

# **RIL 255-1**

# **Rakennusfysiikka I**

**Rakennusfysikaalinen  
suunnittelu ja tutkimukset**

**Julkaisija ja kustantaja**

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

**Toimituskunta**

Juhani Heljo  
 Kimmo Lähdesmäki  
 Matti Pentti  
 Jommi Suonketo  
 Juha Vinha  
 Gunnar Åström (pj ja RILin edustaja).

**Vastaava toimittaja**

Juha Vinha

**KIRJOITTAJAT****RIL 255-1-2014 RAKENNUSFYSIIKKA I****Osa 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset****Luku 1. Johdanto**

Juha Vinha

**Luku 2. Rakennusfysikaalinen suunnittelu**

Pekka Laamanen 2.1.1, 2.1.4, 2.1.6–2.1.7  
 Anssi Laukkarinen 2.2.5, 2.2.8  
 Matti Pentti 2.1.1, 2.1.4  
 Juha Vinha 2.1.1–2.1.5, 2.2.1–2.2.4, 2.2.6–2.2.7  
 Gunnar Åström 2.1.1–2.1.2, 2.1.4, 2.1.6–2.1.7

**Luku 3. Rakenneratkaisujen rakennusfysikaalinen toiminta**

Kari Hemmilä 3.2.7, 3.4.8, 3.7, 3.8.4  
 Anssi Laukkarinen 3.5.5  
 Mikael Mäkitalo 3.2.8, 3.4.9  
 Matti Pentti 3.1, 3.2.1–3.2.6, 3.2.9, 3.3, 3.4.1–3.4.6, 3.4.10, 3.5–3.6, 3.8.2, 3.8.3  
 Juha Vinha 3.2.5, 3.4.7, 3.8.1

**Luku 4. Rakennusten energiatehokkuus**

Juhani Heljo 4.1–4.2, 4.3.1–4.3.5, 4.3.7, 4.3.9, 4.3.10, 4.4.1–4.4.2, 4.4.4, 4.5, 4.6.1, 4.7–4.8  
 Kari Hemmilä 4.6.3  
 Juha Jokisalo 4.3.6  
 Timo Kalema 4.4.3  
 Tom L. Sundman 4.6.2  
 Eino Tetri 4.3.8

**Luku 5. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet**

Pirjo Ahola 5.12.4  
 Tapani Harjunalanen 5.9.8, 5.10.5  
 Kari Hemmilä 5.16, 5.17  
 Katariina Laine 5.3.2, 5.4–5.6, 5.8.2–5.8.5, 5.11.2  
 Pirjo Laurila 5.8.9  
 Pertti Lindberg 5.9.8  
 Kimmo Lähdesmäki 5.1–5.7, 5.8.1–5.8.5, 5.8.7–5.8.8, 5.9.1–5.9.7, 5.11.1–5.11.5, 5.13.6–5.13.8, 5.14, 5.15.3, 5.18–5.19  
 Christopher Mills 5.8.9  
 Mikael Mäkitalo 5.15  
 Jarmo Paavilainen 5.8.9  
 Boris Panschin 5.13.1–5.13.5  
 Hassan Raad 5.8.6  
 Mika Ronkainen 5.9.8  
 Petri Silvennoinen 5.13.1–5.13.5  
 Hannu Viitanen 5.12.5  
 Leif Wirtanen 5.11.6, 5.12.1–5.12.4

**Luku 6. Rakennusfysikaaliset mittaukset ja tutkimukset**

Kari Hemmilä 6.3.3–6.3.4  
 Petteri Huttunen 6.1.4, 6.3.1–6.3.4, 6.4.4, 6.2.13  
 Mikko Kaartinen 6.1.9, 6.2.4  
 Kimmo Lähdesmäki 6.4.1–6.4.3, 6.5.1–6.5.4, 6.5.6  
 Mia Lund 6.5.5  
 Elina Manelius 6.2.1–6.2.12  
 Maija Ojanen 6.1.1–6.1.2, 6.1.5–6.1.6, 6.1.8, 6.1.11–6.1.12  
 Jani Poutiainen 6.1.3, 6.1.7, 6.1.9  
 Tiina Ruuska 6.2.2  
 Jommi Suonketo 6.1.10, 6.3.4, 6.6  
 Eero Tuominen 6.2.8  
 Juha Vinha 6.1.4, 6.2.2, 6.2.4, 6.2.9, 6.2.11, 6.3.1–6.3.3, 6.4.3

**Liitteet**

Petteri Huttunen Liitteet 7-9, 11  
 Anssi Laukkarinen Liitteet 5-6, 10  
 Kimmo Lähdesmäki Liitteet 4, 10  
 Juha Vinha Liitteet 1-3, 8

**Toimitussihteeri**

Jaana Henell

**RAHOITTAJAT**

A-Insinöörit Oy  
 ASB-Consult Oy  
 Comsol Oy  
 Controlteam-yhtiöt  
 D.O.F. tech Oy  
 Eltete Oy  
 EPS-rakennuseristeteollisuus  
 c/o Rakennustuoteteollisuus RTT ry  
 Ewona Oy  
 Finnfoam Oy  
 Finnmap Consulting Oy  
 H+H Finland Oy  
 Hahtela-Kehitys Oy  
 Hartela Oy  
 HKR-Rakennuttaja  
 Honkarakenne Oyj  
 Huura Oy  
 Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy  
 Inwido Finland Oy  
 Jaatimet Oy  
 Jetta-Talo Oy  
 Juva Engineering Ltd  
 Kastelli-Talot Oy  
 Kattoliitto ry  
 Kiinteistöalan Koulutuskeskus Oy  
 Knauf Oy  
 Kuopion kaupungin tilakeskus  
 Lammin Betoni Oy  
 Liikelaitos Oulun Tilakeskus  
 Lumon Oy  
 Mammutihirsi/  
 Pohjois-Suomen Hirsitalokeskus Oy  
 Metsäteollisuus ry  
 Metsä Wood  
 Muottikolmio Oy  
 Muoviteollisuus ry  
 c/o Rakennustuoteteollisuus RTT  
 NCC Rakennus Oy  
 Parma Oy  
 Paroc Oy Ab  
 PRT-Forest Oy  
 Purso Oy  
 Pöyry Civil Oy  
 Rakennusliike Halonen Oy  
 Rakennusteollisuus RT  
 Rakonor Oy  
 Ramboll Finland Oy  
 Rautaruukki Oyj  
 Redi-yhtiöt Oy  
 Rockwool Finland Oy  
 Saint Gobain Rakennustuotteet Oy  
 Saint Gobain Weber Oy  
 Skaala Ikkunat ja Ovet Oy

Suomen Kuitulevy Oy  
 Suomen Rakennustarkastus Oy  
 Suunnittelutoimisto Dimensio Oy  
 Sweco PM Oy  
 Talokeskus Yhtiöt Oy  
 Tampereen Tilakeskus Liikelaitos  
 Teräselementti Oy  
 Tikkurila Paints Oy  
 Turun Juva Oy  
 Uponor Suomi Oy  
 Wise Group Finland Oy  
 WSP Finland Oy  
 YIT Rakennus Oy  
 Ypap Oy/Pyroll Group  
 Opetus- ja kulttuuriministeriö  
 Sosiaali- ja terveysministeriö  
 Ympäristöministeriö  
 RIL-säätiö

**Ilmoitukset**

JPM-Info Oy

**Kirjapaino**

Tammerprint Oy, 2014

**Myynti**

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry  
 Töölönkatu 4, 1. krs, 00100 Helsinki  
[www.ril.fi/kirjakauppa](http://www.ril.fi/kirjakauppa)

ISBN 978-951-758-589-7

ISSN 0356-9403

*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

**ILMOITTAJAT**

Ilmoitukset lukujen 3 ja 4 välissä ja julkaisun lopussa

A-Insinöörit Oy  
Eltete Oy  
Finfoam Oy  
Flexotec Oy  
Hunton Fiber AS, Filial i Finland  
Inwido Finland Oy  
ISS Proko Oy  
Katepal Oy  
Katto 2000 Oy  
Kiinteistöalan Koulutuskeskus Oy  
Lumon Oy  
M-Plast Oy  
Muottikolmio Oy  
Nordic Waterproofing Oy  
Polygon Finland Oy  
Purso Oy  
Rudus Oy  
Sakret Norden Oy Ab  
Suomen Standardisoimisliitto SFS ry  
Suomen ympäristöpisto SYKLI Oy  
Tikkurila Oyj  
Työtehoseura  
VTT Expert Services Oy

## Alkusanat

Rakennusten terveellisyys ja turvallisuus ovat itsestään selviä kansalaisoikeuksia. Näitä ominaisuuksia myös Maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää. Vaikka rakennuskanta on pääosin laadultaan hyvä, esiintyy yllättävän paljon rakennusten terveellisyysliittymiä vakavia puutteita, kuten kosteus- ja homeongelmia, jotka huonontavat sisäilman laatua. Syyt ongelmiin ovat monia, sekä kaavoituksessa, suunnittelussa, toteutuksessa, ylläpidossa että käytössä. Selvä keino tilanteen parantamiseksi on osaamisen ja tietoisuuden tason nosto. Tähän on RIL monilla julkaisuillaan ja muulla tavoin pyrkinyt.

Rakentamisala ja rakentamismääräykset ovat olleet voimakkaassa muutoksessa 2000-luvulla, joka on heijastunut rakennusfysiikan alueelle. Taustalla ovat mm. ilmastomuutoksen hillitsemiseksi sovitut kansainväliset päästöjen vähentämistavoitteet, erityisesti rakennusten energiankulutusta pienentämällä. Rakennusten kasvavat energiatehokkuusvaatimukset ovat edellyttäneet uusia, perinteisistä jopa merkittävästi poikkeavia rakenneratkaisuja. Lisäksi alalle on tullut paljon uusi materiaaleja uusine ominaisuuksineen ja rakennusfysikaalisten laskentaohjelmien taso on noussut. Rakennusfysikaalisten ratkaisujen muutostarpeisiin ovat myös vaikuttaneet alan standardointi ja laajat alan tutkimushankkeiden tulokset. Kun taustalla vielä ovat ennusteet ilmastomuutoksesta ja siihen liittyvistä kosteusrasitusten kasvamisesta, on ala suurten haasteiden edessä. Tarvitaan kootusti ajankohtaista ja luotettavaa tietoa sekä uusia, toimivia ratkaisuja, joilla varmistetaan rakenteiden ja rakennusten laatu myös muuttuvissa tulevaisuuden olosuhteissa.

RIL julkaisi v. 1984 käsikirjan *RIL 155-1984 Rakennusten lämmön- ja kosteudeneristys*, joka sisälsi sekä rakennusfysiikan teoriaa että käytännön suunnitteluesimerkkejä. Rakennusfysiikan teoria ei ole perusteeltaan merkittävästi muuttunut, mutta selvästi laajentunut. Kirjan rakennetekniset ratkaisut ovat vanhentuneet ja

osittain jopa virheelliset tämän päivän tietämyksen pohjalta.

V. 2008 päätti RIL yhdessä Tampereen teknillisen yliopiston kanssa käynnistää uuden laajan rakennusfysiikkaa käsittelevän julkaisun laadinnan. Työn tavoitteiksi asetettiin kattava käsikirja, joka käsittelee rakennusfysiikan teoriaa, rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa sekä rakennusmateriaalien rakennusfysikaalisia ominaisuuksia. Akustiikka rajattiin pois, koska siihen on mm. olemassa kirjasarja *RIL 243 Rakennusten akustinen suunnittelu*. Sisältö suunniteltiin siten, että julkaisu toimisi sekä alan käsikirjana ja ohjeena että oppikirjana. Käsitteiden ja merkintöjen yhtenäistäminen oli tärkeä osatavoite julkaisun toteutustyössä. Tärkeä asia oli myös rakennusmateriaalien rakennusfysikaalisten ominaisuuksien kerääminen ja taulukointi niin, että niistä löytyy jatkossa kattavat tiedot samasta paikasta.

Asetetut tavoitteet osoittautuivat erittäin vaativiksi ja haasteellisiksi, joten aikataulua jouduttiin työn aikana pidentämään. Kirjoitustyön aikana eteni rinnakkain merkittäviä ja laajoja aiheeseen liittyviä tutkimus- ja kehittämishankkeita (mm. Frame-hanke), joiden tuloksia jäätin odottamaan. RILin toimesta valmistui kaksi julkaisua, jonka tuloksia voitiin hyödyntää: *RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurion estäminen* ja *RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet*.

Rakennusfysiikan käsikirja on jaettu kahteen osaan. **Osa 1 Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset** sisältää rakennusfysikaalisen suunnittelun perusteita ja laskentamenetelmiä, rakenneratkaisujen kuvauksia, rakennuksen energiatehokkuuden hallintaa, materiaalien ja tuotteiden rakennusfysikaalisia ominaisuuksia sekä mittausmenetelmiä. **Osa 2 Rakennusfysiikan teoria ja laskentasovellukset** käsittelee laajasti rakennuksen ja rakenteiden ympäristöolosuhteita ja -rasituksia sekä lämpöön, kos-

teuteen ja ilmavirtaukseen liittyvä teoriaa ja las-  
kentasovelluksia. Julkaisuja voidaan käyttää  
sekä uudisrakennus- että korjaushankkeissa.

Julkaisun laadinnasta on vastannut toimituskun-  
ta. Kirjan päätoimittaja ja pääkirjoittaja on Juha  
Vinha. Toimituskunnan muina jäseninä ovat ol-  
leet Juhani Heljo, Kimmo Lähdesmäki, Matti  
Pentti, Jommi Suonketo sekä Gunnar Åström  
(puheenjohtaja ja RILin edustaja). Kaikki ovat  
osallistuneet merkittävällä tavalla myös kirjan  
kirjoittamiseen.

Eri lukujen vastuuhenkilöinä ovat olleet:

- luku 1: Juha Vinha
- luku 2: Juha Vinha
- luku 3: Matti Pentti
- luku 4: Juhani Heljo
- luku 5: Kimmo Lähdesmäki
- luku 6: Juha Vinha ja Jommi Suonketo.

Maarraskuussa 2014

SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO RIL ry

Risto Vahanen  
puheenjohtaja

Helena Soimakallio  
toimitusjohtaja

Merkittävää kirjoituspanosta ovat myös antaneet  
mm. Petteri Huttunen, Pekka Laamanen ja Anssi  
Laukkarinen. Kirjoitustyöhön on lisäksi osallistu-  
nut suuri määrä muita asiantuntijoita (ks. erillinen  
kirjoittajaluettelo).

Julkaisuhanke ei olisi ollut mahdollinen ilman  
alan yritysten ja viranomaisten tukea, sekä rahoit-  
us- että asiantuntijamuodossa (ks. erillinen luet-  
telo). Julkaisun eri osat ovat kirjoitustyön aikana  
olleet laajalla lausuntokierroksella ja käsitelty yh-  
teisissä seminaareissa. Saatu palaute on ollut  
erittäin hyödyllinen tekstin viimeistelyssä.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL kiittää  
julkaisun kirjoittajia sekä kaikkia työhön osallistu-  
neita organisaatioita ja henkilöitä, jotka ovat kan-  
natoillaan ja tiedoillaan vaikuttaneet käsikirjan  
syntymiseen. Uskomme, että kirja merkittävästi  
nostaa alan osaamista ja näin edistää rakenta-  
misen laadun paranemista.

## Sisällysluettelo

|                                                      |    |                                               |     |
|------------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------|-----|
| <b>1. Johdanto</b> . . . . .                         | 11 | 3.2.2 Yläpohjien perustyytit . . . . .        | 92  |
| 1.1 Tausta . . . . .                                 | 13 | 3.2.3 Katon kaltevuus ja                      |     |
| 1.2 Kirjan sisältö, rakenne ja                       |    | vedenpoisto . . . . .                         | 95  |
| rajaukset . . . . .                                  | 14 | 3.2.4 Yläpohjan ilmatiiviyys, höyryn-         |     |
| <b>2. Rakennusfysikaalinen suunnittelu</b> . . . . . | 15 | sulun tarve ja tuuletus . . . . .             | 99  |
| 2.1 Rakennusfysikaalisen suunnittelun                |    | 3.2.5 Katteiden suunnitteluperi-              |     |
| tavoitteet ja periaatteet . . . . .                  | 17 | aatteita ja yksityiskohtia . . . . .          | 102 |
| 2.1.1 Yleistä . . . . .                              | 17 | 3.2.6 Liikennöidyt katot . . . . .            | 108 |
| 2.1.2 Rakennusfysikaalisen                           |    | 3.2.7 Lasirakenteiset katot . . . . .         | 112 |
| suunnittelun vaativuus,                              |    | 3.2.8 Erikoisrakenteet . . . . .              | 114 |
| tehtävät, varmuudet ja                               |    | 3.2.9 Yläpohjien riskitekijöitä ja riski-     |     |
| toimintakriteerit . . . . .                          | 20 | alittiita rakenneratkaisuja . . . . .         | 116 |
| 2.1.3 Rakenteiden lämpö- ja                          |    | Kirjallisuutta kohtaan 3.2 . . . . .          | 117 |
| energiatekninen suunnittelu . . . . .                | 25 | 3.3 Välipohjat . . . . .                      | 117 |
| 2.1.4 Rakennuksen kosteustekninen                    |    | 3.3.1 Rasitusolot ja suunnittelussa           |     |
| suunnittelu . . . . .                                | 36 | tarkasteltavat asiat . . . . .                | 117 |
| 2.1.5 Vaipan ilmatiivyyden                           |    | 3.3.2 Välipohjien rakenneratkaisujen          |     |
| suunnittelu ja ilmavirtausten                        |    | kosteusteknisiä erityispiirteitä . . . . .    | 117 |
| rajoittaminen                                        |    | 3.3.3 Eriilaisten lattianpäällysteiden        |     |
| vaipparakenteissa . . . . .                          | 46 | vaikutus välipohjan kosteus-                  |     |
| 2.1.6 Epäpuhtauksien huomioon                        |    | tekniseen toimintaan . . . . .                | 119 |
| ottaminen rakennus-                                  |    | Kirjallisuutta kohtaan 3.3 . . . . .          | 120 |
| fysikaalisessa suunnittelussa . . . . .              | 48 | 3.4 Ulkoseinät . . . . .                      | 120 |
| 2.1.7 Rakennusfysikaalinen                           |    | 3.4.1 Ulkoseinien rasitusolot . . . . .       | 120 |
| suunnittelu korjaus-                                 |    | 3.4.2 Ulkoseinien yleiset                     |     |
| hankkeissa . . . . .                                 | 50 | suunnitteluperiaatteet . . . . .              | 122 |
| Kirjallisuutta kohtaan 2.1 . . . . .                 | 52 | 3.4.3 Betonirakenteiset ulkoseinät . . . . .  | 124 |
| 2.2 Rakennusfysikaalisten laskenta-                  |    | 3.4.4 Muuratut ulkoseinät . . . . .           | 131 |
| tarkastelujen toteutus . . . . .                     | 54 | 3.4.5 Eristerappausrakenteet . . . . .        | 135 |
| 2.2.1 Yleistä . . . . .                              | 54 | 3.4.6 Rankaseinät . . . . .                   | 135 |
| 2.2.2 Laskentatehtävän ja                            |    | 3.4.7 Massiivipuorakenteiset seinät . . . . . | 139 |
| tarkasteluperiaatteiden                              |    | 3.4.8 Lasirakenteiset ulkoseinät . . . . .    | 141 |
| määrittely . . . . .                                 | 56 | 3.4.9 Erikoisrakenteet . . . . .              | 145 |
| 2.2.3 Toimintakriteerien ja niihin                   |    | 3.4.10 Vanhoja riskialttiita                  |     |
| liittyvien raja-arvojen valinta . . . . .            | 57 | ulkoseinäarakenteita . . . . .                | 149 |
| 2.2.4 Ulko- ja sisäympäristön                        |    | Kirjallisuutta kohtaan 3.4 . . . . .          | 150 |
| olosuhteiden määrittely . . . . .                    | 65 | 3.5 Alapohjat ja maanvastaiset                |     |
| 2.2.5 Laskentamenetelmän tai                         |    | rakenteet . . . . .                           | 151 |
| -ohjelman valinta . . . . .                          | 73 | 3.5.1 Kosteus- ja lämpötilaolot               |     |
| 2.2.6 Materiaaliominaisuuksien                       |    | maanvastaisissa rakenteissa . . . . .         | 151 |
| määrittely . . . . .                                 | 81 | 3.5.2 Kosteusteknisen toimivuuden             |     |
| 2.2.7 Tarkasteltavan rakenteen tai                   |    | kriteerejä ja varmistuskeinoja                |     |
| rakennuksen mallintaminen . . . . .                  | 82 | maanvastaisissa rakenteissa . . . . .         | 152 |
| 2.2.8 Laskentatulosten analysointi . . . . .         | 84 | 3.5.3 Rakennuspohjan kuivatus . . . . .       | 153 |
| Kirjallisuutta kohtaan 2.2 . . . . .                 | 85 | 3.5.4 Maanvarainen betonilaatta . . . . .     | 154 |
| <b>3. Rakenneratkaisujen rakennus-</b>               |    | 3.5.5 Ryömintätilainen alapohja . . . . .     | 157 |
| <b>fysikaalinen toiminta</b> . . . . .               | 89 | 3.5.6 Kellarin seinät . . . . .               | 160 |
| 3.1 Yleistä . . . . .                                | 91 | 3.5.7 Perusmuurit . . . . .                   | 162 |
| 3.2 Yläpohjat ja kattorakenteet . . . . .            | 91 | 3.5.8 Vedenpaineen alaiset                    |     |
| 3.2.1 Rasitusolot ja suunnittelussa                  |    | rakenteet . . . . .                           | 163 |
| tarkasteltavat asiat . . . . .                       | 91 | 3.5.9 Vanhoja riskialttiita rakenteita        |     |
|                                                      |    | ja niiden korjauseriaatteita . . . . .        | 166 |
|                                                      |    | Kirjallisuutta kohtaan 3.5 . . . . .          | 169 |
|                                                      |    | 3.6 Märkätilojen rakenteet . . . . .          | 169 |
|                                                      |    | 3.6.1 Märkätilojen rasitusolot ja             |     |
|                                                      |    | yleissuunnittelu . . . . .                    | 169 |

|                                                  |                                                                               |     |                                                                                           |                                                                         |     |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.6.2                                            | Märkätilojen rakenteiden suunnittelu . . . . .                                | 170 | Kirjallisuutta kohtaan 4.4 . . . . .                                                      | 222                                                                     |     |
| 3.6.3                                            | Märkätilojen rakenne-esimerkkejä . . . . .                                    | 171 | 4.5                                                                                       | Rakennusten käytön ja laatutason vaikutus energiankulutukseen . . . . . | 223 |
| 3.6.4                                            | Vedeneristys . . . . .                                                        | 174 |                                                                                           | Kirjallisuutta kohtaan 4.5 . . . . .                                    | 224 |
| 3.6.5                                            | Vanhoja riskialttiita märkätilan rakenteita . . . . .                         | 175 | 4.6                                                                                       | Esimerkkejä erikoistilojen energiateknisestä toiminnasta . . . . .      | 226 |
|                                                  | Kirjallisuutta kohtaan 3.6 . . . . .                                          | 176 | 4.6.1                                                                                     | Ajoittain lämmitetyt tilat . . . . .                                    | 226 |
| 3.7                                              | Ikkunat ja ovet . . . . .                                                     | 176 | 4.6.2                                                                                     | Jäähdytetyt tilat . . . . .                                             | 226 |
| 3.8                                              | Erityisolosuhteiden huomioon ottaminen rakenteiden suunnittelussa . . . . .   | 181 | 4.6.3                                                                                     | Lasitetut tilat . . . . .                                               | 230 |
| 3.8.1                                            | Lämmittämättömät ja ajoittain lämmitetyt tilat . . . . .                      | 181 | 4.7                                                                                       | Rakennusten energia- taloudellisten valintojen pääperiaatteet . . . . . | 231 |
| 3.8.2                                            | Jäähdytetyt tilat . . . . .                                                   | 183 | 4.7.1                                                                                     | Valintasystematiikka . . . . .                                          | 231 |
| 3.8.3                                            | Poikkeuksellisen kosteat tilat . . . . .                                      | 186 | 4.7.2                                                                                     | Energiankäytön ympäristö- vaikutukset ja primääri- energia . . . . .    | 236 |
| 3.8.4                                            | Lasitetut tilat . . . . .                                                     | 187 |                                                                                           | Kirjallisuutta kohtaan 4.7 . . . . .                                    | 236 |
|                                                  | Kirjallisuutta kohtaan 3.8 . . . . .                                          | 189 | 4.8                                                                                       | Energiatehokkuuden parantamisen trendit . . . . .                       | 237 |
| <b>4. Rakennusten energiatehokkuus . . . . .</b> | <b>191</b>                                                                    |     | 4.8.1                                                                                     | Passiivitalo . . . . .                                                  | 238 |
| 4.1                                              | Rakennuksen energia- tehokkuuden määrittäminen . . . . .                      | 193 | 4.8.2                                                                                     | Nollaenergiatalo ja lähes nollaenergiatalo . . . . .                    | 239 |
| 4.1.1                                            | Yleistä . . . . .                                                             | 193 |                                                                                           | Kirjallisuutta kohtaan 4.8 . . . . .                                    | 240 |
| 4.1.2                                            | Energiatehokkuus- indikaattorit . . . . .                                     | 194 | <b>5. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet . . . . .</b> | <b>241</b>                                                              |     |
|                                                  | Kirjallisuutta kohtaan 4.1 . . . . .                                          | 198 | 5.1                                                                                       | Yleistä . . . . .                                                       | 243 |
| 4.2                                              | Rakennusten energia- ja lämpö- virrat . . . . .                               | 198 | 5.2                                                                                       | Katemateriaalit . . . . .                                               | 243 |
|                                                  | Kirjallisuutta kohtaan 4.2 . . . . .                                          | 200 | 5.2.1                                                                                     | Yleistä . . . . .                                                       | 243 |
| 4.3                                              | Rakenteiden ja järjestelmien vaikutus energiankulutukseen . . . . .           | 200 | 5.2.2                                                                                     | Kermit . . . . .                                                        | 244 |
| 4.3.1                                            | Ulkoilman lämpöolosuhteet ja mikroilmasto . . . . .                           | 200 | 5.2.3                                                                                     | Metalliohutlevy . . . . .                                               | 245 |
| 4.3.2                                            | Sisäilman lämpöolosuhteet . . . . .                                           | 200 | 5.2.4                                                                                     | Tiilikatteet . . . . .                                                  | 246 |
| 4.3.3                                            | Vaipparakenteet . . . . .                                                     | 201 | 5.2.5                                                                                     | Muut katteet . . . . .                                                  | 246 |
| 4.3.4                                            | Ilmanvaihto ja vaipan ilmatiiviys . . . . .                                   | 203 |                                                                                           | Kirjallisuutta kohtaan 5.2 . . . . .                                    | 247 |
| 4.3.5                                            | Lämmitysjärjestelmä . . . . .                                                 | 206 | 5.3                                                                                       | Aluskatteet . . . . .                                                   | 247 |
| 4.3.6                                            | Jäähdytysratkaisut . . . . .                                                  | 210 | 5.3.1                                                                                     | Yleistä . . . . .                                                       | 247 |
| 4.3.7                                            | Lämmin käyttövesi . . . . .                                                   | 211 | 5.3.2                                                                                     | Aluskatemateriaalit . . . . .                                           | 247 |
| 4.3.8                                            | Valaistus . . . . .                                                           | 212 |                                                                                           | Kirjallisuutta kohtaan 5.3 . . . . .                                    | 249 |
| 4.3.9                                            | Sähkölaitteet . . . . .                                                       | 214 | 5.4                                                                                       | Vedeneristeet . . . . .                                                 | 249 |
| 4.3.10                                           | Energian kulutusjakaumat erilaisissa ja eri-ikäisissä rakennuksissa . . . . . | 214 | 5.4.1                                                                                     | Yleistä . . . . .                                                       | 249 |
|                                                  | Kirjallisuutta kohtaan 4.3 . . . . .                                          | 217 | 5.4.2                                                                                     | Kermit ja matot . . . . .                                               | 250 |
| 4.4                                              | Rakennuksen energiankulutuksen laskentamenettelyt . . . . .                   | 218 | 5.4.3                                                                                     | Märkätilojen vedeneristemassat . . . . .                                | 250 |
| 4.4.1                                            | Ominaislämpötehon laskenta ja lämmitystarveluku . . . . .                     | 218 | 5.4.4                                                                                     | Vedeneristelevy . . . . .                                               | 250 |
| 4.4.2                                            | Kuukausitason laskenta . . . . .                                              | 219 | 5.4.5                                                                                     | Muut vedeneristeet ja kosteussulut . . . . .                            | 252 |
| 4.4.3                                            | Rakennusten sisäilmaston ja energialaskennan simulointi . . . . .             | 219 |                                                                                           | Kirjallisuutta kohtaan 5.4 . . . . .                                    | 252 |
| 4.4.4                                            | Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskennan periaate . . . . .          | 221 | 5.5                                                                                       | Ilman- ja höyrynsulut . . . . .                                         | 253 |
|                                                  |                                                                               |     | 5.5.1                                                                                     | Yleistä . . . . .                                                       | 253 |
|                                                  |                                                                               |     | 5.5.2                                                                                     | Kalvot . . . . .                                                        | 253 |
|                                                  |                                                                               |     | 5.5.3                                                                                     | Levyt . . . . .                                                         | 254 |
|                                                  |                                                                               |     | 5.5.4                                                                                     | Pinnoitteet ja sivelyt . . . . .                                        | 255 |
|                                                  |                                                                               |     |                                                                                           | Kirjallisuutta kohtaan 5.5 . . . . .                                    | 255 |
|                                                  |                                                                               |     | 5.6                                                                                       | Tuulensuojat . . . . .                                                  | 256 |
|                                                  |                                                                               |     | 5.6.1                                                                                     | Yleistä . . . . .                                                       | 256 |
|                                                  |                                                                               |     | 5.6.2                                                                                     | Kalvot . . . . .                                                        | 256 |



|        |                                                                                  |     |                                                                        |                                                                               |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.6.3  | Levyt . . . . .                                                                  | 257 | 5.11.4                                                                 | Paksurappaus . . . . .                                                        | 299 |
|        | Kirjallisuutta kohtaan 5.6 . . . . .                                             | 260 | 5.11.5                                                                 | Ruiskubetonointi . . . . .                                                    | 299 |
| 5.7    | Lämmöneristeet . . . . .                                                         | 260 | 5.11.6                                                                 | Tasoiitteet . . . . .                                                         | 300 |
| 5.7.1  | Yleistä . . . . .                                                                | 260 |                                                                        | Kirjallisuutta kohtaan 5.11 . . . . .                                         | 300 |
| 5.7.2  | Mineraalivillat . . . . .                                                        | 261 | 5.12                                                                   | Pohjusteet, maalit, lakat,<br>pinnoitteet ja suoja-aineet . . . . .           | 301 |
| 5.7.3  | Muovikuitupohjaiset<br>lämmöneristeet . . . . .                                  | 262 | 5.12.1                                                                 | Yleistä . . . . .                                                             | 301 |
| 5.7.4  | Luonnonkuitupohjaiset<br>lämmöneristeet . . . . .                                | 262 | 5.12.2                                                                 | Sideaineet . . . . .                                                          | 301 |
| 5.7.5  | Solumuovilämmöneristeet . . . . .                                                | 264 | 5.12.3                                                                 | Sisätilojen pintojen<br>pintakäsittely . . . . .                              | 302 |
| 5.7.6  | Kiviainespohjaiset<br>lämmöneristeet . . . . .                                   | 268 | 5.12.4                                                                 | Säälle alttiiden pintojen<br>pintakäsittely . . . . .                         | 303 |
| 5.7.7  | Muut lämmöneristeet . . . . .                                                    | 268 | 5.12.5                                                                 | Homesuoja-aineet . . . . .                                                    | 308 |
| 5.7.8  | Vanhat lämmöneristeet . . . . .                                                  | 273 |                                                                        | Kirjallisuutta kohtaan 5.12 . . . . .                                         | 309 |
|        | Kirjallisuutta kohtaan 5.7 . . . . .                                             | 274 | 5.13                                                                   | Saumojen ja liitosten<br>tiivistystuotteet . . . . .                          | 309 |
| 5.8    | Runkomateriaalit . . . . .                                                       | 275 | 5.13.1                                                                 | Yleistä . . . . .                                                             | 309 |
| 5.8.1  | Yleistä . . . . .                                                                | 275 | 5.13.2                                                                 | Saumaussmassat . . . . .                                                      | 309 |
| 5.8.2  | Betoni . . . . .                                                                 | 275 | 5.13.3                                                                 | Saumanauhut . . . . .                                                         | 311 |
| 5.8.3  | Kevytbetoni . . . . .                                                            | 276 | 5.13.4                                                                 | Tiivistysnauhut ja -teipit . . . . .                                          | 312 |
| 5.8.4  | Kevytsorabetoni . . . . .                                                        | 276 | 5.13.5                                                                 | Tiivistysvaahdot . . . . .                                                    | 313 |
| 5.8.5  | Tiilet . . . . .                                                                 | 277 | 5.13.6                                                                 | Läpivientitiivisteet ja<br>-kappaleet . . . . .                               | 314 |
| 5.8.6  | Muurauslaastit . . . . .                                                         | 278 | 5.13.7                                                                 | Kermit . . . . .                                                              | 314 |
| 5.8.7  | Puu . . . . .                                                                    | 279 | 5.13.8                                                                 | Muut tiivistystuotteet . . . . .                                              | 315 |
| 5.8.8  | Puutuotteet . . . . .                                                            | 279 |                                                                        | Kirjallisuutta kohtaan 5.13 . . . . .                                         | 315 |
| 5.8.9  | Puutuotteissa käytettävät<br>liimat . . . . .                                    | 281 | 5.14                                                                   | Faasimuutosmateriaalit . . . . .                                              | 315 |
| 5.8.10 | Teräs . . . . .                                                                  | 283 | 5.14.1                                                                 | Yleistä . . . . .                                                             | 315 |
| 5.8.11 | Alumiini . . . . .                                                               | 283 | 5.14.2                                                                 | Epäorgaaniset materiaalit . . . . .                                           | 316 |
| 5.8.12 | Luonnonkivet . . . . .                                                           | 283 | 5.14.3                                                                 | Orgaaniset materiaalit . . . . .                                              | 316 |
|        | Kirjallisuutta kohtaan 5.8 . . . . .                                             | 283 | 5.14.4                                                                 | Eutektiset materiaalit . . . . .                                              | 317 |
| 5.9    | Sisälevyt ja pintamateriaalit . . . . .                                          | 284 |                                                                        | Kirjallisuutta kohtaan 5.14 . . . . .                                         | 317 |
| 5.9.1  | Yleistä . . . . .                                                                | 284 | 5.15                                                                   | Valoaläpäisevät materiaalit . . . . .                                         | 317 |
| 5.9.2  | Puupohjaiset levyt . . . . .                                                     | 284 | 5.15.1                                                                 | Yleistä . . . . .                                                             | 317 |
| 5.9.3  | Kipsi- ja sementtipohjaiset<br>levyt . . . . .                                   | 286 | 5.15.2                                                                 | Valoaläpäisevät muovit . . . . .                                              | 318 |
| 5.9.4  | Metallilevyt . . . . .                                                           | 287 | 5.15.3                                                                 | Valoaläpäisevät lämmön-<br>eristeet ja lämpöä eristävät<br>tuotteet . . . . . | 318 |
| 5.9.5  | Muovi- ja komposiittilevyt . . . . .                                             | 287 |                                                                        | Kirjallisuutta kohtaan 5.15 . . . . .                                         | 320 |
| 5.9.6  | Muut levyt . . . . .                                                             | 288 | 5.16                                                                   | Ikkunat . . . . .                                                             | 321 |
| 5.9.7  | Pintamateriaalit . . . . .                                                       | 289 |                                                                        | Kirjallisuutta kohtaan 5.16 . . . . .                                         | 325 |
| 5.9.8  | Seinä- ja laattaliimat sekä<br>kiinnitys- ja saumaustaastit . . . . .            | 290 | 5.17                                                                   | Ovet . . . . .                                                                | 325 |
|        | Kirjallisuutta kohtaan 5.9 . . . . .                                             | 291 |                                                                        | Kirjallisuutta kohtaan 5.17 . . . . .                                         | 327 |
| 5.10   | Lattiapäällysteet ja<br>alusmateriaalit . . . . .                                | 292 | 5.18                                                                   | Kattovalokuvut ja luukut . . . . .                                            | 327 |
| 5.10.1 | Yleistä . . . . .                                                                | 292 | 5.18.1                                                                 | Yleistä . . . . .                                                             | 327 |
| 5.10.2 | Liimattavat päällysteet . . . . .                                                | 292 | 5.18.2                                                                 | Kattovalokuvut . . . . .                                                      | 327 |
| 5.10.3 | Kelluvat päällysteet . . . . .                                                   | 294 | 5.18.3                                                                 | Luukut . . . . .                                                              | 327 |
| 5.10.4 | Keraamiset laatat . . . . .                                                      | 294 |                                                                        | Kirjallisuutta kohtaan 5.18 . . . . .                                         | 328 |
| 5.10.5 | Matto- ja parkettiliimat . . . . .                                               | 294 | 5.19                                                                   | Maalajit . . . . .                                                            | 329 |
| 5.10.6 | Alusmateriaalit . . . . .                                                        | 295 |                                                                        | Kirjallisuutta kohtaan 5.19 . . . . .                                         | 329 |
|        | Kirjallisuutta kohtaan 5.10 . . . . .                                            | 296 | <b>6. Rakennusfysikaaliset mittaukset ja<br/>tutkimukset . . . . .</b> | <b>331</b>                                                                    |     |
| 5.11   | Seinien ja kattojen kiviaines-<br>pohjaiset pinnoitteet ja tasoiitteet . . . . . | 297 | 6.1                                                                    | Rakennusfysikaalisten suureiden<br>mittaukset . . . . .                       | 333 |
| 5.11.1 | Yleistä . . . . .                                                                | 297 | 6.1.1                                                                  | Yleistä . . . . .                                                             | 333 |
| 5.11.2 | Rappauslaastit . . . . .                                                         | 297 |                                                                        |                                                                               |     |
| 5.11.3 | Ohutrappaus . . . . .                                                            | 298 |                                                                        |                                                                               |     |

|        |                                                                   |     |           |                                                                                         |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------|-----|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1.2  | Lämpötila . . . . .                                               | 333 | 6.5.2     | Lämpökuvaus . . . . .                                                                   | 371 |
| 6.1.3  | Lyhyt- ja pitkäaaltainen<br>lämpösäteily . . . . .                | 334 | 6.5.3     | Ilmanpitävyyskoe . . . . .                                                              | 373 |
| 6.1.4  | Lämpövirta . . . . .                                              | 336 | 6.5.4     | Paine-eromittaukset . . . . .                                                           | 374 |
| 6.1.5  | Ilmanpaine ja paine-ero . . . . .                                 | 337 | 6.5.5     | Ilmanvaihdon mittaukset . . . . .                                                       | 374 |
| 6.1.6  | Ilman virtausnopeus ja<br>tilaavuusvirta . . . . .                | 338 | 6.5.6     | Olosuhteiden seuranta-<br>mittaukset ulko- ja sisäilmassa<br>sekä rakenteissa . . . . . | 375 |
| 6.1.7  | Tuulen nopeus ja suunta . . . . .                                 | 339 |           | Kirjallisuutta kohtaan 6.5 . . . . .                                                    | 377 |
| 6.1.8  | Ilman suhteellinen kosteus ja<br>vesihöyrypitoisuus . . . . .     | 340 | 6.6       | Rakennusten kuntotutkimukset . . . . .                                                  | 377 |
| 6.1.9  | Sade- ja viistosademäärä . . . . .                                | 341 | 6.6.1     | Lähtökohta . . . . .                                                                    | 377 |
| 6.1.10 | Materiaalin kosteuspitoisuus . . . . .                            | 342 | 6.6.2     | Tavoitteet . . . . .                                                                    | 378 |
| 6.1.11 | Hiilidioksidipitoisuus . . . . .                                  | 342 | 6.6.3     | Toimintamallit . . . . .                                                                | 378 |
| 6.1.12 | Muiden suureiden mittaukset . . . . .                             | 343 | 6.6.4     | Aistivaraiset havainnot . . . . .                                                       | 379 |
|        | Kirjallisuutta kohtaan 6.1 . . . . .                              | 343 | 6.6.5     | Pintoja rikkomattomat<br>tarkastelut . . . . .                                          | 379 |
| 6.2    | Materiaaliominaisuuksien<br>mittaukset . . . . .                  | 344 | 6.6.6     | Kenttätutkimusten yhteydessä<br>tehtävät tarkentavat<br>tutkimukset . . . . .           | 379 |
| 6.2.1  | Yleistä . . . . .                                                 | 344 | 6.6.7     | Näytteenottoon pohjautuvat<br>tutkimukset . . . . .                                     | 382 |
| 6.2.2  | Ominaislämpökapasiteetti ja<br>terminen diffusiviteetti . . . . . | 344 |           | LIITTEET . . . . .                                                                      | 385 |
| 6.2.3  | Lämpöjohtavuus ja<br>lämmönvastus . . . . .                       | 345 | Liite 1.  | Merkinnät ja lyhenteet . . . . .                                                        | 385 |
| 6.2.4  | Pinnan säteilyominaisuudet . . . . .                              | 347 | Liite 2.  | Määritelmät . . . . .                                                                   | 389 |
| 6.2.5  | Ilmanläpäisevyys ja<br>ilmanläpäisyvastus . . . . .               | 348 | Liite 3.  | Rakennusfysikaalisten<br>materiaaliominaisuuksien<br>muunnoskaavoja . . . . .           | 393 |
| 6.2.6  | Tasapainokosteus ja ominais-<br>kosteuskapasiteetti . . . . .     | 349 | Liite 4.  | Rakennusmateriaalien<br>rakennusfysikaalisia<br>ominaisuuksia tuoteryhmittäin . . . . . | 395 |
| 6.2.7  | Vesihöyrynläpäisevyys ja<br>vesihöyrynvastus . . . . .            | 351 | Liite 5.  | Rakennusmateriaalien pintojen<br>säteilyominaisuuksia . . . . .                         | 453 |
| 6.2.8  | Kapillaarisuusominaisuudet . . . . .                              | 352 | Liite 6.  | Rakennusmateriaalien<br>lämpölaajenemiskertoimia . . . . .                              | 457 |
| 6.2.9  | Kosteusjohtavuus ja<br>kosteusdiffusiviteetti . . . . .           | 355 | Liite 7.  | Rakennusmateriaalien<br>ilmanläpäisevyyksiä ja<br>ilmanläpäisykertoimia . . . . .       | 461 |
| 6.2.10 | Vesitiiviyys . . . . .                                            | 356 | Liite 8.  | Rakennusmateriaalien<br>tasapainokosteuskäyriä . . . . .                                | 463 |
| 6.2.11 | Homontumisherkkyyys . . . . .                                     | 357 | Liite 9.  | Rakennusmateriaalien<br>kapillaarisia<br>kosteusdiffusiviteetteja . . . . .             | 475 |
| 6.2.12 | Auringonsäteilyn ja sadeveden<br>kestävyys . . . . .              | 357 | Liite 10. | Ilman ja veden fysikaalisia<br>ominaisuuksia . . . . .                                  | 479 |
| 6.2.13 | Lämpötila- ja kosteus-<br>muodonmuutokset . . . . .               | 359 | Liite 11. | Rakennusfysiikkaa käsittelevät<br>SFS-, EN- ja ISO-standardit . . . . .                 | 481 |
|        | Kirjallisuutta kohtaan 6.2 . . . . .                              | 359 |           |                                                                                         |     |
| 6.3    | Rakenteiden laboratorio-<br>mittaukset . . . . .                  | 360 |           |                                                                                         |     |
| 6.3.1  | Yleistä . . . . .                                                 | 360 |           |                                                                                         |     |
| 6.3.2  | Lämmönläpäisykoe . . . . .                                        | 360 |           |                                                                                         |     |
| 6.3.3  | Ilmanläpäisykokeet . . . . .                                      | 363 |           |                                                                                         |     |
| 6.3.4  | Säärasituskokeet . . . . .                                        | 364 |           |                                                                                         |     |
| 6.3.5  | Rakennusfysikaaliset<br>olosuhdekokeet . . . . .                  | 366 |           |                                                                                         |     |
|        | Kirjallisuutta kohtaan 6.3 . . . . .                              | 368 |           |                                                                                         |     |
| 6.4    | Rakentamisen kenttämittaukset . . . . .                           | 368 |           |                                                                                         |     |
| 6.4.1  | Yleistä . . . . .                                                 | 368 |           |                                                                                         |     |
| 6.4.2  | Lämpötilamittaukset . . . . .                                     | 368 |           |                                                                                         |     |
| 6.4.3  | Kosteusmittaukset . . . . .                                       | 368 |           |                                                                                         |     |
| 6.4.4  | Lämpövirran ja lämmön-<br>läpäisykertoimen mittaust . . . . .     | 370 |           |                                                                                         |     |
| 6.5    | Rakennusten kenttämittaukset . . . . .                            | 371 |           |                                                                                         |     |
| 6.5.1  | Yleistä . . . . .                                                 | 371 |           |                                                                                         |     |