suurin ongelma on suuri äänenpainetason vaihtelu tilassa. Tämä aiheuttaa pienten taajuuksien mittaamiseen epävarmuutta, jonka perusteella standardisarjassa ISO 16283 esitetään pienten taajuuksien mittaukseen sovellettava menetelmä (engl. Low-frequency procedure) [47]. Menetelmää sovelletaan tiloille, joiden tilavuus on alle 25 m³ (pyöristettynä yhteen kuutiometriin) [20]. Tällöin taajuuskaistat 50, 63 ja 80 Hz mitataan vähintään neljästä huoneen nurkasta, joista vähintään kaksi on lattiatasossa ja vähintään kaksi katon tasossa. Mittauspisteen etäisyys nurkan jokaisesta pinnasta on 0,3...0,4 m, ja jokaisen nurkan muodostavan pinnan pinta-ala tulee olla vähintään 0,5 m². Mittauspisteiden valinnoissa tulee suosia nurkkia, joiden pinnat muodostavat keskenään suorakulmia, eikä nurkan lähetyvillä (0,5 m etäisyydellä nurkasta) ole kalusteita. Nurkan pinta voi olla ulkoilmaan rajoittuva. Jos näihin kriteereihin ei päästä, voidaan mittaus suorittaa nurkassa, jossa pintojen väliset kulmat ovat alueella 45...135 astetta, nurkan lähetyvillä on kalusteita ja/tai yksi nurkan muodostavista pinnoista on kaluste [20].

Jokaiselle käsiteltävälle taajuuskaistalle määritetään nurkka, jossa saavutetaan suurin äänenpainetaso. Nurkasta mitataan myös taustääänenpainetasot ja tehdään taustäänikorjaukset nurkittain. Jokaiselle taajuuskaistalle lasketaan normaalin menettelyn ja nurkkamittausten yhdistetty äänenpainetaso $L_{2,LF}$ kaavalla (5.4), jota käytetään ilmajärjestelmän laskennassa:

$$L_{2,LF} = 10 \log \left(\frac{10^{0,1L_{2,Corner}} + (2 * 10^{0,1L_2})}{3} \right) \quad (5.4)$$

jossa $L_{2,Corner}$ on nurkassa mitattu maksimiäänepainetaso ja L_2 on vastaava normaalilla menettelyllä mitattu äänenpainetaso. Pienille taajuuksille tehdään erikseen myös jälkikaiunta-ajan mittaus, kun tilan tilavuus on alle 25 m³ (pyöristettynä yhteen kuutiometriin) [20]. Jälkikaiunta-aikamittaus tehdään samoin tavoin kuin normaalissa menettelyssä, mutta kolmannesoktaavikaistat 50, 63 ja 80 Hz korvataan oktaavikaistan 63 Hz mittauksella.

5.3 Mittaukset ulkona

Standardi ISO 140-5:1998 [54] määrittää kaksi mahdollista mittaustapaa ulkona vallitsevalle äänenpainetasolle: *global* ja *element* –menetelmät. Kummassakin menetelmässä voidaan käyttää äänilähteenä kaiutinta tai liikennemelua. Standardi

suosittelee global-menetelmässä käytettävän liikennemelua ja element-menetelmässä käytettävän kaiutinta. Global-menetelmässä äänenpainetaso ulkona voidaan mitata:

1. 2 ($\pm 0,2$) metrin päässä mitattavan pinnan keskipisteestä
2. 1 metrin päässä kaiteesta tai vastaavasta ulkonemasta

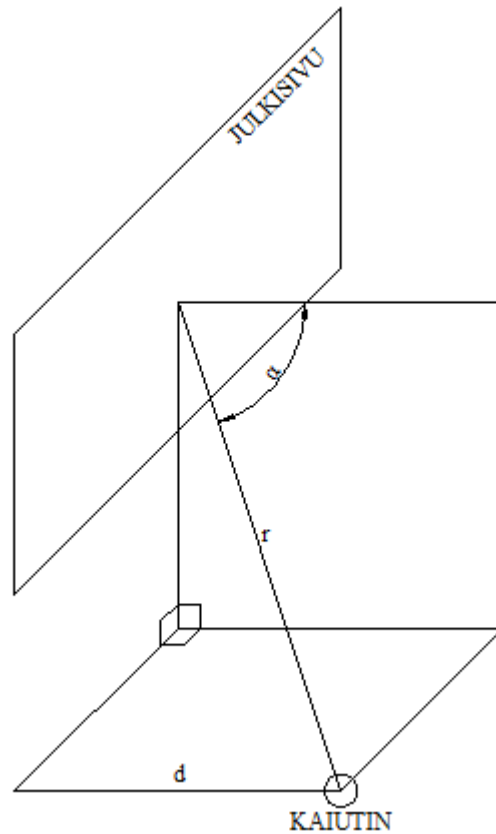
Mikrofonin tulee olla 1,5 metrin korkeudella kerroksen lattiapinnasta. Tulos kuvaa koko tarkasteltavan rakenteen ilmaääneneristävyyttä, johon kuuluu erilaiset sivutiesiirtymät. Tällöin mitattava julkisivu voi koostua useasta erilaisesta rakennusosasta, mutta tuloksia ei voi verrata laboratoriomittauksiin. Tuloksissa voi esiintyä systemaattisia virheitä johtuen kontrolloimattomasta interferenssistä varsinkin pienillä taajuuksilla. [54]

Element-menetelmässä äänenpainetaso mitataan tarkasteltavan rakennusosan pinnalta useasta eri pisteestä. Mittauspisteitä tulee olla 3...10 kpl riippuen pinnan äänenpainetasojen eroista. Jos tarkasteltava pinta on syvennyksessä, tulee käyttää 10 mittauspistettä. Menetelmällä voidaan saada tulos, joka olisi verrattavissa rakennusosan vastaavaan laboratoriossa mitattuun ilmaääneneristävyyteen. Kentällä mitattavat rakennusosan ilmaääneneristävyys täytyy olla merkittävästi pienempi kuin ympäröivillä rakenteilla, jotta ympäröivän rakenteen läpi kulkevalla äänellä on pieni vaikutus syntyvään äänenpainetasoon. Tulokseen ei sisälly sivutiesiirtymiä. Standardi ISO 140-5 suosittelee tätä menetelmää, kun halutaan määrittää yksittäisen rakennusosan, kuten ikkunan, ilmaääneneristävyys. [54]

5.4 Äänilähde

Mittauksissa äänilähteenä voidaan käyttää kaiutinta, tieliikenne-, rautatie- tai lentomelua. Eri liikennemeluja voidaan käyttää vain silloin, kun näiden tuottama melutaso on tarpeeksi suuri [20][54]. Tieliikennemelun aiheuttama äänenpainetaso voi vaihdella ajallisesti, joten mittaukset tulee suorittaa sisällä ja ulkona samanaikaisesti. Tieliikennemelun aiheuttama äänenpainetaso tulee olla vastaanottohuoneessa vähintään 10 dB suurempi kuin taustääänenpainetaso. Mittaukset keskeytetään aina sen ajaksi, kun ero on alle 10 dB. Mittaukseen tulee sisältää vähintään 50 ajoneuvon ohiajoa [20][54]. Rautatie- ja lentomelulle annetaan standardeissa [20][54] erilliset mittausohjeet.

Kaiutin sijoitetaan siten, että kaiuttimen keskipiste ja julkisivun keskipiste muodostavat 45 (± 5) asteen kulman julkisivun tason normaaliin nähden kuvan 5.1 mukaisesti. Kaiutin suositellaan sijoitettavan maahan, mutta vaihtoehtoisesti se voidaan nostaa mahdollisimman korkealle irti maasta. Tarkasteltavan julkisivun keskipisteen ja kaiuttimen keskipisteen välinen etäisyys tulee olla vähintään 7 metriä global-menetelmällä ja vähintään 5 metriä element-menetelmällä. Vastaavasti kaiuttimen kohtisuora etäisyys julkisivusta tulee olla vähintään 5 ja 3,5 metriä [20][54].



Kuva 5.1. Kaiuttimen sijoitus mitattavan julkisivun keskipisteeseen nähden, jossa d on kohtisuora etäisyys julkisivuun, r on suora etäisyys julkisivun keskipisteeseen ja α on julkisivun keskipisteen normaalin ja janan r välinen kulma.

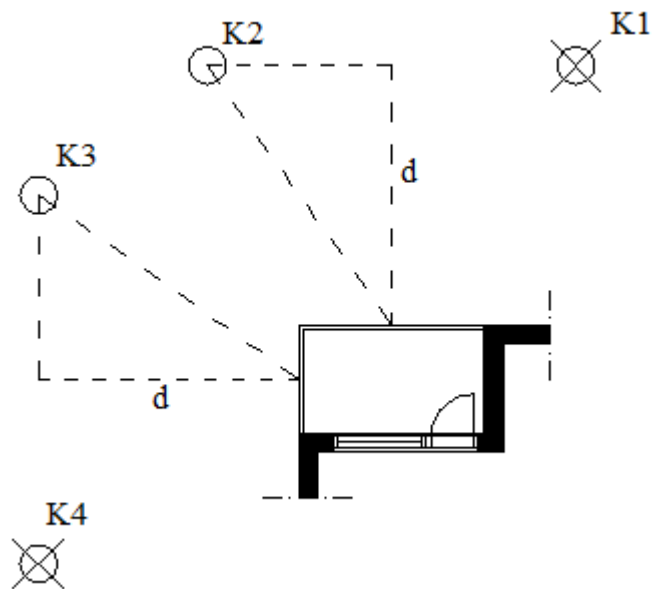
Kaiuttimen tulee tuottaa tasainen äänikenttä, jolla on jatkuva spektri mitattavalla taajuusalueella. Kolmen vierekkäisen, oktaavikaistan muodostavan, kolmannesoktaavikaistan äänentehotasojen erot tulee olla [20][54]:

1. Pienempi tai yhtä suuri kuin 6 dB oktaavikaistan keskitaajuudella 125 Hz (1/3-oktaavikaistojen 100, 125 ja 160 Hz kesken)
2. Pienempi tai yhtä suuri kuin 5 dB oktaavikaistan keskitaajuudella 250 Hz (1/3-oktaavikaistojen 200, 250 ja 315 Hz kesken)
3. Pienempi tai yhtä suuri kuin 4 dB yli 250 Hz oktaavikaistoilla

Kaiuttimen suuntaavuus tulee olla sellainen, että se tuottaa vapaassa kentässä tasaisen äänikentän kooltaan ja sijoittelultaan samanlaiselle pinnalle kuin mitattava julkisivu [54]. Vaatimusten ei siis välttämättä tarvitse toteutua todellisessa tilanteessa kentällä [14]. Äänenpainetasen vaihteluväli pinnalla tulee olla alle 5 dB taajuuskaistoittain, mutta pinnan suurimman mitan ollessa yli 5 metriä, voi vaihteluväli olla 10 dB. Parvekkeiden suurin mitta on yleensä alle 5 metriä, jolloin 5 dB vaihteluväli on yleensä sovellettava arvo [20][54]. Standardiluonnos ISO CD 16283-3 [20] mahdollistaa myös liitteen C käytön kaiuttimen valinnassa. Liitteen perusteella mahdollisimman tasaisesti ympärisäteilevä kaiutin on sopiva mittauksiin. Tällainen kaiutin voi olla monitahokas

(engl. polyhedron), jonka pinnoille on asennettu kaiuttimia. Yleisin monitahokaskaiutin lienee kaksitoistatahokas. [20]

Standardi 140-5 [54] edellyttää käytettävän vähintään yhtä kaiutinpaikkaa mittauksissa. Jos mitattava pinta on kuitenkin todella suuri tai koostuu useammasta seinästä (erisuuntaisista), tulee käyttää useampaa kaiutinpistettä. Kaiutinpisteiden määrä päätetään siten, että äänenpainetaso vaihtelu mitattavalla pinnalla toteuttaa aiemmin mainitut ehdot. Eri kaiutinpisteiden äänitasoerot yhdistetään kaavalla (5.8). Nurkassa oleva huone tai parveke tarvitsisi tämän määrittelyn perusteella siis ainakin kaksi kaiutinpaikkaa: molemmille sivuille. Kuvassa 5.2 esitetään kaiuttimen sijoittelun periaatteita nurkkaparvekkeen tapauksessa. Rastitetut ympyrät ovat kaiutinpaikkoja, joilla ei ole suoraa näköyhteyttä kuin yhteen sivuun.



Kuva 5.2. Kaiutinpaikkojen sijoittelu, kun parvekkeessa on useampi sivu. Rastitetut ympyrät K1 ja K4 kuvaavat epäsuotuisia kaiutinpaikkoja. Ympyrät K2 ja K3 kuvaavat suotuisia kaiutinpaikkoja.

Standardi ISO 140-5 [54] mahdollistaa kaiuttimen sijoituksen siten, että sillä ei tarvitse olla suoraa näköyhteyttä kumpaankin sivuun. Tämän pitäisi vaikuttaa teoriassa mittaustuloksiin, koska ääntä kohdistuu pienemmällä alalle parvekkeen vaipparakennetta. Kappaleen 6.3.2 kenttämittaukset osittain puoltavat tätä väitettä. Kaiutin tulisi siis aina sijoittaa siten, että sillä olisi suora näköyhteys useampaan ääneneristävyydeltään mielenkiintoiseen sivuun. Toisaalta, jos vaatimus esitetään vain yhdelle sivulle, voidaan kaiutin sijoittaa siten, että sillä on suora näköyhteys vain tälle sivulle.

5.5 Mittalukujen laskenta

Global-menetelmällä ilmoitettava mittaluku on äänitasoero D_{2m} (kaava (5.5)):

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (5.5)$$

jossa $L_{1,2m}$ on ulkona vallitseva äänenpainetaso 2 metrin päässä julkisivusta, L_2 sisällä vallitseva äänenpainetaso. Tästä voidaan edelleen määrittää normalisoitu (kaava (5.6)) tai standardisoitu äänitasoero (kaava (5.7)):

$$D_{2m,n} = D_{2m} - 10 \log_{10} \frac{A}{A_0} \quad (5.6)$$

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} \quad (5.7)$$

jossa A on tilan absorptioala, A_0 on referenssiabsorptioala 10 m^2 , T on tilan jälkikaiunta-aika ja T_0 on referenssijälkikaiunta-aika $0,5 \text{ s}$. Äänitasoerojen normalisoinnista absorptioalaan ollaan luopumassa [47], eikä huoneiden välisen ilmajääleneristävyyden mittausstandardi ISO 16283-1:2014 [55] enää mahdollista äänitasoeron normalisointia. Äänitasoeron standardointi jälkikaiunta-aikaan on havaittu olevan kuvaavampi mittaluku kuin normalisointi absorptioalaan [74][143]. Referenssiarvot kuvaavat tyypillistä kalustettua asuinhuonetta, ja todellisuudessa parvekkeen arvot eroavat näistä huomattavasti [73]. Jos kaiuttimen lähetyspisteitä on useita, jokaiselle lähetyspisteelle i lasketaan ensin erikseen kaavan (5.5) mukainen äänitasoero D_i , joka yhdistetään kaavalla (5.8) [20][54]:

$$D_{1s,2m} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{-D_i/10} \right) \quad (5.8)$$

jossa $D_{1s,2m}$ on yhdistetty äänitasoero kaiuttimella global-menetelmällä mitattuna, n on kaiuttimen lähetyspisteiden määrä ja D_i on lähetyspisteessä i global-menetelmällä ja kaiuttimella mitattu äänitasoero. Tätä arvoa käytetään kaavoissa (5.6) ja (5.7), joita käytetään kaikilla äänilähteillä.

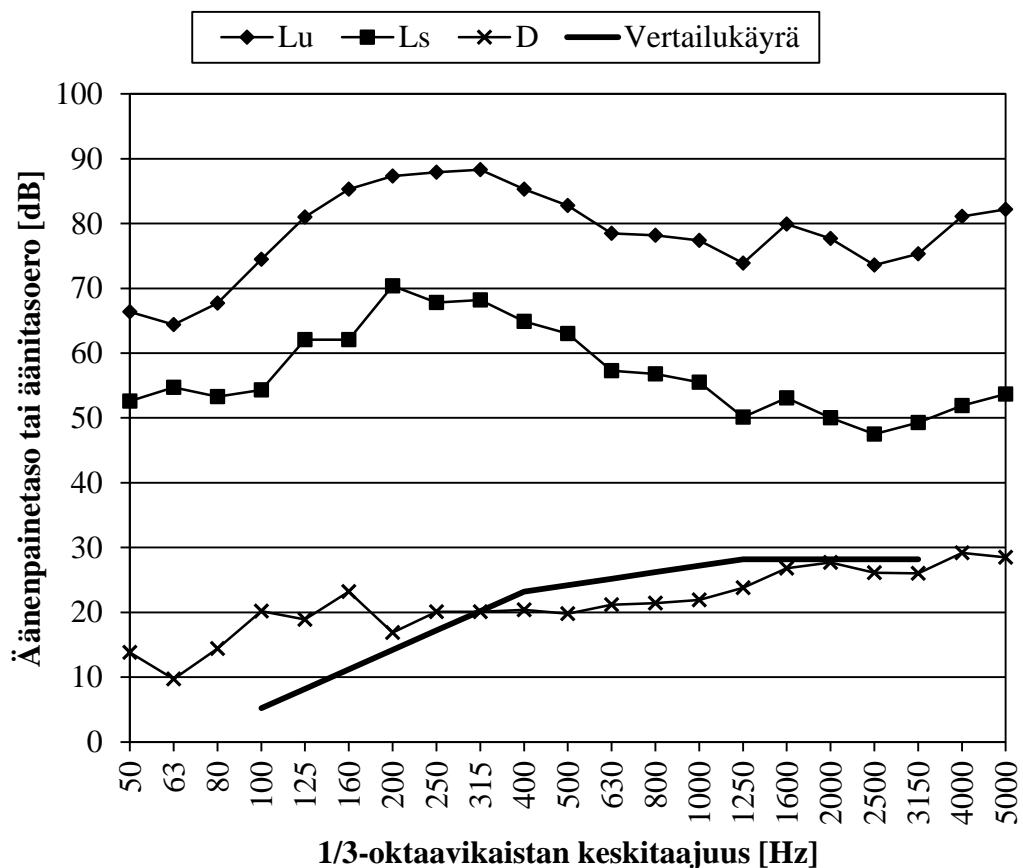
Element-menetelmällä ilmoitetaan ilmajääleneristävyys tieliikennemelulle (kaava (5.9)) ja kaiuttimelle (kaava (5.10)):

$$R'_{tr,s} = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A} - 3 \quad (5.9)$$

$$R'_{45} = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A} - 1,5 \quad (5.10)$$

jossa L_1 on ulkona julkisivun pinnan keskimääräinen äänenpainetaso, L_2 sisällä vallitseva äänenpainetaso, S on erottavan rakenteen pinta-ala sisältä mitattuna ja A on tilan absorptioala. Rautatie- ja lentoliikenteen tapauksissa äänenpainetasojen tilalla mitataan äänialtistustasoja [54]. Äänilähteen tulokulmista johtuen ilmaääneneristävyyttä korjataan joko 3 dB (useita tulokulmia) tai 1,5 dB (45 asteen tulokulma), jotta mittaluvut olisivat vertailukelpoisia laboratoriotulosten kanssa. Käytettäessä äänilähteenä tieliikennettä tulee ottaa huomioon myös ISO 140-5 [54] kappaleen 6.5 mukaiset rajoitukset.

Äänitasoeroista tai ilmaääneneristävyyksistä johdetaan mittaluvut standardin ISO 717-1 [57] mukaan vertailukäyrämenettelyllä. Vertailukäyrää siirretään 1 dB askelin kunnes epäsuotuisien poikkeamien summa taajuuskaistojen 100...3150 Hz yli on mahdollisimman suuri, mutta ei ylitä arvoa 32,0 dB. Epäsuotuisa poikkeama syntyy, kun mittaustulos on pienempi kuin vertailukäyrä kyseisellä taajuuskaistalla. Äänitasoeroluku D_w tai ilmaääneneristysluku R_w on vertailukäyrän arvo taajuuskaistalla 500 Hz. [57] Vertailukäyrämenettelyn periaatetta esitetään kuvassa 5.3.



Kuva 5.3. Mitatun parvekkeen äänenpainetasot sisällä, ulkona, näiden äänitasoero ja vertailukäyrä.

Näiden lisäksi mittaukselle lasketaan yleensä spektripainotustermit C ja C_{tr} . Näistä ensimmäinen kuvaa A-painotettua ja 0 dB tasoon normalisoitua raide- ja lentomelua ja

jälkimmäinen vastaavasti tieliikennemelua. Spektripainotettu mittaluku kuvaa siis ääneneristävyyttä kyseistä melutyyppejä vastaan. Spektripainotetut mittaluvut lasketaan yleensä taajuuksilla 100...3150 Hz, mutta taajuusaluetta voidaan laajentaa taajuuksille 50, 80 ja 100 Hz ja/tai 4000 ja 5000 Hz. [57]

5.6 Mittausmenetelmän ongelmakohtia

Ilmaääneneristävyyden kannalta on olennaista tietää vain parvekkeeseen kohdistuva ääni, mutta standardin global-menetelmän mukaan mitattu äänitasoero sisältää muun muassa parvekkeen ulkopinnasta heijastunutta ääntä, joka on liikkumassa parvekkeesta pois päin. Pelkästään parvekkeeseen kohdistuvan äänen mittaus on hankalaa, koska alueelta tarvittaisiin mittauspiste, joka kuvaisi saman kohdan äänenpainetasoa ilman rakennuksen julkisivua. Mittaukset tulisi siis suorittaa ennen rakentamisen aloittamista ja myöhemmin valmiilla parvekkeella, jotta heijastusten vaikutus voidaan selvittää. Käytännöllisempää on arvioida heijastusten keskimääräinen vaikutus mitattavaan äänenpainetasoon. Korjauksen suuruutta käsitellään kappaleessa 5.8.

Nykyinen standardi ISO 140-5 [54] tai standardiluonnos ISO CD 16283-3 [20] korjaavat element-menetelmällä mitattua ääneneristävyyttä olettamalla paineen kaksinkertaistumisen rakenteen pinnalla, joka on Hopkinsin [48] mukaan perusteltu arvio. Global-menetelmällä mitattavaan äänitasoeroon D_{2m} ei tehdä ulkona vallitsevan äänikentän korjauksia. Hopkins [48] esittää, että äänitasoeroon tehtävät korjaukset riippuvat kohteesta, eikä yksittäiselle mittaukselle voida esittää julkisivuun kohdistuvaa ääntä tarkasti. Siksi ulkona vallitsevaa äänenpainetasoa ajatellaan lähinnä referenssitasona, jota käytetään vain äänitasoeron määrittämiseen. Usean eri kohteen avulla määritettyä korjauksen keskiarvoa voitaisiin käyttää, mutta saatu arvo ei kuvaa yhtään yksittäistä tapausta. [48] Standardissa ASTM E966-10e1 [5] tehdään molempaan menetelmään ulkokentän korjaukset. Korjausten suuruutta käsitellään tarkemmin kappaleessa 5.7.

Äänenpainetaso parvekkeen edessä ei ole vakio, ja global-menetelmässä tarvitaan vain yksi mittaus ulkoa. Standardi E966-10e1 [5] lähestyy ongelmaa edellyttämällä 5 mittauspistettä julkisivun edessä, ja käyttämällä näiden keskiarvoa. Keskiarvon ja yksittäisen mittauksen ero voi olla useita desibelejä pienillä taajuuksilla [11]. Samoin kaiuttimen sijoitus muuttaa parvekkeen edessä olevaa äänikenttää, jolloin mittaukset ulkona eri kaiutinpaikoilla eroavat toisistaan [8][11]. Äänen tulokulma vaikuttaa myös rakenteen ilmaääneneristävyyteen, joten kaiutinsijoittelu vaikuttaa mitattuun ilmaääneneristävyyteen [8].

Standardi ISO 140-5 [54] asettaa ulkona kaiutin- ja mikrofonsijoitteluihin toleranssit. Berardi *et al.* [8] ovat tutkineet näiden vaikutusta mitattavaan ääneneristykseen niin laskennallisesti että mittauksin. Kaiutin sijoitettiin maahan 40, 45 ja 50 asteen kulmaan julkisivusta ja mittauspiste 1,8...2,2 metrin etäisyydelle julkisivusta 0,1 metrin välein.

Laskennallisissa tarkasteluissa käytettiin Hopkinsin ja Lamin [45] esittämää teoriaa. Taajuuksittaisen tarkastelun perusteella sijaintien vaihtelu toleranssien sisällä vaikuttaa taajuuksittaisiin tuloksiin varsinkin pienillä taajuuksilla. Tämän tutkimuksen lähtökohdat eivät kuitenkaan kuvaa kovin hyvin tilannetta parvekkeella, koska parvekkeet harvoin ovat maantasossa. Kaiutinta ei myöskään välttämättä sijoiteta aina maahan.

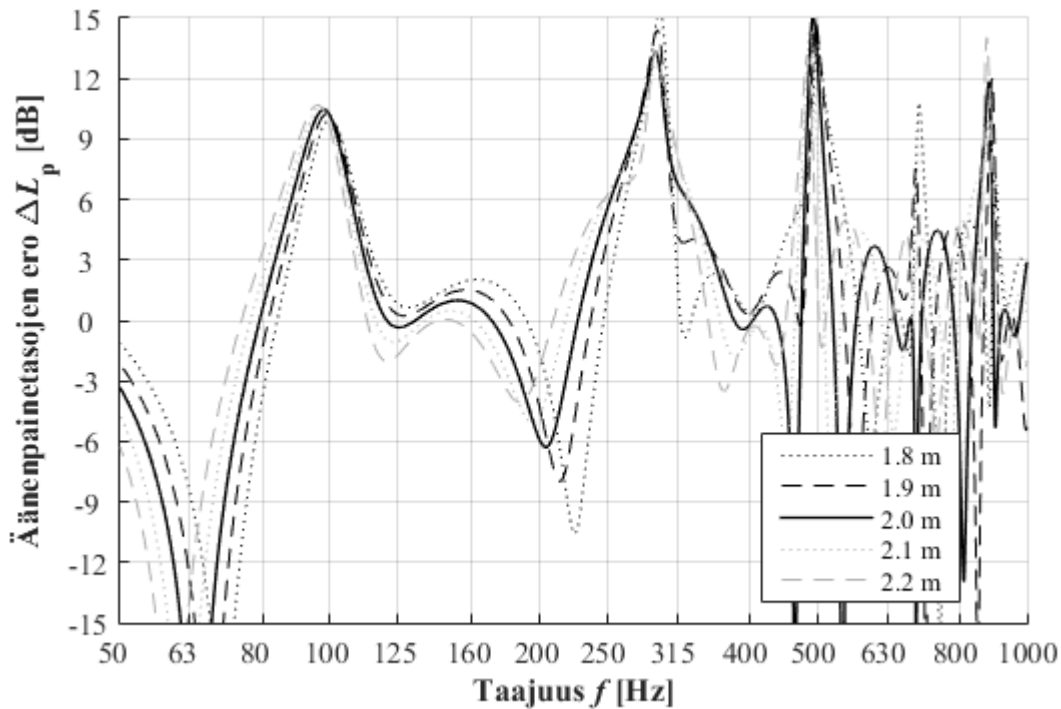
Berardi *et al.* [8] tekivät myös mittauksia sisällä kiinteillä mikrofoni-pisteillä. Äänilähteen sijaintien vaihtelu ei näytä vaikuttavan merkittävästi sisällä mitattaviin äänenpainetasoihin vaan suurin vaikutus oli itse mikrofoni-pisteiden sijainneilla sisällä. Tilan ominaisuudet vaikuttaisivat olevan määräävässä roolissa tilan äänikenttään. Tämän perusteella Berardi *et al.* [8] toteavat, että ulkona mitatun äänenpainetason merkitys mitattavaan ilmaääneneristävyyteen on suuri, koska mittausjärjestelyillä on suhteessa pieni vaikutus sisälle syntyvään äänikenttään, mutta suuri vaikutus ulkona syntyvään äänikenttään. Berardi *et al.* [8] suosittelevat käytettävän useita kaiutin- ja mikrofoni-paikkoja ulkona, kuten standardissa E966-10e1 [5], jotta mittausepävarmuus pienenee. Kaiutin-mikrofonikombinaatioiden vaikutus vaikuttaa kuitenkin olevan pieni ISO 717-1 [57] mukaisilla mittaluvuilla: global-menetelmän äänitasoeroluvut saivat samanlaisia arvoja eron ollessa 1...2 dB joissain tapauksissa [8]. Element-menetelmän mittaluvuilla vaihtelu oli suurempaa [9].

Lähteen [8] mittaus- ja laskentatilanteessa kaiutin sijoitettiin maahan (korkeus 0,2 m) ja julkisivu oli maantasossa. Tyypillinen mittaustilanne lienee kuitenkin sellainen, että kaiutin sijoitetaan jalustalle ja mitataan maantason yläpuolella olevaa parvekettä. Lasketaan menetelmällä [45] standardin toleranssien vaikutukset julkisivu-heijastukseen parvekkeella. Kaiuttimen etäisyyttä parvekkeesta rajoittaa standardin [54] määrittelemät minimipituudet: kohtisuora etäisyys julkisivusta vähintään 5 m ja suora etäisyys julkisivun keskipisteestä vähintään 7 m. Kaiuttimelle voidaan määritellä siis sijainti lähimpänä parvekettä, joka luultavasti on käytettävvin sijoitus, koska tilaa mittausten suorittamiseen on yleensä rajallisesti. Lähtöarvot olisivat siis:

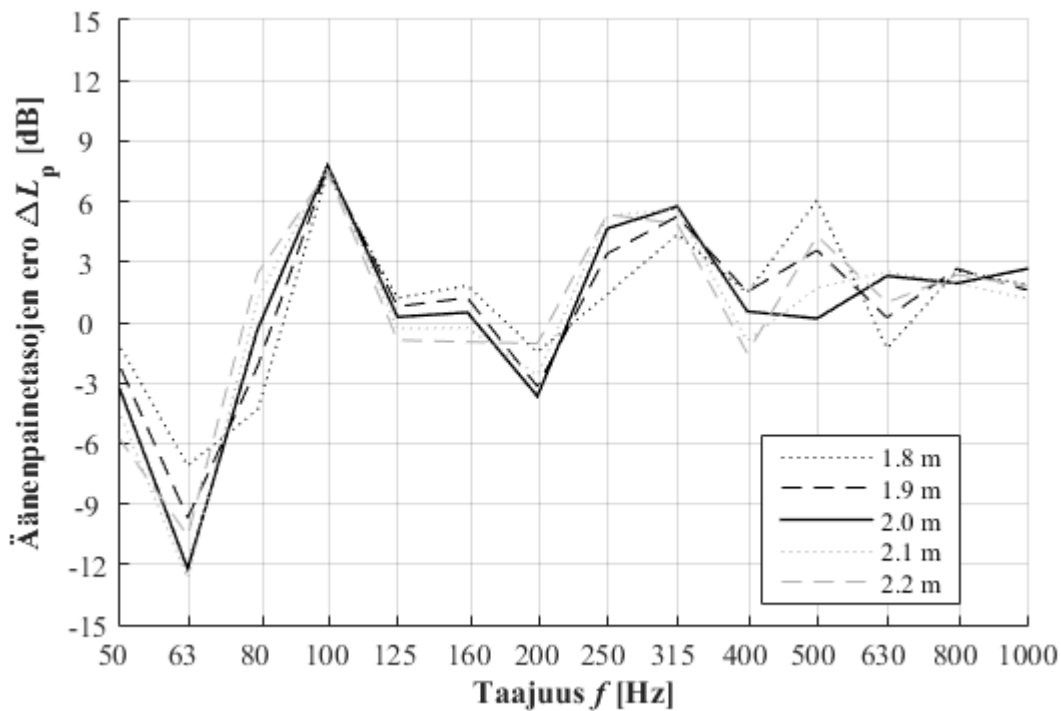
1. Kaiuttimen korkeus maasta $h_s = 1,3$ m
2. Mikrofonin korkeus maasta $h_m = 3,0$ m + 1,5 m = 4,5 m
3. Parvekerakenteen keskipisteen korkeus maasta $h_k = 3,0$ m + 2,7/2 m = 4,35 m
4. Kaiuttimen ja parvekkeen keskipisteen välinen kulma $\alpha = 40^\circ, 45^\circ$ tai 50°
5. Mikrofonin kohtisuora etäisyys parvekkeesta $d_m = 1,8...2,2$ m
6. Kaiuttimen kohtisuora minimietäisyys julkisivusta $d = 5$ m
7. Kaiuttimen ja julkisivun keskipisteen minimietäisyys $r = 7$ m

Kuvissa 5.4 ja 5.5 esitetään julkisivu-heijastuksen vaikutus äänen tulokulmalla 45° eri mikrofonietäisyyksillä taajuuksittain ja terssikaistoin. Kuvissa 5.6 ja 5.7 esitetään julkisivu-heijastuksen vaikutus mikrofonietäisyydellä 2 m eri kaiuttimen tulokulmilla taajuuksittain ja terssikaistoin. Mikrofonisijoittelu vaikuttaa interferenssi-piikkien

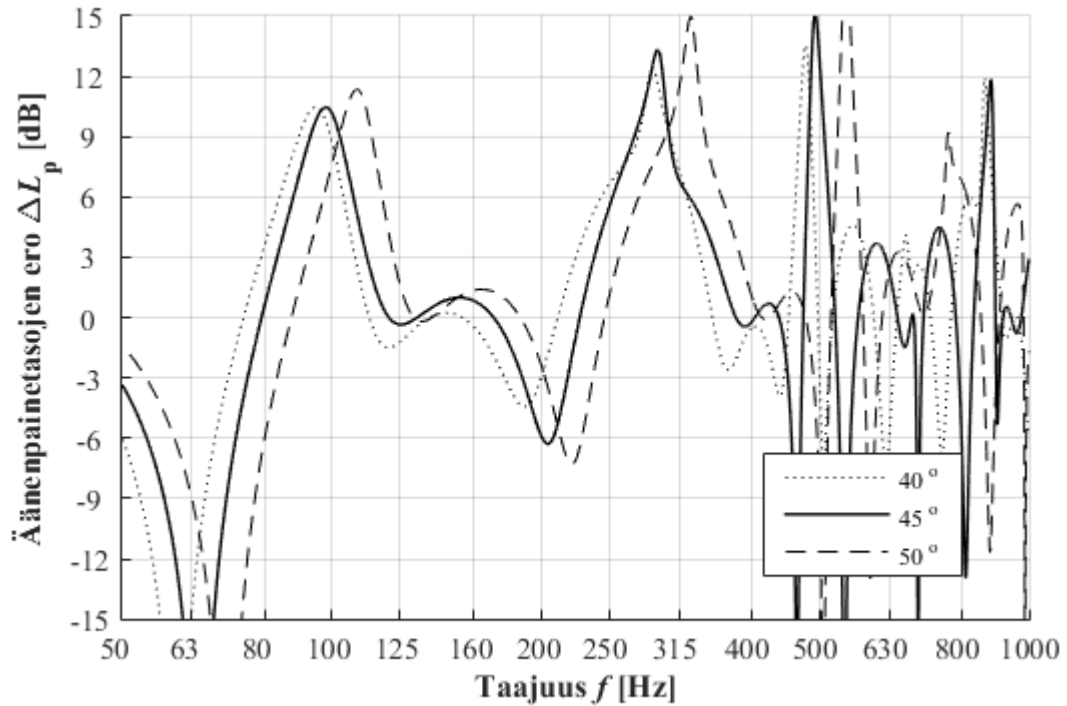
sijainteihin varsinkin 500 Hz ja 630 Hz taajuuskaistoilla (kuva 5.5). Mikrofonin- ja kaiutinsijoittelulla on vaikutusta käytännössä kaikilla taajuuksilla tai taajuuskaistoilla.



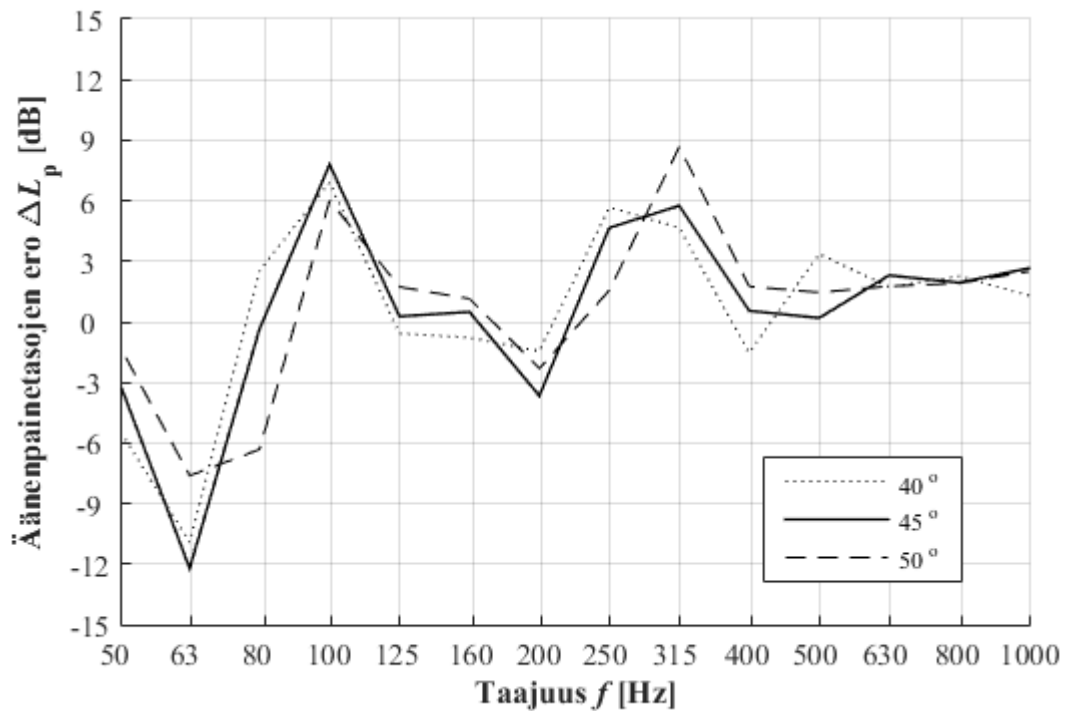
Kuva 5.4. Julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen eri mikrofonetäisyyksillä, kun kaiuttimen ja mitattavan julkisivun keskipisteen välinen avaruuskulma on 45° .



Kuva 5.5. Julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen eri mikrofonetäisyyksillä terssikaistoin, kun kaiuttimen ja mitattavan julkisivun keskipisteen välinen avaruuskulma on 45° .

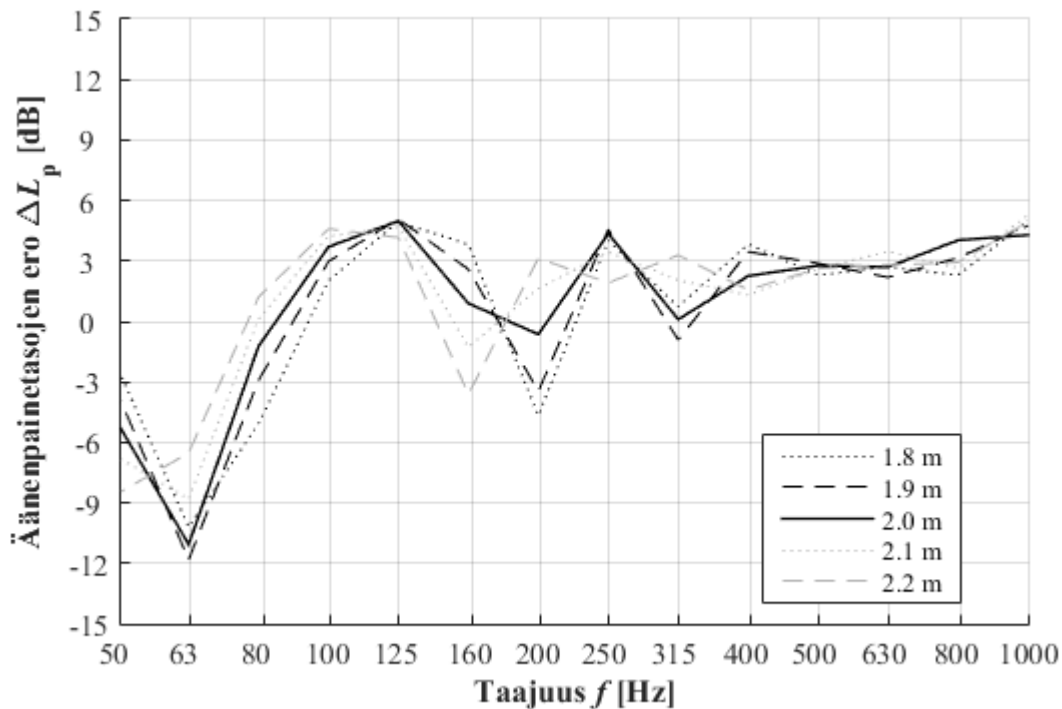


Kuva 5.6. Julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen eri kaiuttimen ja mitattavan julkisivun keskipisteen välisillä avaruuskulmilla, kun mikrofonietäisyys on 2 m.

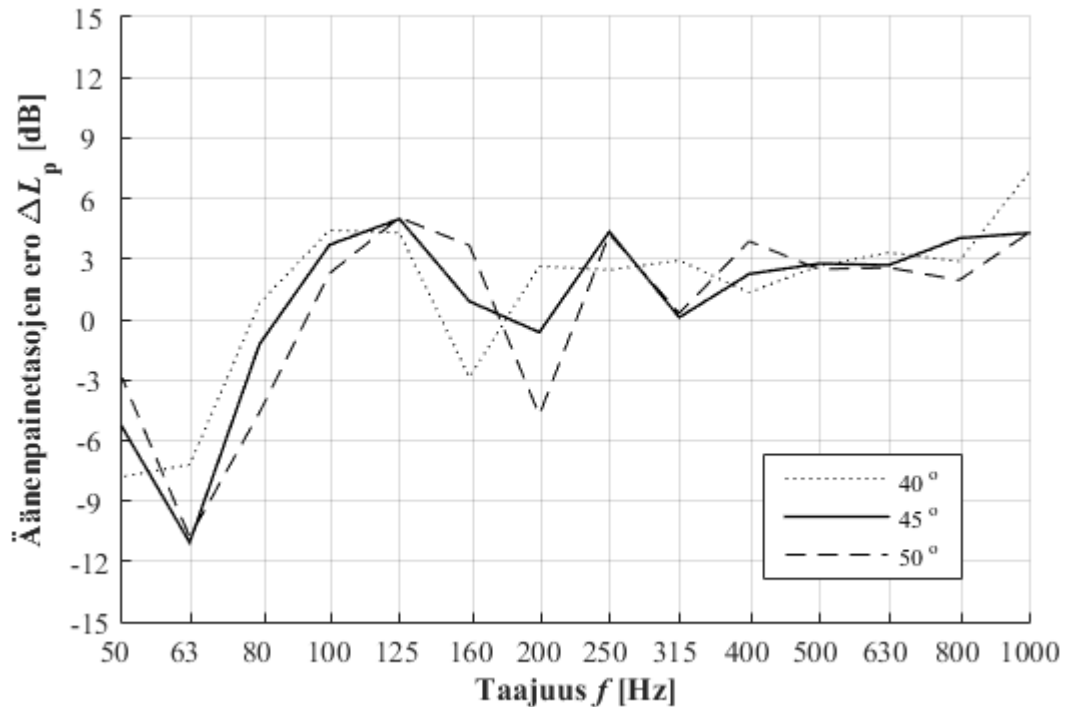


Kuva 5.7. Julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen eri kaiuttimen ja mitattavan julkisivun keskipisteen välisillä avaruuskulmilla terssikaistoin, kun mikrofonietäisyys on 2 m.

Kuten Berardi *et al.* [8] toteavatkin, standardin puitteissa tehtävät sijoittelut ulkona vaikuttavat julkisivuheijastukseen. Lisäksi kävi ilmi, että kaiuttimen sijoitus jalustalle ja vähintään toisen kerroksen julkisivun mittausta muuttaa julkisivuheijastuksen vaikutusta merkittävästi (ainakin laskennallisesti) verrattuna lähteiden [8] ja [45] tarkasteluihin. Sijoittamalla kaiutin maahan ja kauemmas julkisivusta voidaan julkisivuheijastuksen vaihtelua ja vaikutusta pienentää. Kuvissa 5.8 ja 5.9 esitetään tulokset, kun kaiutin on maassa ($h_s = 0,2$ m) ja kaukana julkisivusta ($d_s = 10$ m). Terssikaistaiset vaihtelut pienenevät. Julkisivuheijastuksen arviointi on erittäin herkkä sijoittelulle, ja tähän tulisi kiinnittää huomiota.



Kuva 5.8. Julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen eri mikrofonietäisyyksillä terssikaistoin, kun kaiuttimen ja mitattavan julkisivun keskipisteen välinen avaruuskulma on 45° , kaiuttimen kohtisuora etäisyys julkisivusta on 10 m, ja kaiutin on sijoitettu maahan.



Kuva 5.9 Julkisivuheijastuksen vaikutus suoraan ääneen eri kaiuttimen ja mitattavan julkisivun keskipisteen välisillä avaruuskulmilla terssikaistoin, kun mikrofonietaisyys on 2 m, kaiuttimen kohtisuora etäisyys julkisivusta on 10 m, ja kaiutin on sijoitettu maahan.

Yleensä mittaukset tilassa on suoritettu kiinteillä mikrofoniasteilla siten, että mittaja ei ole itse tilassa [46][49]. Kentällä mittajan on kuitenkin käytännöllistä olla mitattavassa tilassa, jotta mittauksista häiritsevät tapahtumat voidaan tunnistaa ja mittaus tarpeen vaatiessa uusiksi. Kiinteiden mikrofoniasteiden käytössä on riski, että mittaus suoritetaan kohdissa, joissa tilan äänenpainetaso ei jostain syystä kuvaakaan tilan keskimääräistä äänenpainetasoa. Standardi ISO 140-5 [54] lähestyy ongelmaa edellyttämällä vähintään 5 mittauspistettä ja mikrofoniasteiden valinnoissa tiettyjä varoetaisyyskertoja. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää mekaanisesti liikutettavaa mikrofonia. Parvekkeella tuskin aina mahdollista käyttää liikuvaa mikrofonia, jolloin päädytään käyttämään kiinteitä mikrofoniasteita.

Standardiluonnos ISO CD 16283-3 [20] mahdollistaa myös käsin liikuteltavan mikrofonin. Liikuteltavien mikrofonien käyttö voi nopeuttaa mittauksia, ja ne vastaavat yli 5 kiinteän pisteen antamaa tulosta yli 200 Hz taajuuskaistoilla [47]. Kiinteiden mittauspisteiden ja liikuteltavien mikrofonien tulosten välillä voi olla eroa varsinkin pienillä taajuuksilla. Suurimmat erot näiden välillä johtuneet tilassa esiintyvistä destruktiivisista interferenssistä ja tilan äänenpainetasojen vaihtelusta pienillä taajuuksilla (alle 125 Hz) [10][11]. Keskenään eri liikeradat tuottavat samankaltaisia tuloksia, vaikka eroja voi esiintyä pienillä ja suurilla taajuuksilla [10].

Liikennemelun käyttö ei ole aina mahdollista sen puutteen tai liikennevirran epätasaisuuden vuoksi [10][130]. Vastaanottohuoneen taustaaäni on myös vaikeaa mitata, jos liikennettä ei voida pysäyttää [48]. Liikennemelu on yleensä ajallisesti vaihtelevaa, jolloin mittaukset tulee tehdä sisällä ja ulkona samanaikaisesti. Jokaista ulko- ja sisämittauspisteyhdistelmälle mitataan standardin [54] mukainen melutapahtuma. Vaihtelevalle liikennemelulle tämä voi pidentää mittauksen vaatimaa aikaa, eikä ole käytännöllistä, jos yksittäiset melutapahtumat on vaikea toistaa [134]. Kaiutinta pystytään käyttämään vapaammin, mutta mittaus ei välttämättä onnistu kaiuttimen rajallisen äänentuoton takia, jos kaiutin joudutaan sijoittamaan suhteettoman kauas mitattavasta rakenteesta. Tämä rajaa mittaukset helposti alimpiin kerroksiin. Kaiutin tarvitsee myös enemmän tilaa mittauksia varten, jolloin lähellä tietä olevat julkisivut tuottavat haasteita kaiuttimen sijoittamiselle.

Standardi 140-5 [54] mahdollistaa ilmasteneristävyydsmittaukset usealla eri menetelmällä, jotka tuottavat keskenään erilaisia tuloksia [8][48][64][124][159]. Global-menetelmässä suositellaan käytettävän äänilähteenä olemassaolevaa liikennemelua, jolloin mittaus vastaa todellista äänitasoeroa [54]. Lentomelulla mitattu äänitasoeroluku vaikuttaisi tuottavan suurempia tuloksia kuin kaiuttimella mitattu [124][159]. Tielikenteen ja kaiuttimen äänitasoerolukujen ero näyttäisi asettuvan välille ± 2 dB [159]. Element-menetelmällä tuottaa yleensä suurempia ääneneristävyyden arvoja kuin global-menetelmällä [8][64]. Element-menetelmän ilmasteneristysluvun hajonta eri mittauskonfiguraatioilla on suurempi kuin global-menetelmän äänitasoeroluvun [8].

Standardin ISO 140-5 [54] mukaan mitatut äänitasoerot normalisoidaan 10 m^2 vertailuabsorptioalaan tai standardisoidaan $0,5 \text{ s}$ vertailujälkikaiunta-aikaan. Parvekkeilla jälkikaiunta-aika on pidempi kuin $0,5 \text{ s}$ ja tilavuus tavanomaista asuinhuonetta pienempi, joten parvekkeen absorptioala on huomattavasti pienempi kuin 10 m^2 . Normalisointi ja standardisointi perustuvat tyypillisen asuinhuoneen arvoihin, joten parvekkeen ulkovaipan mittaaminen näin johtaisi äänitasoeron suureen yliarviointiin. [73] Parvekkeen kalustus voi vaihdella suuresti, mikä vaikuttaa absorptioalaan ja parvekkeelle muodostuvaan melutasoon.

Pedrero *et al.* [111] ovat mittauksin osoittaneet, että kaiuttimen suuntaavuudella on vaikutusta mitattavaan äänitasoeroon. Vaikutus on merkittävämpi ulkona kuin sisällä mitattavaan äänenpainetasoon homogeenisillä seinillä. Laskennallisesti pinnan tasovaihtelut ovat pienimpiä äänilähteen ollessa pinnan edessä (kohtisuora vaakakulma) ja suurimmillaan, kun äänilähteen etäisyys kauimpana olevaan nurkkaan on suurin. Kaiuttimen suuntaavuudella on yleensä tilannetta huonontava vaikutus. Ideaalinen ympärisäteilevä äänilähde tuottaa pienimmät tasoerot pinnalla, ja ongelmia esiintyy vasta todella suurilla pinnoilla. Bote *et al.* [14] suosittelivat mahdollisimman ympärisäteilevää äänilähdettä, mutta eivät suosittelle käytettävän tyypillistä kaksitoistatahokaslähdettä (engl. dodecahedron source), koska se muuttuu suuntaavaksi

taajuudesta 2 000 Hz alkaen. Tämä on ristiriidassa luonnoksen ISO CD 16283-3 liitteen C [20] kanssa, joka suosittelee käytettävän kyseistä kaiutinjärjestelmää. Koaksiaalikaiutin on laskennallisten tulosten perusteella sopivin tarkastelluista kaiutintyypeistä.

Standardin ISO 140-5 [54] esittämät vaatimukset kaiuttimen suuntaavuudelle eivät kuitenkaan välttämättä ole yksinkertaisia toteuttaa tai edes todentaa [14][15]. Tähän on esitetty ratkaisu lähteissä [14][15]. Bote *et al.* [15] suosittelevat, että laskentamenetelmää käytettäisiin äänilähteen kriteerien tarkasteluun, mutta suosittelevat käytettävän mitattuja (tai tarkkaan mallinnettuja) suuntaavuuksia, koska kaikki äänilähteet eivät välttämättä vastaa täysin teoriaa. Kentällä tehtävä suuntaavuustarkastelu ei ole suositeltava, koska vapaata äänikenttää ei pystytä täysin takaamaan, koska maaheijastusta ei pystytä täysin vaimentamaan kaikilla taajuuksilla. Muista pinnoista tulevat heijastukset vaikuttavat heikentävästi tarkasteltavan pinnan tasoeroihin. [14][15] Ehdotettu verifiointimenetelmä [15] on tarkempi, joustavampi ja toistettavampi kuin ulkona tehtävät suuntaavuustarkastelut.

Standardiluonnoksessa ISO CD 16283-3 [20] esitetään, että julkisivun ilmajärjestävyys alle 100 Hz taajuuskaistoilla alle 25 m³ tiloissa mitattaisiin tekemällä mittauksia myös tilan nurkissa, koska äänikenttä on harvoin diffuusi koko taajuusalueella näin pienillä tiloilla. Parvekkeet lienevät tilavuudeltaan harvoin suurempia kuin 25 m³. Mittaukset nurkista eivät kuitenkaan välttämättä ole tarkoituksenmukaisia parvekkeilla, joiden nurkissa on yleensä rakoja, ja siten äänivuotoja. Hopkins ja Turner [49] suosittelevat vastaanottohuoneessa käytettävän erottavasta rakenteesta kauimpana olevia nurkkia mittauksiin, jolloin parvekelasituksen nurkista mittauksia ei tarvitsisi tehdä. Ulokeparvekkeella raottomia nurkkia ei välttämättä ole yhtään, jolloin pienten taajuuksien mittaus parvekkeella on epävarmaa.

5.6.1 Mittausmenetelmän epävarmuus

Mittausmenetelmään liittyy useita eri epävarmuuksia, joiden suuruudet voivat vaihdella suurestikin kohteiden välillä. Pelkästään standardin eri menetelmät muuttavat lopputulosta [8][11][48][64][124][159]. Julkisivun ääneneristävyysmittauksen epävarmuutta on tutkittu verrattain vähän [80][130], mutta aiheesta suhteellisen tuore tutkimus [130]. Tässä tutkimuksessa [130] 9 eri tiimiä suoritti mittauksen samalle julkisivulle, jossa oli ikkuna. Mitattu ikkuna on 5,2 m korkeudella. Tulosten perusteella käytettäessä nykyistä epävarmuusstandardia ISO 12999-1 [52] julkisivumittauksen epävarmuus aliarvioidaan. Tämä on erityisen suurta alle 100 Hz taajuuskaistoilla. Äänitasoeron standardisointi asuinhuoneen jälkikaiunta-aikaan myös kasvattaa epävarmuutta alle 100 Hz taajuuskaistoilla johtuen jälkikaiunta-aikamittauksen omasta epävarmuudesta. Epävarmuutta kasvatti tutkimuksessa myös mitattavan rakenteen eri rajataajuudet. Toisaalta, pienten taajuuksien sisällyttäminen tai poistaminen ei vaikuttanut juurikaan lopullisen mittaluvun epävarmuuteen. Pienten taajuuksien mittaamisesta ei siis tässä tapauksessa ole merkittävää hyötyä. [130]

Valitettavasti tutkimuksessa [130] ei esitetä suoraan äänitasoerolle $D_{1s,2m}$ ja tämän mittaluvuille epävarmuuksia, mutta koska jälkikaiunta-aikaan standardisoidun äänitasoeron epävarmuus on suurempi kuin painottamattoman äänitasoeron, sitä käyttämällä ollaan ainakin varmallalla puolella arviossa. Lähteen [130] kuvaajan 7 perusteella jälkikaiunta-ajan vaikutus on myös suhteellisen pientä taajuusalueella 100...3150 Hz. Taulukossa 5.1 esitetään toistettavuuden (engl. repeability) ja in-situ keskihajontojen keskiarvot s_r ja s_{situ} mittaluvulle $D_{1s,2m,nT}$. Toistettavuus kuvaa tilannetta, jossa mittaussijainti, koekappale, mittaaja ja mittauskalusto pysyvät samana. In-situ kuvaa tilannetta, jossa mittaussijainti ja koekappale pysyvät samana, mutta mittauksia suorittavat eri mittaajat omilla mittauskalustoillaan. Taulukossa 5.2 esitetään mittauksista mittaluvuille lasketut epävarmuudet standardin ISO 12999-1 [52] mukaisella menetelmällä, kun oletetaan täysi korrelaatio terssikaistaisten ääneneristävyyksien välillä (epävarmuuden maksimiarvo). Taajuusalueen laajennus kasvattaa epävarmuutta enemmän käytettäessä tieliikennemelun kuin raide- tai lentomelun spektripainotustermiä [130]. Tämä johtunee standardoidun tieliikennemeluspektrin pienten taajuuksien ylikorostamisesta [41]. In-situ-epävarmuudet ovat suurempia kuin standardissa ISO 12999-1 [52] esitetyt.

Taulukko 5.1. Lähteessä [130] esitetyt keskihajontojen keskiarvot toistettavuudelle ja in-situ epävarmuuksille standardisoidulle äänitasoerolle $D_{ls,2m,nT}$. Koekappaleena ollut julkisivu, jossa on ikkuna.

f [Hz]	S_{situ} [dB]	S_r [dB]
50	4,2	1,8
63	4,8	2,1
80	3,4	2
100	1,6	1
125	1,5	1,1
160	2,6	1,1
200	1,5	0,7
250	2,1	0,7
315	1,7	0,6
400	1,8	0,5
500	1,4	0,7
630	1,5	0,6
800	1,5	0,5
1000	1,6	0,5
1250	2,3	0,4
1600	0,6	0,3
2000	1,5	0,2
2500	1,4	0,6
3150	1,5	0,4
4000	1,3	0,2
5000	1,3	0,7

Taulukko 5.2. Lähteessä [130] esitetyt epävarmuudet spektripainotetuille äänitasoeroluville eri taajuusalueilla.

Taajuusalue	Mittaluku	S_{situ} [dB]	S_r [dB]
100–3150	$D_{ls,2m,nT,w} + C$	1,6	0,5
	$D_{ls,2m,nT,w} + C_{tr}$	1,7	0,6
50–5000	$D_{ls,2m,nT,w} + C$	1,5	0,5
	$D_{ls,2m,nT,w} + C_{tr}$	1,9	0,7

Tulosten perusteella mittaluvun toistettavuuden epävarmuus on < 1 dB, kun mittauksen suorittaa sama henkilö samalla mittauskalustolla. Epävarmuus on < 2 dB, kun mittajaat ja mittauskalustot muuttuvat. Jälkimmäisen voitaisiin ajatella kuvaavan mittausepävarmuutta kenttämittauksissa, jossa eri konsulttitoimistot suorittavat mittauksia. Esitetyt epävarmuudet tosin perustuvat julkisivuun, jossa on ikkuna, eikä suoraan lasitettuun parvekkeeseen. Ilmeisesti mitattavan rakenteen eri rajataajuudet

kasvattavat epävarmuutta varsinkin, kun mittaaaja ja mittauskalusto vaihtuvat [130]. Tämä voinee johtua kaiuttimen vaihtumisesta, kaiuttimen ja mikrofonin sijoituksen muuttumisesta, jolloin äämentulokulma ja julkisivuheijastus muuttuvat. Lasitetussa parvekkeessa nämä rajataajuudet voivat olla merkittäviä johtuen suuresta lasipinta-alasta ja profiilien sekä rakojen ominaistuuksista. Lasitetun parvekkeen ääneneristävyysmittauksen epävarmuudesta ei siis ole tietoa. Julkisivumittauksissa yleensä voidaan kuitenkin harkita käytettävän esitettyjä keskihajontoja.

5.7 Ulkopuoliseen äänikenttään tehtävät korjaukset

Ulkopuoliseen äänikenttään vaikuttavien tekijöiden vaikutusta on tutkittu laajalti. Korjausten suuruutta ja mittauspisteiden eroja on tutkittu niin ennustemallein että mittauksin. [7][8][10][16][32][45][51][85][100][114] Tutkimuksissa on käytetty äänilähteenä kaiutinta tai liikennemelua. Ulkona tehtävät mittaukset suoritetaan yleensä joko suoraan rakennusosan pinnalta tai standardien määrittelemällä etäisyydellä rakennusosan pinnasta.

Teoriassa heijastuksen aiheuttama äänenpainetaso kasvu täydellisesti heijastavalla pinnalla on 6 dB (paine kaksinkertaistuu) [85][114], koska vaihe-eroa ei synny itse heijastuksesta ja aaltojen kulkemat matkat ovat teoriassa yhtä suuret. Äänenpainetasoa ei kuitenkaan yleensä voi mitata suoraan julkisivun pinnalta, jolloin mittausetäisyyttä rajoittaa mikrofonin koko. Julkisivu on myös harvoin täydellisesti heijastava, jolloin virhe ideaaliseen arvoon kasvaa. [45][85]

Heijastavan pinnan lähellä pyritään määrittelemään tilanne, jossa äänenpainetaso kasvaa keskimäärin 3 dB suoraan ääneen verrattuna (energia kaksinkertaistuu) [56][114]. Oletuksena kuitenkin on, että ääni on laajakaistaista ja yhdistyvien äänien vaihe-erot jakautuvat 0...360 asteen alueelle [114]. Jotta tilanteeseen päästään, rajataan äänilähteen ja mittauspisteen sijaintoja. [5][54][56] Yleensä etäisyytenä julkisivusta on käytetty 2 metriä [32].

Korjauksen suuruuteen ottaa kantaa standardi ISO 1996-2:2007 [56], jonka mukaan julkisivun pinnalla vallitsevaan äänenpainetasoon tehdään 6 dB ja 2 metrin etäisyydellä 3 dB korjaus. Nämä pätevät standardin [56] mukaan ideaalisille tapauksille, ja eroja saattaa esiintyä kohteesta riippuen. Standardi EN 12354-3:2000 [22] ottaa epäsuorasti kantaa korjauksen suuruuteen esittämällä, että kahden mittauspisteen ero äänenpainetasossa on 3 dB ideaalisessa tapauksessa. Standardissa ISO 140-5 [54] ja standardiluonnoksessa ISO CD 16283-3 [20] oletetaan paineen kaksinkertaistuminen mitattavalla pinnalla, jolloin asianmukainen korjaus sisältyy näennäisen ilmaääneneristävyuden kaavaan [48]. Standardissa ASTM E966:2010 [5] esitetään samat periaatteelliset korjaukset, mutta standardin mukaan korjausten suuruudet on havaittu olevan pienemmät (5 dB ja 2 dB). Pienemmät korjausarvot perustuvat lentomelulla tehtyihin kenttämittauksiin [16], jotka eivät välttämättä päde muille

äänilähteille. Vaihtelu itse lentomelun kenttämittauksissakin oli suurta. Aiemmissa standardin ASTM E966 versioissa korjauksen suuruutena on käytetty korjausten arvoja 6 dB ja 3 dB [8].

Pohjoismaissa käytettävä liikennemelun ennustemalli ”Nordic Prediction Method” [120] esittää, että yli 0,5 metrin etäisyydellä pystysuorasta pinnasta, yksi heijastus aiheuttaa 3 dB äänenpainetason kasvun suoraan ääneen verrattuna. Julkisivulla äänenpainetason kasvu on 6 dB. [120] Mallissa otetaan kantaa myös maaheijastuksen, etäisyyden ja viereisten rakennusten aiheuttamiin korjauksiin. Toinen liikennemelun laskentamalli [18] esittää, että yhden metrin päässä julkisivusta tehtäisiin 2,5 dB korjaus, mutta korjauksen suuruuteen vaikuttaa suuresti liikennemelun spektri, julkisivun koko, etäisyys tiestä ja äänen tulokulmasta. [101]

Lewis [85] esittää, että ideaalisella, täysin heijastavalla pinnalla korjauksen suuruus on 6 dB. Mikrofonin pinta-asennuksen vaikutusta tarkastellaan laskennallisesti, ja mittauksissa käytetylle puolen tuuman mikrofonille esitetään korjauksen suuruudeksi 6 dB taajuuskaistaan 3150 Hz asti. Lasipinnalla mitattaessa pinnan tuoman virheen voi jättää huomiotta, koska lasi on erittäin sileä ja jäykkä pinta. Pienillä taajuuksilla korjaus on tarkoituksenmukainen. [85]

Hall *et al.* [32] mittasivat äänenpainetasoja julkisivun pinnalta ja 2 metrin päässä julkisivusta 33 talolle, ja tutkivat eri mikrofonisijaintien eroja. Äänilähteenä käytettiin olemassa olevaa tieliikennettä, ja mittaustuloksia verrattiin laajennetun viivalähteen laskentamalliin. Tutkimuksessa tarkastelu rajattiin taajuusalueeseen 40...2000 Hz, koska mikrofonit antoivat epävarmoja tuloksia yli 2000 Hz taajuuksilla. Tulokset tukevat teorian mukaista 3 dB eroa mittauspisteiden välillä taajuuksilla 200...2000 Hz. Alle 200 Hz taajuuksilla ero vaihtelee [32]. Mittauspisteiden kokonaisäänitasojen eron keskiarvo oli 3,2 dB eli kokonaisäänitasojen tapauksessa tutkimus tukee 3 dB korjausta.

Quirt [114] tutki kehittämänsä ennustemallia äänikentän ratkaisuun lähellä julkisivuja mittauksin kaiuttomassa tilassa ja sileällä kiviseinällä ulkona. Kaiuttomassa tilassa tehdyissä mittauksissa käytettiin pinta-alaltaan 7,2 x 4,8 m² kokoista vaneriseinää, jonka läpi asennettiin mikrofoni, jotta äänenpainetaso saadaan mitattua mahdollisimman lähellä pintaa. Äänenpainetasot mitattiin myös lähellä pintaa (3...100 mm pinnasta). Ulkona mittaukset tehtiin 2 metrin etäisyydellä julkisivusta ja mikrofoni sijoitettuna julkisivun pinnalla. Kaiutin sijoitettiin maahan 25 m päähän julkisivusta. Tulosten perusteella 3 ja 6 dB korjaukset eivät ole riittäviä kuvaamaan kaikkia mittaustilanteita, ja interferenssi tulisi ottaa huomioon. Kuitenkin paineen kaksinkertaistuminen (6 dB korjaus) todettiin monissa mittauksissa tasaisille pinnoille. Liikennemelun kohdalla energian kaksinkertaistuminen (3 dB korjaus) on kohtuullinen arvio johtuen useasta äänen tulokulmasta, mutta kaiutinta käytettäessä se ei ole enää tarkoituksenmukainen. [114]

Bradley ja Chu [16] tutkivat julkisivun ilmaääneneristävyyden mittauksen epävarmuutta käyttämällä lentomelua. Mittauksia suoritettiin julkisivun pinnalla ja kahden metrin päässä julkisivusta. Maan impedanssin vaikutusta tutkittiin kaiuttomassa huoneessa. Mittausten ja laskennallisten tarkastelun perusteella maan impedanssilla on suuri vaikutus mitattavaan äänenpainetasoon pienillä taajuuksilla, kun kyseessä on lentomelu. Lisäksi äänilähteen pystysuoralla kulmalla mittauspisteeseen nähden havaittiin olevan suuri vaikutus äänenpainetasoihin. Pystysuoran kulman (äänilähteen ja mittauspisteen korkeuseron) pienentyessä julkisivun pinnalta ja vapaassa kentässä mitattujen äänenpainetasojen ero kasvaa lähelle teorian mukaista 6 dB arvoa, jos maan vaikutus jätetään huomiotta. [16]

Memoli *et al.* [100] tutkivat laskennallisesti ja mittauksin heijastusten vaikutusta korjausten suuruuteen, kun äänilähteenä on tieliikenne. Mittaukset suoritettiin julkisivun pinnalla käyttäen taustalevyyn kiinnitettyä mikrofonia ja 0,5 m, 1,0 m ja 2,0 m etäisyyksillä julkisivusta. Vapaan kentän arvo määritettiin samoilla kohtisuorilla etäisyyksillä julkisivusta, mutta pois rakennuksen läheisyydestä. ”Vapaan” kentän mittauspisteen tarkkaa sijaintia ei esitetä. Tulosten perusteella julkisivun pinnalta mitattu äänenpainetaso riippuu mikrofoniin kiinnitystavasta. Toisaalta julkisivun läheltä mitattu äänenpainetaso riippuu ympäristöstä ja mikrofoniin kiinnitystavasta. Julkisivun lähellä tulisi käyttää mikrofoniin ja äänilähteen etäisyyksien suhteesta d/D riippuvaa korjausta. Etäisyysuhteen d/D alle 0,1 arvoilla interferenssi vaikuttaa vahvasti tuloksiin. Memoli *et al.* [100] eivät esitä suoraan johtopäätöksiä korjausten suuruuksista tai pätevistä taajuusalueista, mutta mitattujen korjausten keskiarvoiksi erilaisilla kombinaatioilla esitetään 5,7 dB ja 3,0 dB. Yksittäiset arvot ovat kuitenkin jakaantuneet melko laajalti. [100]

Hopkins ja Lam [45] tutkivat interferenssin ja diffraktion vaikutusta tehtävään korjaukseen laskennallisesti ja laboratoriossa tehdyillä mittauksilla erikokoisilla levyillä. Laskentateorialla pystytään arvioimaan äänilähteen ja tarkastelupisteen sijaintien vaikutusta syntyvään äänenpainetasoon. Malli olettaa, että kaikki pinnat ovat täydellisesti heijastavia, ja ettei vaihe-eroja synny muusta kuin äänen kulkemien reittien eroista. Laskentatulosten ja mittausten vertailulla pyrittiin arvioimaan diffraktion vaikutusta, ja tulokset vastasivat toisiaan melko hyvin, kun käytetty levy oli tarpeeksi suuri. Tarkastelu rajattiin taajuusalueeseen 50...1000 Hz, koska yli 1000 Hz taajuuksilla turbulenssi vaikuttaa syntyvään äänenpainetasoon. Hopkins ja Lam [45] esittävät, että tulosten perusteella taajuuksilla 50...200 Hz energian kaksinkertaistuminen (3 dB korjaus) ei ole aina pätevä johtuen diffraktiosta ja interferenssistä. [45]

Berardi *et al.* [8] tutkivat interferenssin vaikutusta julkisivun ilmaääneneristävyyteen laskennallisesti ja kenttämittauksin kaiuttimella. Laskennallinen tarkastelu perustuu Hopkins ja Lam [8] esittämään teoriaan. Mittauskohde valittiin siten, että se vastaisi mahdollisimman hyvin teorian lähtökohtia: mitattu julkisivu oli lasia, julkisivu oli sileä (ei parvekkeita tai muita tasaisesta pinnasta poikkeavia esteitä) ja ympäröivä maa oli

laatoitettu. Maa ja julkisivu olivat siis hyvin heijastavia. Vapaan kentän äänenpainetaso otettiin samoilla etäisyyksillä äänilähteestä kuin muut mittauspisteet, mutta suunnasta, jossa ei ollut julkisivua. Äänilähteen suora etäisyys julkisivun tarkastelupisteestä (säde) oli 7,78 m. Laskennallinen tarkastelu lähestyy 3 dB korjausta standardin [54] sallimissa mikrofonetäisyyksissä (1,8...2,2 m julkisivusta). Paineen kaksinkertaistuminen on myös laskennallisesti mahdollista standardin sallimissa rajoissa. Kenttämittausten perusteella julkisivun läheltä mitatut erot vapaan kentän ääneen ovat välillä 0...3 dB suurimmalla osasta yli 100 Hz taajuuskaistoilla. Hajonta oli kuitenkin suurta pienillä taajuuskaistoilla, 200 Hz taajuusalueella ja yli 1000 Hz taajuuskaistoilla. Mittausten perusteella ei voida olettaa energian tai paineen kaksinkertaistumista edes melko ideaaliselle kenttämittaustilanteelle, ja julkisivun lähellä havaittiin 2 dB korjausarvo taajuuskaistoilla 400...1000 Hz. [8]

Jagniatinskis ja Fiks [58] mittasivat ympäri vuorokauden vuoden ajan äänenpainetasoja ikkunan pinnalta ja 2 metrin päässä ikkunasta. Äänilähteenä käytettiin olemassa olevaa tieliikennettä, joka sijaitsee 250 metrin päässä tarkastellusta julkisivusta. Artikkelissa ei tarkastella juurikaan korjauksen taajuusriippuvuutta, vaan meluindikaattoriin L_{DEN} tehtäviä korjauksia. Tulosten perusteella tunneittain keskiarvoistettu A-painotettu keskiäänepainetaso $L_{Aeq,1h}$ vaihtelee kellon- ja vuodenajan perusteella. Kuitenkin mittauspisteiden välisen eron keskiarvo koko vuoden ajalta kellonaikoina 6:00 – 18:00 on noin 3 dB. Yöllä ero on pienempi. Johtopäätöksissä esitetään, että 6 dB korjaus on tarkoituksenmukainen mittausten perusteella julkisivun pinnalta mitattuun arvoon ”normaaleissa” sääolosuhteissa [58]. Koska 6 dB korjaus on tarkoituksenmukainen, ja mittauspisteiden välinen ero A-painotetulla keskiäänitasolla on päivällä 3 dB, voidaan päätellä, että 2 metrin päässä mitatulle A-painotetulle keskiäänitasolle voidaan tehdä 3 dB korjaus.

Mateus *et al.* [94] mittasivat äänenpainetasoja noin neljän vuoden ajan ikkunan pinnalta ja julkisivun pinnalta, jota vasten oli heijastava levy. Äänilähteenä käytettiin olemassa olevaa tieliikennettä, jonka etäisyys mittauspisteisiin oli noin 150 metriä. Vapaan kentän äänenpainetaso mitattiin katolta 6,3 metriä julkisivujen mittauspisteiden yläpuolelta. Julkisivulla sijaitsevien mittauspisteiden korkeus maahan oli 15,2 metriä. Tulosten perusteella mikrofonin kiinnitystavalla, tuulen nopeudella ja suunnalla on merkitystä, kun mitataan äänenpainetasoja julkisivun pinnalta. Keskimääräiset, taajuudesta riippumattomat, korjaukset ovat pienempiä kuin teorian 6 dB: riippuen tuulesta ja mittauspisteestä erot ovat 4,0...4,9 dB. Taajuuskaistoilla 31,5...4 000 Hz ero vaihtelee 0...8 dB.

5.7.1 Yhteenveto julkisivukorjauksesta

Aiempien tutkimusten perusteella ulkokenttään tehtävän korjauksen suuruus riippuu äänilähteestä, äänilähteen sijainnista, mikrofonin sijainnista, maasta, parvekkeen mahdollisista reunoista, säästä ja taajuudesta. Yksiselitteistä korjausarvoa, joka pätyisi

kaikkiin tilanteisiin, ei ole mahdollista määrittää. Tähän liittyen on kuitenkin esitetty laskennallinen menetelmä [45], mutta tälläkin on rajoituksensa. Menetelmällä ja mittauksin on kuitenkin osoitettu, että standardin ISO 140-5 [54] toleranssien sisällä korjausten suuruus voi vaihdella taajuuksittain jopa 8 dB [10]. Menetelmää tulisi kehittää siten, että diffraktio ja materiaalin vaikutus heijastuksessa huomioidaan. Taulukossa 5.3 esitetään esiteltyjen tutkimusten johtopäätöksiä. Kaikissa tutkimuksissa ei löydetty pätevää korjaustermiä. Epävarmuutta sisältyy vähintään alle 200 Hz taajuuksilla. Sen sijaan kokonaisäänitasolle $L_{A,eq}$ voidaan useimmissa tapauksissa olettaa teorian mukaiset korjaukset 3 dB ja 6 dB.

Taulukko 5.3. Julkisivuheijastukseen liittyvät korjaukset, pätevyysalueet, käytetyt äänilähteet ja huomioita tutkimuksesta.

Teos	Lähellä julkisivua	Julkisivun pinnalla	Pätevyys	Äänilähde	Huom.
ISO 1996-2:2007	3 dB	6 dB	Kaikki		Mittauspisteiden ero 3 dB.
ISO 12354-3:2000					
ASTM E966:2010	2 dB	5 dB	Kaikki		Korjaus R_{d5} -kaavassa.
ISO 140-5:1998		6 dB	Kaikki		Liikennemelun laskentamalli.
Nordic Prediction Method	3 dB	6 dB	Kaikki		Laskennallinen tarkastelu.
Lewis 1974		6 dB	Taajuuskaistaan 3150 Hz asti		
Hall <i>et al.</i> 1984				Tie	Mittauspisteiden ero 3 dB taajuuksilla 200...2000 Hz.
Quirt 1985	3 dB	6 dB	Tasaiset pinnat, 3 dB liikennemelulle	Kaiutin	Johtopäätöksenä 3 ja 6 dB korjaukset eivät kuvaa kaikki mittaustilanteita.
Bradley ja Chu 2002		Lähestyy arvoa 6 dB		Lento	
Memoli <i>et al.</i> 2008	3 dB	5,7 dB		Tie	Korjaukset arvioitu artikkelin perusteella, mutta näitä ei eritellä.
Hopkins ja Lam 2009	3 dB		Yli 200 Hz taajuudet	Kaiutin	Diffrakto ja interferenssi vaikuttavat pienillä taajuuksilla.
Berardi <i>et al.</i> 2011	0...3 dB		Yli 100 Hz taajuudet	Kaiutin	Korjauksen suuruus vaihteli melko ideaalisellakin rakenteella.
Jagniatinskis ja Fiks 2014	3 dB	6 dB	$L_{A,eq,1h}$, päiväaikaan 6-18	Tie	Jatkuva mittaus vuoden ajan. Mittauspisteiden ero 3 dB, joten saadaan lähikentän korjaukseksi 3 dB.
Mateus <i>et al.</i> 2015		4...4,9 dB	$L_{A,eq}$	Tie	Jatkuva mittaus 4 vuoden ajan.

5.8 Parvekkeilla sovellettavat käytännöt

5.8.1 Mittaukset ulkona

Parvekkeista on olennaista tietää koko parvekerakenteen tuottama äänitasoero sivutiesiirtymiseen, jolloin on tarkoituksenmukaista käyttää standardin ISO 140-5 [54] mukaista global-menetelmää. Element-menetelmän käyttö parvekkeiden mittauksissa ei ole järkevää, koska sivutiesiirtymiä ei oteta tällöin huomioon. Element-menetelmällä saatavat mittaluvut näyttävät myös olevan herkempiä kaiutin- ja mikrofonisijoitteluille [8]. Element-menetelmä muuttuu mittauksiltaan myös raskaaksi, jos mitattavassa rakenteessa on useita eri osia. Pinnoilta mitattava keskiarvo myös kuvaa heikosti parvekkeeseen kohdistuvaa keskimääräistä äänenpainetasoa, koska äänenpainetaso voi vaihdella voimakkaasti parvekkeen vaipalla [48]. Äänenpainetason vaihtelu johtuu äänilähteen sijoittelusta ja rakennusosien eri ääneneristävyyksistä. Raot vaikuttavat parvekkeiden ääneneristävyyteen merkittävästi, mutta mittaukset rakojen päältä eivät välttämättä ole järkeviä. Lasitetuille parvekkeille on perusteltua käyttää pääsääntöisesti global-menetelmää.

5.8.2 Äänilähde

Parvekkeen ääneneristävyyden kannalta kuvaavin äänilähde olisi olemassa oleva liikennemelu, jota suositellaan käytettävän global-menetelmässä [54]. Tällöin mittaustulos kuvaisi suoraan kyseessä olevan parvekkeen ääneneristävyyden asukkaiden kokemaa melua vastaan. Liikennemelun käyttö ei kuitenkaan ole kovin käytännöllistä, joten äänilähteenä suositellaan käytettävän standardiluonnoksen [20] mukaan mahdollisimman ympärisäteilevää kaiutinta, kuten kaksitoistatahokaskaiutinjärjestelmää (engl. dodecahedron). Suuntaavien kaiuttimien käyttöä ei suositella, koska näiden suuntaaminen parvekkeeseen tarkasti voi olla haastavaa, joka voi lisätä mittauksen epävarmuutta. Liikennemelulla ja kaiuttimella mitatut äänitasoerot eivät yleensä vastaa toisiaan, jolloin eri äänilähteillä saadut tulokset ovat vaikeasti verrattavissa. Suositeltavaa on siis käyttää kaiutinta äänilähteenä, koska tämä pystytään useammin ottamaan käyttöön kuin liikennemelu. Kaiuttimen käyttöön äänilähteenä kuitenkin liittyy epävarmuutta varsinkin sijoittelun takia. Epävarmuus laskee, jos taajuuksittaisten arvojen sijaan käsitellään yksilukuarvoja. Pääsääntöisesti siis käytetään niitä. Jos parvekkeessa on useampia lasitettuja sivuja, tulee kaiutin sijoittaa siten, että sillä on suora näköyhteys useampaan kuin yhteen lasisivuun. Sijoitus tehdään siis siten, että kaiutin ”näkee nurkan yli.” Jos parvekkeelle esitetään vaatimus vain yhdelle sivulle, voidaan kaiutin sijoittaa siten, että sillä on suora näköyhteys vain tähän sivuun.

5.8.3 Taajuusalue

Mittauksiin sisältyy epävarmuutta varsinkin alle 100 Hz taajuuskaistoilla [39][130], eikä ulkona vallitsevan äänikentän korjaus ole yksiselitteistä koko taajuusalueella [8][45]. Parvekkeen kokoisilla tiloilla tulisi standardiluonnoksen mukaan tehdä nurkkamittaukset alle 100 Hz taajuuskaistoilla [20]. Nurkista tehtävät mittaukset eivät välttämättä kuvaa oikein parvekkeella vallitsevaa äänikenttää pienillä taajuuksilla äänivuotojen vuoksi. Alle 100 Hz taajuuskaistojen merkitys tieliikennemelun koetussa häiritsevyydessä vaikuttaa myös olevan pieni [43]. Ei ole perusteltua sisällyttää alle 100 Hz taajuuskaistoja parvekkeen meluntorjunnan tarkastelussa, ja mitattavaksi taajuusalueeksi suositellaan käytettävän rakennusakustiikassa normaalisti käytettyä 100...3150 Hz kolmannesoktaavikaistoja.

5.8.4 Ulkopuoliseen äänikenttään tehtävä korjaukset

Ulkona vallitsevan äänikentän korjaus liittyy aina ulkona mitattavaan äänenpainetasoon, eikä suoraan standardien mukaisiin äänitasoeroihin D . Korjauksen suuruus ei ole vakio, ja se riippuu mittausjärjestelyistä sekä taajuudesta. Yksittäisellä taajuudella muutos voi olla jopa 8 dB, kun mittausjärjestelyjä muutetaan. Korjaus tulisi tehdä ulkona vallitsevaan kokonaisäänitasoon $L_{A,eq,u}$, jolla vaihtelu on pienempää kuin taajuuskaistoilla. Tästä ei voida enää johtaa muita mittalukuja. Spektripainotustermien käyttö ei esimerkiksi enää onnistuisi. Taajuuksittain tehty korjaus on epävarmaa jo alle 200 Hz taajuuskaistoilla. Korjauksen suuruudeksi päätetään käytettävän yleisesti käytössä olevaa -3 dB korjausta kokonaisäänitasoon, koska taajuuksittain tehty korjaus on suhteellisen epävarmaa nykyisillä menetelmillä. Kokonaisäänitasoon tehty korjaus vastaa taajuuksittain tehtyä samansuuruisista korjausta (kaava (5.11)):

$$L_{A,eq,u} - 3\text{dB} = 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{A,eq,u,i} - 3\text{dB})/10} \right) \quad (5.11)$$

jossa $L_{A,eq,u,i}$ on A-painotettu äänenpainetaso ulkona taajuudella i . Laskentaa helpottamaan voidaan korjaus tehdä siis myös taajuustasossa, jos käytetään mittaluvulle esitettyä korjaustermiä.

5.8.5 Äänitasoeron $\Delta L_{A,mit}$ laskenta mittauksista

Äänitasoero vastaa kirjallisuudessa [69] esitetyn ulkovaipan äänitasoeron laskentakaavaa mittausarvoista. Edellä esitetään kaavan johtaminen hieman yksityiskohtaisemmin kuin lähteessä [69]. Rakenteen mitattava äänitasoero riippuu ulkona ja sisällä vallitsevista äänitasoista kaavan (5.12) mukaan:

$$\Delta L_{A,\text{mit}} = 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{L_{A,\text{eq},u,i}/10} \right) - 3\text{dB} \\ - 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{L_{A,\text{eq},s,i}/10} \right) \quad (5.12)$$

jossa $L_{A,\text{eq},u,i}$ on ulkona mitattu A-painotettu äänenpainetaso taajuuskaistalla i , $L_{A,\text{eq},s,i}$ on sisällä mitattu A-painotettu äänenpainetaso taajuuskaistalla i . Sisällä vallitseva äänitaso voidaan esittää myös mitatun äänitasoeron D_i avulla (kaava (5.13)):

$$L_{A,\text{eq},s,i} = (L_{A,\text{eq},u,i} - 3\text{dB}) - (D_i - 3\text{dB}) \quad (5.13)$$

Korjaukset tehdään mittausten tapauksessa sekä ulkona mitattuun äänenpainetasoon että mitattuun äänitasoeroon, koska näitä ei standardin ISO 140-5 [54] mukaan korjata. Mitattava äänitasoero on ulkona mitattavan äänitason ja äänitasoeron mukaan (kaava (5.14)):

$$\Delta L_{A,\text{mit}} = 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{L_{A,\text{eq},u,i}/10} \right) - 3\text{dB} \\ - 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{A,\text{eq},u,i} - D_i)/10} \right) \quad (5.14)$$

jossa D_i on mitattu äänitasoero taajuuskaistalla i . Koska mittaukset suoritetaan kaiutinta käyttäen, tulee kaavan (5.14) sijaan käyttää äänitasoeroa liikennemelua vastaan. Jos käytetään standardin ISO 717-1 [57] mukaista referenssispektriä, voidaan äänitasoero valittua liikennemelua vastaan esittää kaavalla (5.15):

$$\Delta L_{A,\text{mit}} = 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i} + \Delta L_j)/10} \right) \\ - 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i} + \Delta L_j - D_i)/10} \right) - 3\text{dB} \quad (5.15)$$

jossa $L_{j,i}$ on valitun referenssispektrin j arvo taajuuskaistalla i ja ΔL_j on referenssikäyrän siirto valittavalle äänenpainetasolle. Referenssispektrin siirto ΔL_j kumoutuu, ja esitetään tässä vain havainnollistamisen vuoksi, koska referenssikäyrissä esitetään vain käyrien muodot. Koska referenssispektri kuvaa liikennemelun tyypillistä spektriä, ei tämän oleteta sisältävän ulkona heijastuksia. Sen sijaan, mitattu äänitasoero sisältää heijastuksia, jota korjataan 3 dB verran. Kaava (5.15) sievenee muotoon (kaava (5.16)):

$$\Delta L_{A,mit} = 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i})/10} \right) - 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i}-D_i)/10} \right) - 3\text{dB} \quad (5.16)$$

Toisaalta, äänitasoeroluku valittua liikennemelua vastaan on (kaava (5.17)):

$$D_w + C_j = -10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i}-D_i)/10} \right) \quad (5.17)$$

jossa C_j on valittu spektripainotusermi. Sijoittamalla kaava (5.17) kaavaan (5.18) saadaan:

$$\Delta L_{A,mit} = 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i})/10} \right) + D_w + C_j - 3\text{dB} \quad (5.18)$$

Jos ensimmäistä termiä kuvataan muuttujalla K_j , muuttuu kaava (5.18) muotoon (kaava (5.19)):

$$\Delta L_{A,mit} = D_w + C_j - 3\text{dB} + K_j \quad (5.19)$$

Referenssikäyrän korjaus K_j riippuu vertailuspektristä. Vertailuspektrit yleensä normalisoidaan siten, että A-painotettu kokonaisäänenpainetaso on 0 dB, jolloin myös korjauksen suuruus on 0 dB. Käyrien pyöristykset kuitenkin aiheuttavat virhettä tähän normalisointitasoon nähden. Standardin ISO 717-1 [57] mukaisille spektreille taajuusalueella 100...3150 Hz ne ovat (taulukko 5.4):

Taulukko 5.4. Standardin ISO 717-1 [57] mukaisten spektripainotusermien korjaukset.

Spektripainotusermi	K_j [dB]
C	0,013
C_{tr}	-0,015

Käytännössä voidaan käyttää mitatulle äänitasoerolle kaavaa (5.20):

$$\Delta L_{A,mit} = D_w + C_j - 3\text{dB} \quad (5.20)$$

Mitoittava tilanne on se, että kalustamattomalla parvekkeella oleskelee yksi ihminen. Siten toteutuneen äänitasoeron $\Delta L_{A,mit}$ mittauksen tulee vastata tätä tilannetta. Lisäksi parvekkeelle mahdollisesti sijoitettava absorptiomateriaalia tulee ottaa huomioon. Näin ollen mitattavia äänitasoeroja ei normalisoida tai standardisoida standardin ISO 140-5 [54] mukaisesti. Kalustetulla parvekkeella tehdyt mittaustulokset normalisoidaan vastaamaan tyhjää parvekettä. Normalisointi lasketaan kaavalla (5.21), ja esitettävä

mittaluku on normalisoitu äänitasoero $\Delta L_{A,mit,n}$. Parveke luetaan tyhjäksi, jos parvekkeen absorptioala koostuu vain yhdestä henkilöstä (mittaaja), meluntorjuntaa varten asennetusta absorptiomateriaalista ja parvekkeen muista kiinteistä osista.

$$\Delta L_{A,mit,n} = \Delta L_{A,mit} - 10 \log_{10} \frac{A}{A_{ref,parv} + S_{abs} \alpha_{abs}} \quad (5.21)$$

jossa A on kalustetun parvekkeen mitattu absorptioala 1/3-oktaavikaistalla 1000 Hz, $A_{ref,parv}$ on tyhjän parvekkeen referenssiabsorptioala (kaava (5.22), katso kappale 6.3.3), S_{abs} on meluntorjuntaa varten parvekkeella olevan absorptiomateriaalin pinta-ala ja α_{abs} on vastaavasti absorptiomateriaalin absorptiosuhde. Meluntorjuntaa varten asennettu absorptiomateriaalin oletetaan olevan tähän tarkoitettua mineraalivillaa. Absorptiosuhteen voidaan olettaa olevan 0,8, jos tarkempaa tietoa asiasta ei ole.

$$A_{ref,parv} = 0,10V + 2,10 \quad (5.22)$$

jossa V on parvekkeen tilavuus.

6. PARVEKKEIDEN KENTTÄMITTAUKSET

6.1 Mittauskohteet

Kohteiden valinnassa tärkein kriteeri oli parvekelasituksen ilmaääneneristävyyden R laboratoriomittausten olemassaolo. Laboratoriomittaustuloksia saattaa olla valmistajalla vain muutama lasitukseen tai ei ollenkaan. Kaidarakenteille ei vaikuta olevan ollenkaan mittaustuloksia. Siksi pyrittiin valitsemaan kohteet, joissa parvekkeen kaiderakenne olisi mahdollisimman tiivis, jotta ääneneristävyytenä voitaisiin käyttää lasin eristävyyttä mahdollisimman pienellä epävarmuudella. Täysin tiiviitä kaiteita ei etsinnän aikana kuitenkaan löytynyt mittauksiin. Seuraavaksi tärkein kriteeri oli tämän sijainti liikennemelualueella. Suurin osa kelpaamattomista kohteista kuitenkin jäi valinnan ulkopuolelle kyseisen parvekelasituksen laboratoriomittausten puuttumisen vuoksi.

Kenttämittaukset suoritettiin viidessä uudiskohteessa, jotka sijaitsevat liikennemelualueilla. Kaikki kohteet olivat uudisrakennuksia, eikä niissä mittausaikana asunut vielä asukkaita. Kohteissa 1..4 melua aiheuttaa tieliikenne ja kohteessa 5 tieliikenteen lisäksi myös raideliikenne. Kaikissa näissä kohteissa on tehty meluselvitys, mutta parvekkeiden meluntorjuntaan otetaan vaihtelevasti kantaa. Jokaisesta kohteesta mitattiin kaksi parvekettä, joiden tietoja esitetään taulukossa 6.1. Parveketyypit saattavat erota näiden rakenneteknisestä määritelmästä:

- Sisäänvedetty parveke = lasitus vain yhdellä sivulla
- Osittainen nurkkaparveke = lasitus kahdella sivulla, joista yksi sivu on lasitettu vain osittain
- Nurkkaparveke = lasitus kahdella sivulla

Parvekkeet sijaitsivat 2. ja 3. kerroksessa mittausteknisistä syistä: kaiuttimella äänentuottokyky ja mittaajalla mikin ulottuma ovat rajallisia.

Taulukko 6.1. Mitattujen parvekkeiden tyypit ja mitat.

Kohde	Parveke	Tyyppi	Kerros	Pituus [m]	Leveys [m]	Korkeus [m]	Tilavuus [m ³]
1	S1	Sisäänvedetty	2	3,19	2,24	2,72	19,4
1	S2	Sisäänvedetty	2	4,48	2,23	2,72	27,2
2	ON1	Osittain nurkka	3	4,13	2,04	2,73	23,0
2	ON2	Osittain nurkka	3	4,13	2,04	2,74	23,0
3	S3	Sisäänvedetty	2	6,52	2,17	2,74	38,7
3	N1	Nurkka	2	6,64	2,16	2,74	39,3
4	ON3	Osittain nurkka	2	4,14	2,00	2,74	22,7
4	ON4	Osittain nurkka	2	4,14	2,01	2,74	22,8
5	N2	Nurkka	2	2,54	1,90	2,77	13,4
5	N3	Nurkka	2	2,55	1,89	2,77	13,4

Jokaisesta kohteesta pyrittiin mittaamaan kaksi samanlaista parvekettä, mutta kohteiden 1 ja 3 kohdalla päädyttiin mittaamaan keskenään erilaiset parvekkeet. Kohteessa 1 molemmat parvekkeet ovat sisäänvedettyjä, mutta parveke S2 on noin 8 m³ suurempi kuin parveke S1. Kohteen 3 parvekkeet ovat melkein yhtä suuria, mutta yksi on sisäänvedetty ja toinen nurkkaparveke. Yhdessäkään kohteessa ei ollut erikseen lisättyä absorptiomateriaalia eikä kalusteita. Kohteissa 1, 2, 3 ja 4 oli ulkoseinän pinnassa puuverhoilu. Kohteessa 5 ulkoseinä oli maalattua betonia. Kohteessa 1 myös parvekepielissä oli myös puuverhoilu. Kaikkien parvekkeiden taustaseinissä oli vähintään yksi ikkuna. Vain kohteen 5 parvekkeissa oli lattialla parvekematto.

Parvekkeiden vaipan rakennusosien pinta-alat ja lasipaksuudet sekä parvekkeisiin kohdistuvat äänitasot ja näistä johdetut äänitasoerovaatimukset esitetään taulukossa 6.2. Parvekelasituksen paksuus oli joko 6, 8 tai 10 mm. Kaikissa parvekkeissa oli lasikaide, jonka paksuus oli joko 8 tai 10 mm. Parvekkeisiin kohdistuvat liikennemelun äänitasot on arvioitu kohteen meluselvityksen perusteella. Kohteiden 2 ja 4 äänitasot on arvioitu melukartan perusteella, eivätkä ole välttämättä täysin tarkkoja arvoja.

Taulukko 6.2. Mitattujen parvekkeiden parvekelasitusten ja lasikaiteiden pinta-alat ja lasipaksuudet sekä parvekkeisiin kohdistuvat äänitasot ja äänitasoero vaatimukset. Äänitasoihin ei sisälly julkisivuheijastusta.

Kohde	Parveke	Parvekelasitus		Lasikaide		Kohdistuvat äänitasot		Äänitasoero vaatimus	
		Ala [m ²]	Paksuus [mm]	Ala [m ²]	Paksuus [mm]	Päivä [dB]	Yö [dB]	Päivä [dB]	Yö [dB]
1	S1	5,2	10	3,4	10	62	-	7	-
1	S2	7,3	10	4,8	10	62	-	7	-
2	ON1	7,9	8	5,3	8	62	57	7	12
2	ON2	7,8	8	5,3	8	62	57	7	12
3	S3	10,6	10	7,3	10	65	57	10	12
3	N1	12,3	10	8,7	10	65	57	10	12
4	ON3	7,8	8	5,4	8	64	57	9	12
4	ON4	7,8	8	5,8	8	64	57	9	12
5	N2	7,5	6	4,1	8	56	51	1	6
5	N3	7,1	6	3,8	8	57	52	2	7

Kohteissa 1 ja 3 kaiteen lasiväleissä oli muoviset välilistat, mutta muissa kaiteiden lasivälit olivat avoimet. Lasivälien määrä kaiteessa vaihteli kohteittain, mutta niitä oli aina vähemmän kuin parvekelasituksessa. Lasivälin leveys vaihteli 2...3 mm. Rakoja esiintyi usein rakenteiden liitoksissa, joista nurkat olivat yleensä avoimia.

6.2 Mittausten suoritus

Mittaukset suoritti A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n akustiikkasuunnitteluyksikkö vuoden 2015 keväällä ja syksyllä, joissa diplomityöntekijä oli itse myös mukana. Mittauksissa käytettiin Norsonic Nor140 äänitasomittaria ja Norsonic Nor276 kaksitoistatahokaskaiutinjärjestelmää ("pallokaiutin"). Mittauksissa käytettiin kappaleessa 5 (ja tarkemmin kappaleessa 5.8) esitettyä standardin ISO 140-5:1998 [54] mukaista menetelmää.

Kohteissa 1 ja 2 suoritettiin äänitasoeromenetelmän [54] lisäksi standardiluonnoksen [20] mukaiset nurkkamittaukset. Näiden tarkoituksena oli arvioida nurkkamittausten soveltuvuutta rakenteille, joissa on rakoja. Kohteissa 2, 3 ja 4 oli olemassa olevaa tieliikennettä, joka vaikeutti mittausten suorittamista alle 100 Hz kolmannesoktaavikaistoilla. Kohteessa 1 tieliikenne oli vähäistä, koska liikennemäärät eivät alueella olleet vielä ennustetuilla tasoilla. Kohteessa 5 tieliikenne oli vähäistä ja raideliikenne ei aiheuttanut suurta melua. Kohteissa 1 ja 2 suoritettiin kaiteen tiiveyden vaikutuksen arvioimiseksi kaikki mittaukset myös kaiderakenteen raot teipattuna. Mittaustulokset esitetään liitteessä A.

6.3 Mittaustulokset

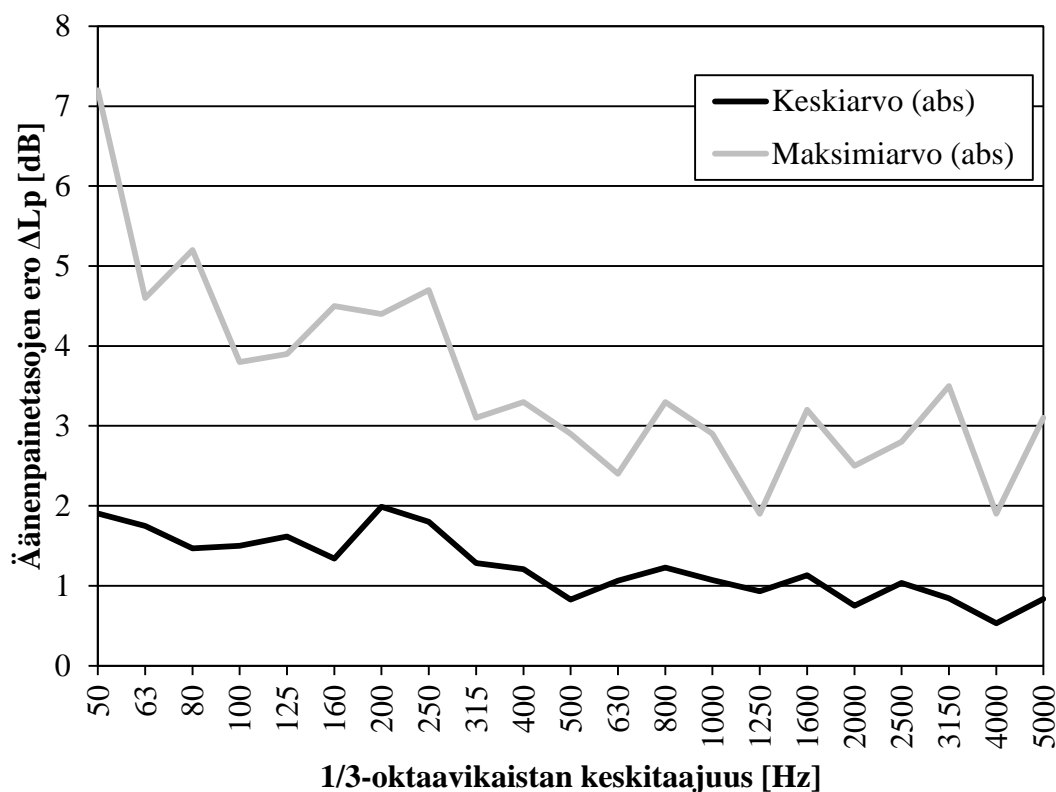
6.3.1 Parvekkeen ulkopuolella mitatun äänenpainetason vaihtelu

Parvekkeen ulkopuolelta mitattiin äänenpainetaso vähintään kahdesta pisteestä. Ensimmäinen mittaus suoritettiin standardin ISO 140-5:1998 [54] mukaisesti 2 metrin päästä lasituksen keskipisteestä ja 1,5 metrin korkeudella parvekkeen lattiatasosta. Lisämittaukset suoritettiin samalla korkeudella, mutta sijaintia vaihdeltiin muilta osin. Lisämittausten sijainteja ei vakioitu suhteessa standardin mukaiseen mittauspisteeseen, mutta ne sijaitsivat kuitenkin noin 20 cm päässä tästä. Siten on järkevää tarkastella vain näiden erojen keskimääräistä arvoa.

Äänenpainetason vaihtelun tuomaa epävarmuutta arvioitiin laskemalla parvekkeen standardipisteen ja lisämittauksen ero. Ero mittausten välillä vaihtelee voimakkaasti mittauspisteen, parvekkeen ja taajuuden mukaan, joten erojen esittäminen yhdessä kuvassa ei ole järkevää. Sen sijaan tarkastellaan erojen itseisarvojen (kaava (6.1)) keski- ja maksimiarvoja, jotka esitetään terssikaistoittain kuvassa 6.1.

$$\Delta L_{p,i} = |L_{p,\text{standardi},i} - L_{p,\text{lisä},i}| \quad (6.1)$$

Eroista käytetään itseisarvoja siitä syystä, että interferenssin vaikutus voi olla vahvistavaa tai vaimentavaa, jolloin keskiarvo itsessään ei välttämättä kuvaisi sitä, miten suuresti lisämittaukset eroavat verrattuna standardipisteeseen. Kuvasta 6.1 huomataan, että alle 315 Hz terssikaistoilla erojen keski- ja maksimiarvot kasvavat. Tämä johtunee destruktiivisen interferenssin alimmasta ominaistaajuudesta, joka sijoittuu näille alueille.



Kuva 6.1. Standardin mukaisen mittauspisteen ja lisämittausten erot ulkona. Eroista laskettiin itseisarvo, joista esitetään keski- ja maksimi-arvot taajuuskaistoittain.

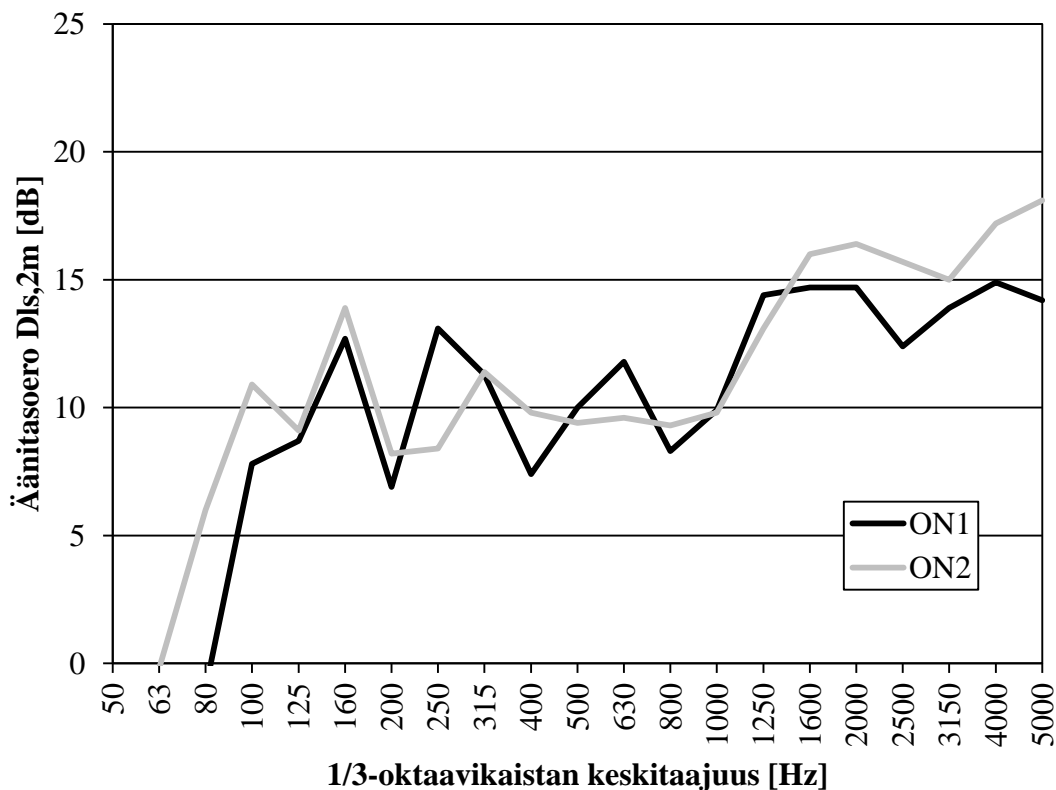
Ulkona mittauspisteen sijainnin määrittämisessä tulee siis olla huolellinen, koska äänenpainetaso voi vaihdella taajuuksittain useita desibelejä. Tärkeää on kuitenkin huomata, että tämä ei ota kantaa parvekkeeseen kohdistuvan ja parvekkeen lähellä (noin 2 metrin päästä) olevan äänenpainetason eroon, vaan siihen, että parvekkeen ulkopuolella äänikenttä vaihtelee melko lähelläkin standardin mukaista mittauspistettä.

Yksi ratkaisu äänenpainetason vaihteluun olisi vaihtoehtoisesti edellyttää useampia mittauspisteitä parvekkeen edestä; käytäntö, jota esiintyy jo standardissa ASTM E966-10e1 [5]. Subjektiiivisesti arvioituna tehtyjen kenttämittausten perusteella ylimääräisten mittausten teko ulkona ei merkittävästi kasvattanut mittausten vaatimaa aikaa, joten näiden lisääminen mittauksiin voisi olla mahdollista. Tällöin suositeltavaa on noudattaa standardin ASTM E966-10e1 [5] linjauksia asiasta.

6.3.2 Kaiuttimen sijoittelu

Kohteissa 2 ja 5 tutkittiin kaiuttimen sijainnin vaikutusta mitattavaan äänitasoeroon. Kohteen 2 parvekkeet ON1 ja ON2 ovat samanlaisia, mutta toistensa peilikuvia. Viereiset rakenteet olivat myös identtisiä. Parvekkeen ON1 kohdalla kaiutin sijoitettiin siten, että sillä oli suora näköyhteys myös lyhyeen lasisivuun. Parvekkeella ON2 kaiutin sijoitettiin siten, että suora näköyhteys oli vain tienpuoleiseen, pitkään lasisivuun. Siten lyhyelle sivulle ei välttämättä kohdistunut yhtä paljon ääntä kuin parvekkeelle ON1.

Ulkona äänenpainetasot mitattiin vain pitkän lasisivun edestä, koska lyhyemmän sivun puolella ei ollut tilaa sijoittaa mikrofonia. Kuvassa 6.2 esitetään parvekkeiden ON1 ja ON2 äänitasoerot $D_{ls,2m}$. Suurimmat erot mittauksessa esiintyvät paikallisissa kuopissa keskitaajuuksilla 400 ja 800 Hz sekä yli 1250 Hz keskitaajuuksilla. Näitä käyriä vastaavat äänitasoeroluvut esitetään taulukossa 6.3. Osittaisen nurkkaparvekkeen mittauksessa äänilähteen sijainti vaikuttaa tieliikennemelulla painotettuun äänitasoerolukuun verrattain vähän. Äänitasoerolukujen ero on noin 0,7 dB. Näin pienet erot voivat selittyä myös mittausepävarmuudella ja rakentamisesta johtuvan virheen tai eron perusteella, joten voidaan todeta, ettei äänilähteen sijainti välttämättä vaikuta merkittävästi osittaisen nurkkaparvekkeen tapauksessa, kun käsitellään mittalukuja.



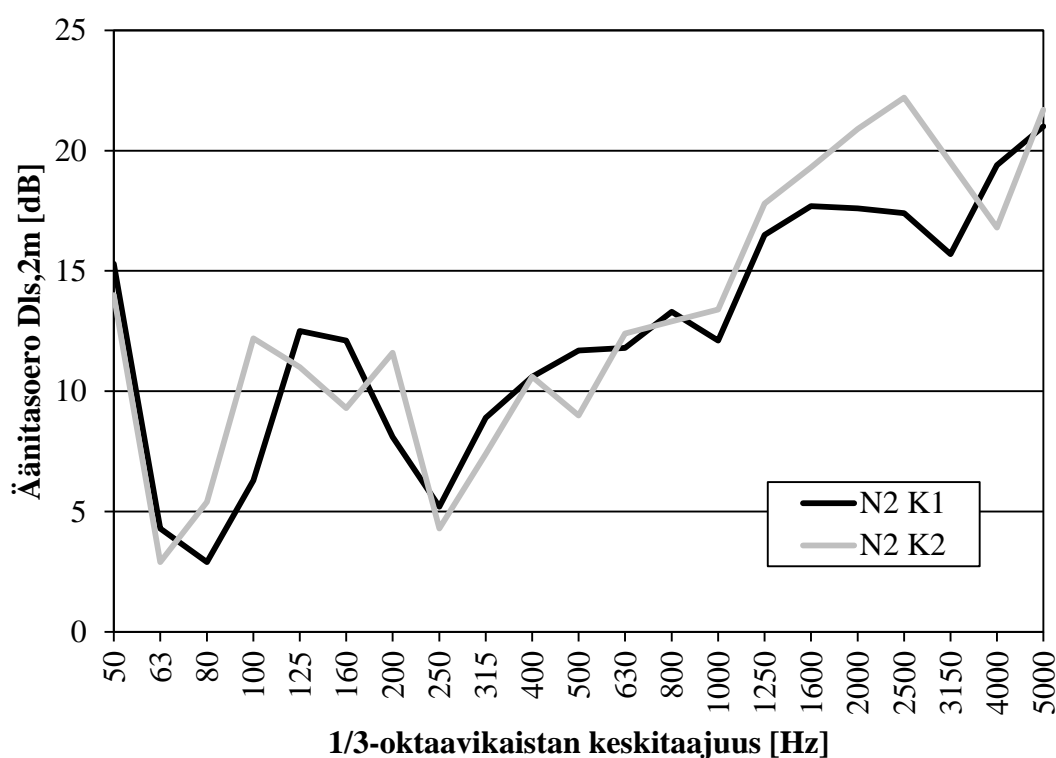
Kuva 6.2. Samanlaisten parvekkeiden ON1 ja ON2 äänitasoerot $D_{ls,2m}$, kun kaiutinsijoittelu parvekkeen suhteen on eri.

Taulukko 6.3. Parvekkeiden ON1 ja ON2 äänitasoeroluku $D_{ls,2m,w}$ ja tämän spektripainotustermeillä painotetut arvot.

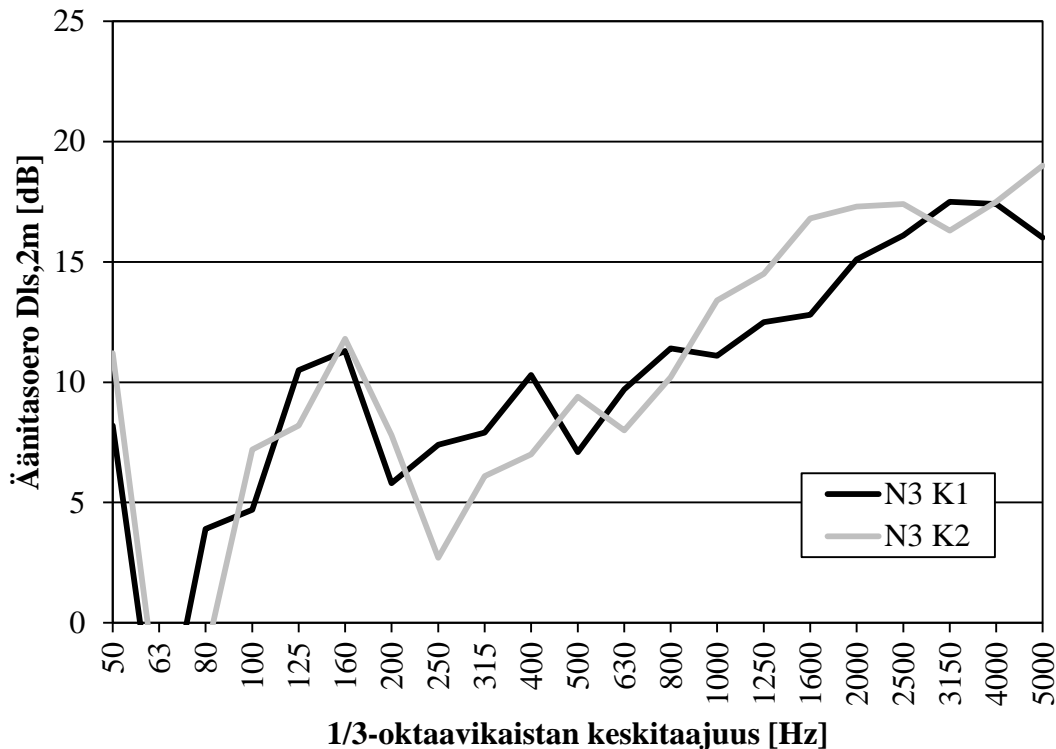
Parveke	$D_{ls,2m,w}$ [dB]	+ C [dB]	+ C_{tr} [dB]
ON1	12,4	11,7	10,8
ON2	13,1	12,2	11,0

Kohteessa 5 mitattiin kaksi nurkkaparvekettä, joista yksi sivu oli suoraan raideliikennettä päin ja toinen sivu sisäpihalle tai tieliikennettä päin. Mittaukset

suoritettiin kummallekin sivulle erikseen. Parvekkeella N2 kaiutin sijoitettiin siten, että sillä oli suora näköyhteys vain tarkastelun alla olevaan sivuun. Parvekkeella N3 kaiutin sijoitettiin siten, että sillä oli suora näköyhteys molempiin sivuihin. Kuvassa 6.3 esitetään parvekkeen N2 eri kaiutinpisteiden äänitasoerokäyrät. Kuvassa 6.4 esitetään parvekkeen N3 eri kaiutinpisteiden äänitasoerokäyrät. Äänitasoerot kaiutinpisteiden välillä eroavat eniten yli 1000 Hz keskitaajuuksilla kummallakin parvekkeella, vaikka eroa on myös muillakin taajuuskaistoilla. Jos parvekkeen eri sivut ovat keskenään samankaltaisia, eroa on oletettavasti vähän. Taulukossa 6.4 esitetään näitä mittauksia vastaavat mittaluvut. Taulukosta nähdään, että mittaluvut eroavat kaiutinpisteiden välillä kohdalla vähän, vaikka taajuuksittain eroa löytyy. Parvekkeiden N2 ja N3 välillä kuitenkin eroa on noin 2 dB. Parvekkeet ovat käytännössä samanlaisia, joten näin suuri ero tuskin selittyisi pelkästään rakentamisen tuomalla virheellä.



Kuva 6.3. Parvekkeen N2 kaiutinpisteiden 1 ja 2 äänitasoerot.



Kuva 6.4. Parvekkeen N3 kaiutinpisteiden 1 ja 2 äänitasoerot.

Taulukko 6.4. Parvekkeiden N2 ja N3 äänitasoeroluku $D_{ls,2m,w}$ ja tämän spektripainotustermeillä painotetut arvot.

Parveke	$D_{ls,2m,w}$ [dB]	+ C [dB]	+ C_{tr} [dB]
N2 K1	14,7	13,8	12,2
N2 K2	15,2	14,2	12,3
N3 K1	12,9	11,9	10,6
N3 K2	13,0	12,0	10,3

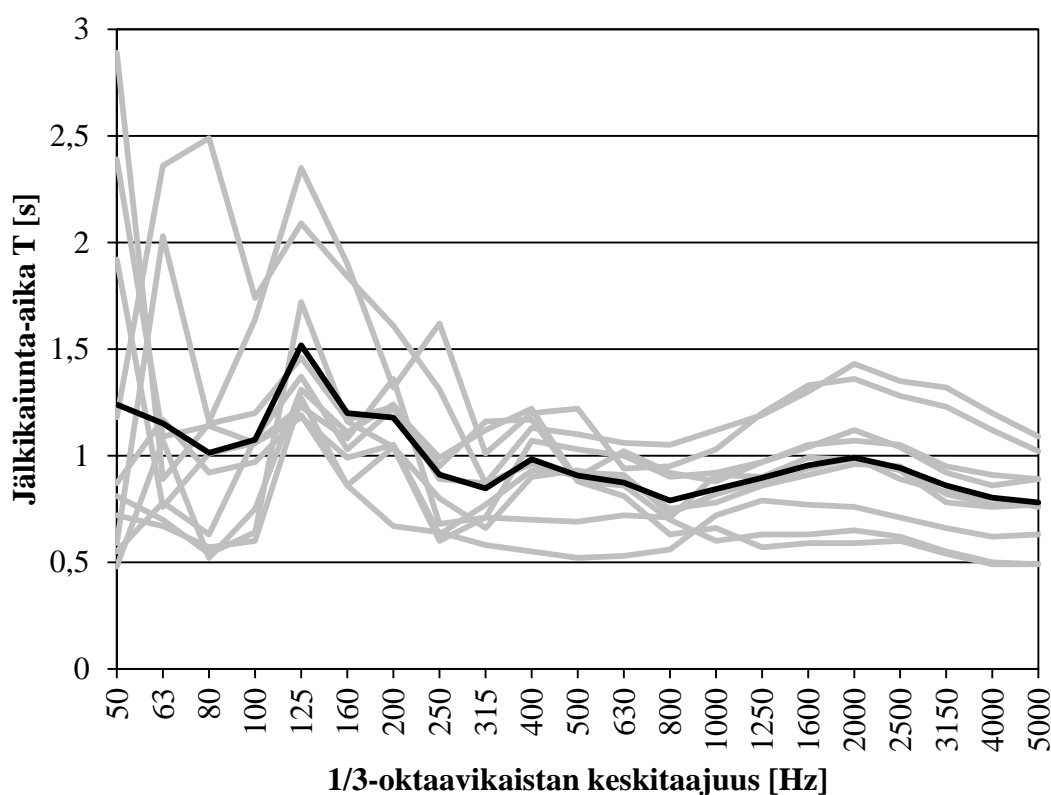
Kenttämittausten perusteella kaiutinsijoittelulla voi olla vaikutusta mitattavaan äänitasoeroon. Mittauksissa kaiutin sijoitettiin standardin mukaiseen pisteeseen, joka oli vähintään 5 metrin etäisyydellä mitattavasta pinnasta ja siten, että kaiutin ja mitattavan pinnan keskipiste muodostivat 45° kulman mitattavan pinnan keskipisteen normaaliin nähden. Mittauksilla ei siis arvioitu eri kulmien käyttöä vaan lähinnä useampisivuisen parvekkeen mittausta. Tulosten perusteella tulisi kaiutin sijoittaa mittauksissa siten, että sillä olisi suora näköyhteys molempiin mitattaviin sivuihin. Tämä ei kuitenkaan kaikilla parvekkeilla ole mahdollista esimerkiksi piharakennusten vuoksi, jolloin mittaus luultavasti yliarvioi parvekkeen vaipan äänitasoeroa.

6.3.3 Parvekkeiden jälkikaiunta-aika ja absorptio

Kaikki mitatut parvekkeet olivat tyhjiä, eikä niissä ollut lisättyä absorptiomateriaalia. Kohteissa 1, 2, 3 ja 4 oli ulkoseinän pinnassa puuverhoilu. Kohteessa 5 ulkoseinä oli maalattua betonia. Kohteessa 1 parvekepielissä oli myös puuverhoilu. Kaikkien parvekkeiden taustaseinissä oli vähintään yksi ikkuna. Vain kohteen 5 parvekkeissa oli lattialla parvekematto. Mittausten aikana parvekkeella oli yksi henkilö (sama mittaaja jokaisella parvekkeella). Kuvassa 6.5 esitetään parvekkeiden mitatut jälkikaiunta-ajat ja näiden keskiarvo. Parvekkeiden välillä vaihtelua on reilusti kaikilla taajuuksilla. Vaihtelu on suurempaa pienillä kuin suurilla taajuuksilla. Taajuuskaistalla 125 Hz näkyy selvä piikki jälkikaiunta-ajassa kaikilla parvekkeilla. Tämän taajuuskaistan ala- ja ylärajataajuudet ovat vastaavasti 112 Hz ja 141 Hz, joita vastaavat aallonpituudet ovat (kaava (6.2)):

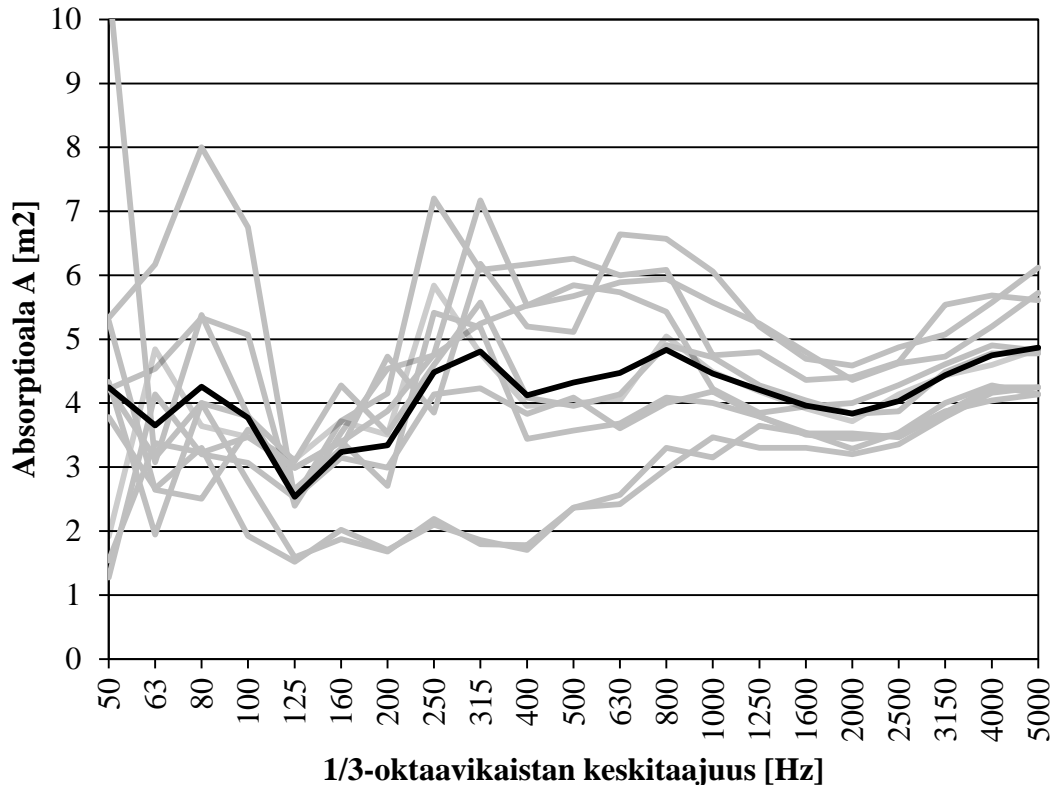
$$\lambda = \frac{c}{f} = \begin{cases} 3,06 \text{ m, kun } f = 112 \text{ Hz} \\ 2,43 \text{ m, kun } f = 141 \text{ Hz} \end{cases} \quad (6.2)$$

Tähän väliin asettuu kaikilla parvekkeilla parvekkeen korkeus, joka on suurin piirtein 2,7 metriä kaikilla parvekkeilla. Lattia ja katto ovat yleensä myös erittäin heijastavia betonipintoja, joten äänen voidaan olettaa heijastuvan niiden välillä vahvasti. Tämä näkyykin mittaustuloksissa.



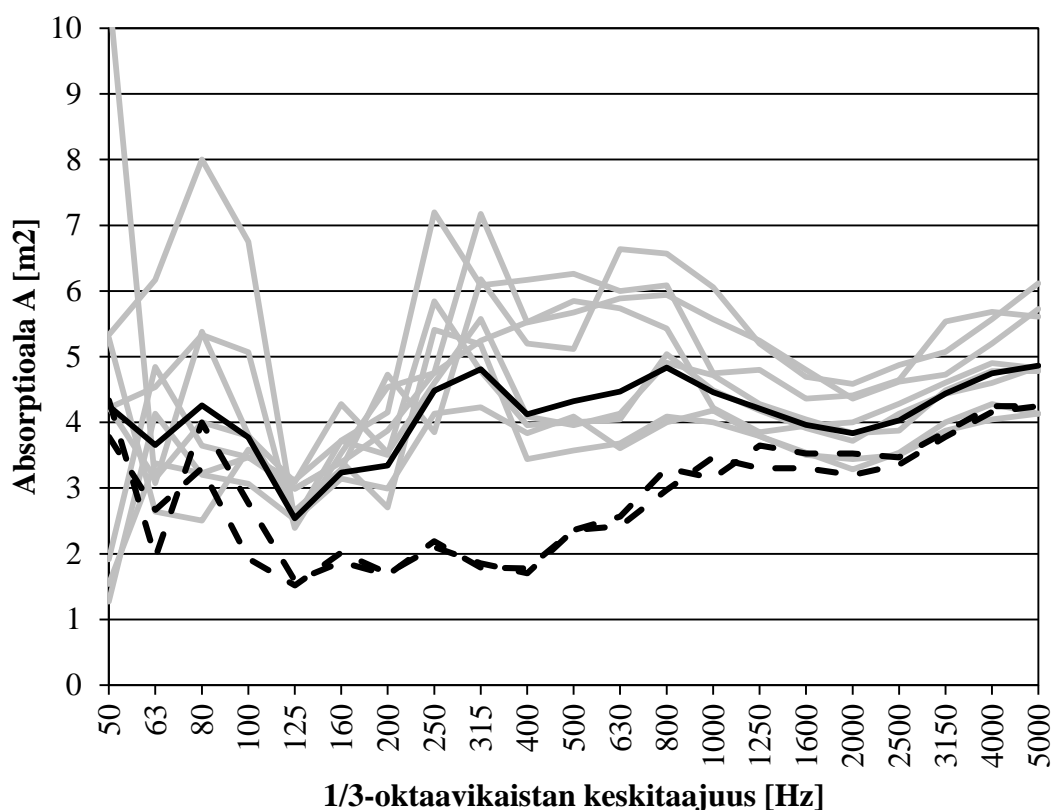
Kuva 6.5. Parvekkeiden mitatut jälkikaiunta-ajat (harmaat viivat) ja näiden keskiarvo (musta viiva).

Parvekkeiden tilavuuksien ja jälkikaiunta-aikojen perusteella laskettiin parvekkeen arvioitu absorptioala taajuuskaistoin yleisesti käytetyllä Sabinen kaavalla. Lasketut absorptioalat esitetään kuvassa 6.6. Absorptioaloissa voidaan tehdä sama huomio kuin jälkikaiunta-aikojen tapauksessa: keskitaajuudella 125 Hz esiintyy nyt kuoppa (vähän absorptiota), ja vaihtelu parvekkeiden välillä on pientä. Tämä viittaa vahvasti huonekorkeuden aiheuttamaan moodiin.



Kuva 6.6. Parvekkeiden mitatut absorptioalat (harmaat viivat) ja näiden keskiarvo (musta viiva).

Kuvasta 6.6 erottuu kaksi käyrää, joilla absorptiota on selvästi vähemmän kuin muilla mitatuilla parvekkeilla. Nämä käyrät on eroteltu mustalla katkoviivalla kuvassa 6.7. Nämä ovat nurkkaparvekkeet N2 ja N3, joiden tilavuus on melko pieni: noin 13 m³. Pieni tilavuus laskee absorptioalan myös merkittävästi pienemmäksi, vaikka jälkikaiunta-aika ei olisi merkittävästi erilaisempi kuin muilla parvekkeilla.

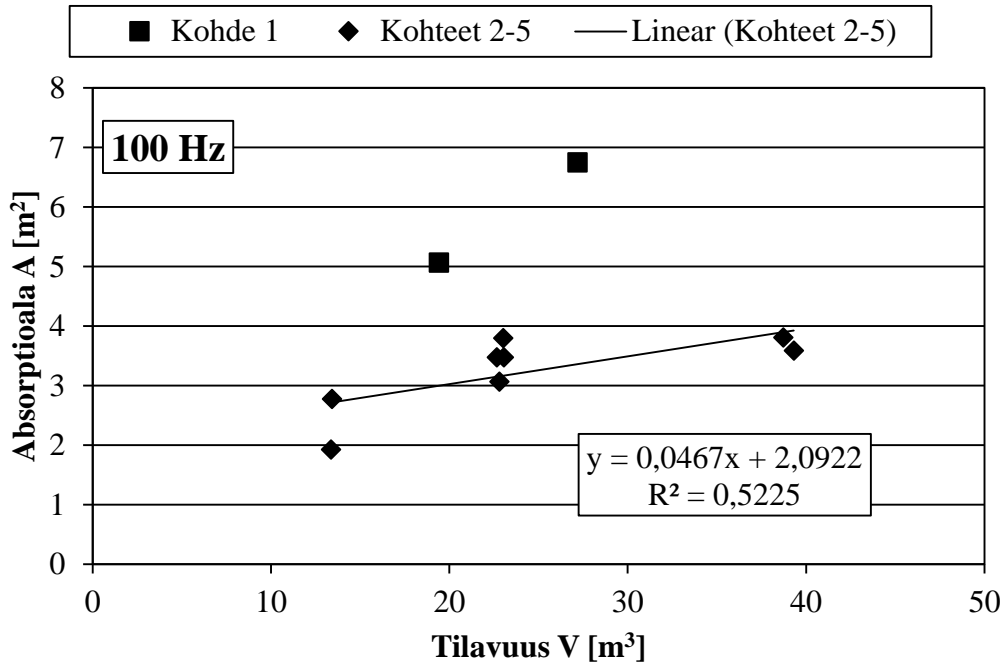


Kuva 6.7. Parvekkeiden mitatut absorptioalat (harmaat viivat) ja näiden keskiarvo (musta viiva). Nurkkaparvekkeet N2 ja N3 eroteltu joukosta (musta katkoviiva).

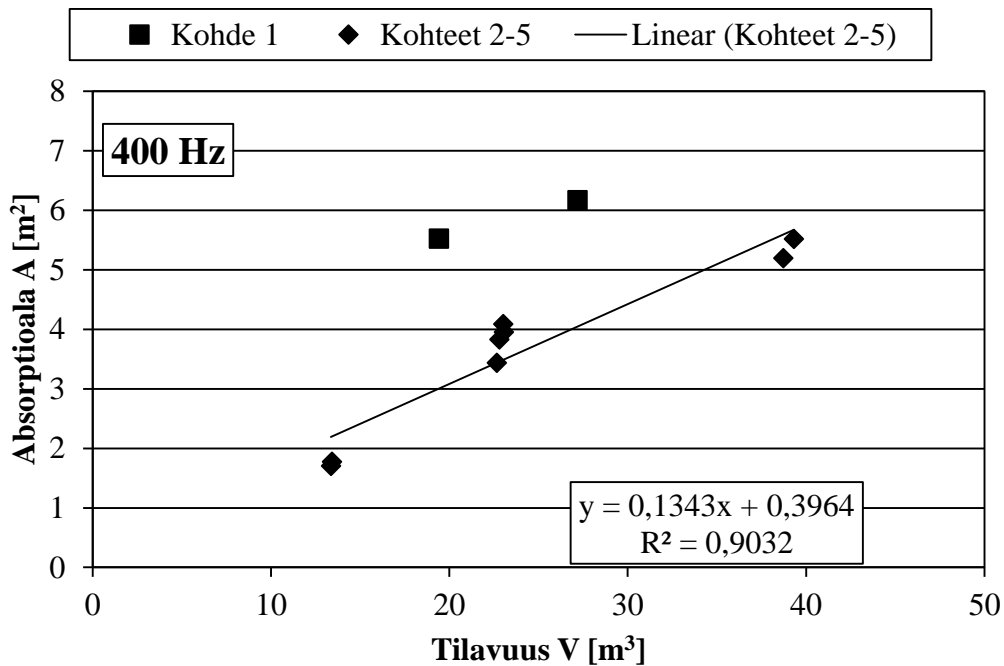
Kenttämittausten perusteella vaihtelua parvekkeiden välillä on niin jälkikaiunta-ajassa että absorptioalassa. Tulokset viittaisivat siihen, että absorptioala olisi parvekkeillakin riippuvainen tilavuudesta. Lisäksi lasisivujen määrällä voi olla tähän vaikutusta. Diplomityön [60] innoittamana tarkastellaan absorptioalan riippuvuutta tilavuudesta. Tuloksissa kuitenkin esiintyy kaksi parvekettä, jotka eroavat tietyillä taajuuksilla selvästi muista parvekkeista. Hyviä esimerkkejä ovat taajuuskaistat 100 ja 400 Hz, jotka esitetään kuvissa 6.8 ja 6.9. Erottuminen muusta joukosta näkyy myös taajuuskaistoilla 80 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz. Näitä suuremmilla taajuuksilla eroa muuhun joukkoon on vähän. Esimerkiksi taajuuskaistalla 1000 Hz sovitus on hyvä, vaikka kohteen 1 parvekkeet otettaisiin huomioon. Kohteen 1 parvekkeet poikkeavat muusta otoksesta merkittävästi, eikä siten oteta huomioon absorptioala- ja jälkikaiunta-aikatarkasteluissa.

Mahdolliseksi syyksi kohteen 1 erottuvuuteen muusta joukosta esitetään parvekkeen yksi parvekepieli. Kohteen parvekkeet rajoittuvat kahdelta sivulta huoneiston ulkoseinään, yhdeltä sivulta parvekkeiden väliseen parvekepieleen ja yhdeltä sivulta ulkoilmaan (lasitukseen). Parvekkeita erottava parvekepieli on kohteessa 1 kevytrakenteinen levyseinä, joka on verhoiltu puupaneelilla. Levyseinillä on yleensä heikko ilmasteneristävyys pienillä taajuuksilla, jolloin viereinen parveke voi vaikuttaa mitattuihin jälkikaiunta-aikoihin. Puupaneeli toimii levyresonaattorina, joiden absorptiokyky rajoittuu suhteellisen pienille taajuuksille. Puulevyillä voi myös

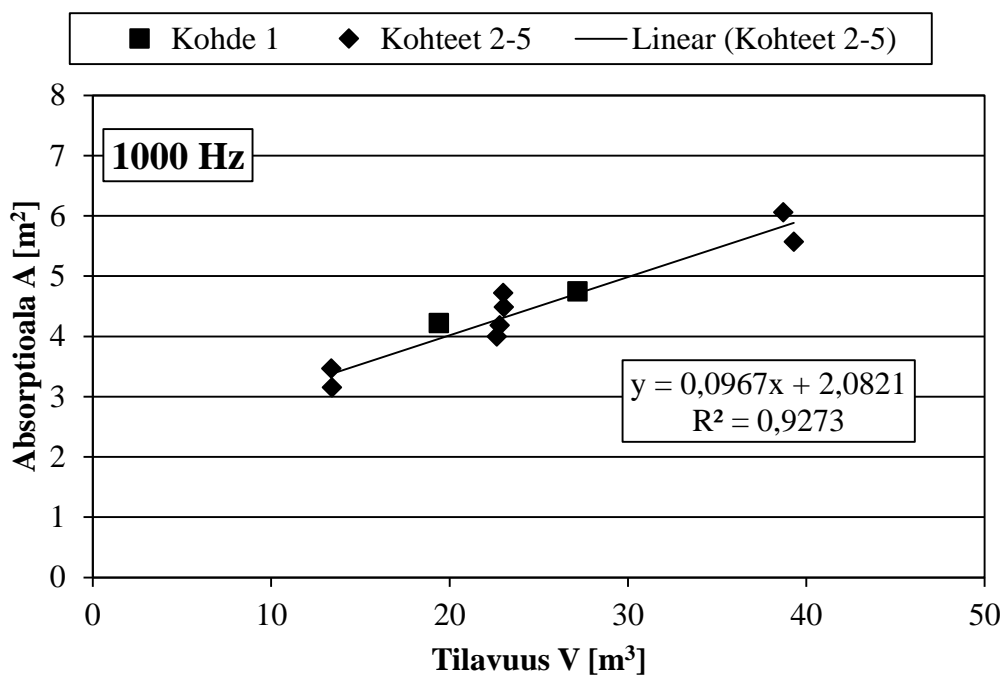
koinsidenssin rajataajuus esiintyä keskisuurilla taajuuksilla. Näistä syistä on perusteltua jättää kohteen 1 parvekkeet pois tarkastelusta, jossa pyritään selvittämään yleisesti parvekkeiden absorptioalan riippuvuutta tilavuudesta. Näitä ei siis oteta huomioon soviteissa.



Kuva 6.8. Parvekkeiden absorptioala-tilavuussuhde 1/3-oktaavikaistalla 50 Hz. Kohteen 1 parvekkeet eroteltu muusta joukosta, eivätkä sisälly lineaarisovitteeseen.



Kuva 6.9. Parvekkeiden absorptioala-tilavuussuhde 1/3-oktaavikaistalla 400 Hz. Kohteen 1 parvekkeet eroteltu muusta joukosta, eivätkä sisälly lineaarisovitteeseen.



Kuva 6.10. Parvekkeiden absorptioala-tilavuussuhde 1/3-oktaavikaistalla 1000 Hz. Kohteen 1 parvekkeet eroteltu muusta joukosta, eivätkä sisälly lineaarisovitteeseen.

Sovitteiden parametrit ja selityssaste esitetään myös taulukossa 6.5. Näissä sovitteissa ei ole otettu huomioon kohteen 1 parvekkeita, koska nämä poikkeavat osassa keskitaajuuksia huomattavasti muusta joukosta. Sovitteet ovat muodossa

$$A = aV + b \quad (6.3)$$

jossa A on parvekkeen absorptioala, V on parvekkeen tilavuus, a ja b ovat sovitteen parametrit (taulukko 6.5). Selityssasteiden perusteella sovitteet onnistuvat yli 315 Hz keskitaajuuksilla, mutta tätä pienemmillä taajuuksilla lineaarisovitus ei kuvaa otosta kovin hyvin. Tämä voi johtua parvekkeiden eroista, mittausepävarmuudesta ja parvekkeen äänikentän epädiffuusisuudesta. Otoksen koko on myös melko pieni, jolloin näillä näytteillä ei yleinen linjaus näy (jos tällaista pienillä taajuuksilla on).

Taulukko 6.5. Parvekkeiden absorptioala-tilavuussuhteiden sovitteiden parametrit muodossa $A = aV+b$, ja sovitteiden selitysaste R^2 . Sovitteissa ei ole otettu huomioon kohteen 1 parvekkeita. Selitysasteen ollessa vähintään 0,7 arvo on **paksunnettu**.

Keskitaajuus [Hz]	50	63	80	100	125	160	200
<i>a</i>	0,1813	0,0083	0,0127	0,0467	0,0408	0,0431	0,0966
<i>b</i>	-0,3300	3,0251	3,3445	2,0922	1,5574	2,0824	0,7200
R^2	0,35	0,01	0,02	0,52	0,38	0,27	0,82
Keskitaajuus [Hz]	250	315	400	500	630	800	1000
<i>a</i>	0,0648	0,1768	0,1343	0,1145	0,1471	0,1197	0,0967
<i>b</i>	2,5218	0,2578	0,3964	1,0828	0,5126	1,6660	2,0821
R^2	0,22	0,82	0,90	0,94	0,96	0,89	0,93
Keskitaajuus [Hz]	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
<i>a</i>	0,0694	0,0538	0,0455	0,0537	0,0425	0,0484	0,0694
<i>b</i>	2,4770	2,5961	2,6274	2,6037	3,2349	3,4235	3,0762
R^2	0,93	0,88	0,80	0,85	0,78	0,77	0,80

Tyhjän parvekkeen (jossa yksi henkilö) absorptioala näyttäisi olevan suhteellisen lineaarisesti riippuvainen parvekkeen tilavuudesta ainakin suurilla ja keskisuurilla taajuuksilla. Näitä voitaisiin käyttää mitoitustietojen referenssiabsorptioina kiinteän arvon sijaan. Mittaluvuilla mitoittaessa ei voida kuitenkaan taajuuskaistaisia sovitteita käyttää, vaan tarvitaan jonkinlainen keskiarvo. Suora taajuuskaistoin laskettu keskiarvo ei välttämättä kuvaa hyvin ekvivalentin A-painotetun äänenpainetason vaimennusta, vaan taajuuskaistoja tulisi painottaa A-painotuksen tavoin. Tätä ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa tutkita tämän perusteellisemmin vaan tyydytään käyttämään taajuuskaistan 1000 Hz sovitetta. Taajuuskaistaa 1000 Hz käytetään monissa tapauksissa referenssipisteenä (kalibrointi, A-painotus), jolloin se saattaisi olla sopiva mittalukujen laskentaan, jossa menetetään laskentatarkkuutta muutenkin. Samaa aihetta käsittelevässä diplomityössä [60] on sovitus tehty terssikaistojen yli keskiarvoistettuun absorptioalaan.

6.3.4 Parvekkeiden äänitasoerot

Parvekkeiden mitatut äänitasoerojen tarkat tulokset esitetään liitteessä A. Taulukossa 6.6 esitetään mitatut äänitasoeroluvut $D_{ls,2m,w}$, spektripainotetut äänitasoeroluvut, näistä johdetut äänitasoerot $\Delta L_{A,mit}$ (kappaleen 5.8.5 mukaisesti) ja parvekkeilta vaaditut äänitasoerot $\Delta L_{A,vaad}$. Tuloksista huomataan, että päiväaikana parvekkeista 6 kpl täyttävät vaaditun tason. Yöaikaan vaatimukset täyttävät vain kohteen 5 parvekkeet, jossa vaatimukset ovat toisaalta muutenkin alhaiset. Kohteen 1 yöaikaisista vaatimuksista ei ole meluselvityksessä tietoa, mutta parvekkeiden mitatut äänitasoerot ovat suuria.

Taulukko 6.6. Parvekkeiden äänitasoeroluvut $D_{ls,2m,w}$, tämän spektripainotetut versiot, mitattu äänitasoero $\Delta L_{A,mit}$ ja vaaditut äänitasoerot $\Delta L_{A,vaad,7-22}$ ja $\Delta L_{A,vaad,22-7}$.

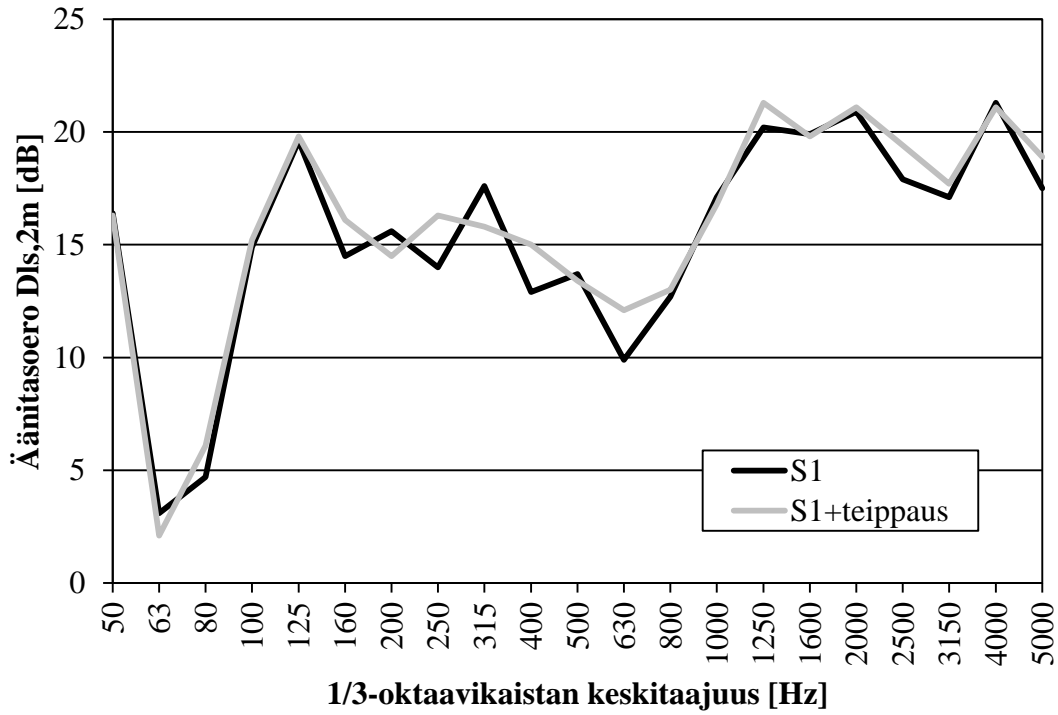
Kohde	Parveke	$D_{ls,2m,w}$ [dB]	+ C [dB]	+ C _{tr} [dB]	$\Delta L_{A,mit}$ [dB]	$\Delta L_{A,vaad,7-22}$ [dB]	$\Delta L_{A,vaad,22-7}$ [dB]
1	S1	16,9	15,9	15,1	12,1	7	-
1	S2	16,9	15,4	14,0	11,0	7	-
2	ON1	12,4	11,7	10,8	7,8	7	12
2	ON2	13,1	12,2	11,0	8,0	7	12
3	S3	11,2	10,6	9,7	6,7	10	12
3	N1	12,4	11,5	10,4	7,4	10	12
4	ON3	14,5	13,6	11,7	8,7	9	12
4	ON4	13,2	12,4	10,8	7,8	9	12
5	N2	15,0	14,0	12,3	9,3	1	6
5	N3	12,9	12,0	10,4	7,4	2	7

Kappaleen 5.8.5 mukainen äänitasoero $\Delta L_{A,mit}$ antaa reilusti pienempiä arvoja kuin mitä parvekkeelta vaaditaan yöllä. Pahimmillaan parvekkeelta vaadittaisiin 6...7 dB lisää ääneneristävyyttä tieliikennemelua vastaan, joka voi olla jo haastavaa toteuttaa. Toisaalta, nämä parvekkeet olivat mittausten suurimpia: noin 39 m³ molemmat. Niissä oli myös eniten lasipinta-alaa, joten on loogista, että näillä parvekkeilla saavutettava äänitasoero on pienempi kuin pienemmillä parvekkeilla.

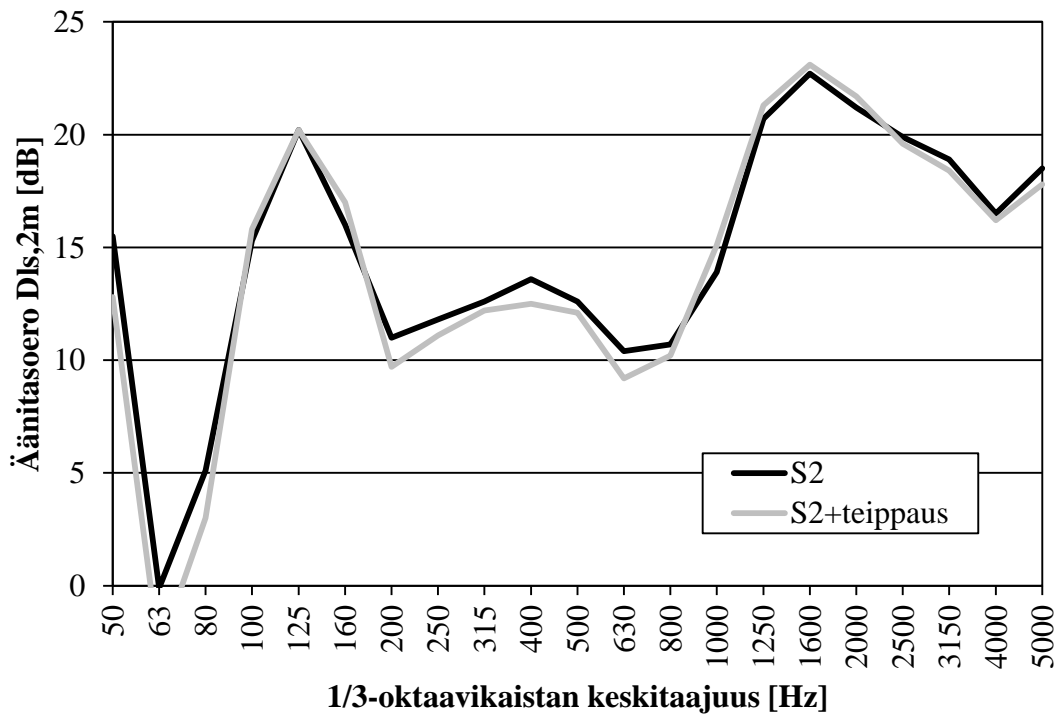
6.3.5 Teippauksen vaikutus

Kohteissa 1 ja 2 suoritettiin mittaukset, jolloin kaidarakenteen raot olivat teipattu. Kaiteen raoista teipattiin lasivälit, jos näissä ei ollut muovilistoja ja pieliliitoksissa esiintyvät avoimet reiät parvekkeen puolelta. Parvekelasituksen rakoja ei teipattu, eikä kaiteen profiileja tiivistetty. Teippaukseen käytettiin Würthin oranssia suojausteippiä. Teippauksen vaikutusta mittauksiin päätettiin kokeilla, koska kaiderakenteista ei ole olemassa laboratorioissa mitattuja ääneneristävyysarvoja. Siten profiilit, raot ja muut osat vaikuttavat kaiderakenteen ilmaääneneristävyysarvoihin lisäksi. Yksipuolisen teippauksen vaikutusta on mitattu ainakin ovien kohdalla [40], jossa todetaan, ettei välttämättä kaksipuolisellakaan teippauksella voida eliminoida rakojen vaikutusta. Kuvissa 6.11-6.14 esitetään parvekkeiden S1, S2, ON1 ja ON2 äänitasoerot $D_{ls,2m}$ teipeillä ja ilman. Taulukossa 6.7 esitetään käyristä johdetut mittaluvut.

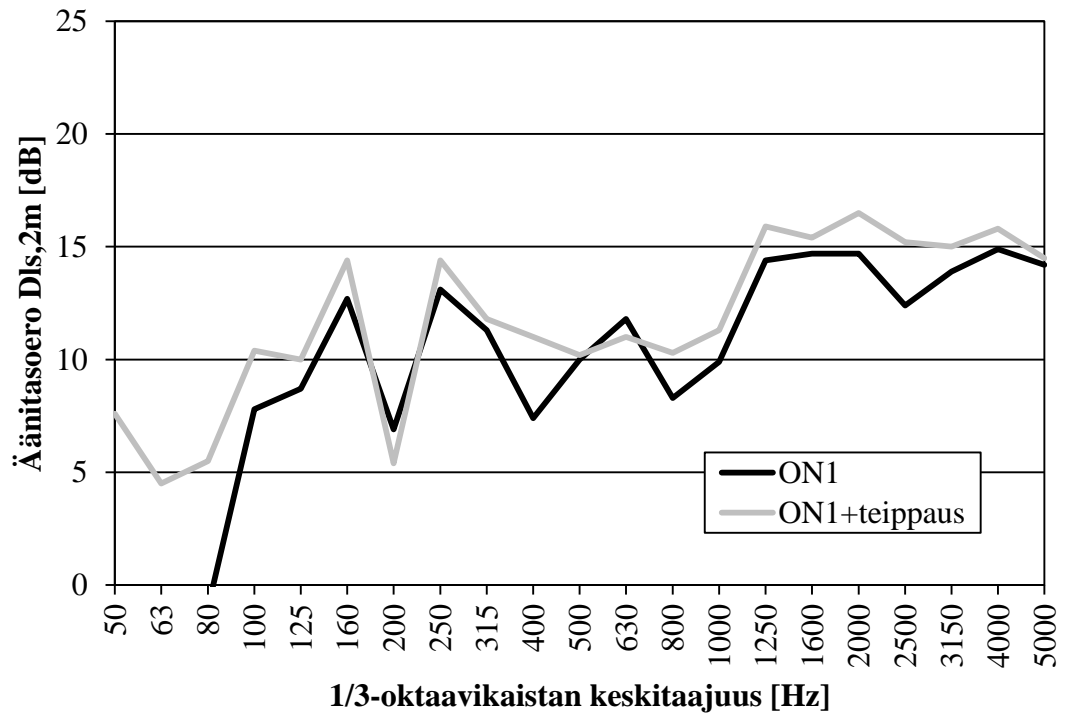
Teippaus näyttäisi vaikuttaneen eniten parvekkeella ON1. Parvekkeella S2 teippauksen vaikutus on kuitenkin päinvastainen. Näiden tulosten perusteella yksipuolisella teippauksella voi olla pientä vaikutusta mitattuihin arvoihin, mutta erot ovat niin pieniä, että ne voivat selittyä pelkästään mittausepävarmuudellakin. Jos kaiderakenne olisi pyritty tekemään mahdollisimman ilmatiiviiksi, tulokset voisivat erota nykyisistä.



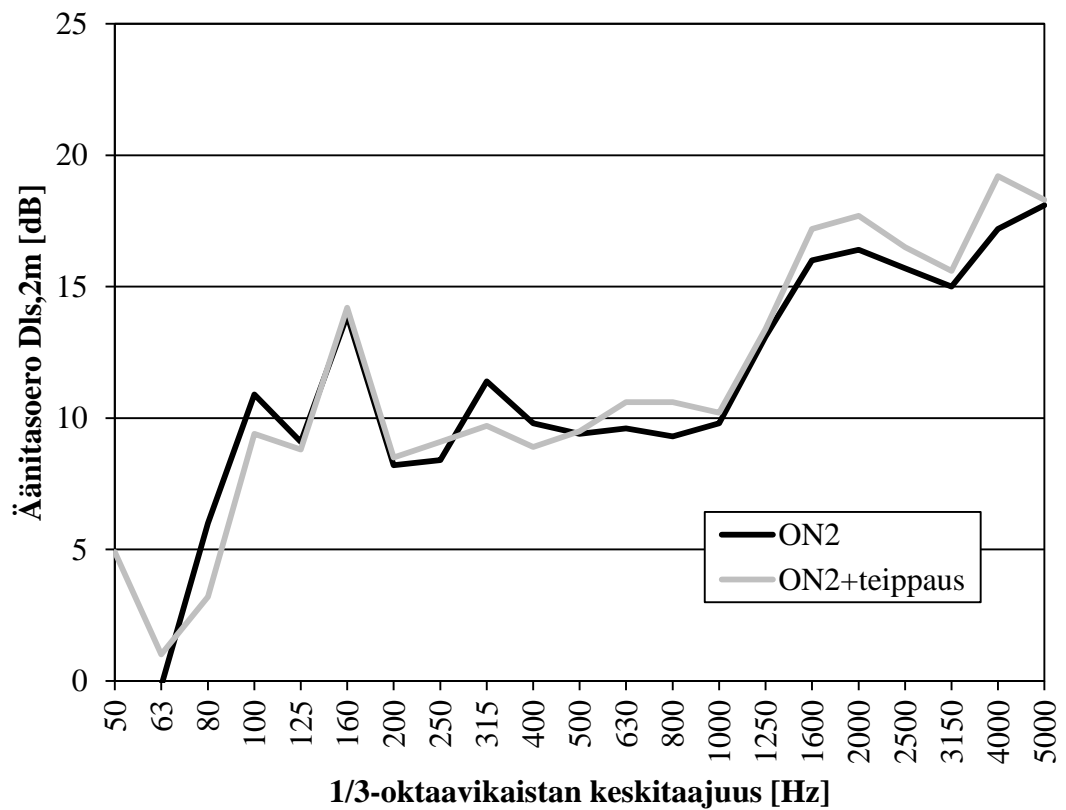
Kuva 6.11. Teippausten vaikutus parvekkeen S1 äänitasoeroon $D_{ls,2m}$.



Kuva 6.12. Teippausten vaikutus parvekkeen S2 äänitasoeroon $D_{ls,2m}$.



Kuva 6.13. Teippausten vaikutus parvekkeen ON1 äänitasoeroon $D_{ls,2m}$.



Kuva 6.14. Teippausten vaikutus parvekkeen ON2 äänitasoeroon $D_{ls,2m}$.

Taulukko 6.7. Teippausten vaikutus mittalukuihin parvekkeilla S1, S2, ON1 ja ON2.

Parveke	$D_{ls,2m,w}$	+ C	+ C _{tr}
	[dB]	[dB]	[dB]
S1	16,9	15,9	15,1
S1+teippaus	17,6	16,7	15,8
S2	16,9	15,4	14,0
S2+teippaus	16,5	15,0	13,5
ON1	12,4	11,7	10,8
ON1+teippaus	13,8	13,1	12,0
ON2	13,1	12,2	11,0
ON2+teippaus	13,7	12,7	11,4

Tulosten perusteella kaiteen rakojen teippaus vaikuttaa vähän parvekkeen mitattuun äänitasoeroon. Merkittävämpiä ovat profiilien kautta kulkeva ääni ja parvekelasituksen lasivälit. Parvekelasituksessa on yleensä enemmän lasivälejä kuin kaiteessa, joten ne myös luultavasti vaikuttavat ääneneristävyyteen enemmän kuin kaiteiden raot.

6.3.6 Nurkkamittaukset

Nurkkamittaukset suoritettiin parvekkeissa S1, ON1 ja ON2, joiden tilavuus yhden kuutiometrin tarkkuudella on alle 25 m³. Nurkkamittaukset suoritettiin rakojen ollessa teipattuna ja avoimina. Parveke S1 oli alun perin jo melko tiivis, jolloin tästä teipattiin vain kaiteen ja ulkoseinän ja kaiteen ja parvekepielen väliset liittymät. Parvekkeissa ON1 ja ON2 oli enemmän avoimia rakoja kuin parvekkeessa S1.

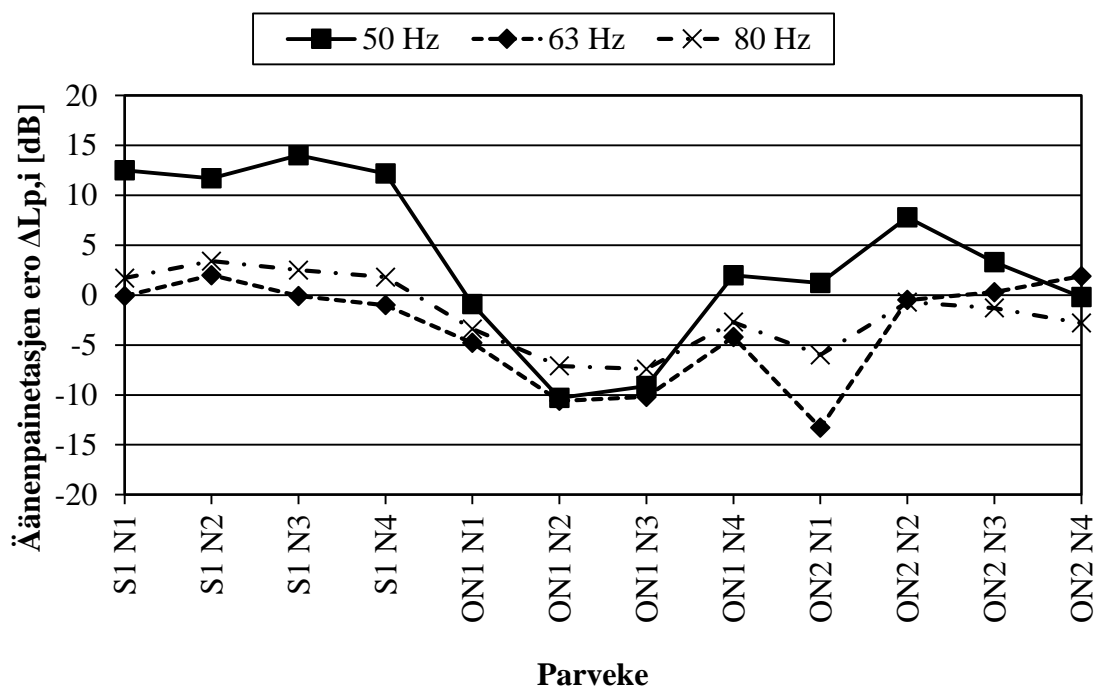
Oletuksena on, että ulkona mitattu äänenpainetaso on suurempi kuin tilassa mitattu. Rakojen kohdalla voi asia kuitenkin olla toisin, koska rakojen ilmaääneneristävyydet voivat saavuttaa negatiivisia arvoja, jolloin ne vahvistavat ääntä. Siten raon lähellä mitattu äänenpainetaso ei välttämättä kuvaa parvekevaipan kykyä eristää ilmaääntä.

Kuvassa 6.15 esitetään parvekkeiden ulkomittauksen ja nurkkamittausten erotus, kun kaiteen rakoja ei ole teipattu. Kuvassa 6.16 esitetään vastaavat tulokset, kun raot on teipattu. Kun ero on positiivinen, ulkomittaus on suurempi kuin nurkassa mitattu, ja eron ollessa negatiivinen tilanne on päinvastainen. Kuvassa 6.17 esitetään kuvien 6.15 ja 6.16 erotus. Kun ero on positiivinen, ilman teippauksia tehtyjen mittauksien ero on suurempi kuin teippausten kanssa tehdyt. Taulukossa 6.8 esitetään vielä nurkkien muodostavat rakenteet ja sijainti lattia- tai kattotasossa. Parvekenurkat on nimetty siten, että ”S1 N1” tarkoittaa parvekettä S1 ja tämän nurkkaa 1.

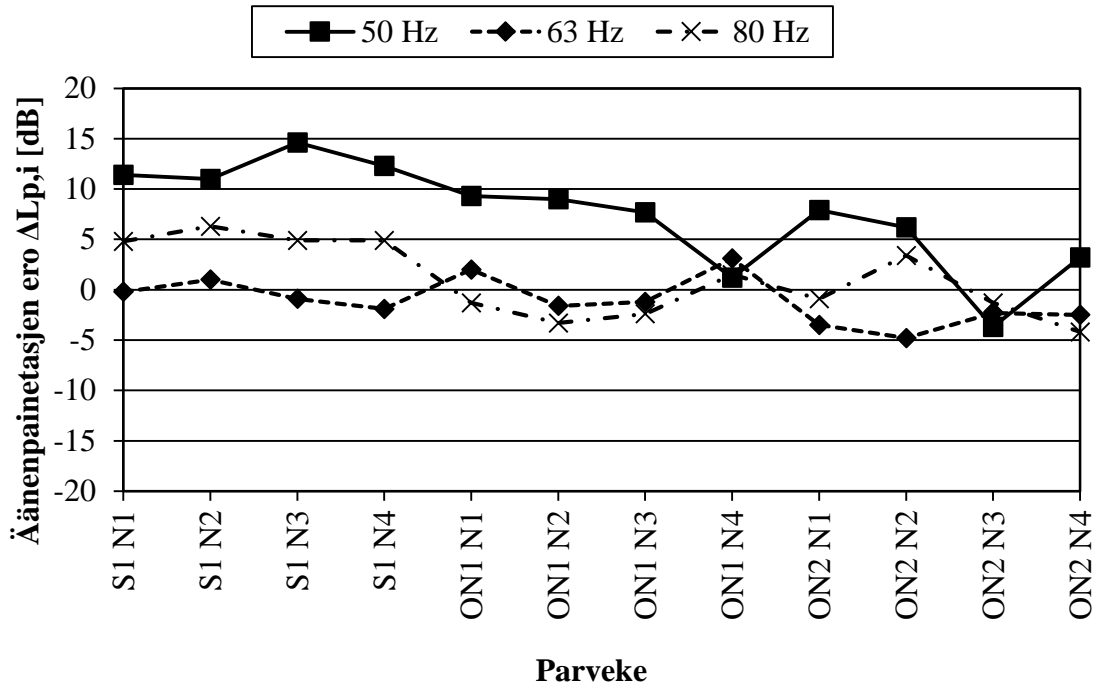
Parvekkeen S1 tapauksessa tulokset ovat loogisia: nurkkamittaukset vaihtelevat vähän keskenään ja näiden äänenpainetasot pienillä taajuuksilla saavat pienempiä arvoja kuin ulkona mitatut. Tämä pätee, vaikka raot olisivat teipattu. Parvekkeiden ON1 ja ON2

tapauksessa nurkkamittaukset saavat myös suurempia äänenpainetasoja kuin ulkona mitatut.

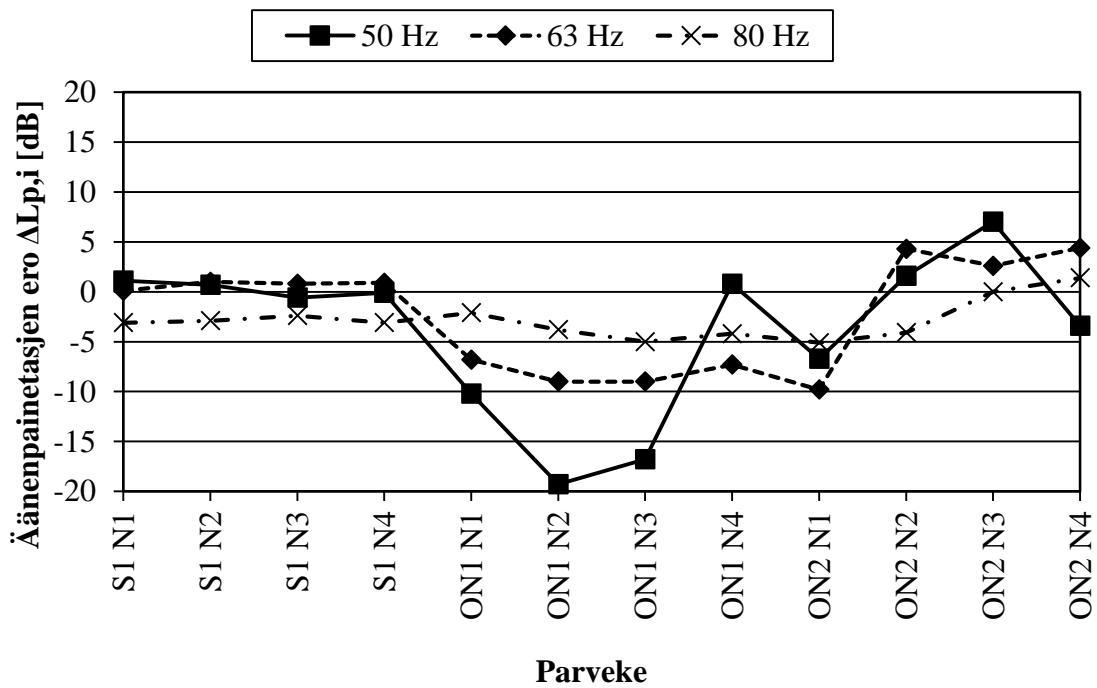
Kaiteen rakojen teippauksella näyttäisi olevan vaikutusta parvekkeilla ON1 ja ON2, joilla rakoja on reilusti enemmän kuin parvekkeella S1. Erot tasoittuvat, ja nurkkamittaukset ovat enää suurimmillaan noin 5 dB suurempia kuin ulkomittaus. Teippaukset eivät näytä vaikuttavan tuloksiin yksisuuntaisesti, vaan teippaus saattaa laskea tai korottaa eroa (esimerkiksi ON2 N3).



Kuva 6.15. Parvekkeen ulkomittauksen ja nurkkamittausten äänenpainetasojen erotus terssikaistoilla 50, 63 ja 80 Hz, kun kaiteen rakoja ei ole teipattu.



Kuva 6.16. Parvekkeen ulkomittauksen ja nurkkamittausten äänenpainetasojen erotus terssikaistoilla 50, 63 ja 80 Hz, kun kaiteen raot on teipattu.



Kuva 6.17. Teippauksen vaikutus ulkomittauksen ja nurkkamittausten erotukseen.

Taulukko 6.8. Parvekkeiden nurkkamittausten tiedot.

Parveke	Nurkka	Liitos	Sijainti
S1	1	Lasi-pieli	Ylä
S1	2	Pieli-US	Ala
S1	3	US-US	Ylä
S1	4	Lasi-pieli	Ala
ON1	1	Lasi-lasi	Ylä
ON1	2	US-pieli	Ylä
ON1	3	Lasi-pieli	Ala
ON1	4	US-US	Ala
ON2	1	US-US	Ylä
ON2	2	Lasi-pieli	Ylä
ON2	3	US-pieli	Ala
ON2	4	Lasi-lasi	Ala

Tulosten perusteella parvekevaipan tiiveys vaikuttaa nurkkamittauksista saataviin tuloksiin suuresti. Parveke S1 oli näistä tiivein ja sai tasaisimpia eroja ulkomittaukseen nähden. Lisäksi parvekkeiden ON1 ja ON2 kohdalla tulokset tasoittuivat teippausten jälkeen. Oletus, että raon kohdalla saavutettaisiin herkemmin suurempia tasoja kuin ulkona, ei pitänyt paikkaansa, koska tätä havaittiin myös ulkoseinä-pieli- ja ulkoseinä-ulkoseinäliitoksissa. Siten parvekkeiden nurkkamittauksiin liittyy epävarmuutta, johon standardiluonnos ISO CD 16283-3 [20] ei ota vielä kantaa. Koska nurkkamittauksista otetaan taajuuskaistalle aina suurin äänenpainetaso, voi parvekkeen äänitasoero saavuttaa mittauksessa negatiivisia eristävyysarvoja. Tämän paikkansapitävyyttä tulisi tutkia lisää ennen kuin nurkkamittauksia sovelletaan rakenteille, joissa esiintyy runsaasti rakoja tai ovat ääneneristävyydeltään erittäin heikkoja.

7. MITOITUSMENETELMÄ

7.1 Mitoitusmenetelmän johtaminen

Mitoitusmenetelmä tulee perustua parvekkeelle syntyvään kokonaisäänitasoon mittausten menetelmän tavoin. Koska parvekkeen rakennusosien ilmajääneristävyyksien ennustaminen laskennallisesti on haastavaa ja epävarmaa, käytetään rakennusosista laboratoriossa mitattua ilmajääneristävyyssarvoja. Laskenta suoritetaan kahden diffuusin äänikentän omaavan tilan välillä, jonka jälkeen äänikenttien muutos otetaan huomioon korjaustermillä.

Ilmajääneristävyyden yleinen kaava diffuusissa äänikentässä on (kaava (7.1)) [48][53]:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A} \quad (7.1)$$

jossa L_1 on lähetyshuoneen äänenpainetaso, L_2 on vastaanottohuoneen äänenpainetaso, S on tiloja erottavan rakenteen pinta-ala ja A on vastaanottohuoneen absorptioala. Kaavan (7.1) perusteella tilojen välille syntyvä äänitasoero D on rakennusosan ilmajääneristävyyden R avulla ilmaistuna (kaava (7.2)):

$$D = R - 10 \log_{10} \frac{S}{A} \quad (7.2)$$

Parvekkeen absorptioala ilmaistaan tyypillisen parvekkeen absorptioalan ja parvekkeelle mahdollisesti sijoitettavan absorptiomateriaalin avulla (kaava (7.3)):

$$A = A_{\text{ref,parv}} + S_{\text{abs}} \alpha_{\text{abs}} \quad (7.3)$$

jossa $A_{\text{ref,parv}}$ on parvekkeen referenssiabsorptioala, S_{abs} on parvekkeelle mahdollisesti lisättävän absorptiomateriaalin pinta-ala ja α_{abs} on lisättävän materiaalin absorptiosuhde. Referenssiabsorptiona käytetään kappaleen 6.4.3 tilavuudesta riippuvia sovitteita. Jos laskenta suoritetaan mittaluvuilla, käytetään taajuuskaistan 1000 Hz sovitetta pyöristetyillä arvoilla (kaava (7.4)):

$$A_{\text{ref,parv}} = 0,10V + 2,10 \quad (7.4)$$

Rakenteen tuottama äänitasoero $\Delta L_{A,\text{lask}}$ taajuuden mukaan on kaavan (5.16) mukaan:

$$\Delta L_{A,\text{lask}} = -10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i}-D_i)/10} \right) \quad (7.5)$$

jossa i on tarkasteltava taajuuskaista ja n on taajuuskaistojen määrä. Kaavan (5.16) ensimmäinen termi supistuu tarkasteltavilla referenssispektreillä arvoon 0 dB. Koska rakennusosista ilmoitetaan yleensä ilmääneneristävyydet R , sijoitetaan kaava (7.2) kaavaan (7.5) (kaava (7.6)):

$$\Delta L_{A,\text{lask}} = -10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i}-R_i+10 \log_{10} \frac{S}{A_i})/10} \right) \quad (7.6)$$

Jos oletetaan, että absorptioala on taajuudesta riippumaton (todellisuudessa ei ole), kaava (7.6) voidaan esittää muodossa (kaava (7.7)):

$$\Delta L_{A,\text{lask}} = - \left[10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i}-R_i)/10} \right) + 10 \log_{10} \frac{S}{A} \right] \quad (7.7)$$

Toisaalta, spektripainotettu ilmääneneristysluku voidaan ilmoittaa kaavalla (7.8):

$$R_w + C_j = -10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i}-R_i)/10} \right) \quad (7.8)$$

Rakennusosan j laskennallinen äänitasoero on siis (kaava (7.9)):

$$\Delta L_{A,\text{lask},j} = (R_w + C_j)_j - 10 \log_{10} \frac{S_j}{A} \quad (7.9)$$

Kaavassa (7.9) laskenta suoritetaan ilmääneneristysluvuilla. Laskenta voidaan suorittaa myös rakennusosittain laskemalla jokaisen osan k kautta siirtyvä ääni. Silloin kaavat (7.6) ja (7.9) muuttuvat muotoon (kaavat (7.10) ja (7.11)):

$$L_{2,k} = L_{1,k} + 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i}-R_{i,k}+10 \log_{10} \frac{S_k}{A_{i,k}})/10} \right) \quad (7.10)$$

$$L_{2,k} = L_{1,jk} - (R_w + C_j)_k + 10 \log_{10} \frac{S_k}{A} \quad (7.11)$$

Parvekkeella olevat äänenpainetasot yhdistetään kaavalla (4.9). Rakennusosiin, joihin kohdistuu sama melutaso ulkona L_1 (sama äänitasoero vaatimus), voidaan laskennallinen äänitasoero yhdistää kaavalla (7.14).

$$\Delta L_{A,\text{lask}} = L_1 - 10 \log_{10} \left(\sum_{k=1}^N 10^{L_{2,k}/10} \right) \quad (7.12)$$

$$\Delta L_{A,\text{lask}} = L_1 - 10 \log \left(\sum_{k=1}^N 10^{(L_{1,k} - \Delta L_{A,\text{lask},k})/10} \right) \quad (7.13)$$

$$\Delta L_{A,\text{lask}} = -10 \log \left(\sum_{k=1}^N 10^{-\Delta L_{A,\text{lask},k}/10} \right) \quad (7.14)$$

jossa k on rakennusosan järjestysluku ja N on rakennusosien määrä. Jos kohdistuva melutaso ei ole sama kaikilla rakennusosilla, kaavoja ei voida käyttää koko rakenteelle vaan vaatimukset tarkastetaan vaatimuskohtaisesti näillä kaavoilla. Jos jokaisen sivun äänitasoerovaatimus on määritetty vain suoraan sallittavan melutason perusteella, jolloin yksittäisen sivun kautta kulkeva melutaso parvekkeella on ohjearvojen mukainen, lopullinen melutaso on näitä suurempi, koska melutasot yhdistetään. Tästä syystä vaatimuksia tulee korottaa, jos tätä ei ole otettu huomioon vaatimuksia tehdessä.

Äänitasoerovaatimusten korottaminen riippuu vaatimusten määrästä ja tavasta, miten melutasojen yhdistäminen huomioidaan. Järkevin tapaus lienee korottaa kaikkia äänitasoerovaatimuksia saman verran, jolloin yksittäisiä sivuja ei tarvitse ylimitoitaa. Toisaalta ylimitoitus voi olla tarpeen tapauksissa, joissa jonkin sivun rakenteen ääneneristävyyttä ei voida enää parantaa, mutta toisella sivulla se on vielä mahdollista. Ratkaisuja tähän ongelmaan on siis useita, joista yksinkertaisin on korottaa jokaista vaatimusta saman verran. Vaatimusten määrästä riippuen vaatimuksia tulee korottaa kaavan (7.15) mukaan, jonka arvoja esitetään myös taulukossa 7.1. Käytännössä vaatimuksia voi suurimmillaan parvekkeella olla 3 kappaletta (ulokeparveke).

$$\text{korotus} = 10 \log_{10}(n) \quad (7.15)$$

jossa n on vaatimusten määrä.

Taulukko 7.1. Äänitasoerovaatimusten korotus, kun kaikkia vaatimuksia korotetaan.

Vaatimuksia [kpl]	1	2	3
Korotus [dB]	0,0	3,0	4,8

Jos yhtä vaatimusta ei koroteta, tulee muita vaatimuksia korottaa kaavan (7.16) mukaan. Matemaattinen ratkaisu ei tuota tässä tapauksessa tulosta, koska heikkokin ääni kasvattaa melutasoa. Jotta korotus voidaan ratkaista, tulee määrittää jokin toleranssiraja. Käytetään toleransseina 0,1 ja 0,4 dB, jolloin voidaan vaatimusten korotukset laskea. Nämä tulokset esitetään taulukossa 7.2, joista huomataan, että vaatimusten korotus muilla sivuilla on erittäin suuri.

$$\text{korotus} = -10 \log_{10} \left(\frac{10^{\text{tol}/10} - 1}{n - 1} \right) \quad (7.16)$$

jossa tol on toleranssiraja (esimerkissä 0,1 ja 0,4 dB) ja n on vaatimusten määrä.

Taulukko 7.2. Äänitasoerovaatimusten korotus, kun yhden sivun vaatimusta ei koroteta. Toleranssirajana 0,1 ja 0,4 dB.

Vaatimuksia [kpl]	1	2	3
Korotus, $tol = 0,1$ dB [dB]	-	16,3	19,3
Korotus, $tol = 0,4$ dB [dB]	-	10,2	13,2

Tässä on tärkeää huomata, että vaatimuksia korotetaan vain yksittäisille osille. Rakennusosan pienenevä pinta-ala kasvattaa laskennallista äänitasoeroa, jolloin yksittäiseltä rakennusosalta saavutettava äänitasoero on suurempi kuin koko parvekettä tarkasteltaessa. Siten tarkasteltaessa yksittäisiä rakennusosia vaatimusten korotus ei vaadi merkittävästi parempia rakenteita kuin käytettäessä vain suurinta äänitasoerovaatimusta koko parvekkeelle. Vaatimusten korotus mahdollistaa vain rakennusosien tarkemman suunnittelun.

Tässä kappaleessa johdettu äänitasoeron kaava (7.9) tarkastelee rakennusosia vain yksilukusuureiden perusteella. Keränen *et al.* [62] mukaan julkisivun äänitasoero tulisi laskea taajuuksittain (vähintään oktaavikaistoin), koska yksilukusuureilla tehtävät laskelmat eivät ota huomioon kapeakaistaista tai pientaajuisista melua. Vaihtoehtoisesti voidaan äänitasoero laskea taajuuksittain kaavalla (7.17) (kuten D kaavassa (7.2)):

$$\Delta L_{A,lask,i} = R_i - 10 \log_{10} \frac{S}{A_i} \quad (7.17)$$

Jos sisälle syntyvä äänenpainetaso halutaan laskea rakennusosittain, tulee valita melun mukainen meluspektri. Tässä voidaan käyttää esimerkiksi spektripainotustermien mukaisia spektrejä tai mitattuja meluspektrejä. Tällöin parvekkeelle muodostuva äänenpainetaso taajuudella i on (kaava (7.18)):

$$L_{2,i} = L_{j,i} - R_i + 10 \log_{10} \frac{S}{A_i} \quad (7.18)$$

Kuten ilmaääneneristysluvun mukaisissa laskelmissa, melun tuottama äänenpainetaso tulee olla riittävän suuri, jotta lopullinen äänitasoero voidaan laskea. Taajuuksittaisessa tarkastelussa tulee kuitenkin säilyttää meluspektrin muoto. Meluspektri voi olla jo valmiiksi A-painotettu. Rakennusosien kautta välittyneet äänet yhdistetään kaavalla (4.9) taajuuksittain. Parvekkeen sisälle syntyvästä melukäyrästä lasketaan kokonaisäänitaso käyttäen myös kaavaa (4.9), mutta muuttujana toimii taajuus, eikä rakennusosa.

7.2 Vaihtoehtoiset liikennemeluspektrit

Kappaleessa 4.1 on esitetty, että standardin ISO 717-1 [57] mukaiset spektripainotusermit eivät kuvaa kaikkia liikennemuotoja. Joissain tapauksissa on siis perusteltua käyttää vaihtoehtoisia liikennemeluspektrejä, jotka kuvaavat juuri kyseistä melulähdettä. Käyrinä voidaan käyttää tutkimusten [41][43][66] liikennemeluspektrejä, jotka esitetään taulukossa 4.1.

7.3 Mittauskohteiden mitoituuslaskelmat

Tässä kappaleessa esitetään teoreettiset laskelmat kenttämittausten mukaisille parvekkeille tieliikennemelua vastaan. Näitä laskelmia käytetään jälkeempään korjaustermin määrittämisessä. Parvekkeen N2 kohdalla laskenta suoritetaan vain tarkastelun alla olevalle sivulle, koska kaiutin sijoitettiin siten, että sillä ei ollut suoraa näköyhteyttä toiseen lasisivuun. Tämä tarkoittaa sitä, että parvekelasituksen ja kaiteen pinta-aloina käytetään vain yhtä sivua. Kaiutinsijoittelun uskotaan vaikuttaneen merkittävästi parvekkeen mitattuun ääneneristävyyteen.

7.3.1 Raide- ja lentomelu (R_w+C)

Tässä esitetään ilmääneneristysluvulla R_w+C lasketut mitoitustulokset. Taulukossa 7.3 esitetään laskennassa esiintyvät raot ja näiden tiedot. Raot ovat kaiteiden avoimia lasivälejä, joita ei ole tiivistetty listoilla. Raot yhdistetään kaiteen lasin ilmääneneristyslukuun tieliikennemelua vastaan. Parvekkeeseen kohdistuva äänenpainetaso oletetaan olevan 70 dB. Parvekkeen referenssiabsorptioala lasketaan tilavuuden perusteella. Taulukossa 7.4 esitetään parvekkeen rakennusosien pinta-alat, ilmääneneristysluvut ja kaiteen ilmääneneristysluku rakojen kanssa. Kaiteen ääneneristävyys laskee huomattavasti muutamastakin raosta, mutta ilmääneneristysluku on silti parempi kuin parvekelasituksen. Taulukon 7.4 perusteella voidaan laskea parvekkeelle syntyvä melutaso rakennusosittain. Taulukossa 7.5 esitetään rakennusosien kautta parvekkeelle muodostuvat melutasot ja parvekkeen kokonaismelutaso, kun kaiteen rakoja ei oteta huomioon. Taulukossa 7.6 esitetään vastaavat tulokset, kun kaiteen raot otetaan huomioon.

Taulukko 7.3. Parvekkeiden lasikaiteiden raot, jotka voidaan ottaa laskennallisesti huomioon.

Parveke	Leveys	Syvyys	Korkeus	R_{w+C}	Määrä	S
	[mm]	[mm]	[mm]	[dB]	[kpl]	[mm ²]
S1	2	10	1075	-2	1	2150
	3	10	1075	-2,5	1	3225
S2	1	10	1075	-0,7	2	2150
ON1	2	8	1069	-3	3	6414
	10	8	1069	-3,3	1	10690
ON2	2	8	1062	-3	3	6372
	10	8	1062	-3,3	1	10620
S3	2	10	1119	-2	1	2238
	10	10	1119	-2,9	1	11190
N1	2	10	1119	-2	1	2238
	10	10	1119	-2,9	1	11190
ON3	2	8	1167	-3	3	7002
	1	8	1167	-2	1	1167
ON4	2	8	1167	-2	3	7002
	3	8	1167	-2,5	1	3501
N2 K1	2	8	973	-2	1	1946
N2 K2	2	8	973	-2	1	1946
N3	2	8	973	-2	2	3892

Taulukko 7.4. Parvekkeiden mitoituksessa tarvittavat lähtöarvot.

Parveke	Tilavuus [m ³]	$L1$ [m ²]	$A_{ref,parv}$ [m ²]	Parvekelasitus		Kaidelasi		Kaidelasi rakojen kanssa
				S	R_{w+C}	S	R_{w+C}	R_{w+C}
				[m ²]	[dB]	[m ²]	[dB]	[dB]
S1	19,4	70	4,0	5,2	18	3,4	33	25,0
S2	27,2	70	4,8	7,3	18	4,8	33	29,9
ON1	23,0	70	4,4	7,9	17	5,3	32	21,3
ON2	23,0	70	4,4	7,8	17	5,3	32	21,4
S3	38,7	70	6,0	10,6	18	7,3	33	24,0
N1	39,3	70	6,0	12,3	18	8,7	33	24,7
ON3	22,7	70	4,4	7,8	17	5,4	32	24,5
ON4	22,8	70	4,4	7,8	17	5,8	32	24,4
N2 K1	13,4	70	3,4	4,3	17	2,3	32	27,1
N2 K2	13,4	70	3,4	3,2	17	1,7	32	26,1
N3	13,4	70	3,4	7,1	17	3,8	32	26,5

Taulukko 7.5. Parvekkeelle syntyvä melutaso ja parvekerakenteen tuottama äänitasoero, kun kaiteen rakoja ei oteta huomioon.

Parveke	Parvekelasitus	Kaidelasi	Parvekkeella	$\Delta L_{A,lask}$ [dB]
	$L_{A,eq}$ [dB]	$L_{A,eq}$ [dB]	$L_{A,eq}$ [dB]	
S1	53,1	36,3	53,2	16,8
S2	53,8	37,0	53,9	16,1
ON1	55,5	38,8	55,6	14,4
ON2	55,5	38,8	55,6	14,4
S3	54,5	37,9	54,6	15,4
N1	55,1	38,6	55,2	14,8
ON3	55,5	38,9	55,6	14,4
ON4	55,5	39,2	55,6	14,4
N2 K1	54,0	36,3	54,1	15,9
N2 K2	52,7	34,9	52,8	17,2
N3	56,2	38,4	56,3	13,7

Taulukko 7.6. Parvekkeelle syntyvä melutaso ja parvekerakenteen tuottama äänitasoero, kun kaiteen raot otetaan huomioon.

Parveke	Parvekelasitus	Kaidelasi+raot	Parvekkeella	$\Delta L_{A,lask}$ [dB]
	$L_{A,eq}$ [dB]	$L_{A,eq}$ [dB]	$L_{A,eq}$ [dB]	
S1	53,1	44,3	53,6	16,4
S2	53,8	40,1	54,0	16,0
ON1	55,5	49,5	56,5	13,5
ON2	55,5	49,4	56,5	13,5
S3	54,5	46,9	55,2	14,8
N1	55,1	46,9	55,7	14,3
ON3	55,5	46,4	56,0	14,0
ON4	55,5	46,8	56,0	14,0
N2 K1	54	41,2	54,2	15,8
N2 K2	52,7	40,8	53,0	17,0
N3	56,2	44	56,5	13,5

Tulosten perusteella pelkästään kaiteiden lasivälien raot vaikuttavat merkittävästi kaiteen kautta kulkemaan ääneen, mutta parvekelasitus on silti määrävämpi näistä kahdesta rakennusosasta. Tämä ei tarkoita, ettei yleisesti kaiteen raoilla olisi vaikutusta syntyvään melutasoon, vaan että raot, jotka voidaan ottaa laskentateorialla huomioon, eivät vaikuta välttämättä merkittävästi syntyvään melutasoon kaikilla parvekkeilla.

7.3.2 Tieliikennemelu (R_w+C_{tr})

Tässä esitetään ilmasteneristysluvulla R_w+C_{tr} lasketut mitoitustulokset. Taulukossa 7.7 esitetään laskennassa esiintyvät raot ja näiden tiedot. Raot ovat kaiteiden avoimia lasivälejä, joita ei ole tiivistetty listoilla.

Taulukko 7.7. Parvekkeiden lasikaiteiden raot, jotka voidaan ottaa laskennallisesti huomioon.

Parveke	Leveys [mm]	Syvyys [mm]	Korkeus [mm]	R_w+C_{tr} [dB]	Määrä [kpl]	S [mm ²]
S1	2	10	1075	-3,5	1	2150
	3	10	1075	-3,9	1	3225
S2	1	10	1075	-2,4	2	2150
ON1	2	8	1069	-4,5	3	6414
	10	8	1069	-4,3	1	10690
ON2	2	8	1062	-4,5	3	6372
	10	8	1062	-4,3	1	10620
S3	2	10	1119	-3,5	1	2238
	10	10	1119	-3,9	1	11190
N1	2	10	1119	-3,5	1	2238
	10	10	1119	-3,9	1	11190
ON3	2	8	1167	-4,5	3	7002
	1	8	1167	-3,6	1	1167
ON4	2	8	1167	-4,5	3	7002
	3	8	1167	-4,8	1	3501
N2 K1	2	8	973	-4,5	1	1946
N2 K2	2	8	973	-4,5	1	1946
N3	2	8	973	-4,5	2	3892

Raot yhdistetään kaiteen lasin ilmasteneristyslukuun tieliikennemelua vastaan. Parvekkeeseen kohdistuva äänenpainetaso oletetaan olevan 70 dB. Parvekkeen referenssiabsorptioala lasketaan tilavuuden perusteella. Taulukossa 7.8 esitetään parvekkeen rakennusosien pinta-alat, ilmasteneristysluvut ja kaiteen ilmasteneristysluku rakojen kanssa. Kaiteen ääneneristävyys laskee huomattavasti muutamastakin raosta, mutta ilmasteneristysluku on silti parempi kuin parvekelasituksen. Taulukon 7.9 perusteella voidaan laskea parvekkeelle syntyvä melutaso rakennusosittain. Taulukossa 7.10 esitetään rakennusosien kautta parvekkeelle muodostuvat melutasot ja parvekkeen kokonaismelutaso, kun kaiteen rakoja ei oteta huomioon. Taulukossa 7.11 esitetään vastaavat tulokset, kun kaiteen raot otetaan huomioon.

Taulukko 7.8. Parvekkeiden mitoituksessa tarvittavat lähtöarvot.

Parveke	Tilavuus [m ³]	L1 [m ²]	A _{ref,parv} [m ²]	Parvekelasitus		Kaidelasi		Kaidelasi rakojen kanssa
				S	R _w +C _{tr}	S	R _w +C _{tr}	R _w +C _{tr}
				[m ²]	[dB]	[m ²]	[dB]	[dB]
S1	19,4	70	4,0	5,2	16	3,4	31	23,4
S2	27,2	70	4,8	7,3	16	4,8	31	28,0
ON1	23,0	70	4,4	7,9	16	5,3	30	20,1
ON2	23,0	70	4,4	7,8	16	5,3	30	20,1
S3	38,7	70	6,0	10,6	16	7,3	31	22,8
N1	39,3	70	6,0	12,3	16	8,7	31	23,4
ON3	22,7	70	4,4	7,8	16	5,4	30	22,9
ON4	22,8	70	4,4	7,8	16	5,8	30	22,1
N2 K1	13,4	70	3,4	4,3	15	2,3	30	24,7
N2 K2	13,4	70	3,4	3,2	15	1,7	30	23,7
N3	13,4	70	3,4	7,1	15	3,8	30	24,1

Taulukko 7.9. Parvekkeelle syntyvä melutaso ja parvekerakenteen tuottama äänitasoero, kun kaiteen rakoja ei oteta huomioon.

Parveke	Parvekelasitus	Kaidelasi	Parvekkeella	$\Delta L_{A,lask}$ [dB]
	L _{A,eq}	L _{A,eq}	L _{A,eq}	
	[dB]	[dB]	[dB]	
S1	55,1	38,3	55,2	14,8
S2	55,8	39,0	55,9	14,1
ON1	56,5	40,8	56,6	13,4
ON2	56,5	40,8	56,6	13,4
S3	56,5	39,9	56,6	13,4
N1	57,1	40,6	57,2	12,8
ON3	56,5	40,9	56,6	13,4
ON4	56,5	41,2	56,6	13,4
N2 K1	56,0	38,3	56,1	13,9
N2 K2	54,7	36,9	54,8	15,2
N3	58,2	40,4	58,3	11,7

Taulukko 7.10. Parvekkeelle syntyvä melutaso ja parvekerakenteen tuottama äänitasoero, kun kaiteen raot otetaan huomioon.

Parveke	Parvekelasitus	Kaidelasi+raot	Parvekkeella	$\Delta L_{A,lask}$
	$L_{A,eq}$ [dB]	$L_{A,eq}$ [dB]	$L_{A,eq}$ [dB]	[dB]
S1	55,1	45,8	55,6	14,4
S2	55,8	41,9	56,0	14,0
ON1	56,5	50,7	57,5	12,5
ON2	56,5	50,7	57,5	12,5
S3	56,5	48,1	57,1	12,9
N1	57,1	48,1	57,6	12,4
ON3	56,5	48	57,1	12,9
ON4	56,5	49,2	57,2	12,8
N2 K1	56	43,5	56,2	13,8
N2 K2	54,7	43,2	55,0	15,0
N3	58,2	46,3	58,5	11,5

Tulosten perusteella pelkästään kaiteiden lasivälien raot vaikuttavat merkittävästi kaiteen kautta kulkemaan ääneen, mutta parvekelasitus on silti määrävämpi näistä kahdesta rakennusosasta. Tämä ei tarkoita, ettei yleisesti kaiteen raoilla olisi vaikutusta syntyvään melutasoon, vaan että raot, jotka voidaan ottaa laskentateorialla huomioon, eivät vaikuta välttämättä merkittävästi syntyvään melutasoon kaikilla parvekkeilla.

7.4 Korjaustermi K

Kappaleiden 4 ja 5 perusteella mittaus- ja mitoitusmenetelmien tulokset eroavat toisistaan. Ero johtuu ainakin seuraavista seikoista:

1. Ulkona ja lähetyshuoneessa vallitsee eri äänikenttä
2. Parvekkeen keskimääräisen absorption epävarmuus
3. Mittausmenetelmän epävarmuus
4. Parvekkeen asennuksesta johtuvat epämääräiset raot
5. Kaikista rakennusosista ei ole laboratoriomittauksia

Näiden seikkojen huomioon ottaminen tarkasti on vaikeaa, ja ongelmaa lähestytään vertaamalla kenttämittauksen äänitasoeroa $\Delta L_{A,mit}$ laskennalliseen äänitasoeroon $\Delta L_{A,lask}$. Vertailun tuloksena saadaan korjaustermi, joka sisältää ainakin aiemmin mainittuja eroja:

$$K = \Delta L_{A,mit} - \Delta L_{A,lask} \quad (7.19)$$

Laskennalliset äänitasoerot saadaan kappaleen 7.3 laskentatuloksista.

7.4.1 Raide- ja lentomelu (R_w+C)

Taulukossa 7.11 esitetään mitatut ja lasketut äänitasoerot ΔL_A ja näistä määritetyt korjaustermit. Parvekkeen N2 eri kaiutinpisteet laskettiin erikseen, koska näissä kaiuttimella oli suora näköyhteys vain mitattavaan sivuun. Siten kaiutinsijoittelun aiheuttama vaikutus uskotaan pienentyvän, eikä se näy korjauskertoimen arvossa. Jos parvekkeen N2 äänitasoero laskettaisiin käyttämällä molempien sivujen pinta-aloja, korjauskertoimen suuruus olisi noin -2 dB, joka eroaisi muusta joukosta merkittävästi. Lisäksi, tällöin tulokset eroaisivat merkittävästi myös samanlaisen parvekkeen N3 tuloksista.

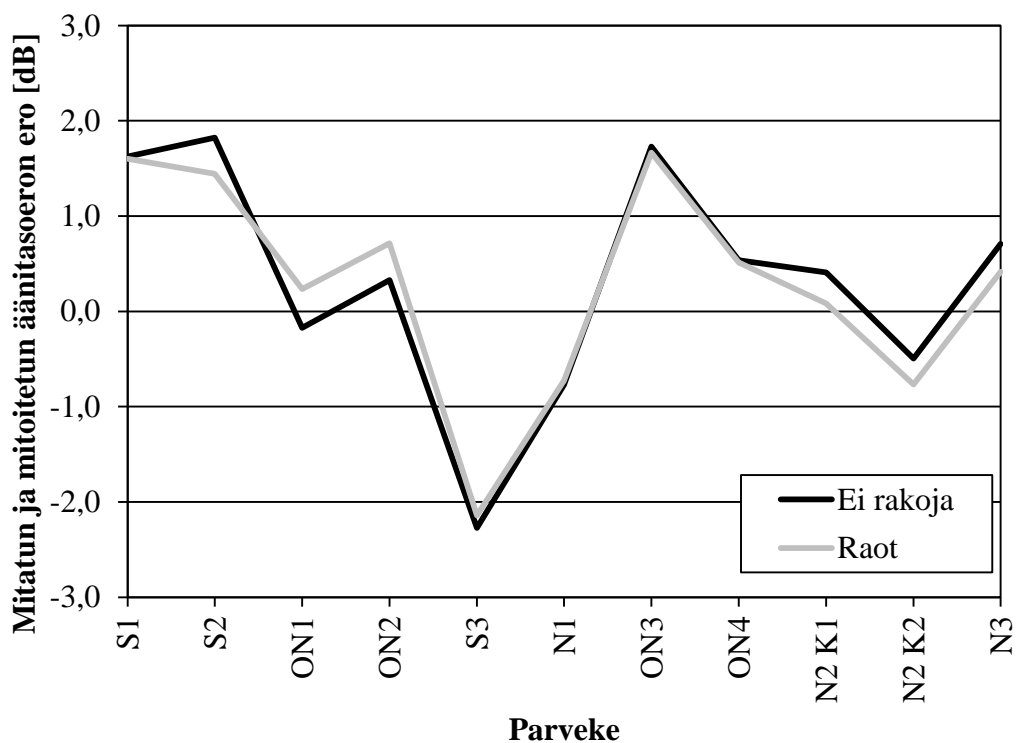
Myös kohteen 1 parvekkeet eroavat muusta joukosta. Kohteen 1 parvekkeet saivat otoksen parhaimmat äänitasoerot, ja siten myös ero laskennalliseen arvioon on pienin (laskennallinen arvio on yleensä aina suurempi kuin mitattu, koska kaikkia rakoja ja rakennusosia ei voi ottaa täydellisesti huomioon). Kevytrakenteisella parvekepielellä voi olla vaikutusta hyviin mitattuihin äänitasoeroihin, mutta selvää syytä ei tähän löydetty.

Taulukko 7.11. Mitatut ja lasketut äänitasoerot ΔL_A , ja näistä lasketut korjauskertoimet, kun raot otetaan tai ei oteta huomioon.

Parveke	$\Delta L_{A,mit}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask}$		K	
		Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]
S1	12,9	16,8	16,4	-3,9	-3,5
S2	12,4	16,1	16,0	-3,7	-3,6
ON1	8,7	14,4	13,5	-5,7	-4,8
ON2	9,2	14,4	13,5	-5,2	-4,3
S3	7,6	15,4	14,8	-7,8	-7,2
N1	8,5	14,8	14,3	-6,3	-5,8
ON3	10,6	14,4	14,0	-3,8	-3,4
ON4	9,4	14,4	14,0	-5,0	-4,6
N2 K1	10,8	15,9	15,8	-5,1	-5,0
N2 K2	11,2	17,2	17,0	-6,0	-5,8
N3	8,9	13,7	13,5	-4,8	-4,6
			Keskiarvo	-5,2	-4,8
			Keskihajonta	1,2	1,2

Korjaustermi on keskiarvoltaan -5,2 dB, kun kaiteen rakoja ei oteta huomioon, ja -4,8 dB, kun kaiteen raot otetaan huomioon. Pyöristettynä siis korjaustermi olisi -5 dB molemmissa tapauksissa. Jos kohteen 1 parvekkeita ei oteta huomioon, keskiarvot olisivat -5,5 dB ja -5,1 dB. Keskihajonnat olisivat tällöin 1,1 dB. Kun kohteen 1 parvekkeita ei oteta huomioon eli käytetään korjaustermin keskiarvoa -5,5 dB, joka

lisätään mitoitustuloksiin, saadaan kuvan 7.1 mukaiset erot mittaustuloksiin. Tulokset esitetään myös taulukossa 7.12.



Kuva 7.1. Lopullisen mitoitusmenetelmän laskentatulosten ero mittauksiin.

Taulukko 7.12. Lopullisen mitoitusmenetelmän laskentatulosten ero mittauksiin.

Parveke	$\Delta L_{A,mit}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask}$		$\Delta L_{A,lask} + K$		Ero	
		Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]
S1	12,9	16,8	16,4	11,3	11,3	1,6	1,6
S2	12,4	16,1	16,0	10,6	11,0	1,8	1,4
ON1	8,7	14,4	13,5	8,9	8,5	-0,2	0,2
ON2	9,2	14,4	13,5	8,9	8,5	0,3	0,7
S3	7,6	15,4	14,8	9,9	9,7	-2,3	-2,1
N1	8,5	14,8	14,3	9,3	9,2	-0,8	-0,7
ON3	10,6	14,4	14,0	8,9	8,9	1,7	1,7
ON4	9,4	14,4	14,0	8,9	8,9	0,5	0,5
N2 K1	10,8	15,9	15,8	10,4	10,7	0,4	0,1
N2 K2	11,2	17,2	17,0	11,7	12,0	-0,5	-0,8
N3	8,9	13,7	13,5	8,2	8,5	0,7	0,4

Keskiarvoinen korjaustermi vaikuttaisi tuottavan mitoitusarvoja, jotka eroavat mittaustuloksesta noin ± 2 dB kaikilla kohteilla. Suunnittelussa mielekkäämpää on kuitenkin suorittaa laskenta 1 dB tarkkuudella. Johdetaan edellä mainitut tulokset siis

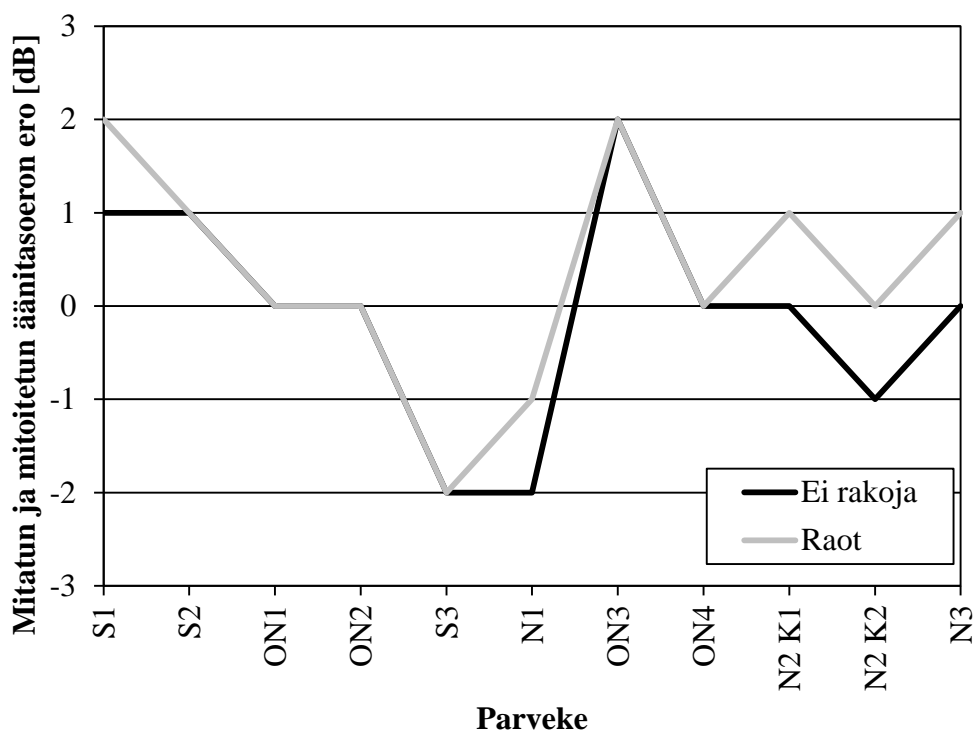
suorittamalla äänenpainetasojen ja ilmaääneneristyslukujen laskelmat 0,1 dB tarkkuudella ja pyöristämällä lopullinen äänitasoero $\Delta L_{A,lask}$ 1 dB tarkkuuteen. Tästä määritetään korjaustermin keskiarvo 1 dB tarkkuudella. Absorption määrittämisessä käytetään tilavuuden tarkkuutena 0,1 m³. Absorptio esitetään 0,1 m² tarkkuudella. Mitatut äänitasoerot, laskennalliset äänitasoerot ja korjaustermit esitetään taulukossa 7.13.

Taulukko 7.13. Korjaustermin tulokset 1 dB tarkkuudella ilmaääneneristysluvulle R_w+C .

Parveke	$\Delta L_{A,mit}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask}$		K	
		Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]
S1	13	17	16	-4	-3
S2	12	16	16	-4	-4
ON1	9	14	14	-5	-5
ON2	9	14	14	-5	-5
S3	8	15	15	-7	-7
N1	8	15	14	-7	-6
ON3	11	14	14	-3	-3
ON4	9	14	14	-5	-5
N2 K1	11	16	15	-5	-4
N2 K2	11	17	16	-6	-5
N3	9	14	13	-5	-4
			Keskiarvo	-5,1	-4,6
			Keskihajonta	1,2	1,2

Korjaustermi on keskiarvoltaan -5,1 dB, kun kaiteen rakoja ei oteta huomioon, ja -4,6 dB, kun kaiteen raot otetaan huomioon. Pyöristettynä siis korjaustermi olisi -5 dB molemmissa tapauksissa. Jos kohteen 1 parvekkeita ei oteta huomioon, keskiarvot olisivat

-5,3 dB ja -4,9 dB. Keskihajonnat olisivat tällöin myös 1,2 dB. Laskenta 1 dB tarkkuudella siis vaikutti vähäisesti korjaustermin arvoon. Kun käytetään korjaustermin keskiarvoa -5 dB, joka lisätään mitoitustuloksiin, saadaan kuvan 7.2 mukaiset erot mittaustuloksiin. Tulokset esitetään myös taulukossa 7.14.



Kuva 7.2. Lopullisen mitoitusmenetelmän laskentatulosten ero mittauksiin, kun äänitasoerot lasketaan 1 dB tarkkuudella.

Taulukko 7.14. Lopullisen mitoitusmenetelmän laskentatulosten ero mittauksiin, kun äänitasoerot lasketaan 1 dB tarkkuudella.

Parveke	$\Delta L_{A,mit}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask}$		$\Delta L_{A,lask} + K$		Ero	
		Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]
S1	13	17	16	12	11	1	2
S2	12	16	16	11	11	1	1
ON1	9	14	14	9	9	0	0
ON2	9	14	14	9	9	0	0
S3	8	15	15	10	10	-2	-2
N1	8	15	14	10	9	-2	-1
ON3	11	14	14	9	9	2	2
ON4	9	14	14	9	9	0	0
N2 K1	11	16	15	11	10	0	1
N2 K2	11	17	16	12	11	-1	0
N3	9	14	13	9	8	0	1

Lasitetun parvekkeen ääneneristävyiden mittausepävarmuudesta ei ole tarkkaa tietoa (katso kappale 5.6.1). Kirjallisuuden [8][130][159] perusteella mittalukujen epävarmuus standardin esittämien rajojen puitteissa voi olla jopa ± 2 dB. Mitoitusmenetelmän tulosten epävarmuus vaikuttaa olevan raide- ja lentomelua vastaan myös ± 2 dB kaikilla parvekkeilla. Mitoitusmenetelmä ei siten tuota kohtuuttoman epävarmoja tuloksia, ja

sitä voidaan käyttää. Ottamalla kaiteen raot huomioon pienempi määrä parvekkeiden mitoitustuloksista on epävarmalla puolella.

7.4.2 Tieliikennemelu (R_w+C_{tr})

Taulukossa 7.15 esitetään mitatut ja lasketut äänitasoerot ΔL_A ja näistä määritetyt korjaustermit. Parvekkeen N2 eri kaiutinpisteet laskettiin erikseen, koska näissä kaiuttimella oli suora näköyhteys vain mitattavaan sivuun. Siten kaiutinsijoittelun aiheuttama vaikutus uskotaan pienentyvän, eikä se näy korjauskertoimen arvossa. Jos parvekkeen N2 äänitasoero laskettaisiin käyttämällä molempien sivujen pinta-aloja, korjauskertoimen suuruus olisi noin -2 dB, joka eroaisi muusta joukosta merkittävästi. Lisäksi, tällöin tulokset eroaisivat merkittävästi myös samanlaisen parvekkeen N3 tuloksista.

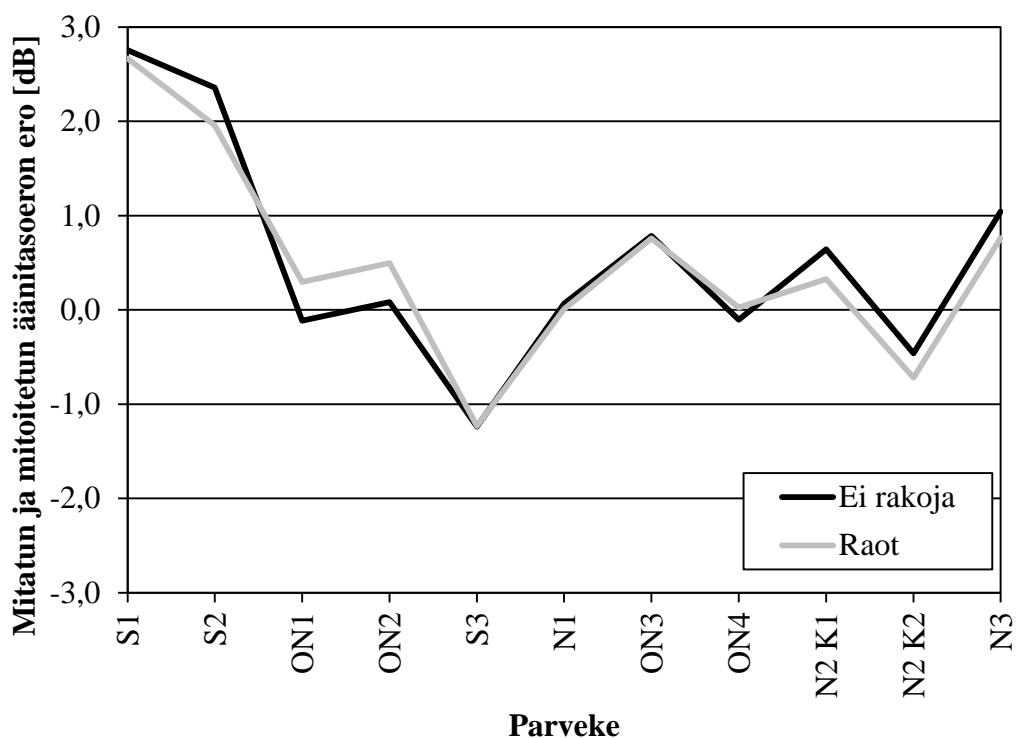
Myös kohteen 1 parvekkeet eroavat muusta joukosta melkoisesti. Kohteen 1 parvekkeet saivat otoksen parhaimmat äänitasoerot, ja siten myös ero laskennalliseen arvioon on pienin (laskennallinen arvio on yleensä aina suurempi kuin mitattu, koska kaikkia rakoja ja rakennusosia ei voi ottaa huomioon). Kevytrakenteisella parvekepielellä voi olla vaikutusta hyviin mitattuihin äänitasoeroihin, mutta selvää syytä ei tähän löydetty.

Taulukko 7.15. Mitatut ja lasketut äänitasoerot ΔL_A , ja näistä lasketut korjauskertoimet, kun raot otetaan tai ei oteta huomioon.

Parveke	$\Delta L_{A,mit}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask}$		K	
		Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]
S1	12,1	14,8	14,4	-2,7	-2,3
S2	11,0	14,1	14,0	-3,1	-3,0
ON1	7,8	13,4	12,5	-5,6	-4,7
ON2	8,0	13,4	12,5	-5,4	-4,5
S3	6,7	13,4	12,9	-6,7	-6,2
N1	7,4	12,8	12,4	-5,4	-5,0
ON3	8,7	13,4	12,9	-4,7	-4,2
ON4	7,8	13,4	12,8	-5,6	-5,0
N2 K1	9,2	13,9	13,8	-4,7	-4,6
N2 K2	9,3	15,2	15,0	-5,9	-5,7
N3	7,4	11,7	11,5	-4,3	-4,1
			Keskiarvo	-4,9	-4,5
			Keskihajonta	1,2	1,1

Korjaustermi on keskiarvoltaan -4,9 dB, kun kaiteen rakoja ei oteta huomioon, ja -4,5 dB, kun kaiteen raot otetaan huomioon. Pyöristettynä siis korjaustermi olisi -5 dB molemmissa tapauksissa. Jos kohteen 1 parvekkeita ei oteta huomioon, keskiarvot

olisivat -5,4 dB ja -4,9 dB. Keskihajonnat olisivat tällöin 0,7 dB. Kun kohteen 1 parvekkeita ei oteta huomioon eli käytetään korjaustermien keskiarvoa -5,4 dB, joka lisätään mitoitustuloksiin, saadaan kuvan 7.3 mukaiset erot mittaustuloksiin. Tulokset esitetään myös taulukossa 7.16. Keskiarvoinen korjaustermi aiheuttaa parvekkeiden S1 ja S2 reilua aliarviointia, mutta muilla parvekkeilla ovat arvojen -1,2...0,8 dB välissä.



Kuva 7.3. Lopullisen mitoitusmenetelmän laskentatulosten ero mittauksiin.

Taulukko 7.16. Lopullisen mitoitusmenetelmän laskentatulosten ero mittauksiin.

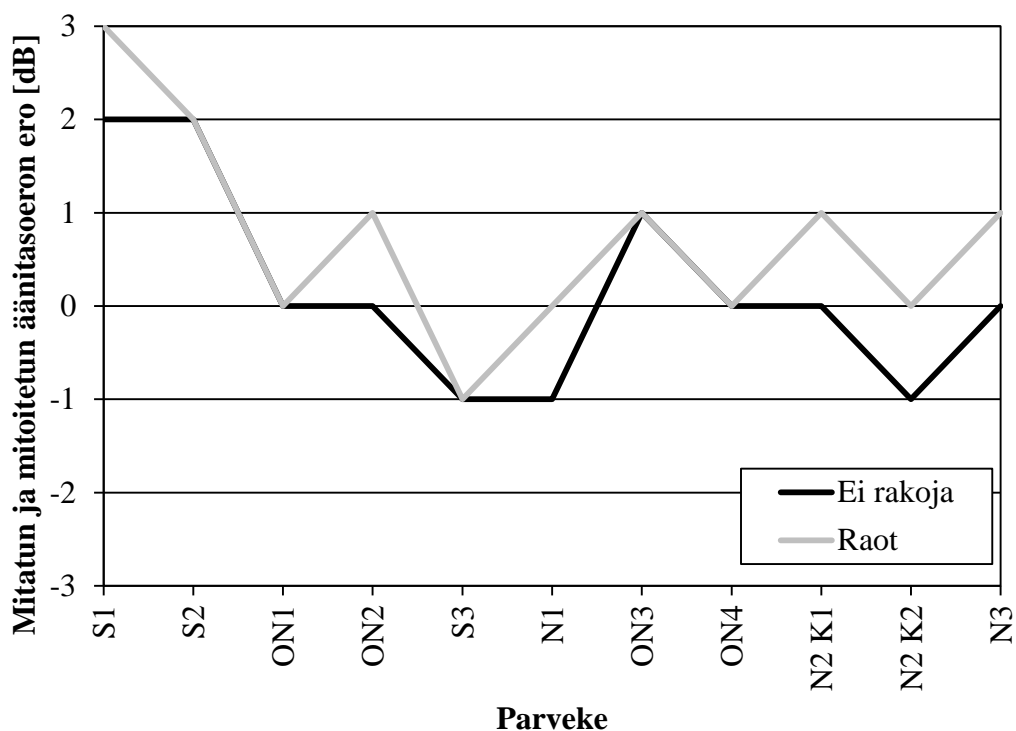
Parvekke	$\Delta L_{A,mit}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask}$		$\Delta L_{A,lask} + K$		Ero	
		Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]
S1	12,1	14,7	14,3	9,3	9,4	2,8	2,7
S2	11,0	14,0	13,9	8,6	9,0	2,4	2,0
ON1	7,8	13,3	12,4	7,9	7,5	-0,1	0,3
ON2	8,0	13,3	12,4	7,9	7,5	0,1	0,5
S3	6,7	13,3	12,8	7,9	7,9	-1,2	-1,2
N1	7,4	12,7	12,3	7,3	7,4	0,1	0,0
ON3	8,7	13,3	12,8	7,9	7,9	0,8	0,8
ON4	7,8	13,3	12,7	7,9	7,8	-0,1	0,0
N2 K1	9,2	13,9	13,8	8,6	8,9	0,6	0,3
N2 K2	9,3	15,1	14,9	9,8	10,0	-0,5	-0,7
N3	7,4	11,7	11,5	6,4	6,6	1,0	0,8

Keskiarvoinen korjaustermi vaikuttaisi tuottavan mitoitusarvoja, jotka eroavat mittaustuloksesta noin ± 1 dB, jos ei oteta huomioon kohdetta 1. Suunnittelussa mielekkäämpää on kuitenkin suorittaa laskenta 1 dB tarkkuudella. Johdetaan edellä mainitut tulokset siis suorittamalla äänenpainetasojen ja ilmaääneneristyslukujen laskelmat 0,1 dB tarkkuudella ja pyöristämällä lopullinen äänitasoero $\Delta L_{A,lask}$ 1 dB tarkkuuteen. Tästä määritetään korjaustermin keskiarvo 1 dB tarkkuudella. Absorption määrittämisessä käytetään tilavuuden tarkkuutena 0,1 m³. Absorptio esitetään 0,1 m² tarkkuudella. Mitatut äänitasoerot, laskennalliset äänitasoerot ja korjaustermit esitetään taulukossa 7.17.

Taulukko 7.17. Korjaustermin tulokset 1 dB tarkkuudella ilmaääneneristysluville R_w+C_{tr} .

Parveke	$\Delta L_{A,mit}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask}$		K	
		Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]
S1	12	15	14	-3	-2
S2	11	14	14	-3	-3
ON1	8	13	13	-5	-5
ON2	8	13	12	-5	-4
S3	7	13	13	-6	-6
N1	7	13	12	-6	-5
ON3	9	13	13	-4	-4
ON4	8	13	13	-5	-5
N2 K1	9	14	13	-5	-4
N2 K2	9	15	14	-6	-5
N3	7	12	11	-5	-4
			Keskiarvo	-4,8	-4,3
			Keskihajonta	1,1	1,1

Korjaustermi on keskiarvoltaan -4,8 dB, kun kaiteen rakoja ei oteta huomioon, ja -4,3 dB, kun kaiteen raot otetaan huomioon. Pyöristettynä siis korjaustermi olisi -5 dB ja -4 dB. Jos kohteen 1 parvekkeita ei oteta huomioon, keskiarvot olisivat -5,2 dB ja -4,7 dB. Keskihajonnat olisivat tällöin 0,7 dB. Laskenta 1 dB tarkkuudella siis vaikutti vähäisesti korjaustermin arvoon. Kun kohteen 1 parvekkeita ei oteta huomioon eli käytetään korjaustermin keskiarvoa -5 dB, joka lisätään mitoitustuloksiin, saadaan kuvan 7.4 mukaiset erot mittaustuloksiin. Tulokset esitetään myös taulukossa 7.18. Mitoitusmenetelmä aliarvioi kohteen 1 parvekkeiden äänitasoeroa 2...3 dB, mutta muut parvekkeet ovat ± 1 dB sisällä.



Kuva 7.4. Lopullisen mitoitusmenetelmän laskentatulosten ero mittauksiin, kun äänitasoerot lasketaan 1 dB tarkkuudella.

Taulukko 7.18. Lopullisen mitoitusmenetelmän laskentatulosten ero mittauksiin, kun äänitasoerot lasketaan 1 dB tarkkuudella.

Parveke	$\Delta L_{A,mit}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask}$		$\Delta L_{A,lask} + K$		Ero	
		Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]	Ei rakoja [dB]	Raot [dB]
S1	12	15	14	10	9	2	3
S2	11	14	14	9	9	2	2
ON1	8	13	13	8	8	0	0
ON2	8	13	12	8	7	0	1
S3	7	13	13	8	8	-1	-1
N1	7	13	12	8	7	-1	0
ON3	9	13	13	8	8	1	1
ON4	8	13	13	8	8	0	0
N2 K1	9	14	13	9	8	0	1
N2 K2	9	15	14	10	9	-1	0
N3	7	12	11	7	6	0	1

Lasitetun parvekkeen ääneneristävyyden mittausepävarmuudesta ei ole tarkkaa tietoa (katso kappale 5.6.1). Kirjallisuuden [8][130][159] perusteella mittalukujen epävarmuus standardin esittämien rajojen puitteissa voi olla jopa ± 2 dB. Mitoitusmenetelmän tulosten epävarmuus vaikuttaa olevan tieliikennemelua vastaan ± 1 dB, kun poikkeavia parvekkeita S1 ja S2 ei oteta huomioon. Mitoitusmenetelmä ei siten tuota kohtuuttoman

epävarmoja tuloksia, ja sitä voidaan käyttää. Ottamalla kaiteen raot huomioon pienempi määrä parvekkeiden mitoitustuloksista on epävarmalla puolella.

7.5 Mittauskohteille vaadittavat parvekelasitukset

Tarkastellaan kehitetyllä laskentamenetelmällä saavutettavia ääneneristävyyksiä tieliikennemelua vastaan. Suoritetaan laskenta mittauskohteiden parvekkeille, ja pyritään saavuttamaan vaaditut äänitasoerot, jos näitä ei mittauksen perusteella vielä saavutettu. Taulukossa 7.19 esitetään mittauksien tulokset, mitoitustulokset ja vaatimukset parvekkeille. Taulukosta nähdään, että parvekkeiden S3, N1, ON3 ja ON4 mitoitussarvot eivät toteuta vaatimuksia päivällä eivätkä yöllä. Lisäksi parvekkeiden ON1 ja ON2 mitoitussarvot eivät toteuta vaatimuksia yöllä.

Taulukko 7.19. Parvekkeiden mittauksien tulokset, mitoitustulokset ja vaatimukset äänitasoerolle.

Parveke	$\Delta L_{A,mit}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask} + K$		$\Delta L_{A,vaad,7-22}$ [dB]	$\Delta L_{A,vaad,22-7}$ [dB]
		Ei rakoja [dB]	Raot [dB]		
S1	12	10	9	7	-
S2	11	9	9	7	-
ON1	8	8	8	7	12
ON2	8	8	7	7	12
S3	7	8	8	10	12
N1	7	8	7	10	12
ON3	9	8	8	9	12
ON4	8	8	8	9	12
N2 K1	9	9	8	1	6
N2 K2	9	10	9	1	6
N3	7	7	6	2	7

Laskennallisesti suurin merkitys on avattavalla parvekelasituksella, koska kaiteen ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan on reilusti suurempi kuin parvekelasituksen, eikä kaiteen pinta-ala ole merkittävästi suurempi kuin parvekelasituksen. Määritetään parvekelasitukselta vaadittava ääneneristävyys, jotta päästään vaatimukseen. Taulukoissa 7.20-7.23 esitetään mitoitustulokset. Taulukoissa 7.20 ja 7.21 kaidelasin rakoja ei oteta huomioon, ja taulukoissa 7.22 ja 7.23 otetaan kaiteen raot huomioon. Taulukoissa 7.20 ja 7.22 esitetään päiväajan vaatimusten mukaiset laskelmat. Vastaavasti taulukoissa 7.21 ja 7.23 esitetään yöajan vaatimusten mukaiset laskelmat. Tuloksista nähdään, että rakojen huomioon ottaminen on tärkeää, kun parvekelasituksen ääneneristävyys lähestyy kaiteen ääneneristävyyttä. Tähän vaikuttaa myös osien pinta-alojen suhde. Lasituksen ja kaiteen ominaisuuksien ollessa

lähellä toisiaan on perusteltua aina ottaa huomioon kaiteen raot, jotta yliarviointia ei tulisi. Vaihtoehtoisesti voidaan kaidarakennettakin parantaa.

Taulukko 7.20. Mitattujen parvekkeiden parvekelasituksilta vaadittavat ilmaääneneristysluvut tieliikennemelua vastaan päiväohjearvon mukaan, kun kaidelasin lasivälejä ei oteta huomioon.

Parveke	Parvekelasitus		Kaidelasi	Parvekkeella	$\Delta L_{A,lask}$	$\Delta L_{A,lask} + K$
	R_w+C_{tr}	$L_{A,eq}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,eq}$		
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
S3	18	54,5	39,9	54,6	15	10
N1	18	55,1	40,6	55,3	15	10
ON3	17	55,5	40,9	55,6	14	9
ON4	17	55,5	41,2	55,7	14	9

Taulukko 7.21. Mitattujen parvekkeiden parvekelasituksilta vaadittavat ilmaääneneristysluvut tieliikennemelua vastaan yöohjearvon mukaan, kun kaidelasin lasivälejä ei oteta huomioon.

Parveke	Parvekelasitus		Kaidelasi	Parvekkeella	$\Delta L_{A,lask}$	$\Delta L_{A,lask} + K$
	R_w+C_{tr}	$L_{A,eq}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,eq}$		
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
ON1	20	52,5	40,8	52,8	17	12
ON2	20	52,5	40,8	52,8	17	12
S3	20	52,5	39,9	52,7	17	12
N1	20	53,1	40,6	53,3	17	12
ON3	20	52,5	40,9	52,8	17	12
ON4	20	52,5	41,2	52,8	17	12

Taulukko 7.22. Mitattujen parvekkeiden parvekelasituksilta vaadittavat ilmaääneneristysluvut tieliikennemelua vastaan päiväohjearvon mukaan, kun kaidelasin lasivälit otetaan huomioon.

Parveke	Parvekelasitus		Kaidelasi+raot	Parvekkeella	$\Delta L_{A,lask}$	$\Delta L_{A,lask} + K$
	R_w+C_{tr}	$L_{A,eq}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,eq}$		
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
S3	19	53,5	49,5	55,0	15	10
N1	19	54,1	49,5	55,4	15	10
ON3	18	54,5	49,5	55,7	14	9
ON4	18	54,5	49,4	55,7	14	9

Taulukko 7.23. Mitattujen parvekkeiden parvekelasituksilta vaadittavat ilmasteneristysluvat tieliikennemelua vastaan yöohjearvon mukaan, kun kaidelasin lasivälit otetaan huomioon.

Parveke	Parvekelasitus		Kaidelasi+raot	Parvekkeella	$\Delta L_{A,lask}$	$\Delta L_{A,lask} + K$
	$R_w + C_{tr}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,eq}$		
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
ON1	21	51,5	47,9	53,1	17	12
ON2	23	49,5	50,7	53,2	17	12
S3	22	50,5	49,5	53,0	17	12
N1	22	51,1	49,5	53,4	17	12
ON3	22	50,5	49,5	53,0	17	12
ON4	22	50,5	49,4	53,0	17	12

Päiväajan suurimmat vaaditut ilmasteneristysluvat tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ ovat 18 dB ilman rakoja ja 19 dB rakojen kanssa. Yöajan suurimmat vaaditut arvot ovat vastaavasti 20 ja 23 dB. Yli 18 dB ilmasteneristysluvun $R_w + C_{tr}$ saavuttaminen perinteisillä parvekelasituksilla on jo haastavaa, vaikka parhaimmillaan tuotevalmistajat lupaavat $R_w + C_{tr}$ arvoksi jopa 28 dB [121]. Näyttäisi olevan siis mahdollista, että parvekelasitukset on mahdollista toteuttaa hyvinkin ääntä eristävästi ottaen huomioon parvekkeen määritelmä ohjeissa (kappale 2.1). Tässä ei kuitenkaan oteta kantaa parvekkeen ilmanvaihtoon, joka vaatii rakoja.

7.6 Menetelmän käyttäytyminen

Parvekkeen lopullinen äänitasoero riippuu mitoitusmenetelmässä useammasta eri muuttujasta. Jotkin muuttujat voidaan kuitenkin vakioida:

1. Lasituksen korkeus = 1,6 m
2. Kaiteen korkeus = 1,0 m
3. Kaidelasin $R_w + C_{tr} = 30$ dB
4. Ei lisättyä absorptiomateriaalia

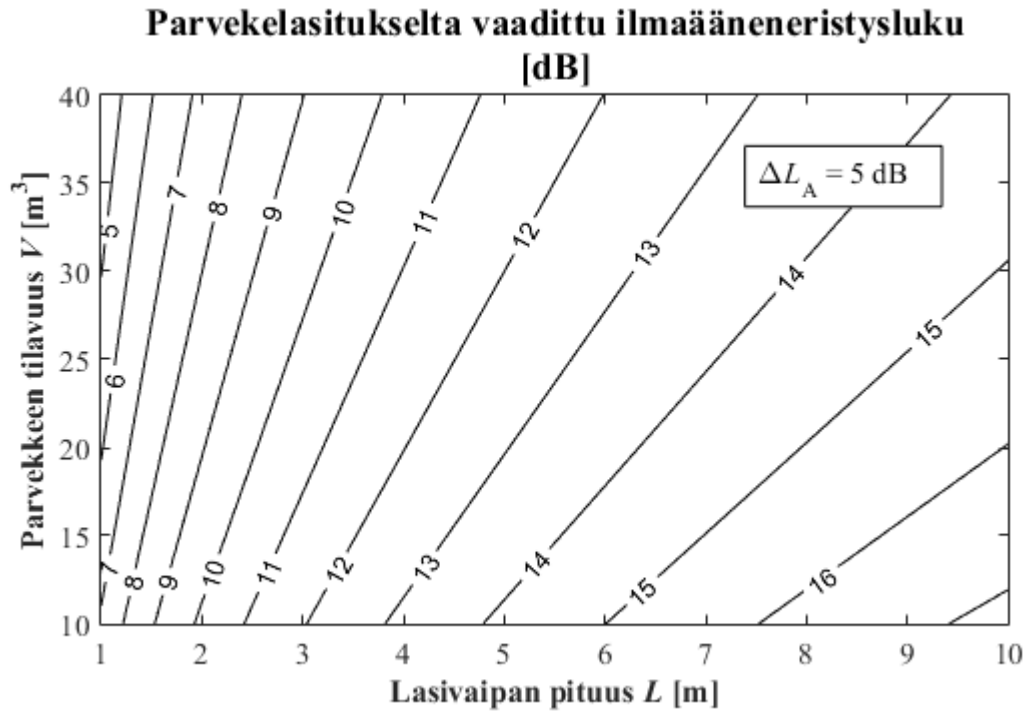
Muuttujiksi saadaan siis lasivaipan pituus, tilavuus, vaadittava äänitasoero ja lasituksen vaadittu kokonaisääneneristävyyys. Kaide oletetaan siis tiiviiksi. Näilläkin oletuksilla muuttujia jää runsaasti, jolloin yksiselitteinen ratkaisu on mahdotonta. Tyypillisille tapauksille voidaan kuitenkin laskea esimerkkituloksia, joista voidaan joitain päätelmiä tehdä.

Kaavojen (4.8), (4.9) ja (7.1) perusteella voidaan johtaa lasituksen vaadittava ilmaääneneristävyys:

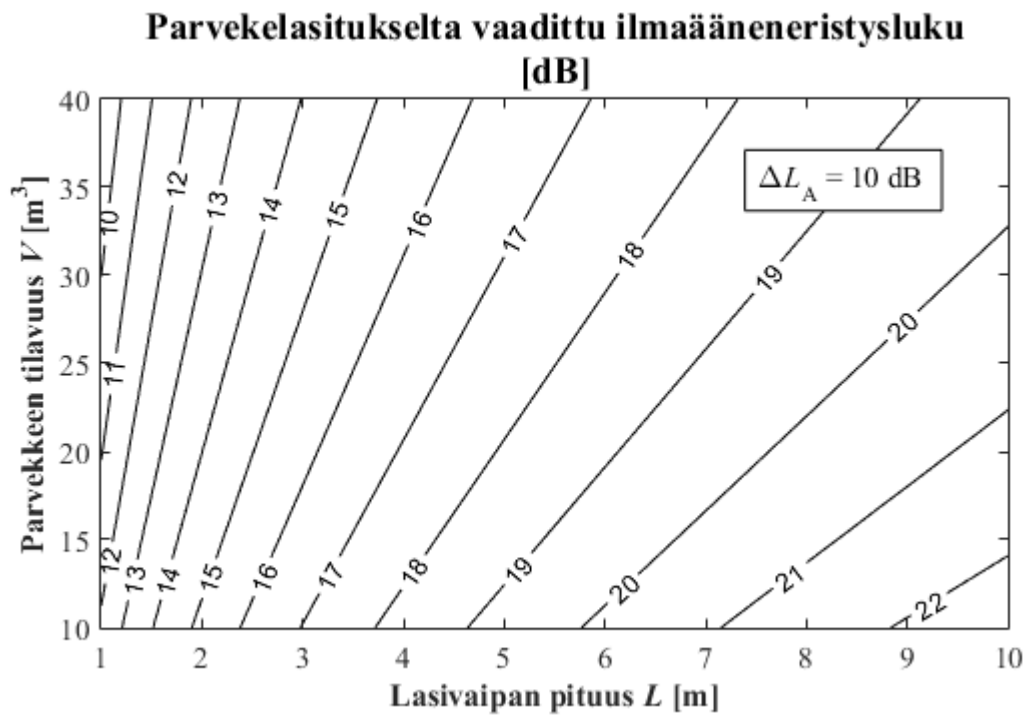
$$R_{\text{lasi,vaad}} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{S_{\text{lasi}}} \left(10^{-\frac{\Delta L_{A,\text{vaad}}}{10} - \log_{10} \frac{1}{A} + K} - \sum_i^n S_i 10^{\frac{-R_i}{10}} \right) \right] \quad (7.20)$$

jossa $R_{\text{lasi,vaad}}$ on avattavan lasituksen vaadittava ilmaääneneristävyys (ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan), S_{lasi} on avattavan lasituksen pinta-ala, $\Delta L_{A,\text{vaad}}$ on parvekkeelta vaadittava äänitasoero, A on parvekkeen absorptioala, K on kappaleessa 7.4 määritetty korjaustermi (-5 dB), S_i on rakennusosan i (ei parvekelasitus) pinta-ala ja R_i on rakennusosan i ilmaääneneristävyys (esimerkiksi ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan). Kaavaa (7.20) pyörittämällä voidaan myös ratkaista muitakin muuttujia, mutta mielenkiintoisin lienee lasitukselta vaadittava ilmaääneneristävyys. Tästä voidaan myös laskea, kuinka paljon rakoja voi lasissa olla, jotta tämä saavutetaan. Siinäkin tapauksessa joitain muuttujia joudutaan lukitsemaan, jotta tulkintoja voidaan tehdä.

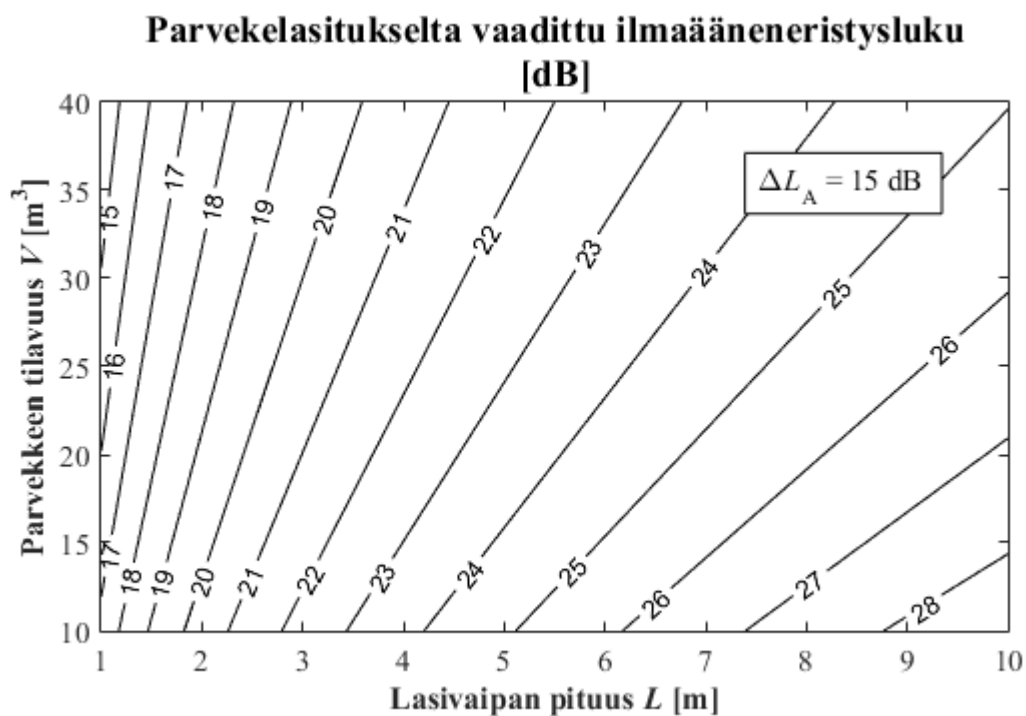
Käyttämällä kaavaa (7.20) ratkaistaan lasituksen vaadittu ääneneristävyys tilavuuden (absorption) ja lasipinta-alan suhteen eri äänitasoeroilla, kun kaide on ainut muu rakennusosa. Kuvissa 7.5-7.8 esitetään parvekelasitukselta vaadittavat ilmaääneneristysluvut äänitasoeroille 5, 10 15 ja 20 dB. Äänitasoeron lähestyessä kaiteen ääneneristävyttä logaritmin sisällä oleva termi muuttuu negatiiviseksi, eikä ratkaisua ole.



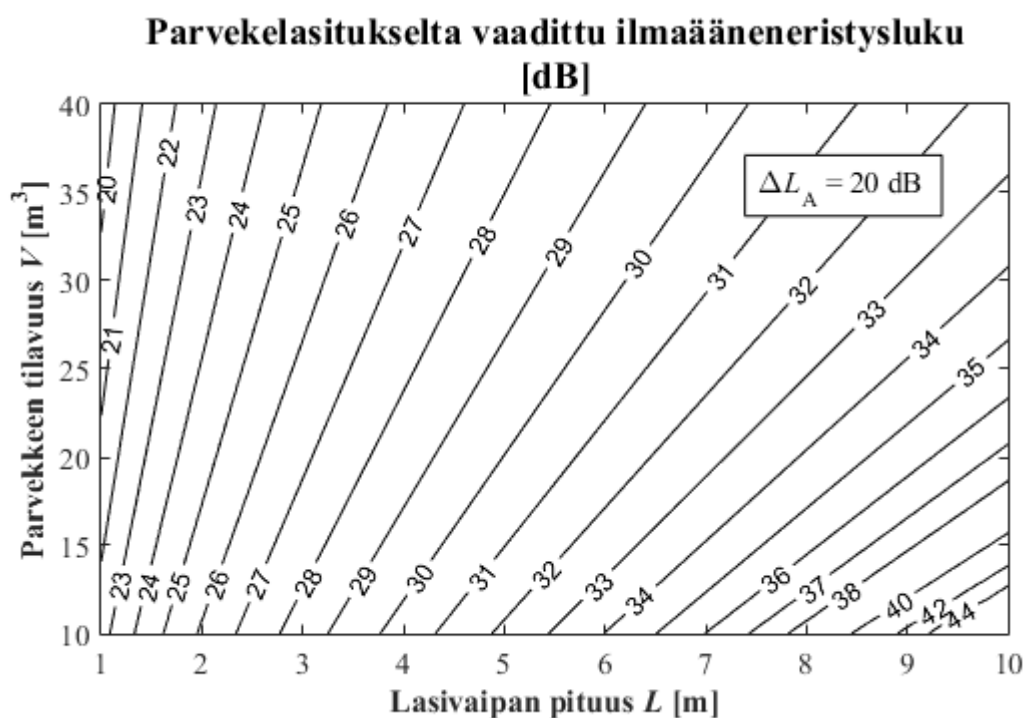
Kuva 7.5. Parvekelasitukselta vaadittava ilmäääneneristysluku parvekkeen tilavuuden V ja lasivaipan pituuden L suhteen, kun vaadittu äänitasoero ΔL_A on 5 dB.



Kuva 7.6. Parvekelasitukselta vaadittava ilmäääneneristysluku parvekkeen tilavuuden V ja lasivaipan pituuden L suhteen, kun vaadittu äänitasoero ΔL_A on 10 dB.



Kuva 7.7. Parvekelasitukselta vaadittava ilmaääneneristysluku parvekkeen tilavuuden V ja lasivaipan pituuden L suhteen, kun vaadittu äänitasoero ΔL_A on 15 dB.



Kuva 7.8. Parvekelasitukselta vaadittava ilmaääneneristysluku parvekkeen tilavuuden V ja lasivaipan pituuden L suhteen, kun vaadittu äänitasoero ΔL_A on 20 dB.

Kuvien 7.5-7.8 perusteella mallissa kasvava tilavuus pienentää ja kasvava pinta-ala kasvattaa vaadittavaa lasituksen ilmaääneneristyslukua. Tilavuudella vaikuttaisi olevan suhteellisesti pienempi vaikutus lasitukselta vaadittavaan ääneneristävyyteen kuin lasivaipan koolla.

7.7 Ilmanvaihtoaukkojen vaikutus ääneneristävyyteen

Kappaleessa 3 esitetään parvekkeen lämpötila- ja ilmanvaihtomalli, jonka esimerkissä esitetään ilmanvaihtoon tarvittavia aukkokoja.. Parvekkeen koko laskentaesimerkissä on $4 \times 2 \times 2,6 \text{ m}^3$, josta parvekelasituksen korkeus on 1,6 metriä ja kaiteen 1,0 metriä. Mahdolliset lasivälit oletetaan olevan 2 mm levyisiä.

Ilmanvaihtoaukkojen vaikutusta lasitetun parvekkeen vaipparakenteeseen tarkastellaan käyttämällä ideaalista lasia (Taulukko 4.2). Koko parvekelasituksen ääneneristävyyden laskennallinen tarkastelu on haastavaa, eikä mahdollista tämän tutkimuksen puitteissa, koska laskentateoriaa tulisi verrata mittauksiin. Tosiasiallisesti tulisi ottaa parvekelasituksen muutkin rakennusosat huomioon ääneneristävyytstarkastelussa.

Parvekkeen vaipparakenteen lasihin sijoitetaan raot 5 eri tavalla:

1. Raot parvekelasituksen ylä- ja kaiteen alaprofiilissa
2. Raot parvekelasituksen ylä- ja alaprofiilissa
3. Raot parvekelasituksen lasiväleissä
4. Raot parvekelasituksen profiileissa ja lasiväleissä
5. Raot parvekelasituksen ja kaiteen lasiväleissä

Pohjoiseen suunnatulta parvekkeelta vaaditaan vähintään 2 mm korkea ja 4 metriä pitkää rakoja ala- ja yläprofiiliin, jotta ilmanvaihtokertoimeksi saadaan 0,5 1/h käyttöaikana. Raon oletetaan olevan 50 mm syvä (profiilin arvioitu leveys). Profiilirakojen ollessa vain parvekelasituksessa (kohta 2) raon korkeudeksi tarvitaan (kaava (3.11)):

$$d_1 = d_2 \sqrt{\frac{H}{h}} = 0,002 * \sqrt{\frac{2,6}{1,6}} \text{ m} = 0,00255 \text{ m}$$

Kohdassa 2 tarvitaan 2,6 mm korkea rako. Kohdan 2 tilanne voi esiintyä silloin, kun kaide on tiivis (esimerkiksi teräsbetoninen kaide). Ilmanvaihto voidaan toteuttaa lasiväleillä, jolloin 2 mm lasivälejä tarvitaan 10 kpl (kohta 3) tai 8 kpl (kohta 5). Kohdassa 4 oletetaan, että parvekelasituksessa esiintyy nykyisillä lasitustyypeillä 5 lasiväliä, jolloin profiiliraoilta vaaditaan pinta-alaksi:

$$A_{\text{profiilit}} = \frac{1}{3} A_{\text{lasivälit}} \sqrt{\frac{H}{h}} = \frac{1}{3} * 5 * 0,0032 * \sqrt{\frac{1,6}{1,6}} m^2 = 0,00533 m^2$$

Tämä tarkoittaa 4 metrin matkalla noin 1,4 mm korkuista rakoa. Kohdissa 3 ja 5 ei oteta huomioon lasiväljen määrän realistisuutta. Käytetään parvekelasituksen 6 mm karkaistua lasia ($R_w + C_{tr} = 28$ dB) ja kaiteelle 8 mm laminoitua lasia ($R_w + C_{tr} = 30$ dB).

Taulukossa 7.24 esitetään eri kohtien rakojen koot, kokonaispinta-alat ja ilmääneneristysluvut tieliikennemelua vastaan. Rakojen ilmääneneristävyydet lasketaan Mechelin [96][97] viivamaisen raon teorialla. Syvän (50 mm) ja ohuen raon (6 mm) ilmääneneristysluvuissa on eroa noin 9 dB. Tästä jo huomataan, että ääneneristävyyden kannalta on tehokkaampaa toteuttaa ilmanvaihto profiilien raoilla, koska raoilta vaadittava pinta-ala ja ilmääneneristysluvut ovat pienempiä.

Rakennusosien ilmääneneristysluvut rakojen kanssa esitetään taulukossa 7.25. Näistä huomataan, että ilmanvaihdon toteuttaminen lasiväleillä voi vaikuttaa merkittävästi saavutettavaan ääneneristävyyteen. Taulukoissa 7.26 ja 7.27 esitetään äänitasoeron laskentaan tarvittavat tiedot ja tulokset.

Taulukko 7.24. Rakojen laskentatiedot kohdittain.

Kohta	Raon leveys	Raon syvyys	Määrä	Raon kokonaisala	$R_w + C_{tr}$
	[mm]	[mm]	[kpl]	[m ²]	[dB]
1	2	50	2	0,016	3,1
2	2,6	50	2	0,0208	2,5
3	2	6	10	0,032	-5,7
4	2	6	5	0,016	-5,7
4	1,4	50	2	0,0112	3,8
5	2	6	8	0,0256	-5,7
5	2	8	8	0,016	-4,5

Taulukko 7.25. Parvekerakenteiden kokonaiseristävyys rakojen kanssa.

Kohta	Rakennusosa		Raot				Kokonaiseristävyys
	S [mm ²]	R_w+C_{tr} [dB]	S [mm ²]	R_w+C_{tr} [dB]	S [mm ²]	R_w+C_{tr} [dB]	R_w+C_{tr} [dB]
1	6,4	28	0,008	3,1	-	-	26,6
1	4	30	0,008	3,1	-	-	27,0
2	6,4	28	0,0208	2,5	-	-	24,7
3	6,4	28	0,032	-5,7	-	-	17,0
4	6,4	28	0,016	-5,7	0,0112	3,8	19,4
5	6,4	28	0,0256	-5,7	-	-	17,8
5	4	30	0,016	-4,5	-	-	19,1

Taulukko 7.26. Parvekkeiden äänitasoeron laskentatiedot.

Kohta	Tilavuus [m ³]	$L1$ [m ²]	$A_{ref,parv}$ [m ²]	Parvekelasitus		Kaidelasi	
				S [m ²]	R_w+C_{tr} [dB]	S [m ²]	R_w+C_{tr} [dB]
1	20,8	70	4,2	6,4	26,6	4	27,0
2	20,8	70	4,2	6,4	24,7	4	30,0
3	20,8	70	4,2	6,4	17,0	4	30,0
4	20,8	70	4,2	6,4	19,4	4	30,0
5	20,8	70	4,2	6,4	17,8	4	19,1

Taulukko 7.27. Parvekkeiden rakennusosien kautta kulkeva ääni parvekkeella ja lasketut äänitasoerot.

Kohta	Parvekelasitus	Kaidelasi	Parvekkeella	$\Delta L_{A,lask}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask} + K$ [dB]
	$L_{A,eq}$ [dB]	$L_{A,eq}$ [dB]	$L_{A,eq}$ [dB]		
1	45,2	42,8	47,2	23	18
2	47,1	39,8	47,8	22	17
3	54,8	39,8	54,9	15	10
4	52,4	39,8	52,6	17	12
5	54,0	50,7	55,7	14	9

Lasitetun parvekkeen vaipparakenteen äänitasoero ilmanvaihtoon tarvittavien aukkojen kanssa on ilman korjaustermiä K 14...23 dB ja korjaustermin K kanssa 9...18 dB välillä. Lasivälit ovat ilmanvaihdon ja ääneneristävyyden kannalta heikoin ratkaisu (kohdat 3 ja 5). Lasiväliden rajoittaminen pelkästään parvekelasitukseen (kohta 3) on marginaalisesti parempi kuin lasiväliden lisääminen myös kaiteeseen (kohta 5).

Lasivälien korvaaminen profiilirailla kasvattaa vaipparakenteen äänitasoeroa (kohta 4). Ääneneristävyyden kannalta ei vaikuta olevan suuresti merkitystä, sijoitetaanko profiiliraot vain parvekelasitukseen (kohta 2) vai lattia- ja kattotasoon (kohta 1), jos rakojen syvyys on vakio (50 mm).

Kun parvekelasituksen lasipaksuus on 8 mm (karkaistu lasi) ja kaiteen 10 mm (laminoitu lasi), ilmaääneneristävyys kasvaa. Tämä johtuu osittain lasista (Taulukko 4.2), ja raosta, koska raon syvyyden kasvaessa ilmaääneneristävyys kasvaa näissä tapauksissa. Nämä laskentavälivaiheet ja tulokset esitetään taulukoissa 7.28-7.-31.

Taulukko 7.28. Rakojen laskentatiedot kohdittain. Parvekelasitus vaihdettu 8 mm karkaistuun lasiin ja kaidelasi vaihdettu 10 mm laminoituun lasiin.

Kohta	Raon leveys	Raon syvyys	Määrä	Raon kokonaisala	R_w+C_{tr}
	[mm]	[mm]	[kpl]	[m ²]	[dB]
1	2	50	2	0,016	3,1
2	2,6	50	2	0,0208	2,5
3	2	8	10	0,032	-4,5
4	2	8	5	0,016	-4,5
4	1,4	50	2	0,0112	3,8
5	2	8	8	0,0256	-4,5
5	2	10	8	0,016	-3,5

Taulukko 7.29. Parvekerakenteiden kokonaiseneristävyys rakojen kanssa. Parvekelasitus vaihdettu 8 mm karkaistuun lasiin ja kaidelasi vaihdettu 10 mm laminoituun lasiin.

Kohta	Rakennusosa		Raot				Kokonaiseneristävyys
	S	R_w+C_{tr}	S	R_w+C_{tr}	S	R_w+C_{tr}	R_w+C_{tr}
	[mm ²]	[dB]	[mm ²]	[dB]	[mm ²]	[dB]	[dB]
1	6,4	30	0,008	3,1	-	-	27,9
1	4	31	0,008	3,1	-	-	27,5
2	6,4	30	0,0208	2,5	-	-	25,5
3	6,4	30	0,032	-4,5	-	-	18,2
4	6,4	30	0,016	-4,5	0,0112	3,8	20,6
5	6,4	30	0,0256	-4,5	-	-	19,1
5	4	31	0,016	-3,5	-	-	20,1

Taulukko 7.30. Parvekkeiden äänitasoeron laskentatiedot. Parvekelasitus vaihdettu 8 mm karkaistuun lasiin ja kaidelasi vaihdettu 10 mm laminoituun lasiin.

Kohta	Tilavuus [m ³]	L1 [m ²]	A _{ref,parv} [m ²]	Parvekelasitus		Kaidelasi	
				S [m ²]	R _w +C _{tr} [dB]	S [m ²]	R _w +C _{tr} [dB]
1	20,8	70	4,2	6,4	27,9	4	27,5
2	20,8	70	4,2	6,4	25,5	4	30,0
3	20,8	70	4,2	6,4	18,2	4	30,0
4	20,8	70	4,2	6,4	20,6	4	30,0
5	20,8	70	4,2	6,4	19,1	4	20,1

Taulukko 7.31. Parvekkeiden rakennusosien kautta kulkeva ääni parvekkeella ja lasketut äänitasoerot. Parvekelasitus vaihdettu 8 mm karkaistuun lasiin ja kaidelasi vaihdettu 10 mm laminoituun lasiin.

Kohta	Parvekelasitus	Kaidelasi	Parvekkeella	$\Delta L_{A,lask}$ [dB]	$\Delta L_{A,lask} + K$ [dB]
	L _{A,eq} [dB]	L _{A,eq} [dB]	L _{A,eq} [dB]		
1	43,9	42,3	46,2	24	19
2	46,3	39,8	47,2	23	18
3	53,6	39,8	53,8	16	11
4	51,2	39,8	51,5	18	13
5	52,7	49,7	54,5	16	11

Lasipaksuuden kasvattaminen parantaa lasin ja raon ääneneristävyyttä. Paksuuden vielä kasvaessa lasin ja raon ominaistajuudet pienenevät, jolloin näiden vaikutus ääneneristävyyteen voi näkyä. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että suhteellisen suuria ääneneristävyyksiä on teoriassa mahdollista saavuttaa, vaikka parvekkeen ilmanvaihtoaukot ja korjaustermi otetaan huomioon. Avoimilla lasiväleillä tämä on kuitenkin haastavaa ilman, että itse lasin ilmääneneristävyyttä parannettaisiin merkittävästi.

Kappaleessa 2.4.3 esitetään, että lasitetun parvekkeen vaipparakenteen äänitasoeroksi tarvitaan päivällä 9 dB ja yöllä 11 dB, jotta 90 % parvekkeista saavuttaa melutason ohjearvot. Suurin osa meluntorjuntaa vaativista parvekkeista on mahdollista teoriassa toteuttaa siten, että parvekkeen vaipparakenteen ääneneristävyys on riittävä, ja melutason ohjearvot alittuvat parvekkeella. Tämä on mahdollista ilman, että lasivälejä tarvitsisi tukkia.

Jos parvekerakenteita pyritään kehittämään mahdollisimman tiiviiksi ilmanvaihtoaukot huomioon ottaen, kappaleessa 7.3 laskettu korjaustermi luultavasti pienenee, koska

profiilit, liitokset ja muut epämääräiset raot vaikuttavat vähemmän ääneneristävyyteen kuin nykyään. Parvekelasitusten mitatut ääneneristysarvot voivat silloin kasvaa nykyisestä lähemmäs ideaalisen lasin ja raon yhdistettyä arvoa. Siinä tapauksessa todellisempi mitoitusarvo sijoittuu korjaamattoman ja nyt korjatun arvon väliin, ja siten vaativimmatkin äänitasoerot voi olla mahdollista saavuttaa. Tämä kuitenkin vaatii käytännössä lasivälien tukkimista.

Ilmanvaihdon suunnittelussa voidaan avoimien aukkojen sijaan myös käyttää tuotteita, joiden ilmaääneneristävyys on parempi kuin avoimilla aukoilla. Näihin voitaisiin harkita esimerkiksi Dir-Air Oy:n tai Biobe Oy:n erilaisia rako- ja seinäventtiilejä. Näiden tapauksessa lieneeärkevin suorittaa valinta aukkokoon, eikä ilmoitetun tilavuusvirran mukaan, koska painovoimaisesti syntyvä ilmavirtaus riippuu suuresti sääolosuhteista.

8. PARVEKKEEN ÄÄNENERISTÄVYYDEN SUUNNITTELU JA MITTAUS

8.1 Ehdotus suunnittelu- ja mittausmenetelmäksi

Tässä kappaleessa esitetään menettely lasitetun parvekkeen ääneneristävyyden kaavamääräyksen muodostamiseksi, menetelmät lasitetun parvekkeen ääneneristävyyden laskennalliseen mitoittamiseen ja mittaamiseen. Kaavamääräys, mitoitus- ja todentamismenetelmä vastaavat soveltuvin osin ulkovaipan ääneneristävyyteen liittyviä vastaavia menetelmiä.

8.2 Kaavamääräys

Parvekkeen ääneneristävyyden tarvetta mitoittava suure on parvekkeella sallittava melutaso. Parvekkeiden ääneneristävyyttä koskevat vaatimukset voidaan esittääkaavamääräyksissä äänitasoerona $\Delta L_{A,vaad}$ eli parvekkeen ulkovaipan pinnalla vallitsevan $L_{A,eq,u}$ ja parvekkeella sallittavan äänitason $L_{A,eq,s}$ erona

$$\Delta L_{A,vaad} = L_{A,eq,u} - L_{A,eq,s} \quad (8.1)$$

Jos parvekkeen eri sivuihin kohdistuu eri melutasot ja lähtökohtaisesti eri äänitasoerovaatimukset, sovelletaan koko parvekkeelle suurinta esitettyä äänitasoerovaatimusta.

8.3 Mitoitusmenetelmä

8.3.1 Lähtötiedot

Mitoitusmenetelmää varten tarvitaan seuraavat lähtötiedot:

- Parvekelasin laboratoriossa mitattu liikennemelun j ilmaääneneristysluku R_w+C_j
- Parvekelasituksen pinta-ala S_1
- Kaidarakenteen liikennemelun j ilmaääneneristysluku R_w+C_j
- Kaidarakenteen pinta-ala S_2
- Kaidarakenteen viivamaisten rakojen määrä ja pinta-alat (lasivälit)
- Parvekkeen tilavuus V
- Parvekkeelle mahdollisesti tulevan absorptiomateriaalin absorptioala A

- Parvekkeelta vaadittava äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$
- Mahdollisten kiinteiden lasien tai muiden rakenteiden äänitekniset ja geometriset tiedot

Rakennusosista käytetään lähtökohtaisesti aina laboratoriossa mitattuja ääneneristävyyksiä. Yksinkertaisten rakenteiden ääneneristävyys voidaan arvioida myös laskennallisesti, mutta laskentatuloksen epävarmuutta lisäävät yleensä erilaiset profiilit ja kiinnitykset. Yksittäiset rakennusosat voidaan korvata yhteisellä ääneneristävyydellä. Tällainen tapaus on, jos parvekelasituksen ja kaidarakenteen ilmaääneneristävyys on mitattu yhdessä. Lasikaiteelle voidaan käyttää vastaavan lasin ääneneristävyyttä, johon lisätään lasivälien vaikutus (kappale 8.3.3).

8.3.2 Rakennusosan äänitasoero

Rakennusosan i äänitasoero voidaan laskea kaavalla (8.2):

$$\Delta L_{A,lask,i} = (R_w + C_j)_i - 10 \log_{10} \frac{S_i}{A} + K \quad (8.2)$$

jossa $(R_w + C_j)_i$ on rakennusosan i liikennemelusta riippuvainen ilmaääneneristysluku, C_j liikennemelun j spektripainotustermi kuten C tai C_{tr} , S_i on rakennusosan i pinta-ala, A on parvekkeen absorptioala ja K on mittauksin määritetty korjaustermi. Korjaustermi K kuvaa mittaus- ja suunnittelumenetelmän tulosten keskimääräistä eroa. Korjaustermillä otetaan huomioon seuraavat seikat:

1. Ulkotilan ja laboratoriotilan erilaiset äänikentät
2. Parvekkeen keskimääräisen absorption arviointiin liittyvä epävarmuus
3. Mittausmenetelmän epävarmuus
4. Parvekkeen asennuksesta johtuvat raot, joiden pinta-alaa tai ääneneristävyyttä ei voida määrittellä laskennallisesti
5. Kaikista rakennusosista ei ole laboratoriomittaustuloksia

Korjaustermien K arvo on -5 dB. Absorptio lasketaan käyttämällä mittauksin määritettyä tilavuus-absorptioalasovitetta 1000 Hz keskitaajuudella, johon lisätään mahdollinen muu absorptiomateriaali (kaavat (8.3) ja (8.4)):

$$A = A_{ref,par} + S_{abs} \alpha_{abs} \quad (8.3)$$

$$A_{ref,parv} = 0,10V + 2,10 \quad (8.4)$$

jossa $A_{ref,parv}$ on parvekkeen referenssiabsorptioala tyhjänä, jossa oleskelee yksi ihminen, S_{abs} on absorptiomateriaalin pinta-ala, α_{abs} on materiaalin absorptiosuhde ja V on parvekkeen tilavuus.

8.3.3 Lasikaiteen ääneneristävyys

Kaiteen ilmääneneristysluvussa otetaan huomioon viivamaiset raot kuten lasivälit. Lasikaiteelle käytetään taulukon 8.1 mukaisia mitattua ilmääneneristyslukuja, joihin yhdistetään raot. Erikokoisille viivamaisille raoille on esitetty valmiiksi lasketut ilmääneneristysluvut liitteessä B.

Taulukko 8.1. Standardissa EN 12758:2011 [23] esitetyt yksinkertaisen ja laminoitun lasin laboratoriossa mitatut ilmääneneristysluvut ja spektripainotusermit.

Lasityyppi	Paksuus [mm]	R_w [dB]	+C [dB]	+C _{tr} [dB]
Yksinkertainen	3	28	27	24
	4	29	27	26
	5	30	29	28
	6	31	29	28
	8	32	30	29
	10	33	31	30
	12	34	34	32
Laminoitu	6	32	31	29
	8	33	32	30
	10	34	33	31
	12	35	34	32
	16	36	35	33
	20	37	36	34
	24	38	37	35

Rakennusosien yhteinen ilmääneneristävyys lasketaan kaavalla (8.5):

$$R_{\text{tot}} = -10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^N S_i 10^{-R_i/10}}{S_{\text{tot}}} \right) \quad (8.5)$$

jossa i on rakennusosan järjestysluku, N on rakennusosien lukumäärä, S_i on rakennusosan i pinta-ala ja R_i on rakennusosan i ilmääneneristävyys (tässä tapauksessa ilmääneneristysluku). Kaavalla (8.5) voidaan yhdistää myös muita parvekkeen vaipparakenteessa mahdollisesti olevia rakennusosia. Liitteessä 2 esitetään ilmääneneristyslukuja viivamaisille raoille kokoon 100x100 mm² asti, jolloin näitä voidaan ajatella käytettävän myös teräsbetonisille kaiteelle (yleensä leveys on 100 mm).

8.3.4 Lasitetun parvekkeen vaipparakenteen kokonaisäänitasoero

Kun rakennusosiin kohdistuu sama melutaso (sama äänitasoero vaatimus), voidaan parvekkeen äänitasoero laskea kaavalla (8.6):

$$\Delta L_{A,\text{lask}} = -10 \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{-\Delta L_{A,\text{lask},i}/10} \right) \quad (8.6)$$

jossa N on rakennusosien lukumäärä ja $\Delta L_{A,\text{lask},i}$ on rakennusosalle i laskettu äänitasoero. Jos parvekkeen eri osilta vaaditaan eri äänitasoeroja, voidaan koko parvekkeen äänitasoerovaatimuksena käyttää näistä suurinta. Vaihtoehtoisesti voidaan myös jokainen vaatimus tarkistaa erikseen, mutta tällöin tulee ottaa huomioon, että parvekkeen melutaso ei ylity useamman yhdistyvän äänenpainetason vaikutuksesta.

8.3.5 Parvekelasitukselta vaadittu ääneneristävyys

Vaihtoehtoisesti parvekelasituksen vaadittu ilmasteneristysluku voidaan laskea kaavalla

$$R_{\text{lasi,vaad}} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{S_{\text{lasi}}} \left(10^{-\frac{\Delta L_{A,\text{vaad}}}{10} - \log_{10} \frac{1}{A} + K_{\text{epä}}} - \sum_i^n S_i 10^{\frac{-R_i}{10}} \right) \right] \quad (8.7)$$

jossa $R_{\text{lasi,vaad}}$ on avattavan lasituksen vaadittava ilmasteneristävyys (ilmasteneristysluku tieliikennemelua vastaan), S_{lasi} on avattavan lasituksen pinta-ala, $\Delta L_{A,\text{vaad}}$ on parvekkeelta vaadittava äänitasoero, A on parvekkeen absorptioala, $K_{\text{epä}}$ on -5 dB, S_i on rakennusosan i (ei parvekelasitus) pinta-ala ja R_i on rakennusosan i ilmasteneristävyys (esimerkiksi ilmasteneristysluku tieliikennemelua vastaan).

8.3.6 Mitoitusehto

Rakennusosan tai parvekkeen laskennallinen äänitasoero tulee olla vaatimusten mukainen **Error! Reference source not found.**

$$\Delta L_{A,\text{lask}} \geq \Delta L_{A,\text{vaad}} \quad (8.8)$$

Ehdon toteutuessa parvekkeen meluntorjunta on vaatimusten mukainen. Jos parvekelasitukselle esitetään vaadittava ilmasteneristysluku, sen tulee täyttää ehto (8.9)

$$\Delta R_{\text{lasi}} \geq \Delta R_{\text{lasi,vaad}} \quad (8.9)$$

8.3.7 Tarkkuus

Tyypillisillä parvekkeilla mitoitusarvot eroavat mittauksista ± 1 dB tieliikennemelun ($R_w + C_{tr}$) ja ± 2 dB raide- ja lentomelun ($R_w + C$) kohdalla.

8.4 Taulukkomenetelmä

8.4.1 Lähtötiedot

Parvekkeen äänitasoero voidaan laskea myös taulukkomenetelmällä. Ääneneristävyystarpeen mitoittamiseen tarvitaan seuraavat lähtötiedot:

- Parvekelasin laboratoriossa mitattu liikennemelun j ilmaääneneristysluku $R_w + C_j$
- Parvekelasituksen pinta-ala S_1
- Kaidarakenteen liikennemelun j ilmaääneneristysluku $R_w + C_j$
- Kaidarakenteen pinta-ala S_2
- Kaidarakenteen viivamaisten rakojen määrä ja pinta-alat (lasivälit)
- Parvekkeen tilavuus V
- Parvekkeelle mahdollisesti tulevan absorptiomateriaalin absorptioala A
- Parvekkeelta vaadittava suurin äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$
- Mahdollisten kiinteiden lasien tai muiden rakenteiden äänitekniset ja geometriset tiedot

Rakennusosista käytetään lähtökohtaisesti aina laboratoriossa mitattuja ääneneristävyysarvoja. Yksinkertaisten rakenteiden ääneneristävyys voidaan arvioida myös laskennallisesti, mutta laskentatuloksen epävarmuutta lisäävät yleensä erilaiset profiilit ja kiinnitykset. Yksittäiset rakennusosat voidaan korvata rakennusosien yhteisellä ääneneristävyydellä. Tällainen tapaus on, jos parvekelasituksen ja kaidarakenteen ilmaääneneristävyys on mitattu yhdessä. Lasikaiteelle voidaan käyttää vastaavan lasin ääneneristävyyttä, johon lisätään lasivälien vaikutus.

8.4.2 Rakennusosan äänitasoero

Rakennusosan äänitasoero $\Delta L_{A,lask,i}$ lasketaan kaavalla (8.10):

$$\Delta L_{A,lask,i} = (R_w + C_j)_i + K_{S,i} + K_{abs} + K \quad (8.10)$$

jossa $(R_w + C_j)_i$ rakennusosan i liikennemelun j ilmaääneneristysluku C_j liikennemelun j spektripainotusermi kuten C tai C_{tr} , $K_{S,i}$ on osan i pinta-alasta riippuva korjausermi, K_{abs} on parvekkeen absorptiosta riippuva korjausermi ja K on mittauksin määritetty korjausermi.

Korjausermi K kuvaa mittaus- ja suunnittelumenetelmän tulosten keskimääräistä eroa. Korjausermillä otetaan huomioon seuraavat seikat:

1. Ulkotilan ja laboratoriotilan erilaiset äänikentät
2. Parvekkeen keskimääräisen absorption arviointiin liittyvä epävarmuus
3. Mittausmenetelmän epävarmuus

4. Parvekkeen asennuksesta johtuvat raot, joiden pinta-alaa tai ääneneristävyyttä ei voida määrittellä laskennallisesti
5. Kaikista rakennusosista ei ole laboratoriomittaustuloksia

Korjaustermin K suuruus on -5 dB. Muut korjaustermit valitaan taulukoiden 8.2 ja 8.3 perusteella. Väliarvot voidaan interpoloida. Absorptiomateriaalin absorptiosuhteeksi oletetaan 0,8, joka vaikuttaisi olevan toimiva arvio [73].

Taulukko 8.2. Rakennusosan pinta-alasta riippuva korjaustermi K_s .

S [m ²]	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30
K_s [dB]	0	-3	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-12	-13	-14	-15

Taulukko 8.3. Parvekkeen absorptiosta riippuva korjaustermi K_{abs} [dB]. Materiaalin absorptiosuhteeksi oletetaan 0,8.

V [m ³]	S_{abs} [m ²]								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
5	4	5	6	7	7	8	10	11	12
10	4	5	6	7	8	8	10	11	12
15	5	6	7	7	8	8	10	11	12
20	6	6	7	8	8	9	10	12	13
25	6	7	7	8	8	9	11	12	13
30	7	7	8	8	9	9	11	12	13
35	7	8	8	9	9	9	11	12	13
40	7	8	8	9	9	10	11	12	13

8.4.3 Lasikaiteen ääneneristävyys

Jos kaiteena käytetään lasin ääneneristävyyttä, tämä määritetään taulukon 8.4 tai 8.5 avulla. Määrittäessä tarvitaan viivamaisten rakojen osuus kaidepinta-alasta, joka esimerkiksi 2 mm lasivälillä ja 1 metrin jakovälillä on $0,002/1 = 0,002$. Rakojen ääneneristävyytenä on käytetty lasivälien 2...10 mm huonoiten ääntä eristävää levyttä. Rakojen ilmaääneneristysluvut eroavat näillä lähtöarvoilla suurimmillaan 0,9 dB (R_w+C_{tr}) ja 1,4 dB (R_w+C). Käyttämällä huonoiten ääntä eristävää rakoa kaiteiden pyöristetyt ilmaääneneristysluvut ovat 0...1 dB (R_w+C_{tr}) ja 0...2 dB (R_w+C) pienempiä kuin tarkemmin lasketut arvot.

Taulukko 8.4. Laminoidusta lasista muodostetun kaiteen ilmäeneristysluku raide- tai lentomelua vastaan R_w+C , kun lasivälit otetaan huomioon.

Lasin paksuus [mm]	Rakojen osuus kaidepinta-alasta ($S_{\text{rako}}/S_{\text{kaide}}$ tai $b_{\text{rako}}/L_{\text{kaide}}$) 1/1000												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	31	24	22	20	19	18	17	17	16	15	15	15	14
8	32	25	22	21	20	19	18	17	17	16	16	16	15
10	33	26	23	22	20	19	19	18	17	17	17	16	16
12	34	26	24	22	21	20	19	18	18	17	17	17	16

Taulukko 8.5. Laminoidusta lasista muodostetun kaiteen ilmäeneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} , kun lasivälit otetaan huomioon.

Lasin paksuus [mm]	Rakojen osuus kaidepinta-alasta ($S_{\text{rako}}/S_{\text{kaide}}$ tai $b_{\text{rako}}/L_{\text{kaide}}$) 1/1000												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	29	23	20	19	17	17	16	15	15	14	14	13	13
8	30	24	21	20	18	17	17	16	16	15	15	14	14
10	31	24	22	20	19	18	17	17	16	16	15	15	15
12	32	25	22	21	20	19	18	17	17	16	16	16	15

8.4.4 Lasitetun parvekkeen vaipparakenteen kokonaisäänitasoero

Kaiteen ja lasituksen yhdistetty laskennallinen äänitasoero lasketaan kaavalla (8.11):

$$\Delta L_{A,\text{lask}} = \Delta L_{A,\text{lask},\text{min}} + K_{\text{sum}} \quad (8.11)$$

jossa $\Delta L_{A,\text{lask},\text{min}}$ on yhdistettävistä rakennusosista (yleensä lasitus) pienemmän äänitasoeron omaava ja K_{sum} on rakenteiden yhdistämisestä riippuva korjaustermi (taulukko 8.6).

Taulukko 8.6. Äänitasoerojen yhdistämisestä riippuva korjaustermi K_{sum} .

$\Delta L_{A,\text{lask},\text{max}} - \Delta L_{A,\text{lask},\text{min}}$ [dB]	0	1	2	3	4	5	6	8	10	≥ 20
K_{sum} [dB]	-3,0	-2,5	-2,1	-1,8	-1,5	-1,2	-1,0	-0,6	-0,5	0

8.4.5 Mitoitusehto

Rakennusosan tai koko parvekkeen laskennallinen äänitasoero tulee olla vaatimusten mukainen:

$$\Delta L_{A,\text{lask}} \geq \Delta L_{A,\text{vaad}} \quad (8.12)$$

Ehdon toteutuessa parvekkeen ääneneristävyys on vaatimusten mukainen.

8.4.6 Tarkkuus

Kappaleen 6 mitoitusmenetelmän mitoitusarvot eroavat tyypillisillä parvekkeilla mittauksista ± 1 dB tieliikennemelun (R_w+C_{tr}) ja ± 2 dB raide- ja lentomelun (R_w+C) kohdalla. Taulukkomenetelmä tuottaa mitoitusmenetelmään verrattuna pienempiä äänitasoeroja $\Delta L_{A,lask}$.

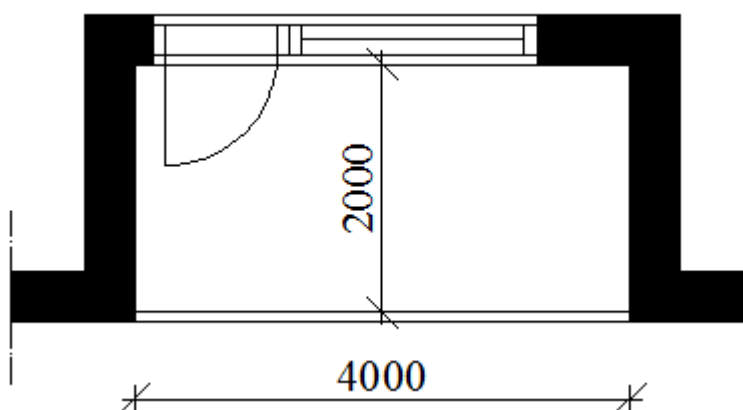
8.5 Laskentaesimerkkejä

8.5.1 Mitoitusmenetelmä

Tarkasteltavan parvekkeen pinta-ala on $4 \times 2 \text{ m}^2$ ja korkeus 2,7 m ja siinä on vaihteleva määrä lasitusta. Kaiteen korkeus on 1,1 m ja avattavan lasituksen korkeus 1,6 m. Parvekelasituksen ilmajääneneristysluku $R_w + C_{tr}$ on 16 dB. Parvekkeiden sivuihin kohdistuu 70 dB liikennemelun keskiäänitaso L_{Aeq} , jolloin kaikilta sivuilta päivällä (7-22) vaadittava äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 70 \text{ dB} - 55 \text{ dB} = 15 \text{ dB}$.

Esimerkki 1: Yhdeltä sivulta lasitettu parveke

Parvekkeen lasitus on pisimmällä sivulla. Parveke esitetään kuvassa 8.1. Kaide on 4+4 laminoitua lasia, jonka ilmajääneneristysluku $R_w + C_{tr}$ on 30 dB. Lasikaiteessa on 3 viivamaista rakoa (tiivistemättömät reunat parvekepieliin ja yksi lasiväli keskellä kaidetta). Reunoilla raot ovat 3 mm leveät ja lasiväli on 2 mm leveä. Liitteen B perusteella rakojen ilmajääneneristysluvut $R_w + C_{tr}$ ovat -4,8 ja -4,5 dB.



Kuva 8.1. Laskentaesimerkin yhdeltä sivulta lasitettu parveke.

Ääneneristävyyden mitoituksen lähtötiedot ovat:

- Parvekelasituksen ilmajääneneristysluku $R_w+C_{tr} = 16 \text{ dB}$
- Parvekelasituksen pinta-ala $S_1 = 4 \times 1,6 \text{ m}^2 = 6,4 \text{ m}^2$
- Kaidarakenteen ilmajääneneristysluku $R_w+C_{tr} = 30 \text{ dB}$
- Kaidarakenteen pinta-ala $S_2 = 4 \times 1,1 \text{ m}^2 = 4,4 \text{ m}^2$

- Kaiderakenteen viivamaisten rakojen määrä ja pinta-alat (lasivälit)
 - $S_{R1} = 1,1 * 0,003 * 2 \text{ m}^2 = 0,0066 \text{ m}^2$
 - $(R_w + C_{tr})_{R1} = -4,8 \text{ dB}$
 - $S_{R2} = 1,1 * 0,002 \text{ m}^2 = 0,0022 \text{ m}^2$
 - $(R_w + C_{tr})_{R2} = -4,5 \text{ dB}$
- Parvekkeen tilavuus $V = 21,6 \text{ m}^3$
- Parvekkeen absorptiomateriaalin absorptioala $A = 0 \text{ m}^2$
- Parvekkeelta vaadittava äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 15 \text{ dB}$
- Kiinteitä osia ei ole

Parvekkeen absorptioala (8.3) on

$$A_{\text{ref,parv}} = (0,10 * 21,6 + 2,10 + 0) \text{ m}^2 = 4,3 \text{ m}^2.$$

Parvekelasituksen äänitasoero $\Delta L_{A,lask,1}$ (8.2) on

$$\Delta L_{A,lask,1} = 16 \text{ dB} - 10 \log_{10} \frac{6,4}{4,3} - 5 \text{ dB} = 9,3 \text{ dB}.$$

Kaiteen ilmaaneneristysluku rakojen kanssa (8.5) on

$$R_{\text{tot}} = -10 \log \left(\frac{4,4 * 10^{-30/10} + 0,0066 * 10^{4,8/10} + 0,0022 * 10^{4,5/10}}{4,4} \right) = 21,6 \text{ dB}.$$

Kaiteen äänitasoero rakojen kanssa $\Delta L_{A,lask,2}$ (8.2) on

$$\Delta L_{A,lask,2} = 21,6 \text{ dB} - 10 \log_{10} \frac{4,4}{4,3} - 5 \text{ dB} = 16,5 \text{ dB}.$$

Koko parvekkeen äänitasoero $\Delta L_{A,lask}$ (8.6) on

$$\Delta L_{A,lask} = -10 \log (10^{-9,3/10} + 10^{-16,5/10}) = 8,5 \text{ dB}.$$

Parvekkeen ulkovaipalla voidaan saavuttaa 8 dB laskennallinen äänitasoero. Parveke ei toteuta äänitasoerovaatimusta, ja parannusta tarvitaan 7 dB. Vaadittava parannus on suuri ja on haastava toteuttaa parvekelasitusta parantamalla.

Kaiteen äänitasoero $\Delta L_{A,lask,2}$ on suurempi kuin vaadittu äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$, joten kaiteen ääneneristävyyttä ei ole pakollista parantaa. Taulukossa 8.7 on esitetty kaiteen ja absorptioalan muutoksista riippuvat parvekelasilta vaadittavat ilmaaneneristysluvut. Alkuperäisessä tilanteessa parvekelasitukselta vaadittava ilmaaneneristysluku on 27 dB, mikä on tyypillisiin lasituksiin verraten erittäin paljon. Jos kaide toteutetaan erittäin tiiviisti, laskee vaadittu ääneneristysluku arvoon 22 dB. Lisäämällä parvekkeelle absorptiomateriaalia vaatimus laskee.

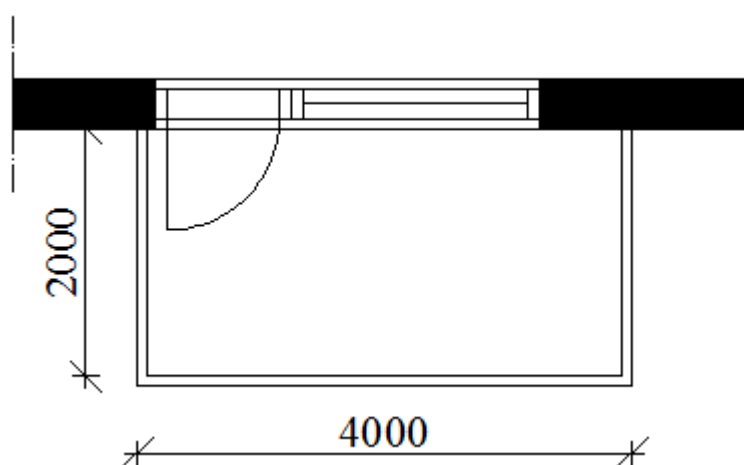
Taulukko 8.7. Yhdeltä sivulta lasitetun parvekkeen parvekelasitukselta vaadittava ilmaääneneristävyys eri tapauksissa.

R_{kaide} [dB]	A_{abs} [m ²]	$R_{lasi,vaad}$ [dB]
21,6	0	27,2
21,6	2	23,0
21,6	4	20,9
21,6	6	19,5
30	0	22,2
30	2	20,4
30	4	19,1
30	6	18,1

Toteuttamalla kaide tiiviisti ja lisäämällä absorptioalaa 6 m² päästään parvekelasituksen vaatimukseen 18 dB. Vaihtamalla parvekelasitusta päästään vaadittavaan äänitasoeroon. Absorptioalaa voidaan kasvattaa lisäämällä absorptiomateriaalia tai kasvattamalla parvekkeen tilavuutta. Tilavuutta kannattaa kasvattaa siten, ettei lasipinta-ala kasva. Avattavan lasituksen pinta-alan pienentäminen pienentää myös vaatimusta. Kaiteen ilmaääneneristysluvun parantaminen arvosta 30 dB ei vaikuta tässä esimerkissä merkittävästi vaatimukseen.

Esimerkki 2: Kolmelta sivulta lasitettu parveke

Parvekkeessa on lasitusta kolmella sivulla. Parveke esitetään kuvassa 8.2. Kaiteena on 4+4 laminoitu lasi, jonka ilmaääneneristysluku $R_w + C_{tr}$ on 30 dB. Lasikaiteessa on 5 viivamaista rakoa: 2 kpl tiivistämätöntä reunaa parvekepieliin, 2 kpl lasinurkissa olevaa lasiväliä ja yksi lasiväli keskellä kaidetta. Parvekepieliin päin olevat raot ovat 3 mm leveät ja muut lasivälit ovat 2 mm leveitä. Liitteen B perusteella rakojen ilmaääneneristysluvut $R_w + C_{tr}$ ovat -4,8 ja -4,5 dB.



Kuva 8.2. Laskentaesimerkin kolmelta sivulta lasitettu parveke.

Ääneneristävyyden mitoituksen lähtötiedot ovat:

- Parvekelasituksen ilmaääneneristysluku $R_w+C_{tr} = 16$ dB
- Parvekelasituksen pinta-ala $S_1 = (4+2+2)*1,6 \text{ m}^2 = 12,8 \text{ m}^2$
- Kaiderakenteen ilmaääneneristysluku $R_w+C_{tr} = 30$ dB
- Kaiderakenteen pinta-ala $S_2 = (4+2+2)*1,1 \text{ m}^2 = 8,8 \text{ m}^2$
- Kaiderakenteen viivamaisten rakojen määrä ja pinta-alat (lasivälit)
 - $S_{R1} = 1,1*0,003*2 \text{ m}^2 = 0,0066 \text{ m}^2$
 - $(R_w+C_{tr})_{R1} = -4,8$ dB
 - $S_{R2} = 1,1*0,002*3 \text{ m}^2 = 0,0066 \text{ m}^2$
 - $(R_w+C_{tr})_{R2} = -4,5$ dB
- Parvekkeen tilavuus $V = 21,6 \text{ m}^3$
- Parvekkeen absorptiomateriaalin absorptioala $A = 0 \text{ m}^2$
- Parvekkeelta vaadittava äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 15$ dB
- Kiinteitä osia ei ole

Parvekkeen absorptioala (8.3) on

$$A_{\text{ref,par}} = (0,10 * 21,6 + 2,10 + 0) \text{m}^2 = 4,3 \text{ m}^2.$$

Parvekelasituksen äänitasoero $\Delta L_{A,lask,1}$ (8.2) on

$$\Delta L_{A,lask,1} = 16 \text{ dB} - 10 \log_{10} \frac{12,8}{4,3} - 5 \text{ dB} = 6,3 \text{ dB}.$$

Kaiteen ilmaääneneristysluku rakojen kanssa (8.5) on

$$R_{\text{tot}} = -10 \log \left(\frac{8,7868*10^{-30/10} + 0,0066*10^{4,8/10} + 0,0066*10^{4,5/10}}{8,8} \right) = 22,7 \text{ dB}.$$

Kaiteen äänitasoero rakojen kanssa $\Delta L_{A,lask,2}$ (8.2) on

$$\Delta L_{A,lask,2} = 22,7 \text{ dB} - 10 \log_{10} \frac{8,8}{4,3} - 5 \text{ dB} = 14,6 \text{ dB}.$$

Koko parvekkeen äänitasoero $\Delta L_{A,lask}$ (8.6) on

$$\Delta L_{A,lask} = -10 \log(10^{-6,3/10} + 10^{-14,6/10}) = 5,7 \text{ dB}.$$

Parvekkeen ulkovaipparakenteella voidaan saavuttaa 5 dB laskennallinen äänitasoero. Parveke ei toteuta äänitasoerovaatimusta ja parannusta tarvitaan 10 dB. Vaadittava parannus on suuri ja haastava toteuttaa parvekelasitusta parantamalla.

Kaiteen äänitasoero $\Delta L_{A,lask,2}$ on pienempi kuin vaadittu äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$, joten myös kaiteen ääneneristävyyttä tulee parantaa. Taulukossa 8.8 on esitetty kaiteen ja

absorptioalan muutoksista riippuvat parvekelasilta vaadittavat ilmaääneneristävyydet. Alkuperäisessä tilanteessa parvekelasitukselta vaadittava ilmaääneneristävyys on 27 dB, mikä on tyypillisiin lasituksiin verrattuna erittäin paljon. Jos kaide toteutetaan erittäin tiiviisti, laskee ääneneristävyyksivaatimus arvoon 22 dB. Lisäämällä parvekkeelle absorptiomateriaalia vaatimus laskee.

Taulukko 8.8. Kolmelta sivulta lasitetun parvekkeen parvekelasitukselta vaadittava ilmaääneneristävyys eri tapauksissa.

R_{kaide} [dB]	A_{abs} [m ²]	$R_{lasi,vaad}$ [dB]
22,7	0	-
22,7	2	29,2
22,7	4	25,6
22,7	6	23,6
30	0	25,8
30	2	23,8
30	4	22,4
30	6	21,4

Toteuttamalla kaide tiiviisti ja lisäämällä absorptioalaa 6 m² päästään parvekelasituksen vaatimukseen 21 dB. Kaiteen ilmaääneneristävyyden kasvattaminen arvosta 30 dB ei vaikuta enää merkittävästi vaatimukseen, joten asia tulee ratkaista muilla keinoin. Korvaamalla pieliseinät kiinteillä laseilla avattavan lasituksen pinta-ala pienenee. Kiinteille laseille käytetään 4+4 laminoidun lasin ilmaääneneristysarvoja, mikä on sama kuin kaiteen ääneneristävyys. Parvekelasituksen ja kaiteen äänitasoerot (8.2) ovat samat kuin sisäänvedetyllä parvekkeella

$$\Delta L_{A,lask,1} = 16 \text{ dB} - 10 \log_{10} \frac{6,4}{4,3} - 5 \text{ dB} = 9,3 \text{ dB ja}$$

$$\Delta L_{A,lask,2} = 21,6 \text{ dB} - 10 \log_{10} \frac{4,4}{4,3} - 5 \text{ dB} = 16,5 \text{ dB.}$$

Kiinteän lasin äänitasoero $\Delta L_{A,lask,3}$ (8.2) on

$$\Delta L_{A,lask,3} = 30 \text{ dB} - 10 \log_{10} \frac{(2+2)*2,7}{4,3} - 5 \text{ dB} = 21,0 \text{ dB.}$$

Koko parvekkeen äänitasoero $\Delta L_{A,lask}$ (8.5) on

$$\Delta L_{A,lask} = -10 \log(10^{-9,3/10} + 10^{-16,5/10} + 10^{-21,9/10}) = 8,0 \text{ dB.}$$

Korvaamalla pieliseinät kiinteillä laseilla alkuperäinen tilanne parani 2,3 dB, mikä vastaa sisäänvedetyn parvekkeen tuloksia. Parvekerakenteelta vaadittavat lasituksen

ääneneristävyysarvot on esitetty Taulukossa 8.9, jotka ovat hieman huonompia kuin sisäänvedetyllä parvekkeella.

Taulukko 8.9. Kolmelta sivulta lasitetun parvekkeen parvekelasitukselta vaadittava ilmaääneneristävyys eri tapauksissa.

R_{kaide} [dB]	$R_{\text{kiinteä}}$ [dB]	A_{abs} [m ²]	$R_{\text{lasi,vaad}}$ [dB]
22,7	30	0	28,9
22,7	30	2	23,6
22,7	30	4	21,2
22,7	30	6	19,7
30	30	0	23,7
30	30	2	21,3
30	30	4	19,8
30	30	6	18,6

Parvekelasituksen ilmaääneneristyslukuksi vaaditaan 18,6 dB, kun kaide toteutetaan mahdollisimman tiiviisti, lyhyemmät lasisivut korvataan kokonaan kiinteällä lasituksella ja parvekkeen absorptioalaa lisätään 6 m². Muuttamalla parvekkeen rakenteita voidaan saavuttaa 15 dB äänitasoero, mutta ratkaisu muistuttaa yhdeltä sivulta lasitettua parvekettä.

8.5.2 Taulukkomenetelmä

Esimerkki 1: Yhdeltä sivulta lasitettu parveke

Parvekkeen lasitus on pisimmällä sivulla. Kaide on 4+4 laminoitua lasia, jonka ilmaääneneristysluku $R_w + C_{tr}$ on 30 dB. Lasikaiteessa on 3 viivamaista rakoa (tiivistämättömät reunat parvekepieliin ja yksi lasiväli keskellä kaidetta). Reunoilla raot ovat 3 mm leveät ja lasiväli on 2 mm leveä.

Ääneneristävyuden mitoituksen lähtötiedot ovat:

- Parvekelasituksen ilmaääneneristysluku $R_w + C_{tr} = 16$ dB
- Parvekelasituksen pinta-ala $S_1 = 4 \cdot 1,6 \text{ m}^2 = 6,4 \text{ m}^2$
- Kaidarakenteen ilmaääneneristysluku $R_w + C_{tr} = 30$ dB
- Kaidarakenteen pinta-ala $S_2 = 4 \cdot 1,1 \text{ m}^2 = 4,4 \text{ m}^2$
- Kaidarakenteen suunniteltavien viivamaisten rakojen määrä ja koot (lasivälit)
 - $S_R/S = 0,0088/4,4 = 2/1000$
- Parvekkeen tilavuus $V = 21,6 \text{ m}^3$
- Parvekkeelle mahdollisesti tuleva absorptiomateriaali $A = 0 \text{ m}^2$
- Parvekkeelta vaadittava äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 15$ dB

- Kiinteitä osia ei ole

Kaiteen ilmasteneristysluku rakojen kanssa on 21 dB (Taulukko 8.5). Tilavuuden ja absorptioalan perusteella $K_{\text{abs}} = 6$ dB (Taulukko 8.3). Pinta-alojen korjaustermit ovat $K_{\text{S,lasi}} = -8$ dB ja $K_{\text{S,kaide}} = -6,4$ dB (Taulukko 8.2). Näistä voidaan laskea lasituksen ja kaiteen äänitasoerot (8.10):

$$\Delta L_{\text{A,lask,lasi}} = 16 \text{ dB} - 8 \text{ dB} + 6 \text{ dB} - 5 \text{ dB} = 9 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{\text{A,lask,kaide}} = 21 \text{ dB} - 6,4 \text{ dB} + 6 \text{ dB} - 5 \text{ dB} = 15,6 \text{ dB}$$

Koska rakennusosia on enemmän kuin yksi, tulee näiden perusteella laskea koko parvekkeen äänitasoero. Näiden äänitasoerojen erotus on:

$$\Delta L_{\text{A,lask,kaide}} - \Delta L_{\text{A,lask,lasi}} = 15,6 \text{ dB} - 9 \text{ dB} = 6,6 \text{ dB}$$

Yhdistämiseen käytettävä termi $K_{\text{sum}} = -0,9$ dB (Taulukko 8.6). Siten parvekkeen äänitasoero on (8.11):

$$\Delta L_{\text{A,lask}} = 9 \text{ dB} - 0,9 \text{ dB} = 8,1 \text{ dB}$$

Tulos on hieman pienempi kuin tarkemmalla menetelmällä laskettu, mikä on toivottavaakin yksinkertaistusten johdosta. Pyöristettynä kuitenkin tässä esimerkissä saavutetaan sama äänitasoero 8 dB koko parvekkeelle.

Korjataan parveke lisäämällä absorptioalaa $A_{\text{abs}} = 6 \text{ m}^2$ ($S_{\text{abs}} = 7,5 \text{ m}^2$), käyttämällä kiinteää kaidetta ja kasvattamalla lasituksen ilmasteneristävyysluku 18,1 dB.

Tilavuuden ja absorptioalan perusteella $K_{\text{abs}} = 9,5$ dB (Taulukko 8.3). Pinta-alojen korjaustermit ovat $K_{\text{S,lasi}} = -8$ dB ja $K_{\text{S,kaide}} = -6,4$ dB (Taulukko 8.2). Näistä voidaan laskea lasituksen ja kaiteen äänitasoerot(8.10):

$$\Delta L_{\text{A,lask,lasi}} = 18,1 \text{ dB} - 8 \text{ dB} + 9,5 \text{ dB} - 5 \text{ dB} = 14,6 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{\text{A,lask,kaide}} = 30 \text{ dB} - 6,4 \text{ dB} + 9,5 \text{ dB} - 5 \text{ dB} = 28,1 \text{ dB}$$

Koska rakennusosia on enemmän kuin yksi, tulee näiden perusteella laskea koko parvekkeen äänitasoero. Näiden äänitasoerojen erotus on:

$$\Delta L_{\text{A,lask,kaide}} - \Delta L_{\text{A,lask,lasi}} = 28,1 \text{ dB} - 14,6 \text{ dB} = 13,5 \text{ dB}$$

Yhdistämiseen käytettävä termi $K_{\text{sum}} = -0,3$ dB. Siten parvekkeen äänitasoero on (8.11):

$$\Delta L_{\text{A,lask}} = 14,6 \text{ dB} - 0,3 \text{ dB} = 14,3 \text{ dB}$$

Mitoitusmenetelmällä saadaan 15 dB ja taulukkomenetelmällä 14,3 dB äänitasoero. Tulokset ovat melko lähellä toisiaan, mutta parvekkeen korjaaminen mitoitusmenetelmän esimerkin mukaan ei riitä vaatimuksen täyttymiseen, kun käytetään taulukkomenetelmää.

Esimerkki 2: Kolmelta sivulta lasitettu parveke

Parvekkeessa on lasitusta kolmella sivulla. Kaiteena on 4+4 laminoitu lasi, jonka ilmajääneristysluku $R_w + C_{tr}$ on 30 dB. Lasikaiteessa on 5 viivamaista rakoja: 2 kpl tiivistämätöntä reunaa parvekepieliin, 2 kpl lasinurkissa olevaa lasiväliä ja yksi lasiväli keskellä kaidetta. Parvekepieliin päin olevat raot ovat 3 mm leveät ja muut lasivälit ovat 2 mm leveitä.

Ääneneristävyyden mitoituksen lähtötiedot ovat:

- Parvekelasituksen ilmajääneristysluku $R_w + C_{tr} = 16$ dB
- Parvekelasituksen pinta-ala $S_1 = (4+2+2) \cdot 1,6 \text{ m}^2 = 12,8 \text{ m}^2$
- Kaidarakenteen ilmajääneristysluku $R_w + C_{tr} = 30$ dB
- Kaidarakenteen pinta-ala $S_2 = (4+2+2) \cdot 1,1 \text{ m}^2 = 8,8 \text{ m}^2$
- Kaidarakenteen suunniteltavien viivamaisten rakojen määrä ja koot (lasivälit)
 - $S_{R1}/S = 0,0132/8,8 = 1,5/1000$
- Parvekkeen tilavuus $V = 21,6 \text{ m}^3$
- Parvekkeen absorptiomateriaalin absorptioala $A = 0 \text{ m}^2$
- Parvekkeelta vaadittava äänitasoero $\Delta L_{A,vaad} = 15$ dB
- Kiinteitä osia ei ole

Kaiteen ilmajääneristysluku rakojen kanssa on 22,5 dB (Taulukko 8.5). Tilavuuden ja absorptioalan perusteella $K_{abs} = 6$ dB (Taulukko 8.3). Pinta-alojen korjaustermit ovat $K_{S,lasi} = -11$ dB ja $K_{S,kaide} = -9,5$ dB (Taulukko 8.2). Näistä voidaan laskea lasituksen ja kaidteen äänitasoerot (8.10):

$$\Delta L_{A,lask,lasi} = 16 \text{ dB} - 11 \text{ dB} + 6 \text{ dB} - 5 \text{ dB} = 6 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{A,lask,kaide} = 22,5 \text{ dB} - 9,5 \text{ dB} + 6 \text{ dB} - 5 \text{ dB} = 14 \text{ dB}$$

Koska rakennusosia on enemmän kuin yksi, tulee näiden perusteella laskea koko parvekkeen äänitasoero. Näiden äänitasoerojen erotus on:

$$\Delta L_{A,lask,kaide} - \Delta L_{A,lask,lasi} = 14 \text{ dB} - 6 \text{ dB} = 8 \text{ dB}$$

Yhdistämiseen käytettävä termi $K_{sum} = -0,6$ dB (Taulukko 8.6). Siten parvekkeen äänitasoero on (8.11):

$$\Delta L_{A,lask} = 6 \text{ dB} - 0,6 \text{ dB} = 5,4 \text{ dB}$$

Tulos on hieman pienempi kuin tarkemmalla menetelmällä laskettu, mikä on toivottavaakin yksinkertaistusten johdosta. Pyöristettynä kuitenkin tässä esimerkissä saavutetaan sama äänitasoero 5 dB koko parvekkeelle.

Korjataan parveke korvaamalla lyhyemmän sivut kiinteällä lasituksella, lisäämällä absorptioalaa $A_{abs} = 6 \text{ m}^2$ ($S_{abs} = 7,5 \text{ m}^2$), käyttämällä kiinteää kaidetta ja kasvattamalla lasituksen ilmaääneneristävyytluku 18,6 dB. Koska kaiteella ja kiinteällä lasituksella on sama ilmaääneneristysluku, voitaisiin nämä laskea yhdessä. Esimerkin vuoksi kuitenkin lasketaan nämä erikseen. Kiinteän lasituksen pinta-ala $S_{kiinteä} = 2*2*2,7 \text{ m}^2 = 10,8 \text{ m}^2$.

Tilavuuden ja absorptioalan perusteella $K_{abs} = 9,5 \text{ dB}$ (Taulukko 8.3). Pinta-alojen korjaustermit ovat $K_{S,lasi} = -8 \text{ dB}$, $K_{S,kaide} = -6,4 \text{ dB}$ ja $K_{S,kiinteä} = -10,4$ (Taulukko 8.2). Näistä voidaan laskea lasituksen, kaiteen ja kiinteän lasin äänitasoerot (8.10)

$$\Delta L_{A,lask,lasi} = 18,6 \text{ dB} - 8 \text{ dB} + 9,5 \text{ dB} - 5 \text{ dB} = 15,1 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{A,lask,kaide} = 30 \text{ dB} - 6,4 \text{ dB} + 9,5 \text{ dB} - 5 \text{ dB} = 28,1 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{A,lask,kiinteä} = 30 \text{ dB} - 10,4 \text{ dB} + 9,5 \text{ dB} - 5 \text{ dB} = 24,1 \text{ dB}$$

Rakennusosia on 3, joten yhdistyksiä tulee tehdä 2. Yhdistetään ensiksi lasitus ja kaide

$$\Delta L_{A,lask,kaide} - \Delta L_{A,lask,lasi} = 28,1 \text{ dB} - 15,1 \text{ dB} = 13 \text{ dB}$$

Yhdistämiseen käytettävä termi $K_{sum} = -0,3 \text{ dB}$. Lasituksen ja kaiteen yhdistetty äänitasoero on (8.11)

$$\Delta L_{A,lask,lasi-kaide} = 15,1 \text{ dB} - 0,3 \text{ dB} = 14,8 \text{ dB}$$

Yhdistetään lasituksen ja kaiteen yhteisäänitasoero kiinteän lasituksen kanssa

$$\Delta L_{A,lask,kiinteä} - \Delta L_{A,lask,lasi-kaide} = 24,1 \text{ dB} - 14,8 \text{ dB} = 9,3 \text{ dB}$$

Yhdistämiseen käytettävä termi $K_{sum} = -0,5 \text{ dB}$. Siten parvekkeen äänitasoero on (8.11)

$$\Delta L_{A,lask} = 14,8 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB} = 14,3 \text{ dB}$$

Mitoitusmenetelmällä saadaan 15 dB ja taulukkomenetelmällä 14,3 dB äänitasoero. Tulokset eivät täysin vastaa toisiaan johtuen taulukkomenetelmän yksinkertaistuksista. Taulukkomenetelmällä ei saavuteta 15 dB äänitasoeroa, kun käytetään mitoitusmenetelmän korjausehdotuksia.

8.6 Mittaukset

8.6.1 Mittausstandardi ja taajuusalue

Parvekkeiden ääneneristysmittaukset suoritetaan standardissa ISO 140-5:1998 [54] julkisivu -menetelmän mukaan käyttäen ympärisäteilevää kaiutinta (kaksitoistatahokaskaiutinjärjestelmä, ”pallokaiutin”). Maahan sijoitettaessa kaiuttimena voidaan käyttää siihen tarkoitettua mahdollisimman ympärisäteilevää kaiutinta. Mittaukset suoritetaan 1/3-oktaavikaistoittain taajuusalueella 100...3150 Hz.

8.6.2 Äänenpainetason mittaaminen ulkona

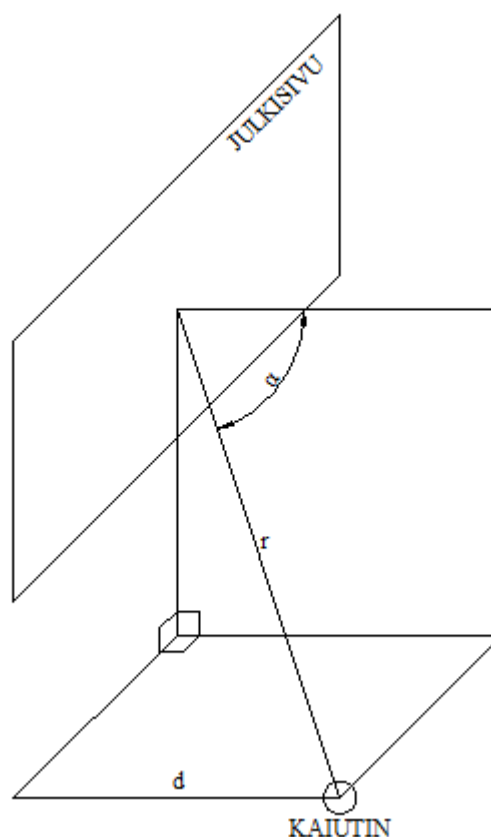
Global-menetelmässä äänenpainetaso ulkona voidaan mitata:

1. 2 ($\pm 0,2$) metrin päässä mitattavan pinnan keskipisteestä
2. 1 metrin päässä kaiteesta tai vastaavasta ulkonemasta

Lasitetun parvekkeen kohdalla yleensä käytetään kohtaa 1. Mikrofonin sijoitetaan 1,5 metrin korkeudella kerroksen lattiapinnasta. Tulos kuvaa koko tarkasteltavan rakenteen ilmaääneneristävyyttä sisältäen sivutiesiirtymät.

8.6.3 Kaiuttimen sijainti

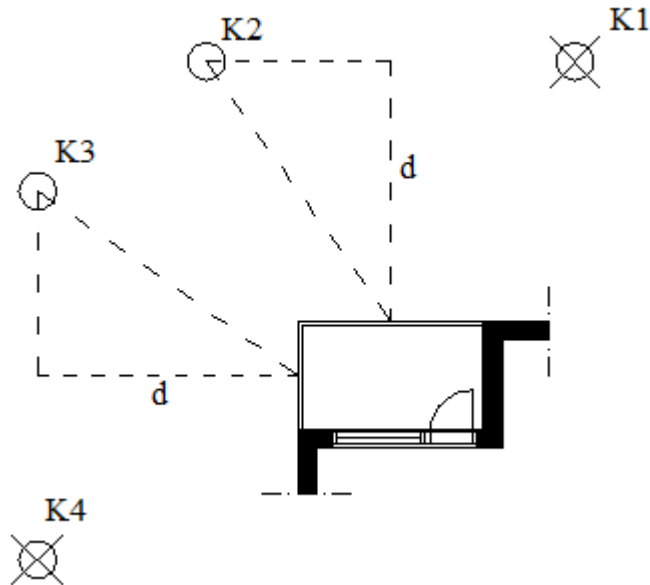
Kaiutin sijoitetaan siten, että kaiuttimen keskipiste ja julkisivun keskipiste muodostavat 45 (± 5) asteen kulman julkisivun tason normaaliin nähden kuvan 8.1 mukaisesti. Kaiutin suositellaan sijoitettavan maahan, mutta vaihtoehtoisesti se voidaan nostaa mahdollisimman korkealle irti maasta. Tarkasteltavan julkisivun keskipisteen ja kaiuttimen keskipisteen välinen etäisyys r tulee olla vähintään 7 metriä global-menetelmällä. Vastaavasti kaiuttimen kohtisuora etäisyys julkisivusta d tulee olla vähintään 5 metriä [20][54].



Kuva 8.3. Kaiuttimen sijoitus mitattavan julkisivun keskipisteeseen nähden, jossa d on kohtisuora etäisyys julkisivuun, r on suora etäisyys julkisivun keskipisteeseen ja α on julkisivun keskipisteen normaalin ja janan r välinen kulma (tulokulma).

Standardi 140-5 [54] edellyttää käytettävän vähintään yhtä kaiutinpaikkaa mittauksissa. Jos mitattava pinta on kuitenkin todella suuri tai koostuu useammasta seinästä (erisuuntaisista), tulee käyttää useampaa kaiutinpistettä. Kaiutinpisteiden määrä päätetään siten, että äänenpainetason vaihtelu mitattavalla pinnalla toteuttaa aiemmin mainitut ehdot. Eri kaiutinpisteiden äänitasoerot yhdistetään kaavalla (8.18).

Tämä mahdollistaa kaiuttimen sijoituksen siten, että sillä ei tarvitse olla suoraa näköyhteyttä kumpaankin sivuun. Tämä vaikuttaa mittaustuloksiin, koska ääntä kohdistuu pienemmällä alalle parvekkeen vaipparakennetta. Kaiutin tulisi siis aina sijoittaa siten, että sillä olisi suora näköyhteys useampaan ääneneristävyydeltään mielenkiintoiseen sivuun.



Kuva 8.4. Kaiutinpaikkojen sijoittelu, kun parvekkeessa on useampi sivu. Rastitetut ympyrät kuvaavat epäsuotuisia kaiutinpaikkoja.

Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista kaikille parveketyypeille, koska tilaa kaiuttimien vapaaseen sijoitteluun ei aina ole. Silloin voidaan käyttää myös epäsuotuisia kaiutinpaikkoja, mutta todennäköisesti nämä mittaukset kuvaavat vain kyseisen sivun tuottamaa äänitasoeroa. Toisaalta, jos vaatimus esitetään vain yhdelle sivulle, tämä voi olla toivottavaakin.

8.6.4 Äänenpainetason mittaaminen parvekkeella a

Äänenpainetasot mitataan standardin ISO 140-5 [54] mukaan tilan sisällä vähintään viidestä kohdasta siten, että seuraavat minimietäisyydet toteutuvat:

1. Kiinteiden mikrofonipisteiden välinen etäisyys vähintään 0,7 metriä
2. Mikrofonipisteen etäisyys tilan pintoihin tai esineisiin vähintään 0,5 metriä
3. Mikrofonipisteen ja äänilähteen välinen etäisyys vähintään 1,0 metriä

Mittauspisteet jaetaan näiden kriteerien perusteella tilaan mahdollisimman laajalti, että saadaan kattava kuva tilassa vallitsevasta äänikentästä. [54] Standardiluonnoksen ISO CD 16283-3 [20] perusteella kiinteät mittauspisteet tulee lisäksi sijoittaa tilaan epäsymmetrisesti, eikä kaksi mittauspistettä saisi olla samalla tasolla, joka on samansuuntainen tilan jonkin pinnan kanssa. Yksi mittaaja on sisällä tilassa vähintään yhden käsimitan päässä mikistä. Kiinteän mittauspisteen minimimittausajat ovat seuraavat [20]:

1. 50...80 Hz, 15 sekuntia
2. 100...400 Hz, 6 sekuntia
3. 500...5000 Hz, 4 sekuntia

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää koneellisesti pyörivää mikrofonia [54], jonka pyörimissäde on vähintään 0,7 metriä, ja liikerata on asetettu kaltevaksi siten, ettei se ole yhdensuuntainen tilan pintojen kanssa (vähintään 10 asteen kallistus pintoihin nähden).

Tilalle mitataan taustäänenpainetaso. Signaalin ja taustäänen yhdistetylle äänenpainetasolle L_{sb} tehdään taustäänikorjaus ΔL seuraavasti riippuen tämän ja taustäänenpainetason L_b erosta $d = L_{sb} - L_b$:

1. 0 dB, kun $d \geq 10$ dB,
2. Korjaus kaavan (8.13) mukaan, kun $6 \text{ dB} < d < 10 \text{ dB}$
3. 1,3 dB, kun $0 \text{ dB} \leq d \leq 6 \text{ dB}$

Kohdassa 2 korjaus ΔL lasketaan käyttäen kaavaa (8.13):

$$\Delta L = L_{sb} - 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad (8.13)$$

jossa L_{sb} on signaalin ja taustäänen yhdistetty äänenpainetaso ja L_b on taustäänen äänenpainetaso. Korjattu äänenpainetaso L_2 lasketaan siis kaavalla (8.14):

$$L_2 = L_{sb} - \Delta L \quad (8.14)$$

Korjatut äänenpainetasot yhdistetään energettisesti kaavalla (8.15):

$$L_2 = 10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{2,i}/10}\right) \quad (8.15)$$

jossa $L_{2,i}$ on taustäänikorjattu äänenpainetaso tilassa kohdassa i ja n on mittauspisteiden lukumäärä.

8.6.5 Jälkikaiunta-ajan ja absorptioalan mittaaminen

Äänitasoeron ΔL_A laskennassa ei tarvita parvekkeen jälkikaiunta-aikaa tai absorptioalaa, jos parveke mitataan tyhjänä (katso määritelmä kohdasta 8.6.8). Jälkikaiunta-aika mitataan joko katkotun kohinan menetelmällä (engl. interrupted noise method) [20][54] tai integroidun impulssivasteen menetelmällä (engl. integrated impulse response method) [20]. Jälkikaiunta-aikoja mitataan tilasta vähintään kuusi kappaletta siten, että [54]:

1. Käytetään vähintään yhtä kaiutinpaikkaa
2. Käytetään vähintään kolmea mikrofonipaikkaa, joista jokaisesta otetaan kaksi mittausta

Standardiluonnos ISO CD 16283-3 [20] mahdollistaa kuitenkin kohdassa 2 käytettävän vähintään kuutta mikrofoni paikkaa, joista jokaisesta otetaan yksi mittaus. Absorptioala lasketaan jälkikäynnän ja parvekkeen tilavuuden avulla kaavalla (8.16):

$$A_i = 0,16 \frac{V}{T_i} \quad (8.16)$$

jossa V on parvekkeen tilavuus ja T on parvekkeen jälkikäyntä-aika taajuuskaistalla i .

8.6.6 Äänitasoeron $\Delta L_{A,mit}$ laskenta

Mitoittava tilanne on se, että parveke on tyhjä eli kalustamattomalla parvekkeella oleskelee yksi ihminen. Siten toteutuneen äänitasoeron $\Delta L_{A,mit}$ mittauksen tulee vastata tätä tilannetta. Lisäksi parvekkeelle mahdollisesti sijoitettava absorptiomateriaalia tulee ottaa huomioon. Näin ollen mitattavia äänitasoeroja ei normalisoida tai standardisoida standardin ISO 140-5 [54] mukaisesti. Jos mittaukset suoritetaan kalustetulla parvekkeella, suoritetaan kappaleen 8.5.8 mukainen normalisointi. Mittauksista saadaan äänitasoerot $D_{1s,2m}$ 1/3-oktaavikaistoin standardin ISO 140-5:1998 mukaisesti (kaava (8.17)):

$$D_{1s,2m} = L_{1,1s,2m} - L_{2,1s} \quad (8.17)$$

jossa $L_{1,1s,2m}$ on ulkona vallitseva äänenpainetaso 2 metrin päässä julkisivusta, $L_{2,1s}$ sisällä vallitseva äänenpainetaso. Jos kaiuttimen lähetyspisteitä on useita, jokaiselle lähetyspisteelle i lasketaan ensin erikseen kaavan (8.17) mukainen äänitasoero D_i , joka yhdistetään kaavalla (8.18) [20][54]:

$$D_{1s,2m} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{-D_i/10} \right) \quad (8.18)$$

jossa $D_{1s,2m}$ on yhdistetty äänitasoero kaiuttimella global-menetelmällä mitattuna, n on kaiuttimen lähetyspisteiden määrä ja D_i on lähetyspisteen i global-menetelmällä ja kaiuttimella mitattu äänitasoero. Näistä johdetaan standardin ISO 717-1 [57] mukaan äänitasoeroluvut $D_{1s,2m,w}$, $D_{1s,2m,w} + C$ ja $D_{1s,2m,w} + C_{tr}$. Näihin äänitasoerolukuihin sisältyy julkisivusta pois päin liikkuvaa ääntä, joka tulee ottaa huomioon. Yksilukusuureilla tämän korjauksen suuruus voidaan olettaa olevan 3 dB.

Käytännössä voidaan siis käyttää liikennemelun j mitatulle äänitasoerolle $\Delta L_{A,mit}$ kaavaa

$$\Delta L_{A,mit} = D_{1s,2m,w} + C_j - 3dB \quad (8.19)$$

8.6.7 Vaihtoehtoiset liikennemeluspektrit

Perustelluista syistä voidaan käyttää äänitasoeron painotukseen myös standardiin ISO 717-1 [57] kuulumattomia liikennemeluspektrejä. Tällainen tilanne on, jos standardin mukaiset spektripainotustermit eivät kuvaa parvekkeeseen kohdistuvaa liikennemelua. Vaihtoehtoisia liikennemeluspektrejä esitetään kappaleessa 4.1. Vaihtoehtoisia liikennemeluspektrejä käytettäessä tulee ottaa huomioon spektrin aiheuttama virhe kaavan yksinkertaistuksen vuoksi (kaava (8.20)):

$$\Delta L_{A,mit} = D_w + C_j - 3\text{dB} + K_j \quad (8.20)$$

Referenssikäyrän korjaus K_j riippuu vertailuspektristä. Korjaustermi voidaan laskea kaavalla (8.21):

$$K_j = 10 \log_{10} \left(\sum_i^n 10^{(L_{j,i})/10} \right) \quad (8.21)$$

Vertailuspektrit yleensä normalisoidaan siten, että niiden A-painotettu kokonaisäänepainetaso on 0 dB, jolloin myös korjauksen suuruus on 0 dB. Käyrien pyöristykset voivat kuitenkin aiheuttaa virhettä tähän tasoon.

8.6.8 Normalisoidun äänitasoeron $\Delta L_{A,mit,n}$ laskenta

Mitoittavana tilanteena on tyhjä, kalustamaton parveke. Parveke luetaan tyhjäksi, jos parvekkeen absorptioala koostuu vain yhdestä henkilöstä (mittaaja), meluntorjuntaa varten asennetusta absorptiomateriaalista ja parvekkeen muista kiinteistä osista. Kalustetulla parvekkeella tehdyt mittaustulokset normalisoidaan vastaamaan tyhjää parvekettä. Normalisoitu äänitasoero $\Delta L_{A,mit,n}$ lasketaan kaavalla (8.22):

$$\Delta L_{A,mit,n} = \Delta L_{A,mit} - 10 \log_{10} \frac{A}{A_{\text{ref,parv}} + S_{\text{abs}} \alpha_{\text{abs}}} \quad (8.22)$$

jossa A on kalustetun parvekkeen mitattu absorptioala 1/3-oktaavikaistalla 1000 Hz, $A_{\text{ref,parv}}$ on tyhjän parvekkeen referenssiabsorptioala (kaava (8.23)), S_{abs} on meluntorjuntaa varten parvekkeella olevan absorptiomateriaalin pinta-ala ja α_{abs} on vastaavasti absorptiomateriaalin absorptiosuhde. Meluntorjuntaa varten asennettu absorptiomateriaalin oletetaan olevan tähän tarkoitettua mineraalivillaa. Absorptiosuhteen voidaan olettaa olevan 0,8, jos tarkempaa tietoa asiasta ei ole.

$$A_{\text{ref,parv}} = 0,10V + 2,10 \quad (8.23)$$

jossa V on parvekkeen tilavuus. Mittausraportista tulee käydä ilmi, onko parvekkeella ollut kalusteita mittaushetkenä.

9. YHTEENVETO

Parvekelasituksen merkitys asukkaalle ei rajoitu vain siitä saatavaan meluntorjuntaan, vaikka melu saatetaan kokea parvekkeella häiritseväksi alueella, jossa melutasot ovat ohjearvoja alhaisempia [33]. Tehtyjen meluselvitysten analyysien perusteella 90 % parvekkeista vaatii päiväajan (7-22) melutason ohjearvon perusteella 9 dB ja yöaikana (22-7) 11 dB äänitasoeron. Yleensä parvekkeen vaatimus on päiväaikana 2...3 dB pienempi kuin yöaikana, joten melutason ohjearvo yöllä on yleensä määräävin näistä kahdesta. Suurimmillaan vaatimukset voivat olla jopa 17 dB päivällä ja 20 dB yöllä.

Lasitettujen parvekkeiden meluntorjuntavaatimus esitetään vaadittavana äänitasoerona $\Delta L_{A,vaad}$. Tämä määritetään parvekkeen ulkopintaan kohdistuvan melutason ja parvekkeella sallittavan melutason erotuksena, jolloin mitoittavana tekijänä on melutaso parvekkeella. Mitoitus- ja mittausten menetelmä kehitettiin siten, että näiden lopputuloksena saadaan äänitasoero $\Delta L_{A,lask}$ tai $\Delta L_{A,mit}$ valittua liikennemelua vastaan.

Lasitettujen parvekkeiden suunnitteluun kehitettiin ääneneristävyyden mitoitusmenetelmä, joka edellyttää lähtötiedoksi parvekelasituksen laboratoriossa mitattuja ilmaääneneristyslukuja. Mitoituksessa otetaan huomioon myös viivamaiset raot, kuten kaiteiden yhteydessä olevat raot, joita ei esiinny parvekelasitusten laboratoriomittauksissa. Vertaamalla kehitetyllä menetelmällä laskettuja äänitasoeroja kenttämittausten tuloksiin saatiin määritetyksi korjaustermi, joka ottaa huomioon erilaiset epävarmuudet, kuten pinta-alaltaan epämääräiset raot ja ääneneristävyyden mittaolosuhteiden erot laboratoriossa ja kentällä.

Parvekelasitusten kenttämittaukset suoritettiin standardin ISO 140-5:1998 [54] mukaisella global-menetelmällä käyttämällä äänilähteenä kaiutinta. Global-menetelmä valittiin, jotta erilaiset sivutiesiirtymät otetaan huomioon tuloksissa. Global-menetelmän käyttöä puoltaa myös mittalukujen pienempi epävarmuus, kun kaiutinta ja mikrofonia sijoitetaan standardin [54] antamissa puitteissa [9]. Kaiutin valittiin äänilähteeksi, koska liikennettä ei voida aina käyttää mittauksissa. Mitattavana taajuusalueena käytetään rakennusakustiikassa tyypillistä 100...3150 Hz taajuusaluetta, koska alle 100 Hz taajuuskaistojen merkitys häiritsevyyden kannalta on pieni. Mitattu äänitasoero $\Delta L_{A,mit}$ määritetään spektripainotetusta äänitasoeroluovusta D_w+C_j vähentämällä tästä julkisivuheihaustuksen vaikutus.

Mittauksia suoritettiin 5 eri kohteessa 10 eri parvekkeella, joilla oli meluntorjuntavaatimus. Mittaustuloksia verrattiin suunnittelumenetelmän mitoittamisiin raide- ja lentomelulle (R_w+C) ja tieliikennemelulle (R_w+C_{tr}).

Molemmissa tapauksissa mittauksen ja mitoituksen eron keskiarvo on -5 dB, jota käytetään korjaustermin arvona. Lisäämällä korjaustermi mitoitukseen raide- ja lentomelun mitoituserojen tarkkuus mittauseroihin verrattuna on ± 2 dB ja tieliikennemelulla ± 1 dB tyypillisillä parvekkeilla. Julkisivujen ääneneristävyyden mittauservvarmuudesta on niukasti tutkimusta [80][130], mikä näkyy siinä, ettei lasitettujen parvekkeiden ääneneristävyyden mittauservvarmuudesta ole tietoa. Lasitettujen parvekkeiden mittauservvarmuuden voidaan kuitenkin olettaa olevan suurempi kuin tyypillisillä ikkunoilla ja julkisivuilla, koska parvekerakenteissa on runsaasti lasipintaa ja merkittäviä muita rajataajuuksia, jotka kasvattavat epävarmuutta [130].

Tutkimuksen yhteydessä kehitettiin suunnittelutason laskentamalli, jolla voidaan laskea lasitetun parvekkeen painovoimaisen ilmanvaihdon tilavuusvirta. Laskentamallissa otetaan huomioon muun muassa ilmanvaihtoon käytettävien rakojen pinta-alat ja sijainnit sekä lämpöhäviöt ja -säteily. Mallin tuloksia verrattiin IDA-ICE:llä tehtyihin simulointeihin. Mallin tulokset ovat suhteellisen hyviä, kun otetaan huomioon käytetyt yksinkertaistukset. Epävarmuus pienenee, kun käytetään realistisia lähtöarvoja.

Ilmanvaihtotarkastelussa käsiteltiin esimerkkiparveketta, jolle määritettiin haluttuun ilmanvaihtoon tarvittavat raot, ja näiden vaikutusta ilmaääneneristävyyteen tutkittiin. Tarkastelun perusteella parvekelasitusten ääneneristävyyttä sekä ilmanvaihtoa voidaan kehittää nykyisestä optimoimalla rakoja ilman, että ilmanvaihto parvekkeella heikkenee. Käytännössä nykyiset lasivälit tulisi tiivistää mahdollisimman hyvin. Ilmanvaihdon ja ääneneristävyyden kannalta edullisinta olisi sijoittaa raot lattia- ja kattotasoon, koska tällöin rakojen pinta-ala pienenee, mutta painovoimaisen ilmanvaihdon edellyttämä paine-ero on mahdollisimman suuri. Erittäin vaativissa kohteissa avointen rakojen sijaan voidaan harkita käytettäväksi rako- tai saumaventtiileitä tai jopa siirtoilmapuhaltimia. Ratkaisujen vaikutukset lasien huurtumiseen lienee tarpeellista tarkastella.

Tutkimuksessa havaittiin seuraavia jatkotutkimus- ja kehitystarpeita parvekelasitusten meluntorjuntaan ja ilmanvaihtoon liittyen:

1. Tuulettusasennossa olevan lasituksen ilmaääneneristävyyden arviointi
2. Erimuotoisten rakojen huomioon ottaminen mitoituksessa (nyt vain viivamaisia)
3. Selvitys siitä, millaisilla melualueille parvekkeet sijoittuvat
4. Asukaskysely liikennemelun häiritsevyydestä parvekkeilla
5. Mittausmenetelmän (käytännössä standardin ISO 140-5) kehitys siten, että mittauservvarmuus pieneneisi
6. Mitoituservvarmuudessa voitaisiin ottaa huomioon rakennusosien vaihteleva äänenpainetaso
7. Julkisivuheijastuskorjauksen tarkempi määrittely tapauskohtaisesti (esimerkiksi laskennallisesti)

8. Ilmanvaihtomallin validointi mittauksiin
9. Ilmanvaihdon raja-arvojen tarkastelu: parvekkeen kuivuminen ja lasien huurtuminen

Parvekkeen tuuletukseen tarvittavat raot ja siten tiiviystaso pystytään määrittämään. Yli 65 dB melualueiden parvekkeetkin on mahdollista toteuttaa ratkaisuja optimoimalla. Tehtyjen meluselvitysten analyysin perusteella suurin osa parvekkeista vaatii päiväaikana 9 dB äänitasoeron. Tähän vaatimukseen päästään keskikokoisilla sisäänvedetyillä parvekkeilla, kun parvekelasitus on perusmallistoa ja kaide on hyvin tiivistetty. Lasipinta-alan kasvaessa (nurkka- ja ulokeparveke) vaaditaan tarkempaa tarkastelua, joita ovat paremman parvekelasituksen ja/tai kaiteen käyttö, absorptiomateriaalin lisäys, parvekkeen tilavuuden kasvattaminen siten, ettei lasipinta-ala kasva tai parvekelasituksen osuuden pienentäminen. Suurimmalla osalla parvekkeista yöohjearvojen täyttyminen vaatii aina tarkempaa tarkastelua.

LIITTEET

- A. Kenttämittaustulokset, 4 s.
- B. Viivamaisten rakojen laskentatuloksia, 42 s.

LÄHTEET

- [1] Airola, H., Melun- ja värinätorjunta maankäytön suunnittelussa, Opas 02/2013, Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Helsinki, 2013.
- [2] Allocca, C., Qingyan, C., Glicksman, L.R., Design analysis of single-sided natural ventilation, *Energy and Buildings*, Vol. 35, 2003, s. 785-795.
- [3] Aro, P., Tuononen, T., Åkerblom, S., Palvelutalojen parvekkeet, Sotera ja Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 2006, 76 s.
- [4] Asakura, T., Sakamoto, S., Sakimoto, Y., Satoh, F., Tachibana, H., Leak transmission characteristic of slit-shaped apertures and effect of porous type absorption on reducing propagating sound, *Acoustical Science and Technology*, The Acoustical Society of Japan, Vol. 30, no. 2, 2009, s. 147-150.
- [5] ASTM E966-10e1: Standard Guide for Field Measurements of Airborne Sound Attenuation of Building Facades and Façade Elements, ASTM International, Pennsylvania, USA, 2010, 15 s.
- [6] Asuntokohtaisen lasitetun parvekkeen osastointi, yhtenäiset käytännöt, E1-7 01, Rakennusvalvonta Helsinki-Espoo-Vantaa-Kauniainen, 2009, 1 s.
- [7] Attenborough, K., Review of Ground Effects on Outdoor Sound Propagation from Continuous Broadband Sources, *Applied Acoustics*, Vol. 24, 1988, s. 289-319.
- [8] Berardi, U., Cirillo, E., Martellotta, F., Interference effects in field measurements of airborne sound insulation of building facades, *Noise Control Engineering Journal*, Vol. 49, no. 2, 2011, s. 165-176.
- [9] Berardi, U., Cirillo, E., Martellotta, F., Measuring sound insulation of building facades: Interference effects, and reproducibility, *Inter-Noise 2010*, Lissabon 15.-16.6., Portugali, 2010, 10 s.
- [10] Berardi, U., Comparison among the methods to measure the sound insulation of buildings, *TecniAcustica 2011*, Cáceres, Espanja, 2011, 10 s.
- [11] Berardi, U., The position of the instruments for the sound insulation measurement of building facades: From ISO 140-5 to ISO 16283-3, *Noise Control Engineering Journal*, Vol. 61, no. 1, 2013, s. 70-80.
- [12] Berglund, B., Lindvall, T., *Community Noise*, World Health Organization, Geneva, 1995, 233 s.

- [13] Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D.H., Guidelines for Community Noise, World Health Organization, Geneva, 1999, 161 s.
- [14] Bote, J., González, A., Alfageme, J., Influence of loudspeaker directivity and measurement geometry on direct acoustic levels over facades for acoustic insulation tests with the International Standard ISO 140-5, Applied Acoustics, Vol. 73, 2012, s. 440-453.
- [15] Bote, J., González, A., Alfageme, J., Procedure for verification of sound source coverage over facades according to the International Standard ISO 140-5, Applied Acoustics, Vol. 73, 2012, s. 977-985.
- [16] Bradley, J.S., Chu, W.T., Errors when using façade measurements of incident aircraft noise, Inter-Noise 2002, Dearborn 19.-21.8., USA, 2002, s. 10.
- [17] Brian, S.H., Heat and mass transfer by convection through rectangular openings in vertical partitions, väitöskirja, Glasgown yliopisto, Skotlanti, 1976, 115 s.
- [18] Calculation of Road Traffic Noise, Department of Transport – Welsh Office, Lontoo, 1988, 100 s.
- [19] Chen, K.T., Study of Acoustic Transmission through Apertures in a Wall, Applied Acoustics, Vol. 46, 1995, s. 131-151.
- [20] Committee Draft ISO/CD 16283-3: Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Façade sound insulation, pvm: 19.12.2013, International Organization for Standardization, Genève, 38 s.
- [21] Davy, J.L., A model for predicting diffraction on a finite flat surface as a function of angle of incidence and surface size, Inter-Noise 2007, Istanbul 28.-31.8., Turkki, 2007, 10 s.
- [22] EN 12354-3: Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound, European Committee for Standardization, Brysseli, 2010, 32 s.
- [23] EN 12758: Glass in building – Glazing and airborne sound insulation – Product descriptions and determination of properties, European Committee for Standardization, Brysseli, 2010, 22 s.
- [24] Energialaskennan testivuodet, Ilmatieteen laitos. Saatavissa (viitattu 1.12.2015): <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>

- [25] Etheridge, D., *Natural Ventilation of Buildings: Theory, Measurement and Design*, John Wiley & Sons Ltd., 2012.
- [26] Ferk, H., Buchegger, B., Meissnitzer, M., Influence of design and leakages of the window-wall connection on the sound insulation, *Inter-Noise 2014*, Melbourne 16.-19.11., Australia, 2014, 11 s.
- [27] Fields, J., *Research on the Effect of Noise at Different Times of Day: Models, Methods, and Findings*, NASA, 1985, NASA Contractor Report 3888, 90 s.
- [28] Fields, J., *The Relative Effect of Noise at Different Times of Day*, NASA, 1986, NASA Contractor Report 3965, 83 s.
- [29] Fothergrill, L.C., Alphey, R.S., *The Effect on Sound Insulation of Small Holes Through Solid Masonry Walls*, *Applied Acoustics*, Vol. 21, 1987, s. 247-251.
- [30] Gomperts, M.C., Kihlman, T., *The sound transmission loss of circular and slit-shaped apertures in walls*, *Acustica*, Vol. 18, 1967, s. 144-150.
- [31] Gomperts, M.C., *The "sound insulation" of circular and slit-shaped apertures*, *Acustica*, Vol. 14, no. 1, 1964, 16 s.
- [32] Hall, F.L., Papakyriakou, M.J., Quirt, J.D., *Comparison of outdoor microphone locations for measuring sound insulation of building facades*, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 92, no. 4, 1984, s. 559-567.
- [33] Heikkilä, J., *Parveke suomalaisen kerrostalon asuntokohtaisena ulkotilana*, väitöskirja, Oulun yliopisto, Oulu, 1996, 300 s.
- [34] Hilliaho, K., Hietaniemi, J., Visa, P., *Lasitettujen parvekkeiden ja terrassien käyttäytyminen tulipaloissa*, *Palotutkimuksen päivät 2015*, 24.-25.8., Espoo, 2015, s. 18-23.
- [35] Hilliaho, K., Köliö, A., Lahdensivu, J., *Kosteustekniikan, energiatehokkuuden ja käyttöiän parantaminen parvekkeiden korjaamisessa ja uusimisessa*, *Rakentajain kalenteri*, 2015, s. 96-104.
- [36] Hilliaho, K., Lahdensivu, J., Vinha, J., *Parvekelasien energiansäästövaikutukset suomalaisissa betonielementtikerrostaloissa*, *Rakennusfysiikka 2013*, Tampere 22.-24.10, Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitos ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, s. 273-280.
- [37] Hilliaho, K., Mäkitalo, E., Lahdensivu, J., *Energy saving potential of glazed space: Sensitivity analysis*, *Energy and Buildings*, Vol. 99, 2015, s. 87-97.

- [38] Hilliaho, K., Parvekelasien energiataloudelliset vaikutukset, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2010, 164 s.
- [39] Hongisto, V., Keränen, J., Kylliäinen, M., Mahn, J., Effect of measurement method on the reproducibility value of the single number quantities or airborne sound insulation, Inter-Noise 2013, Innsbruck, 15.-18.9., Itävalta, 2013, 4 s.
- [40] Hongisto, V., Keränen, J., Lindgren, M., Sound insulation of doors – Part 2: Comparison between measurement results and predictions, Journal of Sound and Vibration, Vol. 230, no. 1, 2000, s. 149-170.
- [41] Hongisto, V., Koskinen, V., Tieliikennemelun spektripainotusermi ylikorostaa pientaajuisen melun osuutta, Akustiikkapäivät 2011, Tampere 11.-12.5., Akustinen Seura ry, 6 s.
- [42] Hongisto, V., Monikerroksisen seinärakenteen ilmaääneneristävyyden ennustemalli, Työterveyslaitos, 2003, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 2, 106 s. + 107 s.
- [43] Hongisto, V., Oliva, D., Rekola, L., Julkisivun koettu ääneneristys tiemelua vastaan – Mitä mittalukua tulisi käyttää?, Akustiikkapäivät 2015, Kuopio, 1.-2.9., Akustinen Seura ry, 2015, 4 s.
- [44] Hongisto, V., Sound insulation of doors – Part 1: Prediction models for structural and leak transmission, Journal of Sound and Vibration, Vol. 230, no. 1, 2000, s. 133-148.
- [45] Hopkins, C., Lam, Y., Sound fields near building facades – comparison of finite and semi-infinite reflectors on a rigid ground plate, Applied Acoustics, Vol. 70, 2009, s. 300-308.
- [46] Hopkins, C., On the efficacy of spatial sampling using manual scanning paths to determine the spatial average sound pressure level in room, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 129, no. 5, 2011, s. 3027-3034.
- [47] Hopkins, C., Revision of international standards on field measurements of airborne, impact and façade sound insulation to form the ISO 16283 series, Building and Environment, Vol. 92, 2015, 703-712.
- [48] Hopkins, C., Sound insulation, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2007. 649 s.
- [49] Hopkins, C., Turner, P., Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies, Applied Acoustics, Vol. 66, 2005, s. 1339-1382.

- [50] International programme on chemical safety: Environmental health criteria 12: Noise, World Health Organization, Geneva, 1980.
- [51] Ismail, M.R., Oldham, D.J., A scale model investigation of sound reflection from building facades, *Applied Acoustics*, Vol. 66, 2005, s. 123-147.
- [52] ISO 12999-1: Acoustics – Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics – Part 1: Sound insulation, International Organization for Standardization, Genève, 2014.
- [53] ISO 140-4: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms, International Organization for Standardization, Genève, 1998.
- [54] ISO 140-5: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurement of airborne sound insulation of facade elements and facades, International Organization for Standardization, Genève, 1998, 31 s.
- [55] ISO 16283-1: Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation, International Organization for Standardization, Genève, 2014, 57 s.
- [56] ISO 1996-2: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels, International Organization for Standardization, Genève, 2007, 51 s.
- [57] ISO 717-1: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation, International Organization for Standardization, Genève, 2007.
- [58] Jagniatinskis, A., Fiks, B., Assessment of environmental noise from long-term window microphone measurements, *Applied Acoustics*, Vol 76, 2014, s. 377-385.
- [59] Jauhiainen, T., Vuorinen, H.S., Heinonen-Guzejev, M., Suomen ympäristö 3: Ympäristömelun vaikutukset, ympäristöministeriö, Helsinki, 2007. 82 s.
- [60] Kananen, T.A., Parvekelasien ja lasitetun kaiteen ilmaääneneristävyyden mittaaminen tieliikennemelualueelle laboratoriomittausten perusteella, diplomityö, Aalto-yliopisto, Espoo, 2015, 74 s.
- [61] Kerrosalan laskeminen, ympäristöministeriö, Ympäristöopas 72, 2000.

- [62] Keränen, J., Hongisto, V., Oliva, D., Julkisivun ääneneristävyyden mitoittamisen epävarmuus, Akustiikkapäivät 2011, Tampere 11.-12.5., Akustinen Seura ry, 2011, 6 s.
- [63] Killengreen, T., Olafsen, S., The spectrum shape of outdoor and indoor road traffic noise, Inter-Noise 2007, Istanbul, Turkki, 28.-31.8., 4 s.
- [64] Kim, M.J., Kim, H.G., Field measurements of facade sound insulation in residential buildings with balcony windows, *Building and Environment*, Vol. 42, 2007, s. 1026-1035.
- [65] Korhonen, T., Keski-Rahkonen, O., Lasitettu parveke – riski vai turva palon sattuessa?, Palotutkimuksen päivät 2005, 10 s.
- [66] Koskinen, V., Hongisto, V., Tieliikennemelun taajuusjakauma, Työterveyslaitos, Helsinki, 2011, 58 s.
- [67] Kropp, W., Bérillon, J., A Theoretical Model to Investigate the Acoustic Performance of Building Facades in the Low and Middle Frequency Range, *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 84, 1998, s. 681-688.
- [68] Kummala, I., Parvekerakentamisen nykytila Suomessa, kandidaatintyö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2014, 34 s.
- [69] Kylliäinen, M., Hongisto, V., Mittausmenetelmä rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskevan asemakaavamääräyksen toteutumisen valvomiseksi, *Rakenteiden Mekaniikka*. Vol. 41, nro 1, s. 37-43, 2008.
- [70] Kylliäinen, M., Hongisto, V., RIL 243-1: Rakennusten akustinen suunnittelu – akustiikan perusteet, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 2007.
- [71] Kylliäinen, M., Mikkilä, A., Rakennusosien ilmajäneneristävyyksien mallintaminen rakentamisessa ja tuotekehityksessä, *Rakennusfysiikka 2009*, Tampere 27.-29.10., Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitos ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009, s. 269-278.
- [72] Kylliäinen, M., Parvekkeiden meluntorjunnan suunnittelu liikennemelualueilla, *Ympäristö ja Terveys*. Vol. 2, 2015, s. 16-20.
- [73] Kylliäinen, M., Taina, P., Parvekelasitusten ääneneristävyyden mitoitus liikennemelualueella, Akustiikkapäivät 2013, Turku, 22.-23.5., Akustinen Seura ry, s. 25-30.

- [74] Kylliäinen, M., Takala, J., Oliva, D., Hongisto, V., Justification of standardized level differences in rating of airborne sound insulation between dwellings, *Applied Acoustics*. Vol. 102, 2016, s. 12-18.
- [75] Kylliäinen, M., Talonrakentamisen akustiikka, Rakennetekniikan laitos, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2006, Tutkimusraportti 137, 210 s.
- [76] Lahdensivu, J., Durability Properties and Actual Deterioration of Finnish Concrete Facades and Balconies, väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2012, Julkaisu 1028, 156 s.
- [77] Lahdensivu, J., Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa, ympäristöministeriö, Helsinki, 2010, Suomen ympäristö 17, 68 s.
- [78] Lahdensivu, J., Varjonen, S., Köliö, A., Betonijulkisivujen korjausstrategiat, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2010, Tutkimusraportti 148, 84 s.
- [79] Laki ympäristönsuojelulainsäädännön voimaansaannosta 113/2000, ympäristöministeriö, Helsinki, 2000.
- [80] Lang, J., A Round Robin on Sound Insulation in Buildings, *Applied Acoustics*, Vol. 52, no. 3/4, 1997, s. 225-238.
- [81] Lasifakta 2015 – Käytännöllinen apu rakennuslasien valintaan, Pilkington Lahden Lasitehdas Oy, 2014, 84 s.
- [82] Lasitettu parveke ja lasitettu terassi asuinrakennuksessa, yhtenäiset käytännöt, OHJE_ARK 05, Rakennusvalvonta Helsinki-Espoo-Vantaa-Kauniainen, 2010, 2 s.
- [83] Lassila, A.P., Sisäilman laadun parantaminen – Olosuhteiden tasaaminen tilojen välillä, Suomen Yliopistokiinteistöt Oy ja Tampereen teknillinen yliopisto, 2014, 174 s.
- [84] Laukkarinen, A., Hilliaho, K., Lasitetun parvekkeen lämpötilan ja lämpöhäviöiden laskenta, *Rakennusfysiikka 2015*, 20.-22.10., Tampere, Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitos ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2015, s. 273-280.
- [85] Lewis, P. A method for field measurement of the transmission loss of building facades, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 33, nro. 2, 1974, s. 127-141.
- [86] Li, J., Chen, J., Li, C., Determining the transmission loss of apertures above the plane wave cutoff frequency, *Inter-Noise 2014*, Melbourne 16.-19.11., Australia, 2014, 9 s.

- [87] Li, J., Chen, J., Zhou, L., Hua, X., Herring, D.W., Determining the transmission loss of variable cross-section apertures, The 21st International Congress on Sound and Vibration, Peking 13.-17.7., Kiina, 2014, 8 s.
- [88] Li, Y., Delsante, A., Natural ventilation induced by combined wind and thermal forces, *Building and Environment*, Vol. 36, 2001, s. 59-71.
- [89] Liikennemelun torjuntaohjelma Oulun kaupungin alueella, Oulun kaupunki, Tiehallinto/Oulun tiepiiri, Oulu, 2002, 75 s.
- [90] Liikonen, L., Leppänen, P., Altistuminen ympäristömelulle Suomessa: Tilannekatsaus 2005, ympäristöministeriö, Helsinki, 2005, Suomen ympäristö 809, 58 s.
- [91] Ljunggren, F., Simmons, C., Hagberg, K., Correlation between sound insulation and occupants' perception – Proposal of alternative single number rating of impact sound, *Applied Acoustics*, Vol. 85, 2014, s. 57-68.
- [92] Lumon 5 parvekelasit, tekninen kuvaus, Lumon Oy. Saatavissa (viitattu 7.12.2015): <http://estorm.fi/view/Lumon/37#page-1>
- [93] Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, ympäristöministeriö, Helsinki, 2000.
- [94] Mateus, M., Carrilho, J.D., Gameiro da Silva, M., An experimental analysis of the correction factors adopted on environmental noise measurements performed with window-mounted microphones, *Applied Acoustics*, Vol. 87, 2015, s. 212-218.
- [95] Mattila, J., On the Durability of Cement-Based Patch Repairs on the Finnish Concrete Facades and Balconies, väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2003, Julkaisuja 450.
- [96] Mechel, F.P., *Formulas of Acoustics*, 2nd edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, USA, 2008.
- [97] Mechel, F.P., The acoustic sealing of holes and slits in walls. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 111, no. 2, 1986, s. 297-336.
- [98] Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma, ympäristöministeriö, Helsinki, 2004, Suomen ympäristö 696, 64 s.
- [99] Meluntorjuntalaki 382/1987, ympäristöministeriö, Helsinki, 1988.
- [100] Memoli, G., Paviotti, M., Kephelopoulus, S., Licitra, G., Testing the acoustical corrections for reflections of façade, *Applied Acoustics*. Vol. 69, 2008, s. 479-495.

- [101] Mortimer, J., Kean, S.R., White, T.R., Is the 2.5 dB(A) Façade Correction for Road Traffic Noise Correct?, Proceedings of Acoustics 2012, Fremantle 21.-23.11., Australia, 2012, 7s.
- [102] Mäkitalo, E., Hilliaho, K., Eri-laisten parveke- ja lasitusratkaisujen vaikutus kesän sisälämpötiloihin suomalaisissa asuinkerrostaloissa. Rakennusfysiikka 2013, Tampere 22.-24.10, Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitos ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, s. 297-304.
- [103] Night noise guidelines for Europe, World Health Organization Regional Office for Europe, Tanska, 2009, 184 s.
- [104] Nilsson, M.E., A-weighted sound pressure level as an indicator of short-term loudness or annoyance of road-traffic sound, Journal of Sound and Vibration, Vol. 302, 2007, s. 197-207.
- [105] Niskanen, I., Lappalainen, S., Lyly, T., Rekola, I., Oulun kaupungin meluselvitys vuonna 2012: Raportti kansallisilla melun tunnusluvuilla, Oulun kaupunki, Oulu, 2012.
- [106] Okokon, E.O., Turunen, A.W., Ung-Lanki, S., Vartiainen, A-K., Tiittanen, P., Lanki, T., Road-Traffic Noise: Annoyance, Risk Perception, and Noise Sensitivity in the Finnish Adult Population, International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 12, 2015, 23 s.
- [107] Oldham, D.J., Zhao, X., Measurement of the sound transmission loss of circular and slit-shaped apertures in rigid walls of finite thickness by intensimetry, Journal of Sound and Vibration, Vol. 161, no. 1, 1993, s. 119-135.
- [108] Parvekelasitus: rakentamistapaohje Heinäkuu 2002, Rakennusvalvontavirasto, Helsinki, 2002, 6 s.
- [109] Parvekelasitusten mitoitus melualueella, A-Insinöörit Suunnittelu Oy, 10.6.2014, muistio 168895.2d, 8 s.
- [110] Pedersen, D.B., Roland, J., Raabe, G., Maysenhölder, W., Measurement of the Low-Frequency Sound Insulation of Building Components, Acta Acustica united with Acustica, Vol. 86, 2000, s. 495-505.
- [111] Pedrero, A., Sánchez, J., Ulin, V., Díaz, C., Influence of loudspeaker directivity on the measurement uncertainty of the acoustic testing of facades, Inter-Noise 2011, Osaka 4.-7.9., Japani, 2011, 6 s.
- [112] Picaut, J., Le Pollés, T., L'Hermite, P., Gary, V., Experimental study of sound propagation in a street, Applied Acoustics, Vol. 66, 2005, s. 149-173.

- [113] Putaan vuokratalojen perusparannuskokeilu, Rakennuslaboratorio, VTT, 1989, 45 s.
- [114] Quirt, J.D., Sound fields near exterior building surfaces, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 77, no. 2, 1985, s. 557-566.
- [115] Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen, ympäristöministeriö, Helsinki, 2003, Ympäristöopas 108, 37 s.
- [116] Rakennuskanta 2012, Tilastokeskus. Saatavissa (viitattu 20.11.2015): http://www.stat.fi/til/rakke/2012/rakke_2012_2013-05-24_tau_001_fi.html
- [117] Rakennuskanta 2014, Tilastokeskus. Saatavissa (viitattu 20.11.2015): http://www.stat.fi/til/rakke/2014/rakke_2014_2015-05-28_tau_001_fi.html
- [118] Rakennusten paloturvallisuus & Paloturvallisuus korjausrakentamisessa, ympäristöministeriö, Helsinki, 2003, Ympäristöopas 39, 168 s.
- [119] Rakennusvalvonnan ohje: Parvekkeiden ja terassien lasittaminen asuinrakennuksissa, Rakennusvalvontakeskus, Espoon kaupunki, Espoo, 2012, 3 s.
- [120] Road Traffic Noise – Nordic Prediction Method, Nordic Council of Ministers, Kööpenhamina, Tanska, 1996, 132 s.
- [121] RT 38551: Alumiini-lasirakenteet, Alutec Oy, 2014, 8 s.
- [122] RT 86-10563: Parvekerakenteet, Rakennustietosäätiö, 1995, s. 16.
- [123] RunkoRYL RTS 10:41: 8 Lasirakentaminen, Rakennustietosäätiö RTS, 2010 ,6s.
- [124] Sanchidrián, C., González, A., A Comparison of two Global Methods of Measuring the in situ Airborne Sound Insulation of Facades, using Loudspeakers and Air Traffic Noise, Acta Acustica united with Acustica, Vol. 90, 2004, s. 777-780.
- [125] Sarkkinen, S., Ehdotus Valtioneuvoston päätökseksi melutason ohjearvoista, muistio 26.10.1992, ympäristöministeriö, Helsinki 1992.
- [126] Sauter, A., Soroka, W., Sound Transmission through Rectangular Slots of Finite Depth between Reverberant Rooms, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 47, no. 1, 1970, s. 5-11.
- [127] Schröder, M., Die Statistischen Parameter der Frequenzkurven von grossen Räumen, Acustica, Vol. 4, 1954, 594-600.

- [128] Schröder, M.R., Kuttruff, K.H., On Frequency Response Curves in Rooms. Comparison of Experimental, Theoretical and Monte Carlo Results for the Average Frequency Spacing between Maxima, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 34, no. 1, 1962, s. 76-80.
- [129] Schröder, M.R., The “Schroeder frequency” revisited, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 99, no. 5, 1996, s. 3240-3241.
- [130] Scrosati, C., Scamoni, F., Zambon, G., Uncertainty of façade sound insulation in buildings by a Round Robin Test, *Applied Acoustics*, Vol. 96, 2015, s. 27-32.
- [131] Sewell, E., Transmission of reverberant sound through single-leaf partition surrounded by an infinite rigid baffle, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 12, no. 1, 1970, s. 21-32.
- [132] Sgard, F., Nelisse, H., Atalla, N., On the modeling of the diffuse field sound transmission loss of finite thickness apertures, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 122, no. 1, 2007, s. 302-313.
- [133] Sharp, B., Prediction Methods for the Sound Transmission of Building Elements, *Noise control engineering*, Vol. 11, no. 2, 1978, s. 53-63.
- [134] Simmons, C., Measurement of Sound Pressure Levels at Low Frequencies in Rooms. Comparison of Available Methods and Standards with Respect to Microphone Positions, *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 85, 1999, s. 88-100.
- [135] Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa C1: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet, ympäristöministeriö, Helsinki, 1998, 9 s.
- [136] Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet, ympäristöministeriö, Helsinki, 2012, 34 s.
- [137] Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa D3: Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet, ympäristöministeriö, Helsinki, 2012, 35 s.
- [138] Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa E1: Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet, ympäristöministeriö, Helsinki, 2002, 40 s.
- [139] Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa F1: Esteetön rakennus, määräykset ja ohjeet, ympäristöministeriö, Helsinki, 2005, 10 s.
- [140] Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa F2: Rakennuksen käyttöturvallisuus, määräykset ja ohjeet, ympäristöministeriö, Helsinki, 2001, 28 s.

- [141] Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa G1: Asuntosuunnittelu, määräykset ja ohjeet, ympäristöministeriö, Helsinki, 2005, 8 s.
- [142] Suunnitteluopas: Keskeisiä tavoitteita valtion tukemien asuntojen suunnittelulle, 4. julkaisu, Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA, 2015, 22 s.
- [143] Takala, J., Suomalaisten asuinhuoneiden ääniolosuhteet ja ääneneristävyyden mittaustapa, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2013, 91 s. + 188 s.
- [144] Tampereen kaupungin yhdyskuntalautakunnan kokouksen 9.6.2015 liite: Tampereen kaupungin melulinjaukset. Tampereen kaupunki, Tampere, 2015.
- [145] Tempest, W., Loudness and Annoyance due to Low Frequency Sound, *Acustica*, Vo. 29, 1973, s. 205-209.
- [146] The environmental health criteria document on community noise, Report on the Task Force Meeting, World Health Organization Regional Office for Europe, Düsseldorf, Saksa, 24.-28.10.1992, 14 s.
- [147] Tieliikennemelun mittaaminen, ympäristöministeriö, Helsinki, 1996, Ympäristöopas 15, 31 s.
- [148] Trompette, N., Barbry, J.L., Sgard, F., Nelisse, H., Sound transmission loss of rectangular and slit-shaped apertures: Experimental results and correlation with a modal model, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 125, no. 1, 2009, s. 31-41.
- [149] Uosukainen, S., VTT Publications 262: Measurement of element normalized level difference of small building elements with intensity technique, VTT, Espoo, 1995, 74 s.
- [150] Uris, A., Bravo, J., Gomez-Lozano, V., Guillen, I., Llinares, J., Experimental sound insulation performance of double frame partitions with slits, *Applied Acoustics*, Vol. 69, 2008, s. 918-924.
- [151] Uris, A., Bravo, J., Llinares, J., Estelles, H., The influence of slits on sound transmission through a lightweight partition, *Applied Acoustics*, Vol. 65, 2004, s. 421-430.
- [152] Vainio, T., Kohti yksilöllisempää - Asuntotuotannon laatumuutokset 1990-2005, VTT, Espoo, 2008, 110 s.
- [153] Wall, M., Climate and energy use in glazed spaces, väitöskirja, Lundin yliopisto, Lund, 1996, 404 s.

- [154] Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 713/2014, ympäristöministeriö, Helsinki, 2014.
- [155] Valtioneuvoston periaatepäätös meluntorjunnasta, perustelumuistio 22.5.2006, ympäristöministeriö, Helsinki, 2006, 14 s.
- [156] Valtioneuvoston periaatepäätös meluntorjunnasta, ympäristöministeriö, Helsinki, 2006.
- [157] Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista, Suomen säädöskokoelma, nro 993/1992, ympäristöministeriö, Helsinki, 1992.
- [158] Varjo, J., Hongisto, V., Karjalainen, S., Virkkala, J., Oliva, D., Salo, P., Tieliikennemelun taajuusjakauman vaikutus unen laatuun – Laboratoriotutkimus, Akustiikkapäivät 2015, Kuopio, 1.-2.9., Akustinen Seura ry, 2015, 4s.
- [159] Vermeir, G., Geentjens, G., Bruyninckx, W., Measurement and calculation experiences on façade sound insulation, Inter-Noise 2004, Prague 22.-25.8., Tšekki, 2004, 8 s.
- [160] Vigran, T.E., Conical Apertures in Panels; Sound Transmission and Enhanced Absorption in Resonator Systems, Acta Acustica united with Acustica, Vol. 90, 2004, s. 1170-1177.
- [161] Viherhuone ja lasikuisti asuinrakennuksessa, yhtenäiset käytännöt, OHJE_ARK 04, Rakennusvalvonta Helsinki-Espoo-Vantaa-Kauniainen, 2010, 1 s.
- [162] Wilson, G., Soroka, W., Approximation to the Diffraction of Sound by a Circular Aperture in a Rigid Wall of Finite Thickness, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 37, no. 2, 1965, s. 286-297.
- [163] Ympäristönsuojeluasetus 169/2000, ympäristöministeriö, Helsinki, 2000.
- [164] Ympäristönsuojelulaki 527/2014, ympäristöministeriö, Helsinki, 2014.
- [165] Ympäristönsuojelulaki 86/2000, ympäristöministeriö, Helsinki, 2000.

LIITE A: MITTAUSTULOKSET*Taulukko A1. Mitatut äänenpainetasot ulkona L_1 .*

f [Hz]	S1 [dB]	S2 [dB]	ON1 [dB]	ON2 [dB]	S3 [dB]	N1 [dB]	ON3 [dB]	ON4 [dB]	N2 K1 [dB]	N2 K2 [dB]	N3 K1 [dB]	N3 K2 [dB]
50	68,7	66,6	63,1	66,0	67,8	69,5	68,6	67,6	69,0	67,1	64,9	67,0
63	69,2	64,6	62,8	65,9	71,0	71,9	69,7	70,0	73,8	69,4	66,6	69,0
80	68,7	69,9	62,7	65,1	72,0	71,9	70,2	72,4	70,1	69,2	73,6	66,9
100	76,9	78,5	73,6	72,8	70,0	72,6	74,7	74,1	78,2	72,6	76,5	76,2
125	85,3	86,6	82,7	80,0	77,2	77,3	83,4	81,6	84,2	81,8	81,2	83,2
160	91,3	90,5	88,7	86,1	88,0	87,8	90,3	89,4	90,0	89,3	87,8	88,7
200	94,4	89,3	87,0	88,5	93,3	92,6	91,2	90,9	94,2	94,7	90,7	92,7
250	91,0	89,9	90,8	86,5	90,8	89,6	89,0	90,1	90,3	88,6	92,0	88,9
315	92,5	89,2	90,9	88,2	84,2	83,5	84,7	84,8	88,9	84,1	85,7	85,8
400	85,4	85,5	84,9	84,2	83,3	81,3	88,0	87,5	89,2	86,2	86,6	86,8
500	84,9	85,5	83,5	82,9	80,6	81,2	87,5	85,3	86,4	82,1	80,4	84,2
630	81,7	84,0	80,9	78,1	79,0	82,1	85,4	83,1	86,0	83,9	82,0	82,3
800	82,7	82,2	76,8	77,3	78,5	81,0	82,7	82,6	85,5	83,7	81,5	82,1
1000	80,7	78,9	77,2	76,0	78,0	77,3	83,7	82,3	83,0	79,2	80,8	81,3
1250	79,7	79,8	76,7	73,0	76,9	76,6	78,3	77,8	81,1	79,1	74,1	78,1
1600	83,3	84,0	80,8	79,8	79,4	79,9	84,6	82,4	83,9	82,2	77,3	82,0
2000	79,9	81,2	77,3	77,5	77,5	76,4	81,0	78,8	80,8	79,5	76,8	79,9
2500	77,3	80,0	71,8	74,2	74,3	74,6	79,8	78,3	78,1	79,0	76,9	78,1
3150	78,7	80,4	74,0	75,2	75,3	75,3	80,1	77,4	79,7	80,2	76,9	78,3
4000	86,6	84,6	82,3	81,2	84,1	83,5	84,7	85,2	87,8	82,9	82,6	85,0
5000	86,5	87,3	84,5	83,5	83,3	82,2	87,1	83,5	88,4	84,8	81,0	85,9

Taulukko A2. Mitatut äänenpainetasot parvekkeella L_{sb} .

f [Hz]	S1 [dB]	S2 [dB]	ON1 [dB]	ON2 [dB]	S3 [dB]	N1 [dB]	ON3 [dB]	ON4 [dB]	N2 K1 [dB]	N2 K2 [dB]	N3 K1 [dB]	N3 K2 [dB]
50	52,3	51,1	68,0	68,5	63,2	62,6	62,3	62,5	53,7	53,1	56,7	55,8
63	66,1	64,7	67,8	66,1	65,8	66,0	69,8	70,0	69,5	66,5	72,3	72,7
80	64,0	64,8	63,7	60,4	71,7	70,0	70,5	70,4	67,2	63,8	69,7	68,3
100	62,0	63,2	65,8	61,9	67,7	65,5	71,5	68,4	71,9	60,4	71,8	69,0
125	65,7	66,4	74,0	70,9	67,9	64,2	74,3	72,7	71,7	70,8	70,7	75,0
160	76,8	74,5	76,0	72,2	74,4	72,1	77,6	78,4	77,9	80,0	76,5	76,9
200	78,8	78,3	80,1	80,3	78,5	80,7	82,9	85,7	86,1	83,1	84,9	84,9
250	77,0	78,1	77,7	78,1	81,1	82,9	82,7	83,7	85,1	84,3	84,6	86,2
315	74,9	76,6	79,6	76,8	79,0	80,3	79,6	80,7	80,0	76,7	77,8	79,7
400	72,5	71,9	77,5	74,4	77,8	77,2	77,8	77,8	78,6	75,6	76,3	79,8
500	71,2	72,9	73,5	73,5	74,3	71,0	74,8	74,1	74,7	73,1	73,3	74,8
630	71,8	73,6	69,1	68,5	71,8	70,3	73,6	72,9	74,2	71,5	72,3	74,3
800	70,0	71,5	68,5	68,0	68,9	69,0	71,6	71,4	72,2	70,8	70,1	71,9
1000	63,6	65,0	67,3	66,2	66,8	65,6	68,9	69,1	70,9	65,8	69,7	67,9
1250	59,5	59,1	62,3	60,4	60,8	60,8	63,6	63,5	64,6	61,3	61,6	63,6
1600	63,4	61,3	66,1	63,8	64,1	63,1	66,5	66,3	66,2	62,9	64,5	65,2
2000	59,0	60,0	62,6	61,1	61,8	60,3	64,2	63,7	63,2	58,6	61,7	62,6
2500	59,4	60,1	59,4	58,5	62,8	62,3	62,1	63,7	60,7	56,8	60,8	60,7
3150	61,6	61,5	60,1	60,2	64,7	63,5	62,7	62,4	64,0	60,7	59,4	62,0
4000	65,3	68,1	67,4	64,0	70,2	68,0	70,6	70,1	68,4	66,1	65,2	67,5
5000	69,0	68,8	70,3	65,4	67,3	66,0	69,6	68,5	67,4	63,1	65,0	66,9

LIITE A: MITTAUSTULOKSET*Taulukko A3. Mitatut taustääänenpainetasot parvekkeella L_b .*

f [Hz]	S1 [dB]	S2 [dB]	ON1 [dB]	ON2 [dB]	S3 [dB]	N1 [dB]	ON3 [dB]	ON4 [dB]	N2 [dB]	N3 [dB]
50	30,2	37,2	52,1	51,0	64,4	62,6	49,7	49,5	36,9	37,1
63	27,4	33,0	41,5	44,2	59,7	56,4	50,0	46,2	33,7	34,6
80	30,2	37,2	52,3	54,6	48,5	45,4	55,7	54,7	29,8	33,2
100	34,2	29,4	47,0	47,1	51,2	52,9	47,9	47,2	32,1	32,3
125	34,1	33,3	46,6	47,1	47,6	46,4	48,0	46,6	37,7	44,2
160	37,1	37,6	50,1	52,7	51,6	50,2	50,5	50,5	37,0	40,2
200	34,3	34,7	51,3	52,4	50,6	50,4	50,4	52,6	39,9	43,9
250	32,5	32,1	52,1	53,6	49,7	49,8	49,8	52,0	39,3	42,6
315	30,6	30,1	50,5	51,4	49,1	50,0	49,7	49,9	36,3	42,8
400	29,2	27,8	48,7	48,8	47,7	46,8	48,3	48,7	35,5	40,2
500	29,6	29,4	49,1	50,3	47,4	46,4	49,1	49,2	34,9	39,3
630	30,7	30,6	49,5	50,3	47,8	47,5	49,7	49,9	34,0	39,5
800	31,4	32,0	52,1	51,7	48,3	48,6	51,2	52,1	33,4	37,6
1000	29,6	30,5	54,7	54,2	49,6	50,2	53,6	54,0	32,6	38,0
1250	26,4	26,7	51,2	51,1	47,0	47,2	50,8	51,1	28,6	34,4
1600	22,3	23,1	47,5	46,4	43,2	43,9	47,5	47,7	25,2	30,2
2000	19,5	20,2	42,7	41,0	39,9	39,5	44,3	44,6	23,5	28,5
2500	16,8	16,6	36,9	35,3	36,8	37,1	38,6	38,4	22,3	26,4
3150	16,2	16,0	32,7	31,2	33,9	33,2	34,5	34,5	22,3	25,9
4000	15,3	18,6	29,0	27,2	30,2	29,7	31,6	31,3	22,1	25,1
5000	14,4	16,7	24,3	22,5	26,3	27,1	27,9	27,0	20,0	23,4

Taulukko A4. Taustakorjatut äänenpainetasot sisällä L_2 .

f [Hz]	S1 [dB]	S2 [dB]	ON1 [dB]	ON2 [dB]	S3 [dB]	N1 [dB]	ON3 [dB]	ON4 [dB]	N2 K1 [dB]	N2 K2 [dB]	N3 K1 [dB]	N3 K2 [dB]
50	52,3	51,1	68,0	68,5	61,9	61,3	62,3	62,5	53,7	53,1	56,7	55,8
63	66,1	64,7	67,8	66,1	64,6	65,5	69,8	70,0	69,5	66,5	72,3	72,7
80	64,0	64,8	63,7	59,1	71,7	70,0	70,5	70,4	67,2	63,8	69,7	68,3
100	62,0	63,2	65,8	61,9	67,7	65,5	71,5	68,4	71,9	60,4	71,8	69,0
125	65,7	66,4	74,0	70,9	67,9	64,2	74,3	72,7	71,7	70,8	70,7	75,0
160	76,8	74,5	76,0	72,2	74,4	72,1	77,6	78,4	77,9	80,0	76,5	76,9
200	78,8	78,3	80,1	80,3	78,5	80,7	82,9	85,7	86,1	83,1	84,9	84,9
250	77,0	78,1	77,7	78,1	81,1	82,9	82,7	83,7	85,1	84,3	84,6	86,2
315	74,9	76,6	79,6	76,8	79,0	80,3	79,6	80,7	80,0	76,7	77,8	79,7
400	72,5	71,9	77,5	74,4	77,8	77,2	77,8	77,8	78,6	75,6	76,3	79,8
500	71,2	72,9	73,5	73,5	74,3	71,0	74,8	74,1	74,7	73,1	73,3	74,8
630	71,8	73,6	69,1	68,5	71,8	70,3	73,6	72,9	74,2	71,5	72,3	74,3
800	70,0	71,5	68,5	68,0	68,9	69,0	71,6	71,4	72,2	70,8	70,1	71,9
1000	63,6	65,0	67,3	66,2	66,8	65,6	68,9	69,1	70,9	65,8	69,7	67,9
1250	59,5	59,1	62,3	59,9	60,8	60,8	63,6	63,5	64,6	61,3	61,6	63,6
1600	63,4	61,3	66,1	63,8	64,1	63,1	66,5	66,3	66,2	62,9	64,5	65,2
2000	59,0	60,0	62,6	61,1	61,8	60,3	64,2	63,7	63,2	58,6	61,7	62,6
2500	59,4	60,1	59,4	58,5	62,8	62,3	62,1	63,7	60,7	56,8	60,8	60,7
3150	61,6	61,5	60,1	60,2	64,7	63,5	62,7	62,4	64,0	60,7	59,4	62,0
4000	65,3	68,1	67,4	64,0	70,2	68,0	70,6	70,1	68,4	66,1	65,2	67,5
5000	69,0	68,8	70,3	65,4	67,3	66,0	69,6	68,5	67,4	63,1	65,0	66,9

LIITE A: MITTAUSTULOKSET*Taulukko A5. Mitatut jälkikaiunta-ajat RT.*

<i>f</i>	S1	S2	ON1	ON2	S3	N1	ON3	ON4	N2	N3
[Hz]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
50	0,72	0,81	1,92	0,87	0,59	1,18	2,39	2,89	0,48	0,55
63	0,67	0,70	0,76	1,17	2,03	2,36	1,09	0,89	1,07	0,78
80	0,57	0,54	1,01	0,92	1,16	2,49	1,14	1,15	0,52	0,63
100	0,60	0,64	1,06	0,97	1,64	1,74	1,06	1,20	0,75	1,08
125	1,27	1,72	1,18	1,19	2,35	2,09	1,23	1,46	1,31	1,37
160	0,86	1,16	0,99	0,86	1,90	1,84	1,08	1,17	1,11	1,03
200	0,67	1,04	1,05	1,04	1,32	1,61	1,36	1,23	1,24	1,22
250	0,64	0,60	0,63	0,80	1,62	1,31	0,68	0,89	0,95	0,99
315	0,58	0,71	0,77	0,66	1,01	0,87	0,71	0,87	1,16	1,12
400	0,55	0,70	0,93	0,90	1,20	1,13	1,07	0,96	1,17	1,22
500	0,52	0,69	0,92	0,93	1,22	1,10	1,03	0,90	0,88	0,88
630	0,53	0,72	0,91	0,89	0,94	1,06	1,00	1,02	0,81	0,86
800	0,56	0,71	0,73	0,75	0,95	1,05	0,90	0,92	0,63	0,70
1000	0,72	0,91	0,82	0,78	1,03	1,12	0,92	0,88	0,66	0,60
1250	0,79	0,90	0,88	0,86	1,20	1,19	0,97	0,97	0,57	0,63
1600	0,77	0,99	0,94	0,91	1,33	1,30	1,05	1,04	0,59	0,63
2000	0,76	0,98	0,99	0,96	1,36	1,43	1,07	1,12	0,59	0,65
2500	0,71	0,93	0,89	0,95	1,28	1,35	1,05	1,04	0,60	0,62
3150	0,66	0,78	0,83	0,82	1,23	1,32	0,95	0,92	0,54	0,55
4000	0,62	0,76	0,80	0,77	1,12	1,20	0,91	0,86	0,49	0,50
5000	0,63	0,77	0,76	0,77	1,02	1,09	0,89	0,89	0,49	0,49

Taulukko A6. Lasketut absorptioalat A.

<i>f</i>	S1	S2	ON1	ON2	S3	N1	ON3	ON4	N2	N3
[Hz]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
50	4,2	5,3	1,9	4,2	10,6	5,3	1,5	1,3	4,3	3,8
63	4,5	6,2	4,8	3,1	3,1	2,6	3,4	4,1	1,9	2,7
80	5,3	8,0	3,6	4,0	5,4	2,5	3,2	3,2	4,0	3,3
100	5,1	6,8	3,5	3,8	3,8	3,6	3,5	3,1	2,8	1,9
125	2,4	2,5	3,1	3,1	2,7	3,0	3,0	2,5	1,6	1,5
160	3,5	3,7	3,7	4,3	3,3	3,4	3,4	3,1	1,9	2,0
200	4,5	4,2	3,5	3,5	4,7	3,9	2,7	3,0	1,7	1,7
250	4,8	7,2	5,8	4,6	3,9	4,8	5,4	4,1	2,2	2,1
315	5,2	6,1	4,8	5,6	6,2	7,2	5,2	4,2	1,8	1,9
400	5,5	6,2	4,0	4,1	5,2	5,5	3,4	3,8	1,8	1,7
500	5,8	6,3	4,0	4,0	5,1	5,7	3,6	4,1	2,4	2,4
630	5,7	6,0	4,0	4,1	6,6	5,9	3,7	3,6	2,6	2,4
800	5,4	6,1	5,0	4,9	6,6	5,9	4,1	4,0	3,3	3,0
1000	4,2	4,7	4,5	4,7	6,1	5,6	4,0	4,2	3,2	3,5
1250	3,8	4,8	4,2	4,3	5,2	5,2	3,8	3,8	3,6	3,3
1600	3,9	4,4	3,9	4,0	4,7	4,8	3,5	3,5	3,5	3,3
2000	4,0	4,4	3,7	3,8	4,6	4,4	3,4	3,3	3,5	3,2
2500	4,3	4,6	4,1	3,9	4,9	4,6	3,5	3,5	3,5	3,4
3150	4,6	5,5	4,4	4,5	5,1	4,7	3,9	4,0	3,9	3,8
4000	4,9	5,7	4,6	4,8	5,6	5,2	4,0	4,3	4,2	4,2
5000	4,8	5,6	4,8	4,8	6,1	5,7	4,1	4,1	4,2	4,2

LIITE A: MITTAUSTULOKSET**Taulukko A7.** Parvekkeen S1 nurkkamittaukset.

f [Hz]	S1				
	$L_{sb,Corner}$ [dB]	$L_{b,Corner}$ [dB]	$L_{2,Corner}$ [dB]	$L_{2,LF}$ [dB]	RT_{LF} [s]
50	57,0	49,4	56,2	54,0	0,58
63	70,2	47,1	70,2	67,9	0,58
80	67,0	52,3	67,0	65,2	0,58

Taulukko A8. Parvekkeen ON1 nurkkamittaukset.

f [Hz]	ON1				
	$L_{sb,Corner}$ [dB]	$L_{b,Corner}$ [dB]	$L_{2,Corner}$ [dB]	$L_{2,LF}$ [dB]	RT_{LF} [s]
50	73,4	61,2	73,4	70,6	1,09
63	73,4	65,0	72,7	70,1	1,09
80	70,1	56,3	70,1	67,0	1,09

Taulukko A9. Parvekkeen ON2 nurkkamittaukset.

f [Hz]	ON2				
	$L_{sb,Corner}$ [dB]	$L_{b,Corner}$ [dB]	$L_{2,Corner}$ [dB]	$L_{2,LF}$ [dB]	RT_{LF} [s]
50	66,2	63,0	64,9	67,6	1,15
63	79,2	57,8	79,2	74,8	1,15
80	71,1	62,1	70,5	66,3	1,15

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_w+C [dB]

		Leveys b [mm]														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Syvyys d [mm]	1	-9,6	-8,4	-7,6	-7,0	-6,5	-6,1	-5,8	-5,5	-5,3	-5,1	-4,9	-4,7	-4,5	-4,4	-4,2
	2	-8,0	-7,4	-6,8	-6,3	-6,0	-5,7	-5,4	-5,2	-4,9	-4,8	-4,6	-4,4	-4,3	-4,2	-4,1
	3	-6,7	-6,5	-6,1	-5,8	-5,5	-5,3	-5,1	-4,8	-4,7	-4,5	-4,4	-4,2	-4,1	-4,0	-3,9
	4	-5,5	-5,7	-5,5	-5,3	-5,1	-4,9	-4,7	-4,5	-4,4	-4,2	-4,1	-4,0	-3,9	-3,8	-3,7
	5	-4,5	-4,9	-4,9	-4,8	-4,7	-4,5	-4,3	-4,2	-4,1	-4,0	-3,9	-3,8	-3,7	-3,6	-3,5
	6	-3,6	-4,3	-4,4	-4,3	-4,2	-4,1	-4,0	-3,9	-3,8	-3,7	-3,6	-3,6	-3,5	-3,4	-3,3
	7	-2,8	-3,6	-3,9	-3,9	-3,9	-3,8	-3,7	-3,6	-3,6	-3,5	-3,4	-3,4	-3,3	-3,2	-3,2
	8	-2,0	-3,0	-3,4	-3,5	-3,5	-3,5	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,0
	9	-1,3	-2,5	-2,9	-3,1	-3,1	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9
	10	-0,7	-2,0	-2,5	-2,7	-2,8	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7
	11	-0,1	-1,5	-2,1	-2,4	-2,5	-2,6	-2,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6
	12	0,4	-1,1	-1,7	-2,0	-2,2	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
	13	0,9	-0,7	-1,3	-1,7	-1,9	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	14	1,4	-0,3	-1,0	-1,4	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	15	1,9	0,1	-0,7	-1,1	-1,4	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1
	16	2,3	0,5	-0,4	-0,8	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0
	17	2,7	0,8	-0,1	-0,6	-0,9	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9
	18	3,1	1,1	0,2	-0,3	-0,7	-0,9	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8
	19	3,4	1,4	0,5	-0,1	-0,5	-0,8	-1,0	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7
	20	3,8	1,7	0,7	0,1	-0,3	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7
	21	4,1	2,0	1,0	0,4	-0,1	-0,4	-0,7	-0,8	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,6
	22	4,4	2,3	1,2	0,6	0,1	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5
	23	4,7	2,5	1,4	0,7	0,3	-0,1	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5
	24	5,0	2,7	1,6	0,9	0,4	0,0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,4
	25	5,2	3,0	1,8	1,1	0,6	0,2	-0,1	-0,4	-0,6	-0,8	-0,9	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4
	26	5,4	3,2	2,0	1,3	0,7	0,3	0,0	-0,3	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4
	27	5,7	3,4	2,2	1,4	0,9	0,4	0,0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,3	-1,4
	28	5,9	3,6	2,4	1,5	0,9	0,5	0,1	-0,2	-0,4	-0,7	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3
	29	6,1	3,8	2,5	1,7	1,1	0,6	0,2	-0,1	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,3	-1,3
	30	6,3	3,9	2,6	1,8	1,1	0,6	0,2	-0,1	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,3	-1,4
	31	6,5	4,1	2,7	1,9	1,2	0,7	0,3	-0,1	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4
	32	6,7	4,2	2,8	1,9	1,2	0,7	0,3	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4
	33	6,8	4,3	2,9	2,0	1,3	0,7	0,2	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4
	34	7,0	4,4	3,0	2,0	1,3	0,7	0,2	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5
	35	7,1	4,5	3,0	2,0	1,3	0,6	0,1	-0,2	-0,5	-0,8	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5
	36	7,2	4,6	3,0	2,0	1,2	0,5	0,0	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1	-1,2	-1,4	-1,5	-1,5
	37	7,3	4,6	3,0	1,9	1,1	0,4	-0,1	-0,5	-0,7	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6
	38	7,4	4,6	3,0	1,8	0,9	0,3	-0,2	-0,6	-0,8	-1,0	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,6
	39	7,4	4,6	2,8	1,6	0,7	0,1	-0,3	-0,7	-0,9	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7
	40	7,4	4,5	2,7	1,4	0,5	-0,1	-0,5	-0,8	-1,1	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7
	41	7,4	4,3	2,4	1,1	0,2	-0,3	-0,7	-1,0	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8
	42	7,3	4,0	2,0	0,7	0,0	-0,5	-0,9	-1,1	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8
	43	7,0	3,5	1,4	0,4	-0,3	-0,7	-1,0	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8
	44	6,7	2,8	1,0	0,0	-0,5	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9
	45	6,0	2,0	0,5	-0,2	-0,7	-1,0	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Syvyys d [mm]	46	4,8	1,2	0,1	-0,5	-0,9	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9
	47	2,8	0,6	-0,2	-0,7	-1,1	-1,3	-1,4	-1,6	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0
	48	1,6	0,2	-0,5	-0,9	-1,2	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0
	49	0,8	-0,2	-0,7	-1,0	-1,3	-1,4	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0
	50	0,4	-0,5	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	51	-0,1	-0,7	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1
	52	-0,3	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1
	53	-0,6	-1,0	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1
	54	-0,7	-1,2	-1,4	-1,5	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	55	-1,0	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2
	56	-1,1	-1,3	-1,5	-1,7	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2
	57	-1,2	-1,4	-1,5	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2
	58	-1,2	-1,4	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	59	-1,3	-1,5	-1,6	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	60	-1,3	-1,5	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	61	-1,4	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3
	62	-1,3	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3
	63	-1,5	-1,6	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3
	64	-1,4	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	65	-1,5	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,4
	66	-1,6	-1,7	-1,9	-1,9	-2,0	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4
	67	-1,5	-1,7	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4
	68	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4
	69	-1,6	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
	70	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,5
	71	-1,7	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5
	72	-1,7	-1,8	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5
	73	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
	74	-1,7	-1,9	-2,0	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,6
	75	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,6	-2,6
76	-1,8	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5	-2,6	-2,6	-2,6	
77	-1,7	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	
78	-1,9	-2,0	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,7	
79	-1,8	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,5	-2,5	-2,6	-2,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	
80	-1,8	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,5	-2,6	-2,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	
81	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,5	-2,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,8	
82	-1,8	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	
83	-1,8	-2,0	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,6	-2,7	-2,7	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	
84	-2,1	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,6	-2,7	-2,8	-2,8	-2,8	-2,9	-2,8	-2,9	-2,9	
85	-1,9	-2,1	-2,2	-2,3	-2,5	-2,6	-2,7	-2,7	-2,8	-2,8	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	
86	-1,9	-2,1	-2,2	-2,4	-2,5	-2,6	-2,7	-2,8	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	
87	-2,1	-2,1	-2,3	-2,4	-2,6	-2,7	-2,8	-2,9	-2,9	-2,9	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	
88	-2,0	-2,2	-2,3	-2,5	-2,6	-2,7	-2,8	-2,9	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	
89	-1,9	-2,2	-2,4	-2,6	-2,7	-2,8	-2,9	-3,0	-3,0	-3,0	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	
90	-2,1	-2,2	-2,4	-2,6	-2,8	-2,9	-3,0	-3,0	-3,0	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Syvyys d [mm]	91	-2,1	-2,3	-2,5	-2,7	-2,9	-3,0	-3,0	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1
	92	-1,9	-2,3	-2,6	-2,8	-3,0	-3,0	-3,1	-3,1	-3,1	-3,2	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1
	93	-2,2	-2,4	-2,7	-2,9	-3,0	-3,1	-3,1	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,1	-3,2	-3,1
	94	-2,2	-2,6	-2,9	-3,0	-3,1	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,1
	95	-2,1	-2,8	-3,0	-3,1	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,3	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2
	96	-2,4	-2,9	-3,1	-3,1	-3,2	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,2	-3,3	-3,2	-3,2
	97	-3,0	-3,0	-3,1	-3,2	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,4	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,2
	98	-2,8	-3,1	-3,2	-3,3	-3,3	-3,3	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,3	-3,2
	99	-2,8	-3,2	-3,3	-3,3	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3
	100	-3,2	-3,2	-3,3	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Syvyys d [mm]	46	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	47	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	48	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	49	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0
	50	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0
	51	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	52	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	53	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	54	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	55	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	56	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1
	57	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1
	58	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	59	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	60	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	61	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	62	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2
	63	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2
	64	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2
	65	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	66	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	67	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	68	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3
	69	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
	70	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3
	71	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
	72	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
	73	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4
	74	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,5	-2,4
	75	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,5	-2,5
76	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	
77	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	
78	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	
79	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	
80	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	
81	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	
82	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	
83	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	
84	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	
85	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	
86	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	
87	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	
88	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	
89	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	
90	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Syvyys d [mm]	91	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7
	92	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7
	93	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7
	94	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7
	95	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7
	96	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8
	97	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8
	98	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8
	99	-3,3	-3,2	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8
	100	-3,2	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Syvyys d [mm]	1	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3
	2	-2,9	-2,8	-2,8	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2
	3	-2,8	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2
	4	-2,7	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,1
	5	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1
	6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	7	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0
	8	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0
	9	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	10	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9
	11	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9
	12	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	13	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	14	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	15	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8
	16	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	17	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	18	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	19	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	20	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7
	21	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	22	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	23	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	24	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	25	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	26	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	27	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	28	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	29	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	30	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	31	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	32	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	33	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	34	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	35	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	36	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	37	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	38	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7
	39	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	40	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	41	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	42	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	43	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	44	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	45	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Syvyys d [mm]	91	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	92	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3
	93	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3
	94	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3
	95	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3
	96	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3
	97	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3
	98	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3
	99	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3
	100	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Syvyys d [mm]	1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8
	2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	3	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	4	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	5	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	6	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6
	7	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6
	8	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6
	9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6
	10	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	11	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5
	12	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5
	13	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
	14	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
	15	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
	16	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
	17	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	18	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	19	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	20	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	21	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	22	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	23	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	24	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	25	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	26	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	27	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	28	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	29	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	30	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	31	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	32	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	33	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	34	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	35	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	36	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	37	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	38	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	39	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	40	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	41	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	42	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	43	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	44	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	45	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Syyys d [mm]	46	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	47	-1,7	-1,8	-1,7	-1,8	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	48	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	49	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	50	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	51	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	52	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	53	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	54	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	55	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	56	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	57	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	58	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	59	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	60	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	61	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8
	62	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	63	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	64	-1,8	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	65	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	66	-1,9	-1,8	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	67	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	68	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	69	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	70	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	71	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	72	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8
	73	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8
	74	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	75	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
76	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
77	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
78	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
79	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
80	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
81	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
82	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	
83	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	
84	-2,1	-2,0	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	
85	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	
86	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
87	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
88	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
89	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
90	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Syvyys d [mm]	91	-2,2	-2,2	-2,1	-2,2	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	92	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	93	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	94	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	95	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9
	96	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	97	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9
	98	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9
	99	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9
	100	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Syvyys d [mm]	1	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	2	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3
	3	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3
	4	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3
	5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3
	6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
	7	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2
	8	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2
	9	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2
	10	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2
	11	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2
	12	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	13	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	14	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	15	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	16	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	17	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	18	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	19	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	20	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	21	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	22	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	23	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	24	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	25	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	26	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	27	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	28	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	29	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	30	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	31	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	32	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	33	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	34	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	35	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	36	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	37	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	38	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	39	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	40	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	41	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	42	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	43	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	44	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	45	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Syvyys d [mm]	46	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2
	47	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	48	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	49	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2
	50	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2
	51	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2
	52	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2
	53	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2
	54	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2
	55	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2
	56	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
	57	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
	58	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
	59	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
	60	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
	61	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
	62	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
	63	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3
	64	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3
	65	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3
	66	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3
	67	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3
	68	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3
	69	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3
	70	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3
	71	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3
	72	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3
	73	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3
	74	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	75	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
76	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	
77	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	
78	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	
79	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
80	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
81	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
82	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
83	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
84	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	-1,5	-1,6	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
85	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
86	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
87	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
88	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
89	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	
90	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Syvyys d [mm]	91	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	92	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	93	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	94	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
	95	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
	96	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
	97	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
	98	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5
	99	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5
	100	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Syvyys d [mm]	1	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	2	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	4	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	5	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	6	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9
	7	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	8	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	9	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	10	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	11	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	12	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	13	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	14	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
	15	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	16	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	17	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	18	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	19	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8
	20	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8
	21	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8
	22	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	23	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	24	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	25	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	26	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	27	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	28	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	29	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	30	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	31	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	32	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8
	33	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8
	34	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8
	35	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
	36	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
	37	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8
	38	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	39	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
	40	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	41	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	42	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	43	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	44	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	45	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]															
		76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
Syvyys d [mm]	46	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	
	47	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	48	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	49	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	50	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	51	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	52	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	53	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	54	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	55	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	56	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9
	57	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9
	58	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9
	59	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9
	60	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9
	61	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	62	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	63	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	64	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	65	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	66	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	67	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	68	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0
	69	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0
	70	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0
	71	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0
	72	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0
	73	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0
	74	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0
	75	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0
76	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	
77	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	
78	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	
79	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	
80	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	
81	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	
82	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	
83	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	
84	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	
85	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	
86	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	
87	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	
88	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	
89	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	
90	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]														
		76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Syvyys d [mm]	91	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	92	-1,5	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	93	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	94	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	95	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1
	96	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	97	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	98	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	99	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1
	100	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]									
		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Syvyys d [mm]	1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	2	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	3	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7
	4	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7
	5	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7
	6	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7
	7	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7
	8	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	10	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	11	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	12	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	13	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	14	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	15	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	16	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	17	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	18	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	19	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	20	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	21	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	22	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	23	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	24	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	25	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	26	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	27	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	28	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	29	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	30	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	31	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	32	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	33	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	34	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
	35	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	36	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	37	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	38	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	39	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	40	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	41	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	42	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	43	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	44	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	45	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]									
		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Syvyys d [mm]	46	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	47	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	48	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	49	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	50	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	51	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	52	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7
	53	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7
	54	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7
	55	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7
	56	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7
	57	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7
	58	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7
	59	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7
	60	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7
	61	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	62	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	63	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	64	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	65	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	66	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	67	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	68	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	69	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	70	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8
	71	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8
	72	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8
	73	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8
	74	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8
	75	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8
76	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	
77	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	
78	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	
79	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	
80	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	
81	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	
82	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	
83	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	
84	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	
85	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	
86	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	
87	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	
88	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	
89	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	
90	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan R_{w+C} [dB]

		Leveys b [mm]									
		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Syvyys d [mm]	91	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	92	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	93	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	94	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	95	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	96	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9
	97	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	98	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	99	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9
	100	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Syvyys d [mm]	1	-10,9	-9,6	-8,8	-8,1	-7,6	-7,2	-6,8	-6,6	-6,3	-6,1	-5,8	-5,7	-5,5	-5,3	-5,2
	2	-9,4	-8,7	-8,1	-7,6	-7,1	-6,8	-6,5	-6,2	-6,0	-5,8	-5,6	-5,4	-5,3	-5,1	-5,0
	3	-8,2	-7,8	-7,4	-7,0	-6,7	-6,4	-6,2	-5,9	-5,7	-5,5	-5,4	-5,2	-5,0	-4,9	-4,8
	4	-7,1	-7,1	-6,8	-6,5	-6,3	-6,0	-5,8	-5,6	-5,4	-5,3	-5,1	-5,0	-4,8	-4,7	-4,6
	5	-6,1	-6,4	-6,3	-6,1	-5,9	-5,7	-5,5	-5,3	-5,2	-5,0	-4,9	-4,8	-4,7	-4,5	-4,4
	6	-5,2	-5,7	-5,7	-5,6	-5,5	-5,3	-5,2	-5,0	-4,9	-4,8	-4,7	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3
	7	-4,4	-5,1	-5,2	-5,2	-5,1	-5,0	-4,9	-4,8	-4,7	-4,6	-4,4	-4,4	-4,3	-4,2	-4,1
	8	-3,6	-4,5	-4,8	-4,8	-4,8	-4,7	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3	-4,2	-4,2	-4,1	-4,0	-3,9
	9	-3,0	-4,0	-4,3	-4,4	-4,4	-4,4	-4,3	-4,2	-4,2	-4,1	-4,0	-4,0	-3,9	-3,8	-3,8
	10	-2,4	-3,5	-3,9	-4,1	-4,1	-4,1	-4,0	-4,0	-4,0	-3,9	-3,8	-3,8	-3,7	-3,7	-3,6
	11	-1,8	-3,1	-3,5	-3,7	-3,8	-3,8	-3,8	-3,8	-3,8	-3,7	-3,6	-3,6	-3,6	-3,5	-3,5
	12	-1,2	-2,6	-3,1	-3,4	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,4	-3,4	-3,4	-3,3
	13	-0,7	-2,2	-2,7	-3,0	-3,2	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,2
	14	-0,2	-1,8	-2,4	-2,7	-2,9	-3,0	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0
	15	0,2	-1,4	-2,1	-2,4	-2,6	-2,8	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9
	16	0,7	-1,0	-1,8	-2,2	-2,4	-2,5	-2,7	-2,7	-2,7	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8
	17	1,1	-0,7	-1,5	-1,9	-2,1	-2,3	-2,4	-2,5	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,7	-2,7	-2,7
	18	1,4	-0,4	-1,2	-1,6	-1,9	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,6
	19	1,8	-0,1	-0,9	-1,4	-1,7	-1,9	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
	20	2,2	0,3	-0,6	-1,1	-1,5	-1,7	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3
	21	2,5	0,6	-0,4	-0,9	-1,3	-1,5	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2
	22	2,8	0,8	-0,1	-0,7	-1,0	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1
	23	3,1	1,1	0,1	-0,5	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0
	24	3,4	1,3	0,4	-0,2	-0,7	-1,0	-1,2	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9
	25	3,7	1,6	0,6	0,0	-0,5	-0,8	-1,0	-1,2	-1,3	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8
	26	4,0	1,8	0,8	0,2	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8
	27	4,3	2,1	1,0	0,3	-0,1	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-1,2	-1,4	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7
	28	4,5	2,3	1,2	0,5	0,0	-0,3	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,4	-1,5	-1,6
	29	4,7	2,5	1,4	0,7	0,2	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5
	30	5,0	2,7	1,6	0,9	0,4	0,0	-0,3	-0,6	-0,8	-0,9	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4
	31	5,2	2,9	1,8	1,0	0,5	0,1	-0,2	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4
	32	5,4	3,1	1,9	1,2	0,6	0,2	-0,1	-0,4	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-1,2	-1,3	-1,3
	33	5,6	3,3	2,1	1,3	0,7	0,3	0,0	-0,3	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3
	34	5,8	3,5	2,2	1,4	0,9	0,4	0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-0,9	-1,1	-1,2	-1,2
	35	6,0	3,6	2,4	1,6	1,0	0,5	0,1	-0,1	-0,4	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2
	36	6,2	3,8	2,5	1,7	1,1	0,6	0,2	-0,1	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2
	37	6,4	3,9	2,6	1,8	1,1	0,6	0,3	0,0	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1
	38	6,5	4,1	2,7	1,8	1,2	0,7	0,3	0,0	-0,2	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1
	39	6,7	4,2	2,8	1,9	1,2	0,7	0,3	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1
	40	6,8	4,3	2,9	1,9	1,2	0,7	0,3	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-1,0	-1,1
	41	6,9	4,3	2,9	1,9	1,2	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0
	42	7,0	4,4	2,8	1,9	1,2	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0
	43	7,1	4,4	2,8	1,8	1,2	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0
	44	7,1	4,2	2,7	1,8	1,2	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0
	45	7,0	4,0	2,6	1,7	1,2	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Syvyys d [mm]	46	6,7	3,7	2,5	1,7	1,1	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0
	47	5,8	3,5	2,4	1,6	1,1	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0
	48	5,3	3,3	2,3	1,6	1,1	0,7	0,3	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0
	49	4,8	3,2	2,2	1,6	1,0	0,7	0,3	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0
	50	4,6	3,1	2,2	1,5	1,0	0,6	0,3	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,8	-1,0
	51	4,3	3,0	2,1	1,5	1,0	0,6	0,3	0,0	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0
	52	4,2	2,9	2,1	1,4	1,0	0,6	0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0
	53	4,0	2,8	2,0	1,4	0,9	0,6	0,3	0,0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0
	54	3,9	2,7	1,9	1,3	0,9	0,5	0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0
	55	3,7	2,6	1,8	1,2	0,8	0,5	0,2	0,0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0
	56	3,7	2,5	1,8	1,2	0,8	0,5	0,2	0,0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0
	57	3,5	2,4	1,7	1,2	0,8	0,5	0,2	0,0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0
	58	3,3	2,3	1,6	1,1	0,8	0,4	0,2	-0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0
	59	3,0	2,2	1,6	1,1	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0
	60	3,0	2,1	1,5	1,1	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,8	-1,0	-1,0
	61	2,8	2,0	1,4	1,0	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1
	62	2,8	2,0	1,4	1,0	0,6	0,3	0,1	-0,1	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1
	63	2,5	1,9	1,4	1,0	0,6	0,3	0,0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1
	64	2,6	1,9	1,3	0,9	0,6	0,2	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1
	65	2,5	1,8	1,3	0,9	0,5	0,2	0,0	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2
66	2,4	1,8	1,2	0,8	0,5	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	
67	2,4	1,7	1,2	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	
68	2,2	1,7	1,2	0,7	0,3	0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	
69	2,3	1,6	1,1	0,6	0,3	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,1	-1,2	
70	2,1	1,5	1,0	0,5	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	
71	2,1	1,4	0,8	0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	
72	2,1	1,3	0,8	0,4	0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	
73	1,9	1,2	0,6	0,3	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	
74	1,9	1,0	0,6	0,2	0,0	-0,3	-0,4	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	
75	1,5	0,9	0,5	0,2	-0,1	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,0	-1,1	-1,3	-1,3	-1,4	
76	1,3	0,8	0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	
77	1,4	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	
78	1,0	0,6	0,3	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	
79	1,1	0,6	0,3	0,0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	
80	1,1	0,6	0,2	-0,1	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,1	-1,3	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	
81	0,7	0,5	0,2	-0,1	-0,4	-0,5	-0,8	-0,9	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	
82	0,9	0,4	0,1	-0,1	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	
83	0,8	0,4	0,1	-0,2	-0,4	-0,7	-0,9	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,7	
84	0,5	0,3	0,0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	
85	0,7	0,2	0,0	-0,3	-0,5	-0,8	-1,0	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,8	
86	0,6	0,2	-0,1	-0,3	-0,6	-0,9	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	
87	0,3	0,2	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	
88	0,5	0,1	-0,2	-0,5	-0,8	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,9	
89	0,6	0,1	-0,3	-0,6	-0,9	-1,0	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	
90	0,3	0,0	-0,4	-0,7	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Syvyys d [mm]	91	0,3	-0,1	-0,5	-0,8	-1,0	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9
	92	0,5	-0,1	-0,6	-0,9	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0
	93	0,1	-0,2	-0,7	-1,0	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0
	94	0,1	-0,5	-0,8	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0
	95	0,2	-0,6	-0,9	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1
	96	-0,2	-0,7	-1,1	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1
	97	-0,7	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1
	98	-0,5	-1,0	-1,2	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1
	99	-0,5	-1,1	-1,3	-1,4	-1,6	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2
	100	-1,0	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Syvyys d [mm]	1	-5,1	-4,9	-4,8	-4,7	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3	-4,2	-4,1	-4,1	-4,0	-3,9	-3,8	-3,8
	2	-4,9	-4,8	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3	-4,3	-4,2	-4,1	-4,0	-3,9	-3,9	-3,8	-3,7	-3,7
	3	-4,7	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3	-4,2	-4,1	-4,1	-4,0	-3,9	-3,8	-3,8	-3,7	-3,6	-3,6
	4	-4,5	-4,4	-4,3	-4,2	-4,2	-4,1	-4,0	-3,9	-3,9	-3,8	-3,7	-3,7	-3,6	-3,6	-3,5
	5	-4,3	-4,2	-4,2	-4,1	-4,0	-3,9	-3,9	-3,8	-3,7	-3,7	-3,6	-3,6	-3,5	-3,5	-3,4
	6	-4,2	-4,1	-4,0	-3,9	-3,9	-3,8	-3,7	-3,7	-3,6	-3,6	-3,5	-3,5	-3,4	-3,4	-3,3
	7	-4,0	-3,9	-3,9	-3,8	-3,7	-3,7	-3,6	-3,6	-3,5	-3,5	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,2
	8	-3,9	-3,8	-3,7	-3,7	-3,6	-3,6	-3,5	-3,5	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,1
	9	-3,7	-3,7	-3,6	-3,6	-3,5	-3,4	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1
	10	-3,6	-3,5	-3,5	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0
	11	-3,4	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9
	12	-3,3	-3,2	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8
	13	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8
	14	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7
	15	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6
	16	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5
	17	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
	18	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4
	19	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
	20	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3
	21	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	22	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	23	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	24	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	25	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	26	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	27	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	28	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0
	29	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	30	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	31	-1,4	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9
	32	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	33	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	34	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8
	35	-1,3	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8
	36	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8
	37	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	38	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	39	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	40	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7
	41	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7
	42	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7
	43	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7
	44	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7
	45	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Syvyys d [mm]	46	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	47	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	48	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	49	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	50	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	51	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	52	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	53	-1,0	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7
	54	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7
	55	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7
	56	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7
	57	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7
	58	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7
	59	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7
	60	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7
	61	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7
	62	-1,2	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7
	63	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	64	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	65	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8
	66	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8
	67	-1,3	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8
	68	-1,3	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8
	69	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8
	70	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	71	-1,4	-1,4	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	72	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9
	73	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9
	74	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9
	75	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
76	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
77	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	
78	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	
79	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
80	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
81	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
82	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
83	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	
84	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	
85	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	
86	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	
87	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	
88	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	
89	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	
90	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Syyys d [mm]	1	-3,7	-3,6	-3,6	-3,5	-3,5	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,0
	2	-3,6	-3,6	-3,5	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0
	3	-3,5	-3,5	-3,4	-3,4	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9
	4	-3,5	-3,4	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,8
	5	-3,4	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8
	6	-3,3	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7
	7	-3,2	-3,2	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7
	8	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6
	9	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6
	10	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5
	11	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5
	12	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4
	13	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4
	14	-2,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
	15	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3
	16	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	17	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2
	18	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	19	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	20	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1
	21	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	22	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	23	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	24	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	25	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	26	-2,0	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	27	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	28	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9
	29	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	30	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	31	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	32	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	33	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,9
	34	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	35	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	36	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	37	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	38	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	39	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	40	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	41	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	42	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	43	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	44	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8
	45	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Syvyys d [mm]	91	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	92	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	93	-2,2	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	94	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
	95	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2
	96	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	97	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	98	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	99	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
	100	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,3	-2,4	-2,4	-2,3	-2,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Syyys d [mm]	46	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	47	-1,7	-1,8	-1,7	-1,8	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	48	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	49	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	50	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	51	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	52	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	53	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	54	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	55	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	56	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	57	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	58	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	59	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	60	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	61	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8
	62	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	63	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	64	-1,8	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	65	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	66	-1,9	-1,8	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	67	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	68	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	69	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	70	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	71	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	72	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8
	73	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8
	74	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	75	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
76	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
77	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
78	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
79	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
80	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
81	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	
82	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	
83	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	
84	-2,1	-2,0	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	
85	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	
86	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
87	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
88	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
89	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	
90	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Syvyys d [mm]	91	-2,1	-2,2	-2,1	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
	92	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0
	93	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	94	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	95	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	96	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	97	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	98	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
	99	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1
	100	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]															
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	
Syvyys d [mm]	46	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	
	47	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5
	48	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5
	49	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5
	50	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	51	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5
	52	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	53	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	54	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	55	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	56	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	57	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	58	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	59	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	60	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	61	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	62	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	63	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	64	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	65	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	66	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	67	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	68	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6
	69	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	70	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6
	71	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	72	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	73	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	74	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	75	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
76	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	
77	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	
78	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	
79	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	
80	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	
81	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	
82	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8	
83	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	
84	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8	
85	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	
86	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	
87	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	
88	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	
89	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	
90	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Syvyys d [mm]	91	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8
	92	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8
	93	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	94	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	95	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	96	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
	97	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	98	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	99	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
	100	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Syvyys d [mm]	1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	2	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
	3	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7
	4	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7
	5	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	6	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	7	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
	8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6
	9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6
	10	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6
	11	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6
	12	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	13	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
	14	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5
	15	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5
	16	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
	17	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5
	18	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	19	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	20	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	21	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	22	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	23	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	24	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	25	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4
	26	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	27	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4
	28	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4
	29	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	30	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	31	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	32	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	33	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	34	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	35	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	36	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	37	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	38	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	39	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	40	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	41	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	42	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	43	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	44	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	45	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]														
		76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Syyys d [mm]	46	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	47	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	48	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	49	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	50	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	51	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	52	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	53	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	54	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	55	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	56	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	57	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	58	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	59	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	60	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	61	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	62	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	63	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
	64	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4
	65	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4
	66	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	67	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
	68	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	69	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	70	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	71	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	72	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	73	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	74	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	75	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
76	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	
77	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	
78	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	
79	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	
80	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	
81	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	
82	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	
83	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	
84	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	
85	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	
86	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	
87	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	
88	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	
89	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	
90	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	

LIITE B: VIIVAMAISTEN RAKOJEN LASKENTATULOKSIAIlmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan R_w+C_{tr} [dB]

		Leveys b [mm]									
		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Syvyys d [mm]	91	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4
	92	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4
	93	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	94	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	95	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	96	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	97	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	98	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	99	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
	100	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5