

Kustantajan huomautus

Rakentajan kalenterin artikkeli ”Rakennusfysiikan perussäännöt suunnittelussa ja rakentamisessa” on julkaistu päivitettyinä 2009 Artikkelit-osiossa uudella otsikolla ”Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet”.

Rakennusfysiikan perussäännöt suunnittelussa ja rakentamisessa

Juha Vinha, tekniikan tohtori

Yliassistentti, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos

RIL:n rakennusfysiikan jaoston puheenjohtaja
juha.vinha@tut.fi

Artikkelissa käydään läpi rakennuksen rakennusfysikaalisen suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä perussääntöjä ja ohjeita. Alkuosassa käsitellään rakennusfysikaalisen suunnittelun tavoitteita ja periaatteita. Seuraavaksi esitellään rakennusten lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun osatehtäviä ja ohjeita yleisesti. Lisäksi käsitellään rakennusvaipan ilmanpitävyyden varmistamiseen liittyviä toimenpiteitä. Artikkelin loppuosassa on koottu yhteen tärkeimmät suunnittelu- ja toteutusohjeet yksittäisille rakennusosille.

1 Rakennusfysikaalinen suunnittelu

Rakennusfysiikka käsittää perinteisesti rakennusten ja rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan liittyvät asiat. Lisäksi siihen luetaan rakennuksen akustiikka ja joskus myös valaistus. Tässä artikkelissa keskitytään kuitenkin rakennusten ja rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen tarkasteluun.

Rakennusfysiikan merkitys rakentamisessa on jatkuvasti kasvanut, koska suurin osa rakennuksissa ja rakenteissa havaitusta vioista ja vaurioista liittyyvät rakennuksen lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Toisaalta jatkuvasti kiristynevät energiankulutusmääräykset ja sisäilman laatusovatuimukset tuovat lisää haasteita rakennusfysikaaliseen suunnitteluun.

Rakennusfysikaalisen suunnittelun perustehdävät voidaan esittää lämmön, kosteuden ja ilman osalta seuraavasti:

Lämpö

- 1) pienentää rakennuksen lämpöenergian kulutusta
- 2) ehkäistää rakenteiden ja materiaalien turmelumista
- 3) parantaa asunnon lämpöviihtyvyyttä.

Kosteus

- 1) estää ja rajoittaa ylimääräisen kosteuden tunkeutumista rakenteisiin

- 2) varmistaa rakenteiden riittävä kuivumiskyky
- 3) ehkäistää rakenteiden ja materiaalien turmelumista
- 4) parantaa asunnon kosteusviihtyvyyttä.

Ilma

- 1) parantaa rakennusvaipan ilmanpitävyyttä
- 2) parantaa sisäilman laatua.

Rakennusfysikaalisessa suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös työtekniiset ja taloudelliset seikat sekä ympäristövaikutukset.

Rakennusfysikaalinen suunnittelu voidaan suureksi osaksi tehdä ilman laskentatarkasteluja siten, että rakenteet ja liitokset suunnitellaan toimiviksi edellä esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Kirjallisuudesta löytyy toteutusohjeita ja rakenneleikkauksia hyvistä rakennatarkastuksista [1] – [10]. Myös materiaali- ja elementtivalmistajien omat suunnitteluohjeet ovat parantuneet merkittävästi viime vuosina. Suunnittelua varten tarvitaan kuitenkin lisää ohjeita ja esimerkiksi kirakenteita, joissa otetaan entistä paremmin huomioon rakennusvaipan ilmanpitävyyden asettamat vaatimukset, kasvaneet lämmöneristepaksuudet, sisä- ja ulkopuolen kosteusolosuhteet ja niiden vaihtelut sekä uudet markkinoille tulevat materiaalit. Kokonaan oma lukunsa on korjausrakentaminen, jossa uusi rakenne on suunniteltava usein virheellisesti toimivaan tai riskialttiiseen rakenteeseen.

Käytännössä rakennatarkastus ja liitokset ovat useimmissa tapauksissa kompromisseja, joissa on jouduttu tinkimään ideaalisesta lämpö- tai kosteusteknisestä toiminnasta, jotta rakenne olisi kokonaisuutena toimiva. Suunnittelijan tehtävänä on punnita eri vaihtoehtoihin liittyviä hyviä ja huonoja puolia ja arvioida mitkä niistä ovat rakenteen toiminnan kannalta tärkeimpiä. Tämä korostuu erityisesti korjausrakentamisessa.

Ehdoton edellytys hyvän suunnitteluratkaisun toteuttamiseksi on, että suunnittelija tuntee käytettävien materiaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet ja käyttäytymisen riittävän hyvin. Tärkeimmät rakennusfysikaaliset materiaaliominaisuudet ovat tasapainokosteus, lämmön-

johtavuus, vesihöyrynläpäisevyys/-vastus, kapillaarisuus, jota tavallisesti kuvataan kapillariiteettikertoimen ja kapillaarisen nousukorkeuden avulla, vedenläpäisevyys/-läpäisyvastus sekä ilmanläpäisevyys/-vastus. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaalisia ominaisuuksia on esitetty mm. lähteissä [1], [5], [11] ja [12]. Tältäkin osin tarvitaan kuitenkin lisää tutkimustietoa, sillä monien materiaalien osalta ominaisuudet puuttuvat joko kokonaan tai osittain. Materiaaliominaisuuksien tunteminen on entistä tärkeämpää, mikäli rakenteiden toimintaa tarkastellaan laskennallisesti.

Vaikka rakennusfysikaalinen suunnittelu voidaan tehdä usein ilman laskentatarkastelua, laskentaohjelmien käyttö lisääntyy mm. seuraavista syistä:

- Rakennuksen lämpötekniisessä suunnittelussa laskentatarkastelujen osuus kasvaa.
- Laskentaa käytetään optimoimaan rakennusmateriaalien menettä ja vähentämään kustannuksia.
- Rakenteiden toiminnalle ja sisäilman laadulle asetettavat kriteerit ovat tiukentuneet, mikä edellyttää eri osatekijöiden aiempaa yksityiskohtaisempaa tarkastelua (esim. kostumis- ja kuivumisaikatarkastelut, kondensoitumis- ja homehtumisriskitarkastelut, kylmäsiltilatarkastelut ja sisäilman olosuhteiden vaihteluun liittyvät tarkastelut).
- Korjausrakentamisen osuus rakentamisesta on kasvanut, jolloin tavallisesta poikkeavien rakenteiden toimintaa tarkastellaan myös laskennallisesti.

Laskentatarkastelujen tekeminen vaatii paljon kokemusta ja hyvää ammattitaitoa, sillä laskentatulokset riippuu oleellisesti monista eri tekijöistä kuten laskentaohjelman ominaisuuksista, rakennemallista, valituista materiaaliominaisuuksista, sisä- ja ulkoilman olosuhteista ja laskenta-ajasta. Erittäin tärkeää on että ohjelman käyttäjä havaitsee virheelliset ja epäohjondomukaiset laskentatulokset ja osaa korjata laskentaa. Lisäksi hänen on osattava tulkita saatuja tuloksia oikein. Nämä asiat korostuvat sitä enemmän mitä monimutkaisemmasta laskentatehtävästä on kyse.

2 Rakennusten lämpötekniinen suunnittelu

2.1 Yleistä

Rakennusten lämpötekniistä suunnittelua koskevat määräykset ja ohjeet ovat juuri uudistuneet ja niiden mukaisesti rakennuksille tehdään vuoden 2008 alusta lukien energiaselvitys, joka sisältää yleensä seuraavat tarkastelut [13]:

- rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittaminen
- ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskenta
- rakennuksen lämmitystehon laskenta
- arvio kesäaikaisesta huonelämpötilasta ja tarvittaessa jäädytystehon laskenta
- rakennuksen energiankulutuksen laskenta
- rakennuksen energiatodistuksen teko.

Tässä yhteydessä tarkastellaan lähemmin rakennuksen lämpöhäviöiden laskemista (luku 2.2), energiankulutuksen laskemista ja energiatodistusta (luku 2.3) sekä kesäaikaisen huonelämpötilaan vaikuttavista tekijöistä (luku 2.4).

Arvio kesäaikaisesta huonelämpötilasta ja rakennuksen energiankulutuksen laskenta ovat tarkastelua, jotka eivät ole olleet aiemmin pakollisia. Energiatodistuksen laatiminen on kokonaan uusi osatehtävä. Lisäksi lämpöhäviö- ja energiankulutuslaskelmat voidaan tehdä joko kansallisia tai eurooppalaisia laskentamenetelmiä ja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja käyttäen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lämpötekniinen suunnittelu tarkentuu ja monimutkaistuu ja siihen kuuluva aika lisääntyy aikaisempaan verrattuna.

Energiaselvityksen laatimisen lisäksi lämpötekniinen suunnittelu käsittää vaipparakenteiden suunnittelun. Suunnittelun tavoitteena on mm. valita rakenteeseen sopiva lämmöneriste, vähentää rakenteen sisäisen konvektion vaikutusta, pienentää kylmäsiltojen vaikutusta, ja estää ilmavuodot rakenteen läpi (luvut 2.5 ja 2.6).

2.2 Lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittaminen

Rakenneosat mitoitetaan lämpötekniisesti siten, että niiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot täyttävät RakMK C3:ssa [14] annetut määräykset. Mitoitus voidaan tehdä niin, että kaikki yksittäiset rakenneosat täyttävät niille asetetut U-arvomääräykset. Tällöin rakennuksessa tulee olla ilmanvaihdon yhteydessä myös lämmön talteenotto, jonka vuosihyötysuhde on vähintään 30 % [15]. Lisäksi oletetaan, että rakennuksen ilmanpitävyys vastaa ilmanvuotolukua (n_{50} -luku) 4 1/h [16].

Toinen tapa on tehdä mitoitus niin, että koko rakennuksen lämpöhäviöt ovat enintään saman suuruiset kuin edellä kuvatun perusratkaisun avulla lasketut lämpöhäviöt (ns. kompensatiomenettely) [17], [18]. Mikäli jonkun rakennusosan U-arvo on määräyksissä annettua arvoa suurempi, tämä ero voidaan kompensoida kolmella tavalla:

- 1) Parantamalla jonkun tai joidenkin muiden rakennusosien U-arvoa perustapaukseen verrattuna.

- 2) Parantamalla lämmön talteenoton vuosihyötysuhdetta perustapaukseen verrattuna.
- 3) Parantamalla rakennuksen ilmanpitävyyttä perustapaukseen verrattuna.

Rakennuksen ilmanpitävyyden parantaminen edellyttää yksittäisten rakennusten osalla ilmanvuotoluvun (n_{50} -luku) mittausta, jolla parnempi ilmanpitävyys osoitetaan. Teollisilla talovalmistajilla on lisäksi mahdollisuus tehdä tuotteilleen laadunvarmistusjärjestelmä, jonka puitteisissa erilaisille talotyypeille voidaan taata tietty ilmanvuotoluku [19].

Rakennusosan U-arvo voidaan määrittää käyttäen materiaalien lämmönjohtavuuksina kansallisia normaalin lämmönjohtavuuden arvoja, λ_n , tai eurooppalaisia suunnitteluarvoja, λ_{design} . Mitattujen lämmönjohtavusarvojen muuntaminen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoiksi on esitetty mm. lähteissä [18] ja [20]. Normaalin lämmönjohtavuuden arvoja on annettu RakMK C4:ssä [17] ja eurooppalaisia suunnitteluarvoja standardissa SFS-EN 12524 [11]. Lisäksi materiaalivalmistajat ovat määrittäneet omille tuotteilleen kumpiakin suunnitteluarvoja.

Myös rakennusosan U-arvon laskenta on erillinen riippuen siitä, kumpia lämmönjohtavusarvoja laskennassa käytetään. Eurooppalaisilla suunnitteluarvoilla laskettaessa käytetään standardissa SFS-EN ISO 6946 [21] esitettyä menetelmää, jossa rakenteen lämmönvastukselle lasketaan sekä ylä- että alalikiarvo ja vastukseksi valitaan näiden arvojen keskiarvo. Normaalilla lämmönjohtavuuksilla laskettaessa käytetään RakMK C4:ssä [17] esitettyä menetelmää, jossa rakenteen lämmönvastukselle lasketaan pelkästään alalikiarvo. Tämä arvo on jonkin verran varmallu puolella verrattuna standardin SFS-EN ISO 6946 [21] mukaan laskettuun arvoon.

Ovien ja ikkunoiden U-arvojen laskentaan varten on vastaavalla tavalla olemassa kansalliset laskentaohjeet RakMK C4:ssä [17] ja eurooppalaiset laskentaohjeet standardissa SFS-EN ISO 10077-1 [22].

Merkittävin ero kansallisten ja eurooppalaisen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvojen välillä on se, että eurooppalaisissa suunnitteluarvoissa ei oteta huomioon rakenteen eristekerroksessa tapahtuvaa sisäistä konvektiota, joka heikentää rakenteen U-arvoa. Tästä syystä eurooppalaiset lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot ovat huokoisilla lämmöneristeillä selvästi pienemmät kuin normaalin lämmönjohtavuuden arvot. Tämän asian kompensoimiseksi on tehty kansallinen lisäohje, jossa sisäisen konvektion osuus otetaan huomioon U-arvolaskelmissa lisätermin avulla [23].

Edellä kuvatuista syistä johtuen eurooppalaisia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja ja laskentamenetelmää käytettäessä vaipparaken-

teille saadaan yleensä parempi U-arvo kuin RakMK C4 avulla lasketuna. Näin ollen suunnittelu tehdään yhä useammin näillä eurooppalaisilla arvoilla. Käytännössä kahden suunnittelumenetelmän käyttö rakennusosien U-arvon laskennassa aiheuttaa sekavuutta ja hämmennystä. Olisikin toivottavaa, että mahdollisimman pian päästäisiin yhtenäiseen suunnitteluikäytäntöön.

2.3 Rakennusten energiankulutus ja energiatodistus

Vuoden 2008 alusta uusille asuin-, palvelu- ja liikerakennuksille tulee tehdä lämpöteknisen suunnittelun yhteydessä energiatodistus. Vanhoille rakennuksille energiatodistus voidaan antaa myös energiakatselmuksen yhteydessä, osana isännöitsijäntodistusta tai erillisenä todistuksena. Enintään 6 asunnosta koostuville vanhoille rakennuksille energiatodistuksen teko on vapaaehtoinen. Energiatodistuksessa esitetään rakennuksen energiatehokkuusluokkaa, laskennallinen tai mitattu energiankulutus, laskennallisen tarkastelun lähtötiedot sekä parannus- ja korjaus ehdotukset energiankulutuksen pienentämiseksi. Uusille palvelu- ja liikerakennuksille sekä uusille yli 6:sta asunnosta koostuville asuinrakennuksille energiatodistus on voimassa 4 vuotta. Muille rakennuksille voimassaoloaika on 10 vuotta. [24]

Energiatodistusta koskeva vaatimus ei koske [25]:

- 1) rakennusta, jonka pinta-ala on enintään 50 m²
- 2) asuinrakennusta, joka on tarkoitettu käytettäväksi enintään 4 kk ajan vuodessa
- 3) väliaikaista rakennusta, jonka suunniteltu käyttöaika on enintään 2 vuotta
- 4) teollisuus- tai korjaamorakennusta taikka muuhun kuin asuinkäyttöön tarkoitettua maatilarakennusta, jossa energiantarve on vähäinen tai jota käytetään alalla, jota koskee kansallinen alakohdainen energiatehokkuussopimus
- 5) rakennusta, joka on suojeltu tai joka Museoviraston tekemässä inventoinnissa on määritellyt kulttuurihistoriallisesti merkittäväksi
- 6) kirkkoa tai muuta uskonnollisen yhdyskunnan omistamaa rakennusta, jossa on vain kokoontumiseen tai hartauden harjoittamiseen taikka näitä palvelemaan toimintaan tarkoitettuja tiloja.

Samassa yhteydessä rakennuksen energiankulutuksen kansalliset laskentaohjeet RakMK D5 [16] muuttuvat huomattavasti aiempaa yksityiskohtaisemmiksi ja tarkemmiksi. Tässäkin tapauksessa energiankulutuksen laskenta voidaan tehdä myös eurooppalaisen energiankulutuksen laskentastandardin SFS-EN ISO 13790 [26]

mukaisesti, joka poikkeaa kansallisista ohjeista joiltakin osin.

Vaikka energiankulutuksen laskennallinen tarkastelu tarkentuu, rakennuksen todellinen energiankulutus voi poiketa huomattavastikin laskennallisesta arvosta. Suurin syy tähän on asukkaiden erilaiset asumistottumukset, joilla on yleensä ratkaiseva merkitys energiankulutukselle. Omakotitalojen energiankulutus voi olla moninkertainen verrattuna toisiin vastaavana aikana ja vastaavilla ohjeilla toteutettuihin taloihin [27].

Lisäksi energiankulutukseen vaikuttaa useita sellaisia vaipparakenteisiin liittyviä tekijöitä, joita ei ole otettu huomioon laskennallisessa tarkastelussa. Tällaisia tekijöitä ovat mm. seuraavat:

- Monien rakennusmateriaalien lämmönjohtavuudet ovat todellisuudessa pienempiä kuin suunnittelussa käytettävät arvot.
- Massiivirakenteet, joissa ei ole erillistä lämpöeristettä, varaavat auringon säteilylämpöä, jolloin energiankulutus rakennuksen sisältä vähenee.
- Rakennuksen koko ja muoto vaikuttavat energiankulutukseen. Jos rakennuksessa on paljon nurkkia ja kulmia, energiankulutus kasvaa, koska laskennassa vaipan pinta-alana käytetään sisäpinnan alaa.
- Rakennusvaipan lämmöneristyskyky riippuu oleellisesti siitä, kuinka huolellisesti lämmöneriste, tuulensuoja ja höyry-/ilmansulku on asennettu rakenteeseen.

2.4 Kesäaikaiset huonelämpötilat

Uusissa rakennusmääräyksissä painotetaan entistä enemmän kesäaikaisten huonelämpötilojen alentamista sellaisten rakenteellisten suunnitteluratkaisujen avulla, jotka vähentävät auringon rakennukselle aiheuttamaa lämpökuormaa [13]. Tällaisia rakenteellisia keinoja ovat mm. erilaisten lippojen, markiisien ja kaihtimien ja auringsuojalasiain käyttö sekä suurten ikkunapintojen välttäminen auringon säteilylle alttiilla seinä- ja kattopinnoilla. Vasta rakenteellisten keinojen jälkeen rakennuksissa tulee käyttää koneellista jäähdystä. Sisälämpötilan kuukausikeskiarvon sallittu yläraja on yleensä +25 °C.

Käytännössä rakennuksissa on kuitenkin yhä enemmän valaistusta, kodinkoneita ja laitteita, jotka tuottavat lämpöä rakennukseen myös kesällä. Samaan aikaan rakennukset on tehty entistä paremmin lämpöä eristäviksi. Tämän seurauksena huonelämpötilat ovat nousseet kesäaikana ja rakennuksissa kaivataan useammin myös koneellista jäähdystä. Se on otettava huomioon varsinkin silloin, kun suunnitellaan erittäin hyvin eristettyjä matalaenergiataloja.

2.5 Kylmäsilat ja ilmapuodot

Asuinrakennusten ja muiden oleskelutilojen lämpöteknistä toimintaa tarkistetaan yhä useammin lämpökamerakuvausella, jonka tarkoituksena on selvittää onko vaipparakenteissa haitallisia kylmäsiltoja tai ilmapuotokohtia. Mitattujen sisäpinnan lämpötilojen avulla vaipparakenteille lasketaan niin sanottu lämpötilaindeksi, TI, seuraavan kaavan avulla:

$$TI = \frac{T_{si} - T_e}{T_i - T_e} 100 \quad (1)$$

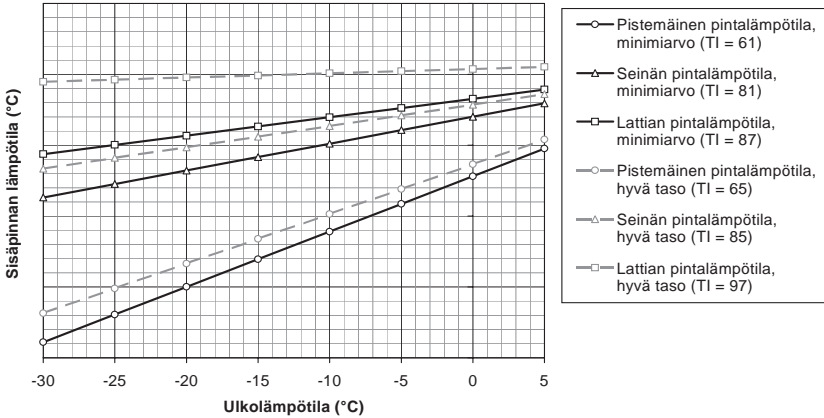
jossa T_{si} on sisäpinnan lämpötila (°C), T_i on sisäilman lämpötila (°C) ja T_e on ulkoilman lämpötila (°C). Lämpötilaindeksiä määritettäessä ulkolämpötila saa olla korkeintaan +5 °C.

Lämpötilaindeksi vaihtelee 0 ja 100 välillä. Mitä suurempi indeksi on, sitä korkeampi on rakenteen sisäpinnan lämpötila ja sitä vähemmän rakenteessa on kylmäsiltoja ja ilmapuotoja. Asumisterveysohjeessa [28] on annettu seinälle, lattialle ja pistemäiselle pintalämpötilalle lämpötilaindeksin raja-arvoja, jotka vastaavat hyvää tai välttävää tasoa. Pistemäiselle pintalämpötilalle annettuja raja-arvoja käytetään mm. läpivientien, ikkunoiden, ovien, ikkuna- ja ovikarmien, seinänurkkien, seinien ja lattian sekä seinien ja katon liitoskohtien hyväksyttävyyttä arvioitaessa. Katolle voidaan käyttää seinille annettuja raja-arvoja.

Kuvassa 1 on esitetty lämpötilaindeksien raja-arvojen avulla saadut pintalämpötilan sallitut minimiarvot (välttävän tason minimiarvot) ja hyvää tasoa vastaavat minimiarvot ulkolämpötilan funktiona. Kuvassa esitetyt pintalämpötilojen arvot pätevät silloin, kun sisäilman lämpötila on +21 °C ja sisällä on enintään 5 Pa alipaine (perustapaus). Mikäli rakennuksessa on suurempi alipaine kuin 5 Pa, paine-eron vaikutus tulee ottaa pintalämpötilan arvioinnissa erikseen huomioon esimerkiksi lähteessä [29] esitetyllä tavalla.

Pääsääntöisesti rakenne tulee korjata, mikäli pintalämpötila jää kuvassa 1 annettujen minimiarvojen alapuolelle. Joidenkin yleisesti hyväksytyjen rakenneratkaisujen osalta (esim. nurkkaikkunat, yksinkertaiset parvekeovet ja ovien ja ikkunoiden tiivisteet) voidaan kriteeriä tarvittaessa väljentää, jos lämpöviivyyden aleneminen voidaan korvata muulla tavoin eikä siitä aiheudu haittaa käyttäjille ja rakennukselle [30]. Uudisrakentamisessa tulee kuitenkin aina pyrkiä pintalämpötilojen osalta hyvään tasoon.

Sisäpintojen lämpötilalla on merkitystä kahdesta syystä. Ensinnäkin alhainen pintalämpötila voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä ja homeen kasvua rakenteen sisäpintaan, koska ilman suhteellinen kosteus pinnan lähellä nousee.



Kuva 1. Pintalämpötilojen sallitut minimiarvot sisällä, kun sisälämpötila on +21 °C ja sisällä on enintään 5 Pa alipaine ulkoilmaan nähden.

Toisaalta alhainen pintalämpötila aiheuttaa ihmisille vilun ja vedon tunnetta lämmön siirtymässä säteilemällä ihmisen iholta viileisiin pintoihin. Näin ollen sisäpinnan lämpötila on myös tärkeä sisäilman laatutekijä.

Nykyisin käytössä olevat rakennuksen runkorakenteet eivät yleensä muodosta liian voimakasta kylmäsiltaa rakenteeseen, jos lämmöneristys on asennettu niiden ympärille huolellisesti. Lisäksi rungon kylmäsilta vaikutusta voidaan pienentää tehokkaasti ristikoolauksien avulla. Yleensä puutteet liittyvätkin juuri lämmöneristykseen valintaan ja asennukseen (ks. luku 2.6) sekä rakenteiden ilmapuotoihin (ks. luku 4).

Rakenteiden läpi tapahtuvat ilmapuodot tulevat paremmin näkyviin, jos lämpökamerakuvaus yhitydessä rakennuksen sisälle säädetään alipaine. Usein käytetään 50 Pa alipainetta, joka on sama kuin rakennuksen ilmanvuotoluokkaa määritettäessä. Lämpötilaindeksin laskentakaava on kuitenkin voimassa ainoastaan silloin, kun rakenteen yli ei ole merkittävää paine-eroa.

2.6 Lämmöneristeen valinta ja asennus

Lämmöneristemateriaali ja asennustapa tulee valita rakenteen ja olosuhteiden mukaan.

Avohuokoisissa lämmöneristeissä (kivivilla, lasivilla, muovikuitueriste, puukuitueriste, pel-lava) tapahtuvan sisäisen konvektion vähentämiseksi levymäiset lämmöneristeet on pyrittävä asentamaan siten, että niille varatun eristetiljan pintojen ja eristeiden väliin ei jää ilmarakojia. Lisäksi eristeissä tulee olla mahdollisimman vähän saumoja ja päällekkäiset saumat tulee aset-

taa eri kohdille. Seinärakenteissa sisäistä konvektiota voidaan estää myös eristekerrosten väliin asennettavalla pystysuuntaisella ilmansulkukalvolla, jolla on pieni vesihöyrynvastus.

Solumuovieristeet (PUR, EPS ja XPS) toimivat puu- ja teräsrunkoisissa yläpohjissa ja ulkoseinissä myös höyryn- ja ilmansulkuna. Siksi niiden saumat ja jatkoskohdat tulee tiivistää huolellisesti polyuretaanivaahdon avulla. Puurunkoa ei saa jättää kokonaan solumuovieristeen sisään, vaan sen tulee päästä kuivumaan ulospäin.

Kuivana puhallettavien irtoeristeiden käyttö on suositeltavaa erityisesti ryömintätalaisissa yläpohjissa, koska ne täyttävät tehokkaammin kattoristikoiden muodostamat kolot ja mahdollistavat yhtenäisemmän lämmöneristekerroksen. Irtoeristettä tulee puhaltaa suunniteltua paksumpi kerros, koska se painuu ajan kuluessa. Jos kuivia puhalluseristeitä käytetään seinärakenteissa, eriste tulee puhaltaa niin suureen tiheyteen, että se ei merkittävästi painu ajan kuluessa. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota ikkunoiden alaosien täyttämiseen. Seinien yläosiin (ja mahdollisuuksien mukaan myös ikkunoiden kohdalle) tulee jättää aukot myöhemmin suoritettavaa lisätäyttöä varten.

Lämmöneristeet on suositeltavaa asentaa kuivina, sillä ylimääräinen kosteus voi aiheuttaa rakenteessa kosteusongelmia. Mikäli käytetään kosteana tai märkänä ruiskutettavia irtoeristeitä, on varmistuttava siitä, että eriste on kuivunut riittävästi ennen kuin sen sisäpinta suljetaan höyrynsulkukerroksella. Tästä syystä eristystyö olisi myös hyvä ajoittaa kevät- tai kesäaikaan. Sisäpinnassa on myös suositeltavaa käyttää vesihöyryä jonkin verran läpäisevää, mutta kuitenkin

kin riittävän vesihöyrynvastuksen omaavaa höyrinsulkumateriaalia (ks. luku 3.2).

Kosteutta sitovan avohuokoisien lämmöneristeen käyttö ei korvaa rakenteen sisäpintaan laitettavaa riittävää höyrinsulkua. Kosteutta sitova eriste kykenee kuitenkin tasaamaan ajoittaisia pieniä kosteusrasituksia rakenteessa. Kosteutta sitova lämmöneriste kostuu hitaammin syksyllä ja kuivuu hitaammin keväällä kuin kosteutta sitomaton lämmöneriste.

3 Rakennusten kosteustekninen suunnittelu

3.1 Yleistä

Rakenteet on suunniteltava ja rakennettava siten, että niihin ei aiheudu kosteudesta rakenteellisia, toiminnallisia tai esteettisiä vikoja rakenteen käyttöänsä aikana. Rakenteissa oleva kosteus ei saa myöskään aiheuttaa rakennuksen käyttäjille tai naapureille hygienia- tai terveyshaittoja.

Kosteustekninen suunnittelu tapahtuu käytännössä siten, että rakenteisiin laitetaan erilliset kerrokset suojaamaan niitä kosteusrasituksilta ja toisaalta rakenteet suunnitellaan niin, että ne pääsevät kuivumaan. Lisäksi tulee kiinnittää huomiota oikeiden materiaalien käyttöön ja liitoksien ja detaljien toimintaan.

Rakenteet on luonnollisesti tärkeintä suojata painovoimaisesti tai kapillaarisesti siirtyvältä vedeltä, koska se aiheuttaa rakenteisiin nopeasti pahoja kosteusvaurioita. Tällaisia ovat esimerkiksi sadeveden aiheuttamat katto- ja seinävuodot, kosteiden tilojen vauriot, pintavesien ja maaperän aiheuttamat kosteusvauriot sekä putkivuodot. Suurin osa rakennusten kosteusvaurioista johtuu edellä mainituista syistä.

Rakenteet tulee suojata myös konvektiolla ja diffuusiolla siirtyvältä vesihöyryltä ilman- ja höyrynsulun avulla. Ilman- ja höyrynsulun toiminnasta ja käytöstä vaipparakenteissa on ollut viime vuosina epäselvyyttä, joten tätä asiaa on käsitelty laajemmin kohdassa 3.2.

Rakennekerroksia ei tulisi jättää kahden vesihöyrytiivin pinnan väliin ilman tuuletusmahdollisuutta. Tämä koskee erityisesti puuta ja puupohjaisia materiaaleja sisältäviä rakennekerroksia. Vaipparakenteissa tulisi aina olla yhtenäinen tuuletusväli tai tuuletustila lämmöneristeen kylmällä puolella. Kapean tuuletusvälin toimintaan tulee kiinnittää huomiota, sillä usein se on pienentynyt tai tukkeutunut esimerkiksi muurauslaastin tai turvoneiden tuulensuojalevyjen vaikutuksesta. Käytännössä on myös vaipparakenteita, joissa ei ole tuuletusta

tai se on vähäistä (esim. ohutlevypeltielementit ja teräspöimulevykatot). Tällöin tiiviiden pintojen välissä on käytettävä kosteutta kestäviä ja kuivia materiaaleja.

Rakenteen kuivuminen ulkoilmaan on tehokainta silloin, jos rakennekerrosten vesihöyrynläpäisevyys kasvaa sisältä ulospäin mentäessä. Siksi on tärkeää, että lämmöneristeen ulkopuolella oleva tuulensuoja läpäisee hyvin vesihöyryä. Tuulensuojan hyvä lämmöneristyskyky parantaa myös rakenteen kosteusteknistä toimintaa.

Suuri osa kosteusvaurioista aiheutuu puutteellisesta liitoksien ja detaljien suunnittelusta ja toteutuksesta. Liitokset ja detaljit tulee tehdä niin, että kosteutta ei pääse liitoksien kautta vaipparakenteisiin, rakenteisiin päässyt kosteus ei kerry liitosalueelle, vaan pääsee kuivumaan pois rakenteesta ja liitosalueelle ei synny kylmäsiltoja, jotka aiheuttavat kosteuden kondensoitumista tai homeen kasvua liitoskohdassa. Puurakenteet tulee aina erottaa maata vasten olevista kivirakenteista kosteudeneristeellä.

Käytettävät rakennusmateriaalit tulee valita käyttötarkoitukseen soveltuviksi. Mitä kosteampiin olosuhteisiin materiaali laitetaan, sitä kosteutta kestävämpi, elämäntömämpi ja kuivumiskykyisempi sen tulee olla (esim. märkätiloissa betoni-, harkko- tai tiilipinnat). Myös materiaalien ominaisuuksien muuttuminen olosuhteiden vaihdella tulee tuntea riittävä tarkasti. Materiaalit on lisäksi muistettava suojata kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aikana.

Vaipparakenteet tulee suunnitella niin, että kosteuden kondensoitumista tai homeen kasvulle suotuisia lämpötila- ja kosteusolosuhteita esiintyisi niissä mahdollisimman vähän ja ainoastaan ajoittain. Homeet kasvavat tyypillisesti lämpötilan ollessa välillä 0...50 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa suurempi kuin 80 % RH (lähellä 0 °C lämpötilaa homeen kasvu edellyttää huomattavasti korkeampaa RH:ta). Kosteuden kondensoituminen alkaa, kun ilman suhteellinen kosteus saavuttaa 100 % RH eli ilman kyllästyskosteuspitoisuuden. Homesuoja-aineiden käyttö herkästi homehtuvissa materiaaleissa (esim. luonnonkuitupohjaiset lämmöneristeeet ja rakennuslevyt) antaa rakenteen kosteustekniseen toimintaan lisävarmuutta. Rakenteen kosteustekninen suunnittelu tulee kuitenkin tehdä samalla tavalla riippumatta siitä onko materiaaleissa käytetty homesuoja-aineita.

Vaikka vaipparakenteen olisi suunniteltu ja toteutettu rakennusfysiikaalisen toiminnan osalta hyvin, Suomen ilmasto-olosuhteissa rakenteiden ulko-osiin voi ajoittain kondensoitua kosteutta ja muodostua homea. Tyypillisesti tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi alapohjarakenteet. Ryömintätalissa alapohjassa on varsinkin sateisina kesinä suuri riski homeen muodostumiselle, vaikka alapohja olisi toteutettu

ohjeiden mukaisesti (ks. luku 6.3). Myös maanvaraisissa alapohjissa lämmöneristeen alapinnassa esiintyy usein hometta johtuen siitä, että maapohjan olosuhteet ovat tyypillisesti suotuisat homeen kasvulle [31]. Oleellista on, että vaipparakenteiden ulko-osiin pyritään valitsemaan kosteutta kestäviä ja homeen kasvua vähentäviä materiaaleja ja että vaipparakenne tehdään ilmatiiviiksi siten, että homeet ja niiden aineenvaihduntatuotteet eivät pääse kulkeutumaan sisäilmaan (ks. luku 4).

Korkea suhteellinen kosteus aiheuttaa rakenteissa kosteuden kondensoitumisen ja homeen kasvun lisäksi muitakin haitallisia ilmiöitä ja vaurioita. Tällaisia ovat mm. lujouden alentuminen, muodonmuutokset, pintojen halkeilu ja rapautuminen, lämmöneristävyyden heikkeneminen, lahovauriot, liimojen ja maalien tartunnan irtoaminen, materiaaliemissioiden lisääntyminen, värimuutokset, naulaliitosten löystyminen ja metalliosien ruostuminen. Valtaosa näistäkin haitoista ja vaurioista voidaan välttää, jos materiaalien huokosilman suhteellinen kosteus on alle 80 % RH. Tätä suhteellisen kosteuden arvoa voidaankin pitää monissa tapauksissa rakenteen hyvän kosteusteknisen toiminnan kannalta kriittisenä kosteutena, jota ei tulisi ylittää.

Vanhjoja taloja korjattaessa oikeiden rakeneratkaisujen valinta on usein hankalaa, koska taloissa on käytöstä poistuneita rakennetyyppejä ja materiaaleja. Lisäksi rakenteiden korjaus halutaan tehdä mahdollisimman pienin kustannuksin. Rakenteiden korjaaminen edellyttää kuitenkin aina talon rakeneratkaisujen tuntemista ja asiantuntijan laatimaa korjaussuunnitelmaa. Tämä on ensiarvoisen tärkeää varsinkin silloin, jos tehdään sauna- ja pesutiloja taloon, jossa niitä ei ole aikaisemmin ollut. Vanhojen talojen vaipparakenteet ovat toimineet usein juuri siitä syystä, että asukkaiden vedenkäyttö on ollut vähäistä.

Rakennustyön huolellisuus on tärkeä osatekijä toimivien rakenteiden toteuttamisessa. Erityisesti se korostuu rakennuksen ilmanpitävyyden varmistamiseen liittyvissä työtehtävissä. Ilma pääsee kulkemaan pienistäkin raoista ja rei'istä, joten kaikkien liitosten ja saumojen ilmanpitävyyteen on kiinnitettävä huomiota. Rakennusvaipan ilmanpitävyyden parantamiseksi on annettu ohjeita luvussa 4.

Rakennuksen käyttöikä ja rakenteiden kunto riippuvat aina oleellisesti myös asukkaiden käyttötottumuksista ja rakennuksen huollosta (mm. kosteuden tuottaminen sisäilmaan ja kuivatuksen tehostaminen sekä rakennuksen kunnon seuranta ja vuotokohtien havainnointi).

3.2 Ilmansulun ja höyrynsulun valinta

Sisä- ja ulkoilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden muutokset vaikuttavat vaipparakenteiden kosteustekniseen toimintaan eri vuodenaikoina. Kosteusteknisen toiminnan lähtökohta on ulkoilma, jota otetaan ilmanvaihdon mukana rakennuksen sisälle. Asuminen tuottaa ilmaan kosteuslisän, jonka määrä riippuu asumistottumuksista. Kosteusero sisä- ja ulkoilman välillä pyrkii tasoitumaan vaipparakenteiden läpi diffuusiolla. Jos rakennuksessa on ylipaine, kosteutta siirtyy vaipparakenteisiin myös konvektiolla erilaisten rakojen ja reikien kautta. Konvektiolla rakenteisiin voi siirtyä paljon enemmän kosteutta kuin diffuusion avulla.

Mikäli kosteutta pääsee sisäilmasta liikaa rakenteisiin, se voi tiivistyä ja jäätää vesikatteen, ulkoverhouksen tai tuulensuojan sisäpintaan tai aiheuttaa rakenteessa homeen kasvulle suotuisat olosuhteet. Kriittisimpiä ajanjaksoja ovat talvi ja syksy, jolloin ulkoilman lämpötila on alhaisempi ja siihen mahtuvan vesihöyryn määrä on pienempi kuin sisäilmassa. Tästä syystä kerroksellisten vaipparakenteiden sisäpinnassa tulee olla tiivis ilmansulku ja riittävä vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulku. Ilmansulun tehtävänä on estää sisäilmasta konvektiolla rakenteeseen siirtyvä kosteus ja höyrynsulun tehtävänä on estää/rajoittaa sisäilmasta diffuusiolla rakenteeseen siirtyvää kosteutta. Yleensä höyrynsulun ja ilmansulkuna käytetään samaa ainekerrosta (esim. muovikalvoa tai solumuovieristelevyä). Rakenne voidaan kuitenkin toteuttaa myös niin, että kerrokset ovat erikseen. Ilmanpitävyyden varmistamiseksi myös ilmansulun liitos- ja jatkoskohdat on tehtävä mahdollisimman tiiviiksi. Ilmanpitävien liitosten toteuttamiseen liittyviä ohjeita on esitetty luvussa 4.

Avohuokoisia lämmöneristeitä käytettäessä höyrynsulun vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen tuulensuojakerroksen vastukseen verrattuna [8]. Yläpohjarakenteissa ja ryömintätalaisissa alapohjarakenteissa vesihöyrynvastuksen tulee olla lisäksi vähintään $110 \times 10^3 \text{ s/m}$ ($15 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$) [7]. Seinärakenteissa suositeltava arvo on vähintään $55 \times 10^3 \text{ s/m}$ ($7,5 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$) [32]. Höyrynsulkuksi tulee valita muovikalvo, mikäli tuulensuojana käytetään kalvoa, jonka vesihöyrynvastus on suurempi kuin $1 \times 10^3 \text{ s/m}$ ($0,13 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$) [32].

Ilman- ja höyrynsuluiksi kelpaavat mm. muovikalvo, muovitetut paperit, alumiinipaperi sekä riittävän pakut solumuovieristelevyt (PUR, EPS ja XPS). Höyrynsulkumuoviksi tulee valita rakennusmuoviksi tarkoitettu polyeteenikalvo, joka on UV-suojattu. Myös puhtaaksi maurattu tai tasoitettu tiiliseinä, kevytbetoniseinä, paikalla valettu betonirakenne ja betonielementit toi-

mivat riittävänä ilman- ja höyrynsulkuna kunhan liikuntasaumata ja elementtien väliset saumat tiivistetään huolellisesti (ks. luku 4).

Sisäverhouksessa käytettävät pintakäsittelyt (esim. tasoitteet, maalit ja tapetit) lisäävät rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastusta. Pintakäsittelyjen vesihöyrynvastus voidaan ottaa kosteusteknisessä suunnittelussa huomioon ainoastaan siinä tapauksessa, että niiden vesihöyrynvastus ei heikenne ajan kuluessa. Lisäksi tulee varmistua siitä, että pintakäsittelyt pysyvät rakenteessa koko sen käyttöajan. Muussa tapauksessa pintakäsittelyt antavat rakenteiden kosteustekniseen toimintaan ainoastaan lisävarmuutta.

4 Rakennuksen ilmanpitävyyden parantaminen

Rakennuksen vaipan läpi tapahtuvat ilmavirtaukset heikentävät rakennuksen rakennusfysikaalista toimintaa seuraavista syistä:

- 1) kosteuden virtaus vaipparakenteisiin lisääntyy
- 2) erilaisten epäpuhtauksien, homeiden ja radonin virtaus sisäilmaan lisääntyy
- 3) energiankulutus lisääntyy
- 4) vaipparakenteiden pintalämpötilat alenevat
- 5) asukkaiden vedon tunne lisääntyy
- 6) ilmanvaihdon säätämisen vaikeutuu ja rakennuksen sisällä painesuhteet ovat erilaiset kuin on suunniteltu.

Rakennusvaipan hyvän ilmanpitävyyden saavuttamiseksi on noudatettava seuraavia ohjeita. Näitä ohjeita on tarvittaessa sovellettava, jotta toteutuksesta syntyy rakentamiskelpoinen. [19]

- Betonisten vaipparakenteiden liitokset tehdään joutosvaluilla tai joustavien liikuntasuomojen avulla (esim. maanvaraisen laatan ja ulkoseinän liitos tiivistetään joko listauraan tehdyn elastisen kittauksen tai bitumikermitseillä). Ylä- ja alapohjissa betonielementtien saumat tiivistetään liimattavilla ja hitsattavilla bitumikermitseillä. Suurten halkeamien syntyminen estetään esimerkiksi riittävällä raudoituksella tai tiivistämällä syntyneet halkeamat esimerkiksi pintakäsittelyillä tai joustavalla massalla kittaamalla.
- Betonirakenteiden liikuntasaumata toteutetaan niin, että saumojen liikkeet eivät heikennä oleellisesti niiden ilmanpitävyyttä (esim. liimattavat bitumikermit irrotetaan betonista riittävän pitkällä matkalla liikkeiden sallimiseksi).
- Rankarakenteiden sisäpinnassa tulee aina olla ilmansulku, joka voi olla joko kalvomaisen tai levymäisen (esim. solumuovieristelevy). Kalvomaiset ilmansulut liitetään toisiin-

sa (esim. jatkokset, rakenteiden pysty- ja vaakaurkat yms.) puristettuna liitoksena (kalvojen jatkoskohta on puristettu ruuvaamalla kahden jäykän materiaalin väliin) tai limittämällä ja teippaamalla kalvo huolellisesti riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä. Mikäli teipin tartuntakyvystä ja pitkäaikaiskestävyydestä ei ole varmuutta, tulee kalvojen liitoskohtien ilmanpitävyys varmistaa puristusliitosten avulla. Levymäisen ilmansulun pakisuuden tulee olla vähintään 20 mm, jotta sen saumat ja liitokset voidaan tiivistää saumavaahdolla.

- Ilmansulku on suositeltavaa sijoittaa noin 50 mm etäisyydelle sisäpinnasta, jolloin sähkörsiat ja -putkitukset yms. asennukset voidaan toteuttaa ilman ilmansulun rikkomista.
- Kalvomaisen ilmansulun liitetään sellaisiin rakenteisiin, joissa ei ole erillistä kalvomaista ilmansulkua (esim. tiili- tai harkkoseinä, betonielementti) joko puristusliitoksen ja elastisen kittauksen avulla tai limittämällä ilmansulku rakenteen kanssa riittävästi (esim. viemällä ilmansulkukalvo tiilestä muuratun sisäkuoren ulkopintaan).
- Kalvomaisia ilmansulkuja ei saa kuormittaa esimerkiksi yläpohjan lämmöneristeellä haitallisesti niin, että kuormitus voi ajan mittaan venyttää ja rikkoa kalvon tai sen jatkoskohdan. Kevyt lämmöneriste voidaan asentaa kalvomaisen ilmansulun varaan, mikäli kalvo on tuettu niin, että se ei pääse haitallisesti painumaan (esim. tiheampi rimoitus, profiilipelti tai levy ilmansulun alapuolella).
- Harkkorakenteissa rakenteen ilmanpitävyys perustuu pintakäsittelyihin. Tästä syystä harkkorakenteisen ulkoseinän kummatkin pinnat tulee käsitellä rappaamalla tai tasoittamalla. Sisäpinnassa tasoite tulee levittää kauttaaltaan ja niin, että se voidaan liittää toimivasti mm. ala- ja yläpohjan ilmanpitäviin kerroksiin sekä ikkunoihin ja oviin yms. Tasoite on siis aina levitettävä myös esimerkiksi kiintokalusteiden taakse ja alaslasketujen kattojen yläpuoliseen seinäosaan.
- Hirsirakennuksien ilmanpitävyyttä suunniteltaessa on otettava huomioon myös hirsikehikon painuminen. Hirsien välisissä saumoissa ja nurkkaliitoksissa tulee käyttää joustavia solumuovi- tai kumitiivisteitä. Ovien ja ikkunoiden päälle jätetään riittävä painumavara, joka täytetään huokoisella lämmöneristeellä. Eristeen sisäpuolelle asennetaan joustava ilmansulkukalvo, joka kiinnitetään hirsirunkoon ja ikkunan/oven karmiin puristusliitoksilla tai teippaamalla kalvo huolellisesti riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä.
- Läpiviennit kivi- ja hirsirungon tai levymäisen ilmansulun läpi tiivistetään saumavaahdolla ja kittaamalla. Kalvomaisen ilmansulun

läpi tehtävät läpiviennit tiivistetään joko läpivientilapioilla tai levyistä tehtyjen läpivientikaulesten (esim. solumuovieristelevy) avulla. Ilmansulkukalvo liitetään läpivientikaulekseen joko puristusliitoksella tai riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä. Läpivientikaulekset tiivistetään läpiviennin ympärille saumavaahdon avulla.

- Suuret ja väljät vaipan läpäisevät sähköputkukset yms. on suositeltavaa tiivistää putkien sisältä esimerkiksi villasullonalla tai pursotamalla vaahtoa putkeen asennetun muovipussin sisään.
- Ilmansulkuun syntyvät reiät paikataan joko vaahdottamalla tai kittaamalla (kivi- ja hirsirungot ja levyt) tai riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä (kalvot).
- Ikkunoiden ja ovien sekä muiden vastaavien rakennusosien liittymät ilmansulkuun toteutetaan saumavaahdolla tai joustavaa solumuovi- tai kumitiivistettä ja elastista kittausta käyttämällä.
- Liitoksien ja läpivientien tiivistyksiä tehtäessä tulee ottaa tarvittavissa kohdissa huomioon myös olemassa olevat palomääräykset.

5 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolla on keskeinen merkitys vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja sisäilman laadun parantamisessa. Sen avulla poistetaan niin ylimääräinen kosteus huoneesta kuin erilaiset sisäilman epäpuhtaudetkin (hiilidioksidi, tupakansavu, radon, hajut ja pölyt).

Ilmanvaihto tulisi suunnitella siten, että rakennuksen sisälle syntyy lievä alipaine. Jos rakennuksessa on ylipaine, sisäilmassa oleva ylimääräinen kosteus pyrkii rakenteisiin ilmavirtauksen mukana myös reikien ja rakojen kautta lisäten rakenteen kosteusvaurioriskiä. Ylipaine vältetään toteuttamalla koneellinen poistoilmavaihto siten, että ilma poistuu huoneiden yläosista tai säätämällä koneellisen tuulo- ja poistoilmavaihdon poistoilmavirta suuremmaksi.

Monissa tapauksissa koneellinen ilmanvaihto suunnitellaan kuitenkin lähes tasapainoiseksi siten, että rakennuksen yläosissa vallitsee talvella ylipaine. Tätä on perusteltu sillä, että radonaliuella alipaineinen ilmanvaihto lisää radonin siirtymistä maasta sisätiloihin. Näin säädetty ilmanvaihto asettaa vielä tavallista suuremmat vaatimukset rakennuksen yläosan ilmanpitävyydelle, koska kosteutta voi siirtyä rakenteisiin merkittävästi pienistäkin rei'istä. Toisaalta huolellisesti tehdyt radontiivistykset alapohjissa sallivat ilmanvaihdon säätämisen alipaineiseksi tässäkin tapauksessa. Rakennusvaipan hyvä ilmanpitävyys on perusedellytys ilmanvaihdon luotettavalle ja energiatehokkaalle toiminnalle.

6 Käytännön ohjeita rakenteiden suunnitteluun ja toteuttamiseen

6.1 Vesikatteet ja yläpohjarakenteet

Yläpohjarakenteet jakaantuvat moniin erilaisiin tyyppeihin, jotka eroavat rakennusfysikaaliselta toiminnaltaan merkittävästi toisistaan. Tässä yhteydessä yläpohjarakenteet on jaettu ulkopuolisella vedenpoistolla (harja-, auma-, mansardi- ja pulpettikatot) ja sisäpuolisella vedenpoistolla (tasakatot) toteutettuihin kerroksellisiin kattorakenteisiin. Nämä kattorakenteet kattavat suurimman osan nykyisistä kattotyypeistä. Muita kattotyyppejä ovat mm. kevytbetonikatto, ylipainekatto, käännetty katto ja vedeneristetty betonikatto, jotka on jätetty tämän tarkastelun ulkopuolelle.

Seuraavissa luetteloissa on esitetty tärkeimmät ulkopuolisella ja sisäpuolisella vedenpoistolla tehtäviin kattorakenteisiin liittyvät toteutusperiaatteet. Osa asioista on samoja kummasakin rakennetyypissä. Eri kattotyyppeiden yksityiskohtaisempia toteutusohjeita löytyy mm. lähteistä [1], [2], [4], [5] ja [7].

Ulkopuolisella vedenpoistolla toteutettu kerroksellinen kattorakenne

- 1) Katolla tulee olla riittävät kallistukset ja tarpeelliset vastakaadot esimerkiksi hormien kohdalla.
- 2) Katolla tulee olla räystäät ja räystäskourut.
- 3) Ulkopuolinen vedenpoisto edellyttää lumiesteitä katolle, koska lumi voi jäätyä räystäälle talvella. Lumen sulamista voidaan edesauttaa räystäskourujen lämmityksellä.
- 4) Tiili- ja peltikatteet tarvitsevat aluskatteen, joka ohjaa kondenssivedet ja mahdolliset vuotovedet rakennuksen ulkopuolelle. Aluskate ei saa olla kiinni vesikatteessa ja sen tulee jatkaa seinien ulkolinjan ulkopuolelle.
- 5) Vesikatton pellitykset tulee toteuttaa niin, että ne suojaavat liitoskohtia ja räystäitä sadevedeltä, mutta sallivat yläpohjan tuuletuksen tarvittavista kohdista.
- 6) Vesikatteen/aluskatteen alla tulisi olla riittävän suuri yhtenäinen tuuletusväli tai tuuletustila. Vesikatteen ja aluskatteen välinen tila on myös tuuletettava. Puurakenteiset katot on aina tuuletettava. Harjakatoissa tulee järjestää tuuletus ulos myös harjalta. Yläpohjan tuuletusta voidaan lisätä harjalle asennettavien mekaanisten tuulettimien avulla.
- 7) Tuuletusväliässä avohuokaisen lämmöneristeen päällä tulee olla yhtenäinen tuulen-suojakerros. Tuuletustilassa tuulensuoja-

- kerros tarvitaan avohuokaisen lämmöneristeen reuna-alueille.
- 8) Jos tehdään tuulettumaton tai vähän tuuletettu yläpohjarakenne, siinä käytettävien materiaalien tulee olla kosteutta kestäviä. Lämmöneristeiden ja kosteutta sitovien materiaalien tulee olla lisäksi kuivia asennuksen aikana.
 - 9) Lämmöneristeen alapinnassa tulee olla ilmatiivis ja riittävän vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulku (esim. kalvo, levy tai kivirakenne). Höyrynsulun liitokset ja läpiviennit tulee tiivistää huolellisesti.
 - 10) Ilmatiiviyden takaamiseksi ilman-/höyrynsulkukerrosta ei saa tarpeettomasti reittää esimerkiksi sähköasennuksien takia. Tästä syystä höyrynsulkukalvo tai -levy on suositeltavaa asentaa 50 mm syvyyteen katon sisäpinnasta.
 - 11) Jos höyrynsulkukalvon tai -levyn sisäpuolelle laitetaan lämmöneristettä, se tulee asentaa vasta sitten, kun suurin osa rakennusaikaisesta kosteudesta on kuivunut pois rakennuksesta. Eristyksen asentamisen jälkeen rakennuksen tulee olla lämmitetty ja siellä tulee olla hyvä ilmanvaihto, jotta rakennusaikainen kosteus ei pääse tiivistymään höyrynsulun sisäpintaan.

Sisäpuolisella vedenpoistolla toteutettu kerroksellinen kattorakenne

- 1) Kattolla tulee olla riittävät kallistukset ja tarpeelliset vastakaadot esimerkiksi hissi-konehuoneiden reunoilla.
- 2) Vesikatteena käytettävien bitumikermien kiinnitys erityisesti liitoksissa ja saumoissa on tehtävä huolellisesti. Jiirien kohdalla tulee käyttää lisäkermiä vahvikkeena.
- 3) Läpivientien, kattoluukkujen ja seinärakenteiden reunoilla bitumikermit tulee nostaa reunaa vasten ylös vähintään 300 mm.
- 4) Kattokaivot tulee sijoittaa siten, että vesi pääsee virtaamaan viereiseen kaivoon nopeasti, jos joku kaivoista tukkeutuu.
- 5) Kattokaivot tulee varustaa roskasiivilöillä ja niiden ympärystä tulee puhdistaa säännöllisin väliajoin.
- 6) Kattokaivojen viemäriputket tulee lämpöeristää ja suojata höyrytiiviisti lämpimissä tiloissa riittävän pitkältä matkalta.
- 7) Vesikatot pellitykset tulee toteuttaa niin, että ne suojaavat liitoskohtia ja räystäitä sadevedeltä, mutta sallivat yläpohjan tuuletuksen tarvittavista kohdin.
- 8) Vesikatteen alla tulisi olla riittävän suuri yhtenäinen tuuletustila. Puurakenteiset katot on aina tuuletettava. Yläpohjan tuuletusta voidaan lisätä alipainetuuletuksen avulla.
- 9) Tuuletustilassa avohuokaisen lämmöneristeen päällä tarvitaan reuna-alueilla tuulen-suojakerros.

- 10) Jos tehdään tuulettumaton tai vähän tuuletettu yläpohjarakenne, siinä käytettävien materiaalien tulee olla kosteutta kestäviä. Lämmöneristeiden ja kosteutta sitovien materiaalien tulee olla lisäksi kuivia asennuksen aikana.
- 11) Lämmöneristeen alapinnassa tulee olla ilmatiivis ja riittävän vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulku (esim. kalvo, levy tai kivirakenne). Höyrynsulun liitokset ja läpiviennit tulee tiivistää huolellisesti.
- 12) Ilmatiiviyden takaamiseksi ilman-/höyrynsulkukerrosta ei saa tarpeettomasti reittää esimerkiksi sähköasennuksien takia. Tästä syystä höyrynsulkukalvo tai -levy on suositeltavaa asentaa 50 mm syvyyteen katon sisäpinnasta.
- 13) Jos höyrynsulkukalvon tai -levyn sisäpuolelle laitetaan lämmöneristettä, se tulee asentaa vasta sitten, kun suurin osa rakennusaikaisesta kosteudesta on kuivunut pois rakennuksesta. Eristyksen asentamisen jälkeen rakennuksen tulee olla lämmitetty ja siellä tulee olla hyvä ilmanvaihto, jotta rakennusaikainen kosteus ei pääse tiivistymään höyrynsulun sisäpintaan.

Kosteusteknisen toiminnan kannalta katsottuna paras ratkaisu on aina ulkopuolisella vedenpoistolla toteutettu tuuletettu harjakatto. Katto tulisi aina toteuttaa tällä periaatteella, mikäli esimerkiksi arkkitehtoniset vaatimukset eivät ole sille esteenä.

6.2 Ulkoseinärakenteet

Ulkoilmaan rajoittuvat seinärakenteet voidaan jakaa rakennusfysikaalisen toimintansa perusteella karkeasti kolmeen tyyppiin: massiivirakenteisiin seinäin (esim. hirsiseinät, kevytbetoniseinät ja massiivitiiliseinät), kerroksellisiin seinärakenteisiin (esim. puu- ja teräsrunkoseinät) ja sandwich-rakenteisiin seinäin (esim. betonielementtiseinät, eristeharkkoseinät, eristerappausseinät ja ohutlevypeltiseinät). Näiden lisäksi oma ryhmänsä on maanvastaiset seinärakenteet (esim. kellarin seinät).

Seuraavissa luetteloissa on esitetty näiden seinärakennetyyppien tärkeimmät toteutusperiaatteet. Osa asioista on samoja kaikissa rakennetyypeissä. Eri seinärakennetyyppien yksityiskohtaisempia toteutusohjeita löytyy mm. lähteistä [1], [2], [4], [5], [6] ja [7].

Massiivirakenteiset seinät

- 1) Massiivirakenteisissa seinissä ei tarvita erillistä ulkoverhousia eikä ilman- ja höyrynsulkukerrosta. Ilmatiiviyys saavutetaan tiivistämällä rakenteen saumakohdat huolellisesti. Hirsirakenteissa tämä tehdään umpisoluisen joustavan saumanauhan avulla ja tiili- ja harkkorakenteissa rappaamalla tai

tasoittamalla seinän kummatkin pinnat. Hirsitalojen liitosratkaisussa tulee ottaa huomioon myös rakennuksen painuminen.

- 2) Seinän ulkopinta tulisi suojata sadevedeltä vettä hylkivällä mutta vesihöyryä läpäisevällä pinnoitteella.
- 3) Jos massiivirakenteisia seinä halutaan eristää, lämmöneristys tulisi laittaa aina seinän ulkopuolelle. Lämmöneristeenä tulee käyttää avohuokoista hyvin kosteutta läpäisevää lämmöneristettä ja sen ulkopuolelle tulee laittaa yhtenäinen tuulensuojakerros (esim. tuulensuojalevy, kalvo tai rappaus).
- 4) Sisäpuolelle laitettava eristys edellyttää riittävän vesihöyrynvastuksen omaavan höyrynsulun asettamista eristyksen sisäpuolelle. Höyrynsulku voi samalla toimia rakenteen ilmansulkuna, jolloin saumojen tiivistämistä ei tarvita.

Kerrokselliset seinärakenteet

- 1) Seinän ulkopinnassa tulee olla ulkoverhous, jonka tehtävänä on estää sadeveden tunkeutuminen seinään.
- 2) Ulkoverhouksen taakse on jätettävä yhtenäinen ja riittävän suuri tuuletusväli. Tiiliverhousa käytettäessä tuuletusvälin tulee olla vähintään 30 mm. Muurattessa on lisäksi pyrittävä estämään saumaustaalin putoilu ja laastipurseiden muodostuminen tuuletusväliin. Tiiliverhouksen alaosaan tulee jättää vähintään joka kolmas pystysauma auki tuuletuksen varmistamiseksi.
- 3) Avohuokoisen lämmöneristeen ulkopinnassa tulee olla tuulensuojalevy tai -kalvo. Vaihtoehtoisesti lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden tulee olla niin pieni, että eristetilassa ei tapahdu merkittävässä määrin konvektiovirtauksia.
- 4) Kerroksellisissa seinärakenteissa lämmöneristeen sisäpinnassa tulee olla ilmatiivis ja riittävän vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulku (esim. kalvo, levy tai kivirakenne). Höyrynsulun liitokset ja läpiviennit tulee tiivistää huolellisesti.
- 5) Ilmatiivyyden takaamiseksi ilman-/höyrynsulkukerrosta ei saa tarpeettomasti rei'ittää esimerkiksi sähköasennuksien takia. Tästä syystä höyrynsulkukalvo tai -levy on suositeltavaa asentaa 50 mm syvyyteen seinän sisäpinnasta.
- 6) Jos höyrynsulkukalvon tai -levyn sisäpuolelle laitetaan lämmöneristettä, koolauksen tulee olla pystysuunnassa ja samalla kohdalla kuin sen takana oleva kantava runko on [32]. Lämmöneristeenä vähintään $\frac{3}{4}$ tulee olla höyrynsulun ulkopuolella [32]. Lämmöneriste tulee asentaa höyrynsulun sisäpuolelle vasta sitten, kun suurin osa rakennusaikaisesta kosteudesta on kuivunut pois rakennuksesta. Eristyksen asentamisen jäl-

keen rakennuksen tulee olla lämmitetty ja siellä tulee olla hyvä ilmanvaihto, jotta rakennusaikainen kosteus ei pääse tiivistymään höyrynsulun sisäpintaan.

- 7) Seinän alaosan liitoksissa ei saa käyttää valesokkeleita, jotka estävät kosteuden kuivumisen ulospäin rakenteesta.
- 8) Puurungon alapäiden tulisi olla maanvaraisen betonilaatan yläpinnan tasalla. Aluspuu tulee erottaa kivirakenteesta ilmatiiviillä kosteudeneristeellä. Seinien sisäverhouslevyjen alapäiden tulee olla lattiapinnan yläpuolella siten, että ne eivät ole kontaktissa betonilaattaan.

Sandwich-rakenteiset seinät

- 1) Sandwich-rakenteisissa seinissä ei tarvita erillistä ulkoverhousa eikä ilman- ja höyrynsulkukerrosta. Seinän ulkopinta toimii ulkoverhouksena ja sisäpinta ilmatiiviinä höyrynsulkukerrosena, kun rakenteen saumakohdat tiivistetään huolellisesti. Betonielementtien saumoissa käytetään juotosvalua ja liikuntasaumoissa joustavaa saumanauhaa ja elastista kittaista. Harkkorakenteissa rapataan tai tasoitetaan seinän kummatkin pinnat.
- 2) Rakenteissa käytettävän lämmöneristeen tulee olla kosteutta kestävä, kosteutta sitomaton ja kuiva asennuksen aikana. Eristeharkoissa tulee käyttää umpisoluista lämmöneristettä (polyuretaani tai polystyreeni).
- 3) Varsinkin ohutlevypeltiseissä rakenteen liitokset tulee tehdä erityisen huolellisesti, jotta eristetilaa ei pääse ajan kuluessa kosteusvuotoja.
- 4) Betonielementtirakenteissa lämmöneristeen uritus ja ulkokuoreen tulee tehdä vedenpoistoreiät. Paras ratkaisu on eriyttää betonielementin ulkokuori kokonaan lämmöneristeestä, jolloin rakenteesta tulee kerroksellinen seinärakenne.

Maanvastaiset seinärakenteet

- 1) Maanvastainen seinärakenne tulee olla kivirakenteinen.
- 2) Seinän sisäpinta tulee olla kosteutta läpäisevä ja tilassa täytyy olla hyvä ilmanvaihto.
- 3) Seinässä voidaan käyttää eristehalkaisua, mikäli rakenne kestää ulkopuolelta kohdistuvan maanpaineen. Muussa tapauksessa lämmöneriste tulee laittaa seinän ulkopuolelle. Lämmöneristeen tulee olla kokoonpuristumaton ja kosteutta kestävä.
- 4) Kiviseinän ulkopintaan on suositeltavinta laittaa bitumikermistä tehty vedeneristys. Kermien saumat liitetään toisiinsa hitsaamalla. Seinän ulkopuolelle asennettava lämmöneriste tulee vedeneristyksen ulkopuolelle.

- 5) Seinän ulkopuoli täytetään kapillaarisen kosteuden siirtymisen estävällä soralla tai sepelillä.
- 6) Seinän yläreunan tulee olla vähintään 300 mm maan pintaa korkeammalla ja maan pinta tulee kallistaa seinästä pois päin.
- 7) Seinän ulkopuolelle tulee laittaa erillinen maan pinnan suuntainen routaeristys, jos seinäntura on lähempänä maanpintaa kuin routitamon perustamissyvyys.
- 8) Seinänturoiden alapuolelle tulee tehdä salaojat. Katolta tulevia sadevesiä ei saa johtaa salaojiin, vaan erillisiin sadevesikaivoihin.
- 9) Mikäli kellarikerros tehdään pohjaveden pinnan alapuolelle, maanvastaiset seinät ja alapohja liitoksineen tulee tehdä vesitiiviiksi yhtenäisen vedenpaineeristuksen ja vesitiiviin betonin avulla. Pohjaveden pintaa voidaan alentaa pumppauksen avulla.

6.3 Alapohjarakenteet ja perustukset

Alapohjarakenteet voidaan jakaa rakennusfysiikaalisen toimintansa perusteella kahteen päätyyppiin: maanvaraisiin alapohjiin ja ryömintätalaisiin alapohjiin.

Seuraavissa luetteloissa on esitetty näiden alapohjatyypien tärkeimmät toteutusperiaatteet. Osa asioista on samoja kummassakin rakennetyypeissä. Eri alapohjarakenteiden yksityiskohtaisempia toteutusohjeita löytyy mm. lähteistä [1], [2], [4], [5], [7] ja [9].

Maanvastainen alapohja

- 1) Betonilaatta toimii ilmatiiviinä ja riittävän vesihöyrynvastuksen omaava ainekerrokseksi, kun betonilaatan ja seinärakenteiden liitokset on tiivistetty esimerkiksi bitumikerrikaistoilla. Rakenteeseen ei tule laittaa erillistä muovikalvoa.
- 2) Lämmöneristys sijoitetaan kokonaan tai pääosin betonilaatan alle. Laatan alle tulee laittaa kauttaaltaan kokoonpuristumaton ja kosteutta kestävä lämmöneriste. Lämmöneristystä tulee lisätä, mikäli käytetään lattialämmitystä.
- 3) Lämmöneristykseen alle tulee laittaa vähintään 200 mm paksuinen kapillaarisen kosteuden nousun katkaiseva sora- tai sepelikerros.
- 4) Radonalueilla sora- tai sepelikerrokseen voidaan asettaa lisäksi tuuletusputkisto poistamaan radonia maaperästä.
- 5) Kantavien puurunkoisten seinien alapäiden tulee olla maanvaraisen betonilaatan yläpinnan tasalla. Aluspuu tulee erottaa kivirakenteesta kosteudeneristeellä. Seinien sisäverhouslevyjen alapäiden tulee olla lattiapin-

- nan yläpuolella siten, että ne eivät ole kontaktissa betonilaattaan.
- 6) Perusmuurissa on suositeltavaa käyttää eristehalkaisua ja myös sen sisäpinta tulee lämpöeristää. Kevytsoraharkoista voidaan tehdä perusmuuri myös ilman eristehalkaisua, mutta tällöinkin betonilaatta tulee erottaa perusmuurista lämmöneristekaistalla.
- 7) Perusmuurin yläreunan tulee olla vähintään 300 mm maan pintaa korkeammalla ja maan pinta tulee kallistaa perusmuurista pois päin.
- 8) Perusmuurin ulkopintaan maata vasten tulee laittaa muovinen patolevy. Patolevyn tausta tulee tuulettaa ulkoilmaan. Sadeveden pääsy patolevyn taakse perusmuurin juuresta tulee estää.
- 9) Patolevyn ulkopuolelle tulee laittaa myös erillinen maan pinnan suuntainen routaeristys. Routasuojausta voidaan tarvita enemmän, jos betonilaatan lämmöneristystä lisätään. Routaeristystä ei saa laittaa syvemmälle kuin mihin perusmuurin eristehalkaisu päättyy.
- 10) Anturoiden alapuolelle tulee tehdä salaojat. Katolta tulevia sadevesiä ei saa johtaa salaojiin, vaan erillisiin sadevesikaivoihin.

Ryömintätilainen alapohja

- 1) Alapohjassa tulee olla ilmatiivis ja riittävän vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulku (esim. kalvo, levy tai kivirakenne). Höyrynsulun liitokset ja läpiviennit tulee tiivistää huolellisesti.
- 2) Puu- tai teräsrunгон alapinnassa tulee olla kosteutta kestävä, vesihöyryä läpäisevä ja hyvin lämpöä eristävä tuulensuojalevy.
- 3) Betonirakenteisessa alapohjassa lämmöneristys tulisi sijoittaa kokonaan tai pääosin betonilaatan alle. Tällöin tulee kuitenkin varmistaa, ettei alapohjan ja ulkoseinän liitokseen synny merkittäviä kylmäsiltoja.
- 4) Maahan tukeutuvien tulisijojen ja kantavien väliseinien perustukset tulee lämpöeristää reunoiltaan ryömintätalassa.
- 5) Ryömintätilan tulee olla vähintään 800 mm korkea.
- 6) Ryömintätilaa tulee tuulettaa paljon ja erityisesti kesällä. Suorien tuuletusreikien käyttö on suositeltavampaa kuin tuuletusputkien. Tuuletusta voidaan tehostaa katolle johdettavien tuuletusputkien ja tuulettimien avulla. Myös ryömintätilan lämmittäminen alentaa ilman suhteellista kosteutta ryömintätalassa.
- 7) Orgaaninen jäte tulee poistaa ryömintätalasta.
- 8) Perusmuurin yläreunan tulee olla vähintään 300 mm ulkopuolista maan pintaa korkeammalla ja maan pinta tulee kallistaa perusmuurista pois päin.

- 9) Maapohja ei saa olla monttu, johon sadevesi voi lammikoitua.
- 10) Maapohja tulee lämpöeristää kauttaaltaan. Myös perusmuurin ulkopuolelle tulee laittaa maan pinnan suuntainen routasuojaus.
- 11) Lämmöneristyksen alle tulee laittaa vähintään 200 mm paksuinen kapillaarisen kosteuden nousun katkaiseva sora- tai sepelikerros.
- 12) Anturoiden alapuolelle tulee tehdä salaojat. Katolta tulevia sadevesiä ei saa johtaa salaojiin, vaan erillisiin sadevesikaivoihin.

6.4 Märkätilat

Seuraavassa luettelossa on esitetty märkätilojen (esim. pesuhuone, sauna ja suihkuhuone) tärkeimmät toteutusperiaatteet. Yksityiskohtaisempia toteutusohjeita löytyy mm. lähteistä [2], [3], [5], [6], [7] ja [10].

- 1) Märkätilojen lattia- ja seinärakenteiden sisäpinnoissa tulee olla veden pääsyn rakenteeseen estävä kerros (esim. vedeneristemassa tai muovimatto). Puurunkoisissa saunan seinärakenteissa käytetään alumiinipaperia.
- 2) Kaikissa märkätilojen pinnoissa tulee olla lisäksi ilmatiivis höyrynsulku (esim. saunassa alumiinipaperi ja pesuhuoneen katossa höyrynsulkumuovi). Vedeneristemassojen vesihöyrynvastus on usein niin pieni, että seiniin ja lattiaan tarvitaan erillinen kosteussulkusively rajoittamaan vesihöyryn siirtymistä rakenteisiin. Muovimatto toimii myös ilman- ja höyrynsulkuna.
- 3) Seinissä vedeneriste on suositeltavinta kiinnittää kivipinnalle (esim. betoni, kevytbetoni, kalkkiihiekkatiili tai kevytsoraharkko). Puu- tai teräsrunkoisessa talossa pesuhuoneen seinien viereen on suositeltavaa muurata erillinen kivirakenteinen seinä, johon vedeneriste kiinnitetään. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää elämätöntä, mineraalipohjaista rakennuslevyä. Kiviseinän/levyn ja puurungon väliin tulee jättää tuuletusväli, joka avautuu pesuhuoneen alaslaskun päälle. Puurungon sisäpinnassa tulee olla ilmatiivis höyrynsulku.
- 4) Seinien ja lattian liitoskohtiin, lattiakaivon kohdalle ja muihin tarpeellisiin liittymäkohtiin tulee laittaa erilliset vahvikekankaat vedeneristemassoja käytettäessä. Muovimatto tulee nostaa vähintään 100 mm seinälle ja liittää seinän vedeneristeen/muovimattoon tiiviisti. Pesuhuoneen lattialaatan painuminen tulee estää, jotta vedeneriste tai muovimatto ei murru seinän ja lattian rajakohdasta.
- 5) Pesuhuoneen ja saunan välisen puu- tai teräsrunkoisien seinien alapää tulee nostaa lattiatinnan yläpuolelle harkon tai tiilen avul-

- la. Aluspuu tulee erottaa kivirakenteesta bitumikermillä.
- 6) Märkätilojen lattia tulee tehdä betonista ja siinä tulee olla riittävät kallistukset lat- tiakaivolle. Puu- tai teräsrunkoisien ala- tai välipohjan päälle valetaan kosteiden tilojen kohdalle erillinen betonilaatta kuormitusta kestävä rakennuslevyn päälle (esim. filmi- vaneri). Rakennuslevyn päälle laitetaan höyrynsulkumuovi ennen betonilaatan va- lua.
- 7) Laatoitettu lattia on suositeltavaa tehdä ve- deneristemassan päälle, koska muovimatto- jen saumahärsäykset voivat aueta ajan ku- luessa. Laatoitetuissa lattioissa tarvitaan aina myös lattialämmitys.
- 8) Pesuhuoneen ja saunan katoissa oleva alas- laskutila tulee tuulettaa kuiviin tiloihin tai pesuhuoneeseen. Jos alaslaskutila tuuleta- taan kuiviin tiloihin, tulee pesuhuoneen alaslaskun alapintaan paneloinnin yläpuo- lelle laittaa höyrynsulku, joka on liitetty il- matiiviisti seinän vedeneristeisiin. Tuuletet- taessa alaslaskutila pesuhuoneeseen katto- paneloinnin reunoille tulee jättää ohuet raot ilman vaihtumista varten. Koneellinen pois- toilmanvaihto tulee olla pesuhuoneessa yh- täjaksoisesti päällä.
- 9) Saunan seinä- ja kattopaneelien ja höyrynsul- kuna toimivan alumiinipaperin väliin tu- lee jättää ilmaväli, joka tuuletuu saunaan.

7 Käsitteitä ja määritelmiä

Seuraavassa on määritelty joitakin rakennus- fysiikkaan liittyviä käsitteitä.

7.1 Lämpöenergian siirtymismuodot

Johtuminen

Johtumisessa lämpöenergia siirtyy molekyylien liike-energiana molekyylistä toiseen. Johtumi- nen on ainoa lämpöenergian siirtymismuoto kiinteissä aineissa.

Konvektio

Lämpöenergian konvektio tarkoittaa kaasuseok- sen (esim. ilma) sisältämän lämpöenergian siir- tymistä kaasuseoksen mukana sen liikkeessa kokonaispaine-eron vaikutuksesta.

Säteily

Säteilyssä lämpöenergia siirtyy sähkömagneet- tisen aaltoliikkeen välityksellä valon nopeudel- la. Säteilylämmönsiirto ei tarvitse väliainetta ja se on tehokkainta tyhjiössä.

7.2 Kosteuden siirtymismuodot

Diffuusio

Vesihöyryn diffuusio tarkoittaa kaasuseoksessa (esim. ilma) vakiokokonaispaineessa tapahtuvaa vesihöyrymolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen vesihöyrypitoisuustai vesihöyryn osapaine-eroja. Vesihöyry siirtyy diffuusiolla materiaalikerroksen läpi korkeammasta pitoisuudesta matalampaan (ks. höyrynsulku).

Kapillaarivirtaus

Kapillaarivirtaus tarkoittaa huokosalipaine-eron aiheuttamaa nestemäisen veden siirtymistä aineen huokosissa. Huokosalipaine määritellään ilmanpaineen ja aineen huokosiin sitoutuneen veden paineen väliseksi paine-eroksi. Huokoiseen aineeseen sitoutuneen veden höyrynpaine on pienempi kuin vapaan veden höyrynpaine. Maaperässä siirryttäessä pohjaveden pinnasta ylöspäin pienenee huokosveden paine ilmaan nähden alipaineiseksi (ks. kosteuden-eristys).

Konvektio

Vesihöyryn konvektio tarkoittaa kaasuseoksen (esim. ilma) sisältämän vesihöyryn siirtymistä kaasuseoksen mukana sen liikkeessä kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Vesihöyryn konvektiota tapahtuu ulkopuolisen voiman (pakotettu konvektio) tai lämpötilaerojen aiheuttamien tiheyserojen (luonnollinen konvektio) vaikutuksesta. Vesihöyry siirtyy pakotetulla konvektiolla esimerkiksi ilmanvaihdon tai tuulen vaikutuksesta (ks. ilmansulku).

Paineenalainen siirtyminen

Paineenalainen siirtyminen tarkoittaa nestemäisen veden siirtymistä ulkoisen paineen (esim. pumppu tai painovoima) aiheuttaman vedenpaineen vaikutuksesta korkeammasta paineesta matalampaan paineeseen. Vesi siirtyy paineenalaisesti esimerkiksi vesijohtoverkostossa tai patojen ja säiliöiden seinämien läpi (ks. vedenpaineeneristys).

Painovoimainen siirtyminen

Painovoimainen siirtyminen tarkoittaa nestemäisen veden siirtymistä painovoiman vaikutuksesta alaspäin (esim. sade tai veden valuminen maaperässä) (ks. vedeneristys).

7.3 Muita rakennusfysiikkaan liittyviä käsitteitä

Höyrynsulku tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen vesihöyryn diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa.

Höyrynsulun vesihöyrynvastus on suuri. Usein höyrynsulkua käytetään samalla ilmansulkuna.

Ilmanläpäisevyys, κ_a (m^3/msPa), ilmoittaa ilman tilavuusvirran, joka jatkuvuustilassa laminaarisena virtauksena läpäisee kohtisuorasti aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuinen homogeenisen ainekerroksen, kun ainekerroksen eri puolilla olevien ilmatilojen paine-ero on yksikön suuruinen. Ilmanläpäisevyys on materiaaliominaisuus.

Ilmanläpäisykerroin, K_a ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{sPa}$), ilmoittaa ilman tilavuusvirran, joka jatkuvuustilassa laminaarisena virtauksena läpäisee kohtisuorasti aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakenneosan, kun rakenneosan eri puolilla olevien ilmatilojen paine-ero on yksikön suuruinen. Yksittäisen materiaalin ilmanläpäisykerroin voidaan laskea kaavasta $K_a = \kappa_a/d$, missä d on ainekerroksen paksuus.

Ilmanläpäisyvastus, S_a ($\text{m}^2\text{sPa}/\text{m}^3$), ilmoittaa tasapaksun ainekerroksen tai rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen paine-eron ja ainekerroksen tai rakennusosan läpi jatkuvuustilassa pinta-alayksikköä kohti siirtyvän ilman tilavuusvirran suhteen. Ilmanläpäisyvastus on ilmanläpäisykerroimen käänteisarvo.

Ilmansulku tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi puolelta toiselle. Ilmansulun ilmanläpäisyvastus on suuri. Ilmansulun lisäksi rakenteessa on aina oltava riittävä höyrynsulku.

Ilmanvuotoluku, n_{50} (1/h), kertoo kuinka monta kertaa rakennuksen sisätilavuus ilmaa vaihtuu tunnin aikana vaipan vuotokohdista, kun rakennuksessa vallitsee 50 Pa ali- tai ylipaine ulkoilmaan verrattuna. Ilmanvuotoluku lasjetaan jakamalla rakennukseen tuleva tai sieltä lähtevä vuotoilmavirta rakennuksen sisätilavuudella yhden tunnin aikana.

Kapillaarinen nousukorkeus tarkoittaa sitä korkeutta, johon vesi voi nousta kapillaarisesti materiaalin huokosissa, kun materiaalin alapinta on kontaktissa vesipintaan.

Kapillariteettikerroin, A_w ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}$), ilmoittaa vesimäärän, joka imeytyy kapillaarisesti huokosalipaineen vaikutuksesta materiaaliin pintayksikön suuruiselta alalta aikayksikön neliöjuuren pituisena aikana, kun materiaalin alapinta on kontaktissa vesipintaan.

Kondensoituminen tarkoittaa vesihöyryn tiivistymistä rakenteissa vedeksi tai jääksi, kun ilman vesihöyrypitoisuus on saavuttanut kyseisessä kohdassa kyllästyskosteuspitoisuuden ($\phi = 100\%$ RH). Kondensoitumista tapahtuu yleensä rakenteen pinnalla tai materiaalikerrosten rajapinnoissa.

Kosteuden-eristys tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen kosteuden siirtyminen kapillaarivirtauksena tai

vesihöyryn diffuusiona rakenteeseen ja rakenteessa.

Kyllästyskosteuspitoisuus ilmoittaa sen vesihöyrypitoisuuden, v (g/m^3), tai vesihöyryn osapaineen, p_v (Pa), joka ilmaan mahtuu tietyssä lämpötilassa.

Lämmönjohtavuus, λ (W/mK), ilmoittaa lämpö määrän, joka jatkuvuustilassa siirtyy aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero pintojen välillä on yksikön suuruinen. Lämmönjohtavuus on materiaaliominaisuus.

Lämmönläpäisykerroin, U ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), ilmoittaa lämpö määrän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakennososan, kun lämpötilaero rakennososan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen. Rakennusosan lämmönläpäisykerroin sisältää myös sisä- ja ulkopinnan lämmönsiirtokertoimet.

Lämmönvastus, R ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$), ilmoittaa tasapaksun ainekerroksen tai rakennusosan pinnoilla eri puolilla vallitsevien lämpötilojen eron ja ainekerroksen tai rakennusosan läpi jatkuvuustilassa pinta-alayksikköä kohti siirtyvän lämpövirran suhteen. Rakennusosan kokonaislämmönvastukseen lasketaan mukaan myös sisä- ja ulkopinnan lämmönvastukset (R_{si} ja R_{se}). Kokonaislämmönvastus on lämmönläpäisykerroimen käänteisarvo.

Materiaalin kosteuspitoisuus, u (kg/kg), w (kg/m^3) tai ψ (m^3/m^3), tarkoittaa kappaleessa olevan kosteuden massan tai tilavuuden suhdetta kappaleen kuivaan massaan tai tilavuuteen. Yleensä kosteuspitoisuus ilmoitetaan painoprosentteina laskettuna kappaleen kuivamassasta tai tilavuusprosentteina laskettuna kappaleen kuivatilavuudesta.

Suhteellinen kosteus, ϕ (% RH), ilmoittaa kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä kyllästyskosteuspitoisuuteen verrattuna tietyssä lämpötilassa. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan yleensä prosenttiosuutena.

Tuulensuoja tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuoliseen rakenteeseen osaan ja takaisin.

Tuuletustila tarkoittaa rakenteessa olevaa yhtenäistä ilmatilaa, jonka kautta rakennetta tuulettava ilmavirtaus kulkee, ja jonka korkeus tai paksuus ilmavirran suuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa on yli 200 mm.

Tuuletusväli tarkoittaa rakenteessa olevaa yhtenäistä ilmatilaa, jonka kautta rakennetta tuulettava ilmavirtaus kulkee, ja jonka korkeus tai paksuus ilmavirran suuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa on enintään 200 mm.

Vaipparakenne tarkoittaa rakennuksen ulkoilmaan tai maahan rajoittuvaa rakennusosaa. Vaipparakenteita ovat vesikatto + yläpohja, ulkoseinät, ovet, ikkunat ja alapohja.

Vedeneristys tarkoittaa ainekerrosta, joka saumoinen kestää jatkuvaa kastumista ja jonka tehtävänä on estää nestemäisen veden haitallinen tunkeutuminen rakenteeseen painovoiman vaikutuksesta tai kapillaarivirtauksena, kun rakenteen pinta kastuu.

Vedenpaineeristys tarkoittaa ainekerrosta, joka saumoinen ja tukirakenteinen kestää jatkuvaa vedenpainetta ja jonka tehtävänä on estää nestemäisen veden haitallinen tunkeutuminen rakenteeseen vedenpaineen vaikutuksesta.

Vesihöyrynläpäisyvyys, δ_v tai δ_p , ilmoittaa vesihöyrymäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun vesihöyrypitoisuuksien ero tai vesihöyryn osapaineen ero ainekerroksen eri puolilla on yksikön suuruinen. Vesihöyrynläpäisyvyys voidaan ilmoittaa joko vesihöyrypitoisuuden suhteen, δ_v (m^2/s), tai vesihöyryn osapaine-eron suhteen, δ_p (kg/msPa). Vesihöyrynläpäisyvyys on materiaaliominaisuus.

Eri tavoin ilmoitettujen vesihöyrynläpäisyvyyskierrosten välinen yhteys saadaan kaavasta:

$$\delta_p = \frac{M_v}{RT} \delta_v \quad (2)$$

missä M_v on vesihöyryn moolipaino (18,02 kg/kmol), R on yleinen kaasuvakio (8314,3 J/kmolK) ja T on ilman lämpötila (K).

Vesihöyrynläpäisykerroin, W_v (m/s) tai W_p ($\text{kg}/\text{m}^2\text{sPa}$), ilmoittaa vesihöyrymäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakennososan, kun rakennososan eri puolilla vallitsevien vesihöyrypitoisuuksien ero tai vesihöyryn osapaineiden ero on yksikön suuruinen. Yksittäisen materiaalin vesihöyrynläpäisykerroin voidaan laskea kaavasta $W = \delta/d$, missä d on ainekerroksen paksuus. Koko rakennusosan vesihöyrynläpäisykerroin sisältää myös sisä- ja ulkopinnan kosteudensiirtokertoimet.

Vesihöyrynvastus, Z_v (s/m) tai Z_p ($\text{m}^2\text{sPa}/\text{kg}$), ilmoittaa tasapaksun ainekerroksen tai rakennusosan pinnoilla eri puolilla vallitsevien vesihöyrypitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden eron ja ainekerroksen tai rakennusosan läpi jatkuvuustilassa pinta-alayksikköä kohti diffuusiolla siirtyvän kosteusvirran suhteen. Rakennusosan kokonaisvesihöyrynvastukseen lasketaan mukaan myös sisä- ja ulkopinnan vesihöyrynvastukset (Z_{si} ja Z_{se}). Vesihöyrynvastus on vesihöyrynläpäisykerroimen käänteisarvo.

Lähdeluettelo

- [1] Björkholtz D., Lämpö ja kosteus – Rakennusfysiikka, 3. p., Rakennustieto Oy, Helsinki, 2002.
- [2] Kosteus rakentamisessa – RakMK C2 opas, Ympäristöopas 51, Ympäristöministeriö, 1999.
- [3] Kylpyhuoneen remontti, Rakennustieto Oy, 2003.
- [4] Myllylä P., Lod T. (toim.), Pitkäikäinen puurakenteinen halli – Toimiva kosteustekniikka ja edullinen elinkaari, Tutkimusraportti 124, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikan laboratorio, 2003.
- [5] Nevander L.E., Elmarsson B., Fukthandbok – Praktik och teori, 2. ed., AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1994.
- [6] Pentti M., Hyypöläinen T. Ulkoseinäraakenteiden kosteustekninen suunnittelu, Julkaisu 94, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikan laboratorio, 1999.
- [7] Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet, RIL 107-2000, Suomen Rakennusinsinööriliitto, 2000.
- [8] RakMK C2, Kosteus – Määräykset ja ohjeet 1998, Ympäristöministeriö.
- [9] Talonrakennuksen routasuojausohjeet, 2. p., VTT ja Rakennustieto Oy, Helsinki, 2007.
- [10] Vesivahinkojen ehkäiseminen rakentamisessa, Ympäristöopas 111, Ympäristöministeriö, 2004.
- [11] SFS-EN 12524, Rakennusmateriaalit ja -tuotteet. Lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Taulukoidut suunnitteluarvot, Suomen Standardoimisliitto, 2002.
- [12] Vinha J., Valovirta I., Korpi M., Mikkilä A., Käkälä P. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona, Ulkoseinäraakenteiden kosteustekninen suunnittelu, Tutkimusraportti 129, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2005.
- [13] RakMK D3, Rakennusten energiatehokkuus – Määräykset ja ohjeet 2007, Ympäristöministeriö.
- [14] RakMK C3, Rakennusten lämmöneristys – Määräykset 2007, Ympäristöministeriö.
- [15] RakMK D2, Rakennusten sisäilmastasto ja ilmanvaihto – Määräykset 2003, Ympäristöministeriö.
- [16] RakMK D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta – Ohjeet 2007, Ympäristöministeriö.
- [17] RakMK C4, Lämmöneristys – Ohjeet 2003, Ympäristöministeriö.
- [18] Lämmöneristysmääräysten 2003 täyttäminen – Lämpöhäviöiden tasaus ja U-arvon laskenta. Ympäristöopas 106, Ympäristöministeriö, 2003.
- [19] Teollisen talovalmistuksen ilmanpitävyyden laadunvarmistus. (julkaistaan RT-kortistossa v. 2008)
- [20] SFS-EN 10456, Rakennusaineet ja tuotteet. Menetelmät ilmoitetun lämpöteknisen arvon ja lämpöteknisen suunnitteluarvon määrittämiseksi, Suomen Standardoimisliitto, 2001.
- [21] SFS-EN ISO 6946, Rakennuskomponentit ja -osat. Lämmönjohtavuus ja lämmönläpäisykerroin. Laskentamenetelmä, Suomen Standardoimisliitto, 1998.
- [22] SFS-EN ISO 10077-1, Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 1: General, Suomen Standardoimisliitto, 2006.
- [23] Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta – Ohje standardien SFS-EN ISO 10456 ja SFS-EN ISO 6946 soveltamiseen, RIL 225-2004, Suomen Rakennusinsinööriliitto, 2004.
- [24] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta, 765/2007.
- [25] Laki rakennuksen energiatodistuksesta, 487/2007
- [26] SFS-EN ISO 13790, Thermal performance of buildings. Calculation of energy use for space heating, Suomen Standardoimisliitto, 2004.
- [27] Vinha J., Korpi M., Kalamies T., Eskola L., Palonen J., Kurnitski J., Valovirta I., Mikkilä A., Jokisalo J. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmativiys, Tutkimusraportti 131, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikan laboratorio, 2005.
- [28] Asumisterveysohje – Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät, Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1.
- [29] Paloniitty S., Rakennuksen lämpökuvaus, Hämeen ammattikorkeakoulu, Hämeenlinna, 2004.
- [30] RT 14-10850, Rakennuksen lämpökuvaus – Rakenteiden lämpötekninen toimivuus, Rakennustietosäätiö RTS, 2005.
- [31] Leivo V., Rantala J. Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus, Tutkimusraportti 139, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, 2005.
- [32] Vinha J. Hygrothermal performance of Timber-Framed External Walls in Finnish Climatic Conditions: A Method for Determining the Sufficient Water Vapour Resistance of the Interior Lining of a Wall Assembly, Doctoral dissertation, Tampere University of Technology, Tampere, 2007.