

# **RIL 243-1-2007**

**Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry**

## **Rakennusten akustinen suunnittelu Akustiikan perusteet**



**JULKAISIJA JA KUSTANTAJA:**

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

**MYynti:**

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Töölönkatu 4, 00100 Helsinki

Puh. 0207 120 600, fax 0207 120 619, email [ril@ril.fi](mailto:ril@ril.fi), [www.ril.fi](http://www.ril.fi)

ISBN 978-951-758-477-7

ISBN 978-951-758-560-6

ISSN 0356-9403

Painopaikka: Hakapaino Oy, 2007

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi ja saattaminen yleisön saataviin on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman nimenomaista lupaa.

© Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

## Alkusanat

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry julkaisee rakennusten akustista suunnittelua käsittelevän julkaisusarjan, jonka ensimmäinen osa on "RIL 234-1-2007 Rakennusten akustinen suunnittelu – Akustiikan perusteet".

Tämän ohjeen tehtävänä on toimia rakennusten akustisen suunnittelun yleisohjeena. Rakennusten akustiseen suunnitteluun kuuluvat ilma- ja askelääneneristyksen, huoneakustiikan, teknisten laitteiden meluntorjunnan, liikenne- ja ympäristömelun torjunnan ja tärinäneristyksen suunnittelu sekä tilojen keskinäisen sijainnin suunnittelu. Ohjeessa kuvataan, miten akustiikka otetaan huomioon rakennushankkeen suunnittelu- ja toteutusvaiheissa. Ohje antaa perustietoa akustisen suunnittelun sisällöstä, hyödyistä, akustiikkaa koskevista määräyksistä, ohjeista, vaatimuksista ja luokittelusta. Lisäksi ohje sisältää suunnitteluohjeita, menetelmiä akustisten vaatimusten asettamiselle ja todentamiselle sekä toteuttamiselle ja kehittämiselle.

Sarjan muut osat ovat rakennuskohtaisia ohjeita, jotka tuovat esille akustiset vaatimukset rakennus- ja tilakohtaisesti sekä kuvaavat ratkaisuja akustiikan toteuttamiselle:

- RIL 243-2 Opetustilat, auditoriot, kirjastot, liikuntatilat ja -hallit
- RIL 243-3 Toimistot
- RIL 243-4 Teollisuustilat
- RIL 243-5 Asunnot
- RIL 243-6 Sairaalat, palvelutalot, päiväkodit.

Sarjaa täydentää käsikirja "RIL129 Ääneneristyksen toteuttaminen".

Ohjeen rahoittajia ovat Työsuojelurahasto, opetusministeriö/liikuntapaikat, Opetushallitus, ympäristöministeriö sekä alan yritykset Saint-Gobain Ecophon Oy, Saint-Gobain Isover Oy, Rautaruukki Oyj, Paroc Oy ja Gyproc Oy. Kiitämme rahoittajia arvokkaasta tuesta, joka on mahdollistanut kirjasarjan laadinnan.

Ohjeen päätoimittajana on toiminut Markku Hirvonen. Ohjeen ovat kirjoittaneet Mikko Kylliäinen (Ins.tsto Heikki Helimäki Oy) ja Valtteri Hongisto. Johtoryhmään ovat kuuluneet Markku Hirvonen (pj.), Heli Anttalainen, Heikki Helimäki, Valtteri Hongisto, Mikko Kylliäinen, Anja Leinonen, Olli Nikula, Mauri Peltovuori, Kari Teliö, Juha Valtari, Riku Wuokko ja Gunnar Åström (RIL, siht.). Ohjeen toimituskuntaan ovat päätoimittajan ja kirjoittajien lisäksi kuuluneet Kalle Lehtonen, Henrik Möller, Ari Saarinen ja Vesa Viljanen. Työhön on osallistunut RILin Äänitekninen toimikunta, johon ovat kuuluneet Alpo Halme (pj.), Aimo Heimala, Reijo Heinonen, Kauko Juutinen, Antero Kajava ja Anja Leinonen.

Kiitämme ohjeen päätoimittajaa, kirjoittajia, johtoryhmää, toimituskuntaa ja toimikuntaa sekä kaikkia ohjeen laadintaan osallistuneita tahoja, jotka ovat tiedoillaan ja kannanotoillaan mahdollistaneet tämän ohjeen syntymisen.

Syyskuussa 2007

SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO RIL ry

Jorma Haapamäki  
puheenjohtaja

Helena Soimakallio  
toimitusjohtaja

## Sisällysluettelo

<b>1.</b>	<b>AKUSTISEN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT</b> . . . . .	9
1.1	Tavoitteet . . . . .	9
1.2	Ääniolosuhteiden vaikutukset ihmiseen . . . . .	10
1.3	Äänen häiritsevyys . . . . .	11
1.4	Ääniolosuhteiden taloudelliset vaikutukset . . . . .	12
1.5	Esimerkkejä puutteellisten ääniolosuhteiden vaikutuksista . . . . .	14
<b>2.</b>	<b>AKUSTIIKKA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET JA OHJEET</b> . . . . .	16
2.1	Määräysten tausta . . . . .	16
2.2	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1 . . . . .	17
2.3	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 . . . . .	18
2.4	Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen asumisterveysohje . . . . .	19
2.5	Laki eräistä naapurussuhteista . . . . .	19
2.6	Standardi SFS 5907:2004 Rakennusten akustinen luokitus . . . . .	20
2.7	Sisäilmastoluokitus . . . . .	20
2.8	Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojaamisesta melulta . . . . .	21
2.9	Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista . . . . .	21
2.10	EN-standardit . . . . .	22
2.11	Aiemmat rakentamismääräykset . . . . .	22
<b>3.</b>	<b>AKUSTIIKKA RAKENNUSHANKKEEN OSANA</b> . . . . .	24
3.1	Akustisen suunnittelun sisältö . . . . .	24
3.2	Rakennushankkeen läpivienti . . . . .	25
3.2.1	Akustinen suunnittelu rakennushankkeessa . . . . .	25
3.2.2	Hankesuunnittelu . . . . .	27
3.2.3	Luonnossuunnittelu . . . . .	28
3.2.4	Toteutussuunnittelu . . . . .	30
3.2.5	Rakentaminen ja käyttöönotto . . . . .	33
3.3	Käytössä todetut ääniolosuhteiden puutteet . . . . .	34
<b>4.</b>	<b>AKUSTIIKAN PERUSKÄSITTEET</b> . . . . .	35
4.1	Perusmääritelmät . . . . .	35
4.1.1	Ääni . . . . .	35
4.1.2	Taajuus . . . . .	35
4.1.3	Ilmaaääni . . . . .	35
4.1.4	Runko- ja askelääni . . . . .	36
4.1.5	Äänenpainetaso . . . . .	36
4.1.6	Taajuuskaistat . . . . .	37
4.1.7	A-painotus ja äänitaso . . . . .	39
4.1.8	Keskiäänitaso . . . . .	40
4.1.9	Enimmäisäänitaso . . . . .	41
4.1.10	Ääniteho ja äänitehotaso . . . . .	41
4.1.11	Intensiteetti ja intensiteettitaso . . . . .	42
4.2	Äänen leviäminen ja vaimeneminen . . . . .	43
4.2.1	Leviämismuunnos ulkona . . . . .	43
4.2.2	Absorption ja ääneneristyksen erottaminen . . . . .	46
4.2.3	Absorptioala . . . . .	49
4.2.4	Jälkikaiunta-aika . . . . .	50

4.2.5	Huonevaimennus . . . . .	51
4.2.6	Leviämismuunnos sisätiloissa . . . . .	52
4.3	Puhe . . . . .	54
4.3.1	Puheen perusominaisuudet . . . . .	54
4.3.2	Puheen erotettavuus ja puheensiirtoindeksi STI . . . . .	55
<b>5.</b>	<b>ILMAÄNENERISTYS . . . . .</b>	<b>58</b>
5.1	Ilmaääneneristävyyden mittaaminen . . . . .	58
5.1.1	Laboratoriomittaus . . . . .	58
5.1.2	Ilmaääneneristysluku . . . . .	59
5.1.3	Spektripainotusermit . . . . .	62
5.1.4	Kenttämittaus . . . . .	63
5.1.5	Laboratorio- ja kenttätuloksen erot . . . . .	66
5.1.6	Intensiteettimenetelmä . . . . .	67
5.1.7	Koettu ilmaääneneristävyys . . . . .	67
5.2	Kevyiden rakenteiden ilmaääneneristävyys . . . . .	70
5.2.1	Ohut levy . . . . .	70
5.2.2	Kaksinkertainen levyseinä . . . . .	74
5.2.3	Kytkemätön kaksinkertaisen levyseinän ilmaääneneristävyys . . . . .	76
5.2.4	Kytketyn kaksinkertaisen levyseinän ilmaääneneristävyys . . . . .	78
5.2.5	Kevyt sandwich-rakenne . . . . .	81
5.3	Kiviaineksisten rakenteiden ilmaääneneristävyys . . . . .	84
5.3.1	Yksinkertainen kiviaineksinen seinä . . . . .	84
5.3.2	Kiviaineksisen ja levyrakenteisen seinän yhdistelmä . . . . .	84
5.3.3	Kiviaineksinen sandwich-rakenne . . . . .	86
5.4	Ilmaääneneristävyyteen vaikuttavia tekijöitä . . . . .	86
5.4.1	Rakojen vaikutus ilmaääneneristävyyteen . . . . .	86
5.4.2	Absorboivan pinnan vaikutus ääneneristävyyteen . . . . .	88
5.5	Ääntä eristävien tuotteiden ominaisuudet . . . . .	90
5.5.1	Rakennuslevyt . . . . .	90
5.5.2	Järjestelmäväliseinät . . . . .	93
5.5.3	Ovet . . . . .	93
5.5.4	Siirtoseinät . . . . .	95
5.5.5	Paljeovet . . . . .	97
5.5.6	Lasitukset . . . . .	97
5.5.7	Ikkunat . . . . .	99
5.5.8	Korvausilmaventtiilit . . . . .	100
5.5.9	Alakatot . . . . .	101
5.6	Rakenteiden yhteisääneneristävyys . . . . .	102
<b>6.</b>	<b>RAKENTEELLISET SIVUTIESIIRTYMÄT . . . . .</b>	<b>106</b>
6.1	Sivutiesiirtymän määritelmä . . . . .	106
6.2	Massiiviset kiviaineksiset rakenteet . . . . .	106
6.3	Kevyet rakenteet . . . . .	108
6.4	Laskentamalli . . . . .	110
6.5	Laskentaesimerkit . . . . .	112

<b>7.</b>	<b>ASKELÄÄNENERISTYS</b> . . . . .	115
7.1	Askeläänitasoluku . . . . .	115
7.2	Spektripainotusermit . . . . .	117
7.3	Askelääneneristävyden parannusluku . . . . .	119
7.4	Massiiviset kivirakenteiset välipohjat . . . . .	121
7.4.1	Joustavat lattianpäällysteet . . . . .	121
7.4.2	Kelluvat lattiat . . . . .	122
7.4.3	Asennuslattiat . . . . .	125
7.4.4	Alakatot . . . . .	125
7.4.5	Askelääneneristys vaakasuunnassa . . . . .	126
7.5	Kevyet välipohjat . . . . .	126
7.6	Askelääneneristuksen suunnittelu . . . . .	129
7.6.1	Askeläänitasolukujen laskenta . . . . .	129
7.6.2	Lattianpäällysteen liitokset muihin rakenteisiin . . . . .	131
<b>8.</b>	<b>LIIKENNELUN TORJUNTA</b> . . . . .	133
8.1	Liikennemelun häiritsevyys . . . . .	133
8.2	Äänilähteet . . . . .	133
8.2.1	Tieliikennemelu . . . . .	133
8.2.2	Raideliikennemelu . . . . .	135
8.2.3	Lentomelu . . . . .	136
8.2.4	Melun mallintaminen . . . . .	136
8.3	Meluntorjuntakeinot . . . . .	137
8.3.1	Maankäytön suunnittelu . . . . .	137
8.3.2	Rakennussuunnittelu . . . . .	140
8.3.3	Meluesteet . . . . .	140
8.3.4	Parvekelasit . . . . .	141
8.3.5	Ulkovaipan ääneneristys . . . . .	141
8.4	Rakennuksen ulkovaipan ääneneristuksen suunnittelu . . . . .	144
8.4.1	Mitoitusmenetelmät . . . . .	144
8.4.2	Ympäristöoppaan mitoitusmenetelmä . . . . .	145
8.4.3	Äänitasoeromenetelmä . . . . .	146
8.4.4	Ulkovaipan ääneneristuksen mittaaminen . . . . .	147
<b>9.</b>	<b>ABSORPTIOMATERIAALIT</b> . . . . .	149
9.1	Huokoiset materiaalit . . . . .	149
9.2	Rei'itetyt levyt . . . . .	150
9.3	Mikrorei'itetyt levyt . . . . .	151
9.4	Ohuet reikälevyt . . . . .	152
9.5	Levyresonaattorit . . . . .	152
9.6	Kovat pinnat . . . . .	153
9.7	Kalusteet ja yleisö . . . . .	153
9.8	Ilma . . . . .	155
9.9	Höyrynsulkumuovien tai maalikalvojen vaikutus . . . . .	155
9.10	Absorptiomateriaalien luokitus . . . . .	156
<b>10.</b>	<b>HUONEAKUSTIIKKA</b> . . . . .	158
10.1	Huoneakustisen suunnittelun tavoitteet . . . . .	158
10.2	Äänen heijastuminen . . . . .	159
10.2.1	Heijastusten merkitys . . . . .	159

10.2.2	Tärykaiku . . . . .	160
10.2.3	Tilan muoto . . . . .	160
10.2.4	Pinnan muoto ja rakenne . . . . .	162
10.3	Huoneen ominaisvärähtelyt . . . . .	163
10.4	Huoneakustinen suunnittelu . . . . .	164
10.4.1	Suunnittelukriteerit . . . . .	164
10.4.2	Jälkikaiunta-ajan valinta . . . . .	164
10.4.3	Jälkikaiunta-ajan mitoittaminen . . . . .	167
10.5	Huoneakustinen mallintaminen . . . . .	169
<b>11.</b>	<b>SEINÄKKEET . . . . .</b>	<b>171</b>
11.1	Äänenvaimennus . . . . .	171
11.2	Äänenvaimennus huonetilassa . . . . .	173
<b>12.</b>	<b>LVIS-JÄRJESTELMIEN ÄÄNENHALLINTA . . . . .</b>	<b>175</b>
12.1	LVIS-järjestelmien vaikutus ääniolosuhteisiin . . . . .	175
12.2	Ilmastoinnin äänilähteet . . . . .	177
12.3	Ilmastointituotteiden mittaukset . . . . .	177
12.3.1	Kanavaosan äänenvaimennus . . . . .	177
12.3.2	Päätelaitteen äänenvaimennus . . . . .	178
12.3.3	Puhallinten äänitehotaso . . . . .	178
12.3.4	Kanavaosien äänenkehitys . . . . .	178
12.3.5	Läpivientielementin ääneneristävyys . . . . .	179
12.4	Ilmastoinnin äänenvaimennukseen vaikuttavat tekijät . . . . .	179
12.4.1	Huonevaimennus . . . . .	179
12.4.2	Kanavan rajataajuus . . . . .	180
12.4.3	Vapaan kanavan pätevaimennus . . . . .	181
12.4.4	Pääte-elinten äänenvaimennus . . . . .	182
12.4.5	Pääte-elimen sijainnin vaikutus . . . . .	183
12.4.6	Vaimennus kanavan poikki-pinta-alan muutoksessa . . . . .	185
12.4.7	Vaimennus kanavan haaroittuessa . . . . .	187
12.4.8	Suoran kanavan vaimennus . . . . .	189
12.4.9	Kanavan mutkien vaimennus . . . . .	189
12.4.10	Äänenvaimennuksen tarve . . . . .	190
12.4.11	Käytännön esimerkkejä äänenvaimentimista . . . . .	192
12.4.12	Puhaltimen äänitehotaso . . . . .	194
12.4.13	Puhallinäänen vaimennuslaskenta . . . . .	195
12.5	Äänenvaimentimien teoriaa . . . . .	197
12.5.1	Äänen eteneminen kanavistossa . . . . .	197
12.5.2	Suoran äänenvaimentimen äänenvaimennuksen muodostuminen . . . . .	198
12.5.3	Pienikokoisten pyöreiden vaimenninten pituussuuntainen äänenvaimennus . . . . .	200
12.6	Reaktiiviset äänenvaimentimet . . . . .	202
12.7	Sivutiesiirtymä ilmanvaihtokanavien ilmatilan kautta . . . . .	204
12.8	Virtausmelu . . . . .	206
12.8.1	Syntyminen . . . . .	206
12.8.2	Äänenkehitys kanavaosissa . . . . .	206
12.8.3	Kanavakomponenttien äänenkehityslaskelma . . . . .	208
12.9	Huonetilan äänitason muodostuminen . . . . .	209

12.10 Ilmastointikonehuoneen ilmaääneneristys . . . . .	210
12.10.1 Erillinen konehuone . . . . .	210
12.10.2 Huoneistokohtaisen lämmöntalteenottokoneen ääneneristys . . . . .	211
12.11 Ilmanvaihtolaitteiden äänenkehitys ulkotiloihin . . . . .	213
12.12 Hormien seinämien ääneneristys . . . . .	213
12.13 Muut LVIS-järjestelmät . . . . .	214
12.13.1 Lämmitysjärjestelmä . . . . .	214
12.13.2 Käyttövesijärjestelmä . . . . .	214
12.13.3 Viemärijärjestelmä . . . . .	214
12.13.4 Rakennuksen muut LVIS-laitteet . . . . .	215
<b>13. TÄRINÄNERISTYS . . . . .</b>	<b>216</b>
13.1 Tärinäneristysten tavoitteet . . . . .	216
13.2 Tärinäneristysten suunnittelu . . . . .	217
<b>LÄHDEKIRJALLISUUS . . . . .</b>	<b>221</b>

## Ilmoittajat

Ilmoitukset julkaisun lopussa

Decocoat Oy  
 Saint-Gobain Ecophon Oy  
 Elam Oy  
 Gyproc Oy Gyptone  
 Ins.tsto Heikki Helimäki Oy  
 Paroc Panel System Oy Ab  
 VTT Asiantuntijapalvelut