



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet

Juha Vinha, tekniikan tohtori

Yliassistentti, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan 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 ja ilmanvaihdon merkitystä rakennusfysikaalisessa suunnittelussa. 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 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 liittyy rakennuksen lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Toisaalta jatkuvasti kiristyvät energiankulutusmääräykset ja sisäilman laatusovaatimukset tuovat lisää haasteita rakennusfysikaaliseen suunnitteluun.

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

Lämpö

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

Kosteus

- 1) estää ja rajoittaa ylimääräisen kosteuden tunkeutumista rakenteisiin

- 2) varmistaa rakenteiden riittävä kuivumiskyky
- 3) ehkäistä rakenteiden ja materiaalien turmelumista
- 4) parantaa sisätilojen kosteusviihtyvyyttä.

Ilma

- 1) parantaa rakennusvaipan ilmanpitävyyttä
- 2) ehkäistä ilmavirtausten aiheuttamia haittavaikutuksia rakennuksen sisällä ja vaipparakenteissa
- 3) parantaa sisäilman laatua.

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

Rakennusfysikaalinen suunnittelu voidaan suureksi osaksi tehdä ilman laskentatarkasteluja siten, että rakenteet ja liitokset suunnitellaan toimiviksi edellä esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Kirjallisuudessa on esitetty toteutusohjeita ja rakenneleikkauksia hyvistä rakenneratkaisuista [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11] ja [12]. Suunnittelua varten tarvitaan kuitenkin jatkossakin uusia ohjeita ja esimerkkirakenteita, joissa otetaan entistä paremmin huomioon mm. kasvavat lämmöneristepaksuudet, sisä- ja ulkopuolen lämpötila- ja 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 rakenneratkaisut ja liitokset ovat useimmissa tapauksissa kompromisseja, joissa on jouduttu tinkimään ideaalisesta lämpö- tai kosteusteknisestä toiminnasta, jotta rakenne olisi kokonaisuutena toimiva. Suunnittelijan on punnittava eri vaihtoehtoihin liittyviä hyviä ja huonoja puolia ja arvioitava 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 kapillari-teettikertoimen, kosteusdiffusiviteetin ja kapillaarisen nousukorkeuden avulla, vesitiiviys sekä ilmanläpäisevyys/-läpäisyvastus. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaalisia ominaisuuksia on esitetty mm. lähteissä [1], [6], [13] ja [14]. Täältäkin osin tarvitaan kuitenkin lisää tutkimustietoa, sillä monien materiaalien osalta ominaisuudet puuttavat joko kokonaan tai osittain. Materiaaliominaisuuksien tunteminen on erityistä 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 homeutumisriskitarkastelut, kylmäsiltojen tarkastelut 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 epäohjonmukaiset 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 uudistuivat vuoden 2008 alussa. Niiden mukaisesti rakennuksille tehdään nykyisin energiaselvitys, joka sisältää yleensä seuraavat tarkastelut [15]:

- rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittaminen
 - ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskenta
 - rakennuksen lämmitystehon laskenta
 - arvio kesäaikaisesta huonelämpötilasta ja tarvittaessa jäädytystehon laskenta
 - rakennuksen energiankulutuksen laskenta
 - rakennuksen energiatodistuksen teko.
- Kovaa muutosvauhtia lämpötekniisen suunnittelun osalta kuvaa se, että parhaillaan on käynnissä jo seuraavien määräysten ja ohjeiden valmistelytyö. Nämä määräykset ja ohjeet on tarkoitus tulla voimaan v. 2010 alusta.

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

Arvio kesäaikaisesta huonelämpötilasta ja rakennuksen energiankulutuksen laskenta ovat tarkastelua, jotka eivät olleet aiemmin pakollisia. Energiatodistuksen laatiminen on kokonaan uusi osatehtävä. Lisäksi lämpöhäviö- ja energiankulutuslaskelmat voidaan tehdä joko kansallisia tai eurooppalaisia laskentamenetelmiä ja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja käytäten. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lämpötekniinen suunnittelu on tarkentunut ja monimutkaistunut ja siihen kuluva aika on lisääntynyt 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

Rakennusosat mitoitetaan lämpötekniisesti siten, että niiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot täyttävät RakMK C3:ssa [16] annetut määräykset. Mitoitus voidaan tehdä niin, että kaikki yksittäiset rakennusosat täyttävät niille asetetut U-arvomääräykset. Tällöin rakennuksessa tulee olla ilmanvaihdon yhteydessä myös lämmönläpäänotto, jonka vuosiyhtäsuhte on vähintään 30 % [17]. Lisäksi oletetaan, että rakennuksen ilmanpitävyys vastaa ilmavuotoluokaa (n50-luku) 4,0 l/h [15] ja [18].

Toinen tapa on tehdä mitoitus niin, että koko rakennuksen lämpöhäviö on enintään saman- suuruinen kuin ns. vertailuratkaisun avulla laskettu lämpöhäviö (kompensaatiomenetelmä) [19], [20]. Vertailuratkaisun lämpöhäviö laske- taan käyttämällä rakenneosien U-arvoina, läm-

möntalteenoton vuosihyötösuhteena ja vaipan ilmavuotolukuna määräysten mukaisia raja-arvoja. Mikäli jonkun rakennusosan U-arvo on todellisuudessa määrärayksissä annettua arvoa suurempi, tämä ero voidaan kompensoida parantamalla muiden rakennusosien U-arvoa, lämmöntalteenoton vuosihyötösuhdetta tai rakennuksen ilmanpitävyyttä vertailuratkaisuun verrattuna.

Rakennuksen ilmanpitävyyden parantaminen edellyttää yksittäisten rakennusten osalla ilma-avuotoluvun (n50-luku) mittausta, jolla parempi ilmanpitävyys osoitetaan. Teollisilla taloalmistajilla on lisäksi mahdollisuus tehdä tuotteilleen laadunvarmistusjärjestelmä, jonka puitteisissa erilaisille talotyypeille voidaan taata tietty ilmavuotoluku [21].

Rakennusosan U-arvo voidaan määrittää käyttäen materiaalien lämmönjohtavuuksina kansallisia normaalin lämmönjohtavuuden arvoja, λ_n , tai eurooppalaisia suunnitteluarvoja, λ_{design} . Mittattujen lämmönjohtavuusarvojen, λ_{10} , muuntaminen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoiksi on esitetty mm. lähteissä [22] ja [23]. Normaalin lämmönjohtavuuden arvoja on annettu RakMK C4:ssä [19] ja eurooppalaisia suunnitteluarvoja standardissa SFS-EN 12524 [13]. Lisäksi materiaalivalmistajat ovat määrittäneet omille tuotteilleen kumpiakin suunnitteluarvoja.

Myös rakennusosan U-arvon laskenta on erillinen riippuen siitä, kumpia lämmönjohtavuusarvoja laskennassa käytetään. Eurooppalaisilla suunnitteluarvoilla laskettaessa käytetään standardissa SFS-EN ISO 6946 [24] esitettyä menetelmää, jossa rakenteen lämmönvastukselle lasketaan sekä ylä- että alalikiarvo ja vastukseksi valitaan näiden arvojen keskiarvo. Normaalisisällä lämmönjohtavuuksilla laskettaessa käytetään RakMK C4:ssä [19] esitettyä menetelmää, jossa rakenteen lämmönvastukselle lasketaan pelkästään alalikiarvo. Tämä arvo on jonkin verran varmalla puolella verrattuna standardin SFS-EN ISO 6946 [24] mukaan laskettuun arvoon.

Ikkunoiden ja ovien U-arvojen laskentaan varten on vastaavalla tavalla olemassa kansalliset laskentaohjeet RakMK C4:ssä [19] ja eurooppalaiset laskentaohjeet standardissa SFS-EN ISO 10077-1 [25]. Käytännössä ikkuna- ja ovi valmistajat määrittävät tuotteilleen jo valmiiksi U-arvot, joten näitä laskelmia ei yleensä tarvitse tehdä suunnittelun yhteydessä. Ikkunoiden energiateknistä suunnittelua on käsitelty tarkemmin mm. lähteessä [26]

Merkittävin ero kansallisten ja eurooppalaisten 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 suunnittelu-

arvot 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 [27].

Edellä kuvatuista syistä johtuen eurooppalaisia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja ja laskentamenetelmää käytettäessä vaipparakenteille saadaan yleensä parempi U-arvo kuin RakMK C4 avulla laskettuna. Suunnittelu tehdäänkin yhä useammin näillä eurooppalaisilla arvoilla. Käytännössä kahden suunnittelumenetelmän käyttö rakennusosien U-arvon laskennassa aiheuttaa sekavuutta ja hämmennystä. Olisikin toivottavaa, että mahdollisimman pian päästäisiin yhtenäiseen suunnittelukäytäntöön.

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 isännöitsijätodistusta tai erillisenä todistuksena. Enintään 6 asunnosta koostuville vanhoille rakennuksille energiatodistuksen teko on vapaaehtoinen. Energiatodistuksessa esitetään rakennuksen energiatehokkuusluokka, laskennallinen tai mitattu energiankulutus, laskennallisen tarkastelun lähtötiedot sekä parannus- ja korjausohjeet energiankulutuksen pienentämiseksi. Uusille palvelu- ja liikerakennuksille sekä uusille yli kuudesta asunnosta koostuville asuinrakennuksille energiatodistus on voimassa 4 vuotta. Muille rakennuksille voimassaoloaika on 10 vuotta. [28]

Energiatodistusta koskeva vaatimus ei koske [29]:

- 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 alakohtainen energiatehokkuussopimus
- 5) rakennusta, joka on suojeltu tai joka Museoviraston tekemässä inventoinnissa on määritelty kulttuurihistoriallisesti merkittäväksi
- 6) kirkkoa tai muuta uskonnollisen yhdyskunnan omistamaa rakennusta, jossa on vain kokoontumiseen tai hartauden harjoittamiseen taikka näitä palvelemaan toimintaan tarkoitettuja tiloja.

Energiatodistuksen laatimista käsittelevät tarkemmat ohjeet löytyvät vuonna 2008 ilmestyneestä Ympäristöministeriön julkaisusta [30].

Samassa yhteydessä rakennuksen energiankulutuksen kansalliset laskentaohjeet RakMK D5 [18] muuttuivat huomattavasti aiempaa yksityiskohtaisemmiksi ja tarkemmiksi. Tässäkin tapauksessa energiankulutuksen laskenta voidaan tehdä myös eurooppalaisen energiankulutuksen laskentastandardin SFS-EN ISO 13790 [31] 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 energiankulutukseen. Omakotitalojen energiankulutus neliötä kohti voi olla moninkertainen verrattuna toisiin vastaavana aikana ja vastaavilla ohjeilla toteutettuihin taloihin [32] ja [33].

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

- Monien rakennusmateriaalien lämmönjohtavuudet ovat todellisuudessa pienempiä kuin suunnittelussa käytettävät arvot.
- Massiivirakenteet, joissa ei ole erillistä lämpöeristettä, vараavat auringon säteilylämpöä ulkoapäin, 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.
- Monet vaipan kylmäsilloista jätetään ottamatta laskennassa huomioon (ks. luku 2.5).
- Rakennusvaipan lämmöneristyskyky riippuu oleellisesti siitä, kuinka huolellisesti lämmöneriste, tuulensuoja ja höyryn-/ilmansulku on asennettu rakenteeseen. Erilaiset raot eristekerrosten ja rungon välisissä saumakohtaisissa lisäivät rakenteen sisäistä konvektiota ja heikentävät lämmöneristystä (ks. luku 2.6).

Myös ilmanvaihdon määrä voi olla todellisuudessa erilainen kuin laskelmissa johtuen mm. siitä, että ilmanvaihtoa säädetään sen synnyttämän melun, vedon tunteen tai tunkkaisen ilman vuoksi tai sen mukaan ollaanko kotona. Asuinrakennuksissa ei myöskään yleensä saavuteta tilakohaisia ilmanvaihtomääriä esimerkiksi makuuhuoneissa [32] ja [33].

2.4 Kesäaikaiset huonelämpötilat

Uusissa rakennusmääräyksissä painotetaan entistä enemmän kesäaikaisten huonelämpötilojen alentamista sellaisten rakenteellisten suunnitte-

luratkaisujen avulla, jotka vähentävät auringon rakennukselle aiheuttamaa lämpökuormaa [15]. Tällaisia rakenteellisia keinoja ovat mm. erilaisen lippojen, markiisien, kaihtimien ja auringonsuojalasin käyttö sekä suurten ikkunapintojen välttäminen auringon säteilyllä alttiilla seinä- ja kattopinnoilla. Vasta rakenteellisten keinojen jälkeen rakennuksissa tulee käyttää koneellista jäähdytystä. Sisälämpötilan kuukausikeskiarvon sallittu yläraja on yleensä +25 °C [15].

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 jäähdytystä. Jäähdytyksen tarve on otettava huomioon varsinkin silloin, kun suunnitellaan erittäin hyvin eristettyjä matala-energiataloja.

2.5 Kylmäsilat ja ilmavuodot

Kun osoitetaan rakennusosien lämmönläpäisykertoimien (U-arvot) määräystenmukaisuus, ei kaikkia rakennuksen vaipan kylmäsiltoja tarvitse ottaa huomioon. Lämmönläpäisykertoimessa otetaan huomioon vain ne kylmäsilat, jotka ovat ko. rakennusosaan olennaisesti kuuluvia komponentteja kuten lämmöneristyksen läpäisevät tai sitä paikallisesti ohentavat siteet, kannakset sekä tuki- ja runkorakenteet. Tyypillistä on, että tällaisia kylmäsiltoja joudutaan tekemään ko. tyyppiseen rakennusosaan suunnitelukohteesta riippumatta ja ne ovat sen käytön välttämätön edellytys. [20].

Kylmäsilatyyppit, joita ei ole tarpeen ottaa huomioon osoitettaessa määräystenmukaisuus, ovat [20]:

- rakennuksen vaipan nurkkauksiin muodostuvat rakenteelliset tai geometriasta johtuvat kylmäsilat (ulkoseinien nurkkaus, ulkoseinän ja yläpohjan nurkkaus palkistoinen)
- rakennuksen vaipan ja väliseinien tai välipohjan liitoksiin muodostuvat kylmäsilat (kantavat palkit tms. tukirakenteet)
- ikkuna- ja oviaukkojen pielarakenteiden muodostamat kylmäsilat
- ulkoseinän, alapohjan ja perusmuurin liitokseen muodostuvat kylmäsilat (esim. perusmuurin päällä oleva puurunkoseinän alaohjauspuu)
- vaipan lämmöneristyksen läpäisevä tai sitä ohentava parvekkeen kannatus, kantava pilari tms. yksittäiselle suunnitelukohteelle ominainen ratkaisu
- vaipan lämmöneristyksen läpäisevä tai sitä ohentava hormi, kanava, putki tms. rakenne, joka yleensä on osa talotekniikan järjestelmää.

Asuinrakennusten ja muiden oleskelutilojen sisäpintojen lämpötekniistä toimintaa tarkistetaan yhä useammin lämpökamerakuvausella, jonka tarkoituksena on selvittää onko vaipparakenteissa haitallisia kylmäsiltoja tai ilmapuotokoh- tia. Mitattujen sisäpinnan lämpötilojen avulla vaipparakenteille lasketaan niin sanottu lämpötilaindeksi, TI, kaavalla:

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

jossa T_{si} on sisäpinnan lämpötila (°C), T_i on sisäilman lämpötila (°C) ja T_e on ulkoilman lämpötila (°C). Lämpötilaindeksiä määrittäessä 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 puutteita läm- möneristyksessä. Asumisterveysohjeessa [34] on annettu seinälle, lattialle ja pistemäiselle pinta- lämpötilalle lämpötilaindeksin raja-arvoja, jotka vastaavat hyvää tai välttävää tasoa. Pistemäiselle pinta- lämpötilalle annettuja raja-arvoja käytetään mm. läpivientien, ikkunoiden, ovien, ikkuna- ja ovikarmien, seinänurkkien, seinien ja lattian sekä seinien ja katon liitoskohtien hyväk- syyttävyyttä arvioitaessa. Katolle voidaan käyt- tää seinille annettuja raja-arvoja.

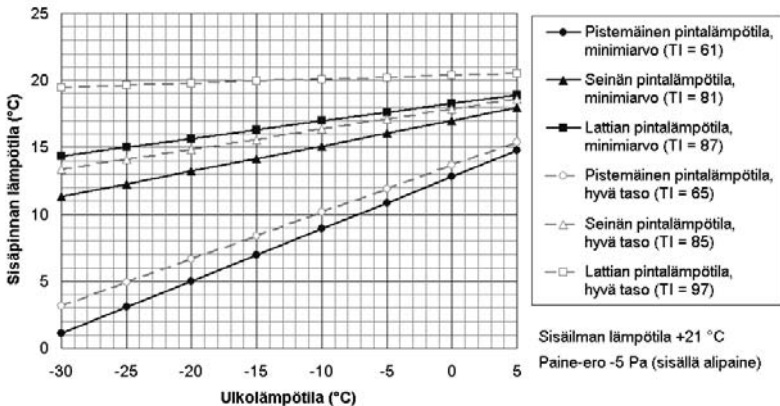
Kuvassa 1 on esitetty lämpötilaindeksien raja- arvojen avulla saadut pinta- lämpötilan sallitut minimiarvot (välttävän tason minimiarvot) ja hyvää tasoa vastaavat minimiarvot ulkolämpötilan funktiona. Kuvassa esitetyt pinta- lämpötilojen arvot pätevät silloin, kun sisäilman lämpö-

tila on +21 °C ja sisällä on enintään 5 Pa alipaine (perustapaus). Mikäli rakennuksessa on suu- rempi alipaine kuin 5 Pa, paine-eron vaikutus tulee ottaa pinta- lämpötilan arvioinnissa erikseen huomioon esimerkiksi lähteessä [35] esitetyllä tavalla.

Pääsääntöisesti rakenne tulee korjata, mikäli pinta- lämpötila jää kuvassa 1 annettujen minimi- arvojen alapuolelle. Joidenkin yleisesti hyväk- sytytjen rakenneratkaisujen osalta (esim. nurk- kaikkunat, yksinkertaiset parvekeovet ja ovien ja ikkunoiden tiivistees) voidaan kriteeriä tarvit- taessa väljentää, jos lämpöviihtyvyyden alene- minen voidaan korvata muulla tavoin eikä siitä aiheudu haittaa käyttäjille ja rakennukselle [36]. Uudisrakentamisessa tulee kuitenkin aina pyr- kiä pinta- lämpötilojen osalta hyvään tasoon.

Sisäpintojen lämpötilalla on merkitystä kah- desta syystä. Ensinnäkin alhainen pinta- lämpötila voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä ja ho- meen kasvu rakenteen sisäpintaan, koska il- man suhteellinen kosteus pinnan lähellä nousee. Toisaalta alhainen pinta- lämpötila aiheuttaa ih- misille vilun ja vedon tunnetta lämmön siirtyes- sä säteilemällä ihmisen iholta viileisiin pintoi- hin. Näin ollen sisäpinnan lämpötila on myös tärkeä sisäilman laatu- tekijä.

Nykyisin käytössä olevat rakennuksen run- korakenteet eivät yleensä muodosta liian voima- kasta kylmäsiltaa rakenteeseen, jos läm- möneristys on asennettu niiden ympärille huolelli- sesti. Lisäksi rungon kylmäsilta- vaikutusta voi- daan pienentää tehokkaasti ristikoolauksien avulla. Yleensä puutteet liittyvätkin juuri läm- möneristyksen valintaan ja asennukseen (ks. luku 2.6) sekä rakenteiden ilmapuotoihin (ks. luku 4).



Kuva 1. Pinta- lämpötilojen sallitut minimiarvot sisällä, kun sisä- lämpötila on +21 °C ja sisällä on enintään 5 Pa alipaine ulkoilmaan nähden.

Rakenteiden läpi tapahtuvat ilmavuodot tulevat paremmin näkyviin, jos lämpökamerakuvausten yhteydessä rakennuksen sisälle säädetään alipaine. Usein käytetään 50 Pa alipainetta, joka on sama kuin rakennuksen ilmavuotolukua määritettäessä. Lämpötilaindeksin laskentakava on kuitenkin voimassa ainoastaan silloin, kun rakenteen yli ei ole merkittävää paine-eroa. Ilmavutojen hyväksyttävyyden arviointia varten tarvittaisiinkin omat ohjeet, jotka perustuisivat pintalämpötilan muutokseen alipaineen vaikutuksesta.

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 lämmöneristeen on pyrittävä asentamaan siten, että niille varatun eristetilän pintojen ja eristeiden väliin ei jää ilmarakojia. Lisäksi eristeissä tulee olla mahdollisimman vähän saumoja ja päällekkäiset saumat tulee asettaa eri kohdille. Seinärakenteissa sisäistä konvektiota voidaan estää myös eristekerrosten väliin asennettavalla pystysuuntaisella ilmansulkukalvolla, jolla on pieni vesihöyrynvastus.

Solumuovieristeen (PUR, EPS ja XPS) toimivat puu- ja teräsrunkoisissa yläpohjissa ja ulkoseinissä myös ilmansulkuna. Lisäksi PUR ja XPS eristelevyt toimivat tarvittaessa rakenteen sisäpinnassa höyrynsulkuna. Solumuovieristeiden saumat ja jatkokohdat tulee tiivistää huolellisesti polyuretaanivaahdon avulla, jotta rakenteesta tulee ilmanpitävä (ks. luku 4). Puurunkoa ei saa jättää kokonaan solumuovieristeen sisään, vaan sen tulee päästä kuivumaan ulospäin.

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

Lämmöneristeen on suositeltavaa asentaa kuivina, sillä ylimääräinen kosteus voi aiheuttaa rakenteessa kosteusongelmia. Mikäli käytetään kosteana tai märkänä ruiskutettavaa irtoeristettä, on varmistuttava siitä, että eriste on kuivunut riittävästi ennen kuin sen sisäpinta suljetaan

höyrynsulkukerroksella. Tällöin on myös suositeltavaa, että höyrynsulkuna käytetään vesi-höyryä jonkin verran läpäisevää, mutta kuitenkin riittävän vesihöyrynvastuksen omaavaa materiaalia (ks. luku 3.2). Kosteana tai märkänä ruiskutettavia eristeitä käytettäessä eristystyö olisi myös hyvä ajoittaa kevät- tai kesäaikaan kuivumiskyvyn lisäämiseksi.

Kosteutta sitovan avohuokoisien lämmöneristeen käyttö ei korvaa rakenteen sisäpintaan laitettavaa riittävää höyrynsulkua. Kosteutta sitova eriste kykenee kuitenkin tasaamaan ajoittaisia pieniä kosteusrasituksia rakenteessa. Kosteutta sitova lämmöneriste kostuu hitaammin syksyllä ja kuivuu hitaammin keväällä kuin kosteutta sitomaton lämmöneriste. [37]

3 Rakennusten kosteustekninen suunnittelu

3.1 Vaipparakenteiden suunnittelu

Suurin osa rakennuksen kosteusteknisestä suunnittelusta liittyy vaipparakenteiden kosteustekniseen toiminnan varmistamiseen.

Rakentamismääräysten mukaan rakenteet on suunniteltava ja rakennettava siten, että niihin ei aiheudu kosteudesta rakenteellisia, toiminnallisia tai esteettisiä vikoja rakenteen käyttöä aikana. Rakenteissa oleva kosteus ei saa myöskään aiheuttaa rakennuksen käyttäjille tai naapureille hygieniä- tai terveyshaittoja [9].

Vaipparakenteet suunnitellaan kosteusteknisesti käytännössä siten, että rakenteisiin laite-taan erilliset kerrokset suojaamaan niitä kosteusrasituksilta ja toisaalta rakenteet suunnitellaan niin, että ne pääsevät kuivumaan. Lisäksi tulee kiinnittää huomiota oikeiden materiaalien käyttöön ja liitoksien ja detailjen 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 vesi-höyrytyylin pinnan väliin ilman tuuletusmahdollisuutta. Tämä koskee erityisesti puuta ja puupohjaisia materiaaleja sisältäviä rakenne-

kerroksia. Vaipparakenteissa tulisi aina olla yhtenäinen tuuletusväli tai tuuletustila lämmöneristeen kylmällä puolella. Kapean tuuletusvälin toimintaan tulee kiinnittää huomiota, sillä usein se on pientynyt tai tukkeutunut esimerkiksi muurauslaastin tai turvonneiden tuulensuojalevyjen takia. Käytännössä on myös vaipparakenteita, joissa ei ole tuuletusta tai se on vähäistä (esim. ohutlevypeltilementit, teräspöimulevykatot ja kevytsorakatot). 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 detailjit tulee tehdä niin, että

- kosteutta ei pääse liitoksien kautta vaipparakenteisiin
- rakenteisiin päässyt kosteus ei kerry liitosalueelle, vaan pääsee kuivumaan pois rakenteesta
- liitosalueelle ei synny kylmäsiltoja, jotka aiheuttavat kosteuden kondensoitumista tai homeen kasvua liitoskohdassa.

Tärkeä perussääntö liitoksia tehtäessä on, että puurakenteet erotetaan aina maata vasten olevista kivirakenteista kosteudeneristeellä.

Käytettävät rakennusmateriaalit tulee valita käyttötarkoitukseen soveltuviksi. Tätä varten materiaalien rakennusfysiikaaliset ominaisuudet tulee tuntea riittävän tarkasti eri lämpötila- ja kosteusolosuhteissa (ks. luku 1). Myös materiaalien ikääntymisestä aiheutuvat mahdolliset ominaisuuksien muutokset on tunnettava. Mitä kosteampiin olosuhteisiin materiaali laitetaan sitä kosteutta kestävämpi, elämättömämpi ja kuivumiskykyisempi sen tulee olla (esim. märkätiloissa betoni-, harkko- tai tiilipinnat). Materiaalit on myös aina suojattava kosteudelta kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aikana.

Rakennusfysiikaalisessa suunnittelussa on tilanteesta riippuen otettava huomioon myös materiaaleista lähtevät päästöt. Tätä varten on kehitetty mm. rakennusmateriaalien päästöluokitus [38] ja [39], jossa materiaalit on jaettu erilaisiin päästöluokkiin riippuen niistä lähtevistä epäpuhtauksista.

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 suhteellista kosteutta). Kosteuden kondensoituminen alkaa, kun ilman suhteellinen kosteus saavuttaa 100 % RH eli ilman kyllästyskosteuspitoisuuden. Home-suoja-aineiden käyttö herkästi homehtuvissa materiaaleissa (esim. luonnonkuitupohjaiset lämmöneristeet ja rakennuslevyt) antaa rakenteen kosteustekniseen toimintaan lisävarmuutta. Rakenteen tulee kuitenkin pyrkiä suunnittelemaan aina siten, että homeen kasvulle suotuisia olosuhteita esiintyy mahdollisimman vähän riippumatta siitä onko materiaaleissa käytetty home-suoja-aineita.

Vaikka vaipparakenne olisi suunniteltu ja toteutettu rakennusfysiikaalisen toiminnan osalta hyvin, Suomen ilmasto-olosuhteissa rakenteiden ulko-osiin voi ajoittain kondensoitua kosteutta ja muodostua homeita. Tyypillisesti tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi alapohjarakenteet. Ryömintätilaisissa alapohjissa on varsinkin sateisina kesinä suuri riski homeen muodostumiselle, vaikka alapohja olisi toteutettu ohjeiden mukaisesti (ks. luku 6.3). Myös maanvastaisissa alapohjissa lämmöneristeen alapinnassa esiintyy usein homeita johtuen siitä, että maapohjan olosuhteet ovat tyypillisesti suotuisat homeen kasvulle [40]. 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 aineenvaihduintatuotteet 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. lujuuden alentuminen, muodonmuutokset, pintojen halkeilu ja rapautuminen, lämmöneristävyuden 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 lämpötilan ollessa 0 °C yläpuolella. Tätä suhteellisen kosteuden arvoa voidaankin pitää monissa tapauksissa rakenteen hyvän kosteusteknisen toiminnan kannalta kriittisenä kosteutena, jota ei tulisi ylittää.

Vanhjoja taloja korjattaessa oikeiden ratkaisujen löytäminen on usein vaikeaa, koska olemassa olevat rakenteet hankaloittavat toimivan rakenteen toteuttamista. Lisäksi rakenteiden korjaus halutaan tehdä mahdollisimman pienin kustannuksin. Rakenteiden korjaaminen edellyttää kuitenkin aina talon rakeneratkaisujen tuntemista ja asiantuntijan laatimaa korjaussuunnitelmaa. Tämä on erittäin tärkeää esimerkiksi silloin, kun tehdään sauna- ja pesutiloja ta-

loon, 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 osateki- ja 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 tasoittumaan 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 jäätymä 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 riittävän vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulku. Ilmansulun tehtävänä on estää konvektiolla tapahtuva kosteuden siirtyminen sisäilmasta rakenteeseen ja höyrynsulun tehtävänä on estää/rajoittaa sisäilmasta diffuusiolla tapahtuvaa kosteuden siirtymistä rakenteeseen. Yleensä höyryn- ja ilmansulkuna käytetään samaa ainekerrosta (esim. muovikalvoa, solumuovieristelevyä tai peltiä). Rakenne voidaan kuitenkin toteuttaa myös niin, että kerrokset ovat erikseen. Ilmanpitävyyden varmistamiseksi myös ilmansulun liitos- ja jatkoskohdat on tehtävä mahdollisimman tiiviiksi (ks. luku 4).

Avohuokoisia lämmöneristeitä käytettäessä höyrynsulun vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen tuulensuojakerroksen vastukseen verrattuna [9]. Yläpohjarakenteissa ja ryömintätalissa alapohjarakenteissa vesihöyrynvastuksen tulee olla lisäksi vähintään $110 \times 10^3 \text{ s/m}$ ($15 \times 10^9 \text{ m}^2\text{Pa/kg}$) [8]. Ulkoseinä- ja alapohjarakenteissa suositeltava arvo on vähintään $55 \times 10^3 \text{ s/m}$ ($7,5 \times 10^9 \text{ m}^2\text{Pa/kg}$) [35]. Höyrynsulkusi tulee valita muovikalvo, mikäli tuulensuojana käytetään kalvoa, jonka vesihöyrynvastus on suurempi kuin $1 \times 10^3 \text{ s/m}$ ($0,13 \times 10^9 \text{ m}^2\text{Pa/kg}$) [35].

Ilman- ja höyrynsulkuiksi kelpaavat mm. muovikalvo, muovitetut paperit, alumiinipaperi, pelti sekä PUR- ja XPS-levyt. Höyrynsulkumuoviksi tulee valita rakennusmuoviksi tarkoitettu polyeteenikalvo, joka on UV-suojattu. Myös puhtaaksi muurattu tai tasoitettu tiiliseinä, tasoitettu harkkoseinä, kevytbetoniseinä, paikalla valettu betonirakenne ja betonielementti toimivat riittävästi ilman- ja höyrynsulkuna kunhan elementtien väliset saumat ja liikutussaumot tiivistetään huolellisesti (ks. luku 4).

Nykyisin on saatavilla myös höyrynsulkukalvoja, joiden vesihöyrynvastus pienenee suhteellisen kosteuden kasvaessa (ns. hygrokalvo). Nämä kalvot mahdollistavat rakenteen kuivumisen sisäänpäin silloin, jos rakenteeseen on päässyt ylimääräistä kosteutta. Hyviä käyttökohteita näille kalvoille ovat mm. heikosti tuuletuttavat tai tuulettumattomat kattorakenteet ja vaipparakenteet, joiden sisäpuolella lämpötila on ajoittain tai jatkuvasti alempi kuin ulkolämpötila.

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 heikkene ajan kuluessa. Lisäksi tulee varmistua siitä, että pintakäsittelyt pysyvät rakenteessa koko sen käyttöajan. Muussa tapauksessa pintakäsittelyt antavat rakenteiden kosteustekniseen toimintaan ainoastaan lisävarmuutta.

3.3 Sisätilojen kosteusviihtyvyyden parantaminen

Kosteusteknisen suunnittelun avulla voidaan tarvittaessa pyrkiä parantamaan myös sisätilojen kosteusviihtyvyyttä. Keskeisin osatekijä kosteusviihtyvyyden kannalta on toimiva ilmanvaihto, joka poistaa ylimääräistä kosteutta sisäilmasta.

Talviaikaan ongelmana on kuitenkin yleensä se, että sisäilma on liian kuivaa, koska ulkoilman vesihöyrypitoisuus on alhainen. Tällöin on

tärkeää, että vaipparakenteiden sisäpinnassa on riittävän tiivis hyörynsulku, sillä muuten sisäilman kosteus siirtyy seinärakenteisiin ja sisäilma kuivuu entisestään [32].

Kosteutta sitovilla eli hygrooskoopisilla rakenteiden pintamateriaaleilla voidaan vaimentaa sisäilman suhteellisen kosteuden vaihteluita. Asuinrakennuksissa sillä ei ole kovin suurta merkitystä, koska asunnossa olevat huonekalut, tekstiilit ja kirjahyllyt jne. muodostavat jo tyyppillisesti riittävän suuren hygrooskoopisen massan, joka tasaa sisäilman kosteusvaihteluita [32] ja [33]. Suurempi merkitys hygrooskoopisilla pintamateriaaleilla voi olla esimerkiksi museoissa ja kirkkoissa, joissa suhteellisen kosteuden vaihtelu voi turmella taideteoksia.

4 Rakennuksen ilmanpitävyyden parantaminen

Rakennuksen vaipan läpi tapahtuvat ilmvirtaukset heikentävät rakennuksen ja rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa seuraavista syistä:

- 1) kosteuden virtaus vaipparakenteisiin lisääntyä, jolloin kosteusvaurioriski rakenteissa kasvaa
- 2) erilaisten epäpuhtauksien, homeiden ja radonin virtaus sisäilmaan lisääntyä
- 3) energiankulutus lisääntyä
- 4) vaipparakenteiden sisäpintojen lämpötilat alenevat, jolloin sisäpintojen kosteusvaurioriski kasvaa
- 5) asukkaiden kokemaa vedon tunne lisääntyä
- 6) ilmanvaihdon säätäminen vaikeutuu ja rakennuksen sisällä painesuhteet ovat erilaiset kuin on suunniteltu.

Rakennusvaipan ilmanpitävyydestä vastaava ainekerros eli ilmansulku sijoitetaan kerroksellisessa rakenteessa yleensä lämpimälle puolelle sisäpinnan lähelle. Jos lämmöneristeenä käytetään hyvin ilmaa läpäisevää ahuuokoisista eristettä, ulkopintaan laitetaan lisäksi tuulensuojia, joka estää tuulen aiheuttamat haitalliset ilmvirtaukset lämmöneristekerroksessa. Massiivirakenteisessa vaipassa (esim. hirs-, tiili- tai kevyt-betonielementtirakenne), jossa ei ole erillistä lämmöneristekerrosta, koko rakenne toimii ilmansulkuna, kun kaikki sauma- ja liitoskohdat tiivistetään huolellisesti. [21]

Hyvän ilmanpitävyyden saavuttaminen edellyttää, että rakennusvaipan kaikki osat ja niiden väliset liitokset ovat ilmanpitäviä. Seuraavassa on annettu rakenteellisia ohjeita, jotka edesauttavat rakennuksen hyvän ilmanpitävyyden saavuttamista [21]. Näitä ohjeita on tarvittaessa sovellettava, jotta toteutuksesta syntyy rakentamiskelpoinen.

- Betonisten vaipparakenteiden liitokset tehdään juotosvaluilla tai joustavien elastisten saumojen avulla (esim. kittaamalla). Suurten halkeamien syntyminen estetään esim. riittävällä raudoituksella tai tiivistämällä syntyneet halkeamat esim. pintakäsittelyillä tai joustavalla massalla kittaamalla. Yläpohjassa betoni- ja kevytbetonielementtien väliset juotetut pitkittäissaumat tiivistetään saumojen päälle asennetuilla ilmansulkukaistoilla (esim. liimattavalla tai hitsattavalla bitumikermaikaistoilla), kauttaaltaan elementtien päälle levitetyllä ilmansulkumateriaalilla (esim. muovikalvolla), laatumon päälle valettavalla erillisellä tasausvalulla tai muulla vastaavalla tavalla, joka varmistaa saumojen ilmanpitävyyden. Kun käytetään elementtejä, joiden pitkittäissaumojia ei juoteta (esim. TT-laatat), laattojen päälle laitetaan yläpohjassa joustava ja repeytymätön ilmansulkukalvo (esim. muovikalvo). Ryömintätälaisissa alapohjissa elementtien alapuolisten solumuovieristeiden väliset saumat tiivistetään esim. polyuretaanivaahdolla.
- Rankarakenteisen vaipan lämpimällä puolella tulee aina olla ilmansulku, joka voi olla joko kalvomainen (esim. muovikalvo) tai levymäinen (esim. ilmanpitävä solumuovieristelevy). Kalvomaiset ilmansulut liitetään toisiinsa (esim. jatkokset, rakenteiden pysty- ja vaakanurkat yms.) puristettuna liitoksena (kalvojen jatkoskohta on puristettu ruuvamalla kahden jäykän materiaalin väliin) tai liittämällä ja teippaamalla kalvo huolellisesti teipillä, jolla on riittävä tartuntakyky ja pitkäaikaiskestävyys. Jos teipin tartuntakyvystä ja pitkäaikaiskestävyydestä ei ole varmuutta, tulee kalvojen liitoskohtien ilmanpitävyys varmistaa puristusliitosten avulla. Levymäiset ilmansulut voidaan liittää toisiinsa vaahdottamalla polyuretaanivaahdolla tai teippaamalla saumakohtat teipillä, jolla on riittävä tartuntakyky ja pitkäaikaiskestävyys. Teipin tulee olla joustava, jotta se kestää levyjen saumakohdissa tapahtuvat muodonmuutokset. Levymäisen ilmansulun paksuuden tulee olla vähintään 20 mm ja sauman leveyden vähintään 10 mm, jotta saumat, liitokset ja läpiviennit voidaan tiivistää luotettavasti vaahdolla. Vaahdotetutkin saumat on suositeltavaa aina teipata saumavaahdon kuivuttua.
- Ilmansulku sijoitetaan rakenteeseen niin, että sähkörsiat ja johdot voidaan asentaa ilmansulkua rikkomatta. Se voidaan toteuttaa esim. asentamalla ilmansulku noin 50 mm etäisyydelle rakenteen sisäpinnasta tai asentamalla kalvomainen ilmansulku sisäverhouksen taakse riittävän löysästi, jotta sähköasennukset voidaan tehdä sisälevyn ja ilmansulun väliin. Jos ilmansulun sisäpuolelle laitetaan lämmöneristettä, se tulee asentaa paikalleen

- vasta sen jälkeen, kun suurin osa rakennusai-
kaisesta ylimääräisestä kosteudesta on kuivun-
nut pois rakennuksesta.
- Kalvomaisia ilmansulkuja ei saa kuormittaa
esim. yläpohjan lämmöneristeellä niin, että
kuormitus voi ajan mittaan venyttää ja rikkoo
kalvon tai sen jatkokohdan. Kevyt lämmön-
eriste voidaan asentaa kalvomaisen ilmansu-
lun varaan, jos kalvo on tuettu niin, että se ei
pääse haitallisesti painumaan (esim. tiheä ri-
moitus, profiilipelti tai levy ilmansulun ala-
puolella).
 - Yläpohjan kalvomainen ilmansulku liitetään
sellaisiin ulkoseinä-rakenteisiin, joissa ei ole
erillistä kalvomaista ilmansulkua (esim. tiili-
tai harkkoseinä, betonielementti), joko puris-
tusliitoksen ja elastisen kittauksen avulla tai
liittämällä ilmansulku rakenteen kanssa vä-
hintään 500 mm (esim. viemällä ilmansulku-
kalvo tiilestä muraatun sisäkuoren ulkopin-
taan).
 - Maanvastaisen betonilaatan ja ulkoseinän lii-
tos tiivistetään bitumikermikaistalla, joka es-
tää samalla maaperästä tulevan radonin ja ho-
meiden kulkeutumisen sisäilmaan. Bitumi-
kermikaista viedään kummaltakin puolelta
riittävän pitkälle saumakohdan yli (esim. toin-
en pää asennetaan ulkoseinän ja perusmuu-
rin väliin tai perusmuurin viereen ja toinen
pää viedään riittävän pitkälle betonilaatan
alle). Ulkoseinän ja perusmuurin välinen lii-
tos tiivistetään joko listauraan tehdyn elasti-
sen kittauksen tai polyuretaanivaahdotuksen
avulla.
 - Joissakin harkkorakenteissa rakenteen ilman-
pitävyys perustuu pintakäsittelyihin (kevyt-
soraharkot ja harkkorakenteet, joiden saumat
eivät ole ilmatiiviitä). Tällaisen harkkoraken-
teisen ulkoseinän kummatkin pinnat tulee kä-
sitellä rappaamalla tai tasoittamalla. Sisäpin-
nassa tasoite levitetään kauttaaltaan ja niin,
että se voidaan liittää toimivasti mm. ala- ja
yläpohjan ilmanpitäviin kerroksiin sekä ik-
kunoihin ja oviin yms. Tasoite levitetään aina
myös esim. kiintokalusteiden taakse ja alas-
lasketujen kattojen yläpuoliseen seinän-
osaan.
 - Hirsirakennuksen ilmanpitävyyttä suunnit-
eltaessa on otettava huomioon myös hirsike-
hikon painuminen ja eri rakenneosien väliset
painumaerot. Hirsien välisissä saumoissa ja
nurkkaliitoksissa on suositeltavaa käyttää
joustavia solumuovi- tai kumitiivisteitä.
Ovien ja ikkunoiden päälle jätetään riittävä
painumavara, joka täytetään avohuokoisella
lämmöneristeellä tai elastisella umpisolusiel-
la eristeellä. Avohuokoisen eristeen sisäpuo-
lulle asennetaan esim. joustava ilmansulku-
kalvo, joka kiinnitetään hirsirunkoon ja ikku-
nan/oven karmiin puristusliitoksilla tai teip-
pamalla kalvo huolellisesti teipillä, jolla on

- riittävä tartuntakyky ja pitkäaikaiskestävyys.
Hirsirakennuksen ilmanpitävyyttä voidaan
yleensä merkittävästi parantaa, kun liitos- ja
saumakohtia tiivistetään elastisella tiivis-
tenauhalla, vaahdottamalla tai kittaamalla sen
jälkeen, kun rakennuksen painuminen on
pääosin tapahtunut.
- Läpiviennit kivi- ja hirsirungon tai levymäi-
sen ilmansulun läpi tiivistetään polyuretaani-
vaahdolla ja kittaamalla. Kalvomaisen ilman-
sulun läpi tehtävät läpiviennit tiivistetään
joko läpivientilaipoilla tai levyistä tehtyjen
läpivientikaulusten (esim. ilmanpitävä solu-
muovieristelevy) avulla. Ilmansulkukalvo lii-
tetään läpivientikaulukseen joko puristuslii-
toksella tai teipillä, jolla on riittävä tartunta-
kyky ja pitkäaikaiskestävyys. Läpivientikau-
lus tiivistetään läpiviennin ympärille poly-
uretaanivaahdon avulla.
 - Ilmansulkuun syntyvät reiät paikataan joko
vaahdottamalla tai kittaamalla (kivi- ja hirsir-
rungot ja levyt) tai teipillä, jolla on riittävä tar-
tuntakyky ja pitkäaikaiskestävyys (kalvot).
 - Liikuntasaumata ja muut vastaavat rakenne-
osien väliset yksityiskohdat toteutetaan niin,
että rakenteiden liikkeet eivät heikennä oleel-
lisesti saumojen ilmanpitävyyttä (esim. käy-
tetään liitoksissa riittävän muodonmuutosky-
vyn omaavaa saumaussmassaa/ tiivistenauhaa
tai irrotetaan liimattavat tai hitsattavat bitu-
mikermiit alustastaan riittävän pitkällä mat-
kalla liikkeiden sallimiseksi).
 - Suuret ja tyhjää tilaa sisältävät vaipan lä-
päisevät kaapelikanavat yms. on suositelta-
vaa tiivistää kanavien sisältä esim. villasul-
lonnalla tai pursottamalla polyuretaanivaah-
toa putkeen asennetun muovipussin sisään.
Tiivistyksyet tulee toteuttaa niin, että kaapelei-
ta ja johtoja voidaan tarvittaessa lisätä ja pois-
taa kanavasta.
 - Ikkunoiden ja ovien sekä muiden vastaavien
rakennusosien liittymät ilmansulkuun to-
teutetaan polyuretaanivaahdolla, elastisella
kittauksella tai teipillä, jolla on riittävä tartun-
takyky ja pitkäaikaiskestävyys. Myös ikku-
na- ja ovikarmiin tiivisteiden kunto ja toiminta
tulee tarkistaa niiden asentamisen yhtey-
dessä.

Yksityiskohtaisempia ohjeita ilmanpitävien ra-
kenteiden ja liitosten toteuttamiseksi on esitetty
mm. lähteessä [12].

5 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolla on keskeinen merkitys vaippa-
rakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja si-
säilman laadun parantamisessa. Sen avulla pois-
tetaan sekä ylimääräinen kosteus huoneesta että
erilaiset sisäilman epäpuhtaudetkin (hiilidioksi-
di, tupakansavu, radon, hajut ja pölyt). Joillekin

sisäilman epäpuhtauksille samoin kuin ilman liikenopeudelle ja mitoitusilmavirroille on annettu ohjeurvoja sisäilmastalouksissa [38].

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 tulo- ja poistoilmavaihdon poistoilmavirta suuremmaksi.

Koneellinen ilmanvaihto suunnitellaan kuitenkin usein lähes tasapainoiseksi siten, että rakennuksen yläosissa vallitsee talvella ylipaine. Tätä on perusteltu sillä, että radonalueilla 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 radontiiivistyksiset alapohjissa sallivat ilmanvaihdon säätämisen alipaineiseksi tässäkin tapauksessa (ks. luku 4). Rakennusvaipan hyvä ilmanpitävyys on perusedellytys ilmanvaihdon luotettavalle ja energiatehokkaalle toiminnalle.

Hyvin ilmanpitävässä rakennuksessa ilma ei käytännössä vaihdu lainkaan vuotokohtien kautta. Rakennuksessa tulee silloin olla hyvin tasapainotettu ja riittävä ilmanvaihto, jolla taataan terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto. Se edellyttää luonnollisesti myös tuloilmasuodattimien vaihtamista riittävän usein. Lisäksi on suositeltavaa, että ilmanvaihtolaitteisto varustetaan sisätiloihin asennettavalla merkivalolla tai näyttötaululla, josta näkee onko ilmanvaihtolaitteisto toiminnassa. Ilmanpitävässä rakennuksessa ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta saadaan suurin mahdollinen hyödy, koska lähes kaikki ilma virtaa rakennukseen ja sieltä pois lämmöntalteenoton kautta. [20]

6 Käytännön ohjeita rakenteiden suunnitteluun ja toteuttamiseen

Tässä luvussa esitetyt ohjeet ovat suosituksia, joiden tarkoitus on parantaa rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa. Ne eivät kuitenkaan sinällään takaa rakenteiden luotettavaa toimintaa, vaan myös kunkin kohteen erityispiirteiden huomioon ottaminen ja rakenteiden liitoksen, detaljien ja läpivientien yksityiskohtainen suunnittelu on tärkeää onnistuneen lopputuloksen kannalta. Suunnittelu ohella on myös aina kiinnitettävä huomiota työn huolelliseen toteutukseen ja valvontaan.

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. Ne kattavat suurimman osan nykyisistä kattotyypeistä. Muita kattotyyppejä ovat mm. kevytbetonikatto, ylipainekatto, käännetty katto ja vedeneristeeton betonikatto, jotka on jätetty tämän tarkastelun ulkopuolelle.

Seuraavissa luetteiloissa on esitetty tärkeimmät ulkopuolisella ja sisäpuolisella vedenpoistolla tehtäviin kattorakenteisiin liittyvät toteutusperiaatteet. Osa asioista on samoja kummasakin rakennetyypissä. Eri kattotyypin yksityiskohtaisempia toteutusohjeita löytyy mm. lähteistä [1], [2], [5], [6], [8] ja [12].

Ulkopuolisella vedenpoistolla toteutettu kerroksellinen kattorakenne

- 1) Katolla tulee olla riittävät kallistukset ja katon sisäjiireissä vesikourut sadeveden poistamiseksi.
- 2) Katolla tulisi olla räystäät ja räystäskourut, jotta katolta tuleva sadevesi ei kastele rakennuksen seinä ja perustusten vierustoa.
- 3) Ulkopuolinen vedenpoisto edellyttää lumi-esteitä katolle, koska lumi voi jäättyä räystäälle talvella. Lumen sulamista räystäskouruissa ja sisäjiirien vesikouruissa voidaan edesauttaa lämmityksellä.
- 4) Tiili- ja peltikatteen tarvitsevat aluskatteen, joka ohjaa mahdolliset vuotovedet rakennuksen ulkopuolelle. Aluskate ei saa olla kiinni vesikatteesta ja sen tulee jatkaa seinien ulkolinjan ulkopuolelle.
- 5) Vesikaton pellitykset tulee toteuttaa niin, että ne suojaavat liitoskohtia ja räystäitä sadevedeltä ja tuulen kuljettamalta vedeltä, mutta sallivat yläpohjan tuuletuksen tarvittavista kohdista.
- 6) Vesikatteen/aluskatteen alla tulisi olla riittävän suuri yhtenäinen tuuletusväli tai tuuletustila. Tuuletusvälin korkeus riippuu yläpohjan rakenteesta ja sisäilman kosteustasasta. Vesikatteen ja aluskatteen välinen tila on myös tuuletettava. Puurakenteiset katon on aina tuuletettava. Harjakatoissa tulee järjestää tuuletus ulos myös harjalta. Yläpohjan tuuletukselta voidaan lisätä harjalle asennettavien koneellisten tuulettimien avulla.
- 7) Tuuletusvälissä avohuokaisen lämmöneristeen päällä tulee olla yhtenäinen tuulensuojakerros. Tuulettulassa tuulensuojakerros tarvitaan avohuokaisen lämmöneristeen reuna-alueille.

- 8) Lämmöneristeen alapinnassa tulee olla ilmatiivis ja riittävän vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulku (esim. kalvo, levy tai kivirakenne). Katon höyrynsulun liitokset seinärakenteisiin, höyrynsulun jatkokset ja läpiviennit tulee tiivistää huolellisesti.
- 9) Ilmattiivyyden takaamiseksi ilman-/höyrynsulkukerrosta ei saa tarpeettomasti rei'ittää esimerkiksi sähköasennuksien takia. Tästä syystä höyrynsulkukalvo tai -levy on suositeltavaa asentaa 50 mm syvyyteen katon sisäpinnasta.
- 10) Jos höyrynsulkukalvon tai -levyn sisäpuolelle laitetaan lämmöneristettä, se tulee asentaa vasta sitten, kun suurin osa rakennusaikaisesta kosteudesta on kuivunut pois rakennuksesta. Eristyksen asentamisen jälkeän rakennuksen tulee olla lämmitetty ja siellä tulee olla hyvä ilmanvaihto, jotta sisäilman kosteus ei pääse tiivistymään höyrynsulun sisäpintaan.
- 11) Jos yläpohjarakenne tehdään tuulettumattomaksi tai vähän tuulettuvaksi on ensiarvoisen tärkeää, että vesikate ei vuoda. Yläpohjassa käytettävien materiaalien tulisi olla myös kosteutta kestäviä. Lämmöneristeiden ja kosteutta sitovien materiaalien tulee olla lisäksi kuivia asennuksen aikana. Avohuokoisia lämmöneristeitä käytettäessä sisäpinnassa on suositeltavaa käyttää muuttuvan vesihöyrynvastuksen omaavaa höyrynsulkukalvoa.

Sisäpuolisella vedenpoistolla toteutettu kerroksellinen kattorakenne

- 1) Katolla tulee olla riittävät kallistukset ja tarpeelliset vastakaadot katon rajoituksessa ulkoseinään (esim. hissikonehuoneiden seinät).
- 2) Vesikatteenä käytettävien bitumikermien kiinnitys erityisesti liitos- ja saumakohdissa on tehtävä huolellisesti. Jiirien kohdalla tulee käyttää lisäkermiä vahvikkeena.
- 3) Katon liikuntasaumat toteutetaan niin, että rakenteiden liikkeet eivät heikennä oleellisesti saumojen vesitiivyyttä tai ilmanpitävyyttä (esim. käytetään vesikatteen jatkosissa pellityksiä, kermien ylösnostoja ja riittävän muodonmuutoskyvyn omaavaa saumausmassaa/tiivistänauhaa tai irrotetaan höyryn-/ilmansulkuna käytettävät liimattavat tai hitsattavat bitumikermit alustaan riittävän pitkällä matkalla liikkeiden sallimiseksi).
- 4) Läpivientien, kattoluukkujen ja seinärakenteiden reunoilla bitumikermit tulee nostaa reunaa vasten ylös vähintään 300 mm.
- 5) Kattokaivot tulisi sijoittaa pareittain lähelle toisiaan siten, että vesi pääsee virtaamaan viereiseen kaivoon nopeasti, jos toinen kaivoista tukkeutuu. Myös räystäälle tulisi järjestää veden poistumisreitit tarvittaviin kohtiin.
- 6) Kattokaivot tulee varustaa roskasiivilöillä ja niiden ympärystä tulee puhdistaa säännöllisin väliajoin.
- 7) Kattokaivojen viemäriputket tulee lämpöeristää ja suojata höyrytiivisti lämpimissä tiloissa riittävän pitkältä matkalta (≥ 5 jm). Kattokaivojen sulana pysyminen varmistamiseksi on suositeltavaa varustaa ne lämpö- ja kosteuskaapeleilla.
- 8) Vesikatton pellitykset tulee toteuttaa niin, että ne suojaavat liitoskohtia ja räystäistä sadevedeltä ja tuulen kuljettamalta vedeltä, mutta sallivat yläpohjan tuuletuksen tarvittavista kohdista.
- 9) Vesikatteen alla tulisi olla riittävän suuri yhtenäinen tuuletusväli tai tuuletustila. Tuuletusvälin korkeus riippuu yläpohjan rakenteesta ja sisäilman kosteuslisästä. Puurakenteiset katot on aina tuuletettava. Yläpohjan tuuletusta voidaan lisätä alipainetuuletuksen avulla. Alipainetuuletus voi myös lisätä rakenteen kosteusongelmia, jos katon alapinnan ilmansuulussa on reikiä, joiden kautta kostea sisäilma pääsee rakenteeseen. Tällöin alipainetuuletus lisää kosteuden virtausta rakenteeseen entisestään.
- 10) Tuuletustilassa avojuokaisen lämmöneristeen päällä tarvitaan reuna-alueilla tuulen-suojakerros.
- 11) Lämmöneristeen alapinnassa tulee olla ilmatiivis ja riittävän vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulku (esim. kalvo, levy tai kivirakenne). Katon höyrynsulun liitokset seinärakenteisiin, höyrynsulun jatkokset ja läpiviennit tulee tiivistää huolellisesti.
- 12) Ilmattiivyyden takaamiseksi ilman-/höyrynsulkukerrosta ei saa tarpeettomasti rei'ittää 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 jälkeän rakennuksen tulee olla lämmitetty ja siellä tulee olla hyvä ilmanvaihto, jotta sisäilman kosteus ei pääse tiivistymään höyrynsulun sisäpintaan.
- 14) Jos yläpohjarakenne tehdään tuulettumattomaksi tai vähän tuulettuvaksi on ensiarvoisen tärkeää, että vesikate ei vuoda. Yläpohjassa käytettävien materiaalien tulisi olla myös kosteutta kestäviä. Lämmöneristeiden ja kosteutta sitovien materiaalien tulee olla lisäksi kuivia asennuksen aikana. Avohuokoisia lämmöneristeitä käytettäessä sisäpinnassa on suositeltavaa käyttää muuttuvan

vesihöyrynvastuksen omaavaa höyrynsulkukalvoa.

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

6.2 Ulkoseinärakenteet

Ulkoilmaan rajoittuvat seinärakenteet voidaan jakaa rakennusfysikaalisen toimintansa perusteella karkeasti kolmeen tyyppiin: massiivirakenteisiin seiniin (esim. hirsiseinät, kevytbetoniseinät ja massiivitiiliseinät), kerroksellisiin seinärakenteisiin (esim. puu- ja teräsrunkoseinät) ja sandwich-rakenteisiin seiniin (esim. betonielementtiseinät, eristeharkkoseinät, eristerappausseinät ja ohutlevypeltiseinät). Niiden lisäksi oma ryhmä 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], [5], [6], [7], [8] ja [12].

Massiivirakenteiset seinät

- 1) Massiivirakenteisissa seinissä ei tarvita erillistä ulkoverhousta eikä ilman- ja höyrynsulkukerrosta. Hyvä ilmatiiviyys saavutetaan tiivistämällä rakenteen saumakohdat huolellisesti. Hirsirakenteissa se tehdään umpisoluisen joustavan saumanauhan avulla ja ilmaa läpäisevissä harkkorakenteissa rappaamalla tai tasoittamalla seinän kummatkin pinnat. Massiivitiiliseinäin on jo sinällään riittävän ilmatiivis. Hirsitalojen liitosratkaisuissa tulee ottaa huomioon myös rakennuksen painuminen.
- 2) Seinän ulkopinta tulee tarvittaessa suojata sadevedeltä hyvin vesihöyryä läpäisevällä pinnoitteella, jolla on muodonmuutoskykyä ja hyvä tartunta pintaan (esim. maali hirsiseinässä tai rappaus kevytbetoniseinässä). Pinnoitteen vesihöyrynläpäisevyyden on oltava hyvä, jotta seinään kertynyt kosteus pääsee ulkoilman lämpötilan tai suhteellisen kosteuden muuttuessa tarvittaessa nopeasti ulkoilmaan irrottamatta tai rikkomatta pinnoitetta. Sadevesirasituksen vähentämiseksi pinnoitteen on suositeltavaa olla myös vettä hylkivä. Ylimääräisen rakennusaikaisen kosteuden tulee antaa poistua seinästä ennen sen pinnoittamista ulkopuolelta. Massiivirakenteissa tämä kestää tyypillisesti useamman vuoden.
- 3) Jos massiivirakenteisia seiniä halutaan lisäeristää, lämmöneristys tulisi laittaa aina sei-

- nän ulkopuolelle. Lämmöneristeenä tulee käyttää avohuokoista hyvin kosteutta läpäisevää lämmöneristettä ja sen ulkopuolelta tulee laittaa yhtenäisen tuulensuojakerros (esim. tuulensuojalevy, kalvo tai rappaus).
- 4) Sisäpuolelta laitettava lämmöneristys edellyttää ilmansulun ja riittävän vesihöyrynvastuksen omaavan höyrynsulun asettamista eristyksen sisäpuolelle tai ilman- ja höyrynsulkuna toimivien solumuovieristeiden (PUR tai XPS) käyttöä. Myös riittävän kappilaarinen ja kosteutta kestävä eriste (esim. kalsiumsilikaattieriste) voi toimia rakenteen sisäpinnassa ilman erillistä höyrynsulkua.
 - 5) Sisäpuolelta lämmöneristystä käytettäessä on tärkeää varmistaa sisäpinnan ilmatiiviyys, jotta kostea sisäilma ei pääse virtaamaan konvektiolla massiivirakenteen sisäpintaan lämmöneristeen kylmälle puolelle. Kevytbetoni- ja tiiliseiniin tehtävä sisäpuolinen lisäeristys on tästä syystä suositeltavinta tehdä solumuovieristeillä, jotka liimataan kattaaltaan massiivirakenteen sisäpintaan. Liima tulisi levittää seinään vaakasuoraan kammaten, jotta estettäisiin liimaraitojen välissä tapahtuvat pystysuuntaiset konvektiovirtaukset.
 - 6) Hirsiseinän alapään tulee olla maanvastaisen betonilaatan yläpinnan tasalla. Alin hirsi tulee erottaa kivirakenteesta kosteudeneristeellä. Liitoksen ilmatiiviyys tulee varmistaa tiivistenauhan, elastisen kittauksen tai polyuretaaniavaahdotuksen avulla. Tiivistenauha tai polyuretaaniavaahdotus voi toimia samalla myös kosteudeneristeenä. Jos kosteudeneristeenä käytetään bitumikermiä, ilma- vuotoja voi tapahtua sekä kermin ylä- että alapuolelta. Tämä tulee ottaa huomioon liitosta tiivistettäessä.
- ### Kerrokselliset seinärakenteet
- 1) Seinän ulkopinnassa tulee olla ulkoverhous, jonka tehtävänä on estää sadeveden tunkeutuminen seinään. Puinen ulkoverhous tulee suojata sadevedeltä hyvin vesihöyryä läpäisevällä pinnoitteella, jolla on muodonmuutoskykyä ja hyvä tartunta pintaan. Sadevesirasituksen vähentämiseksi pinnoitteen on suositeltavaa olla myös vettä hylkivä. Tiiliverhousta käytettäessä tuuletusvälin tulee olla vähintään 30 mm. Muurattessa on lisäksi pyrittävä estämään saumaustaalin putoilu ja laastipurseiden muodostuminen tuuletusväliin. Tiiliverhouksen alosaan tulee jättää vähintään joka kolmas pystysauma auki tuuletuksen varmistamiseksi.
 - 2) Avohuokoisen lämmöneristeen ulkopinnassa tulee olla tuulensuojalevy tai -kalvo. Vaihtoehtoisesti lämmöneristeen ilmanlä-

päisevyyden tulee olla niin pieni, että eriste-tilassa ei tapahdu merkittävässä määrin konvektiovirtauksia.

- 4) Kerroksellisissa seinärakenteissa lämmöneristeen sisäpinnassa tulee olla ilmatiivis ja riittävä vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulku (esim. kalvo, levy tai kivirakenne). Höyrynsulun liitokset, jatkokset ja läpiviennit tulee tiivistää huolellisesti.
- 5) Ilmatiiviyden takaamiseksi ilman-/höyrynsulkukerrosta ei saa tarpeettomasti rei'ittää esimerkiksi sähköasennuksien takia. Tästä syystä höyrynsulkukalvo tai -levy on suositeltavaa asentaa 50 mm syvyyteen seinän sisäpinnasta. Puuelementtirakenteissa on kalvomainen ilmansulku suositeltavampaa asentaa suoraan sisäverhouksen taakse, mutta riittävän löysästi, jotta sähköasennukset voidaan tehdä sisälevyn ja ilmansulun väliin. Tällöin seinän ilmanpitävyys saadaan paremmin varmistettua elementtien välisissä liitoksissa.
- 6) Jos höyrynsulkukalvon tai -levyn sisäpuolelle laitetaan lämmöneristettä, vähintään $\frac{3}{4}$ eristeestä tulee olla höyrynsulun ulkopuolella [35]. Höyrynsulun sisäpuolella on suositeltavaa käyttää pystykoolausta, joka on samalla kohdalla kuin sen takana oleva kantava runko on [35]. Se pienentää homeutumiseriskii höyrynsulun sisäpinnalla runkopuun kohdalla. Vaihtoehtoisesti rakenteen ulkopinnassa tulisi olla hyvin lämpöä eristävä tuulensuojalevy, jotta runkopuiden kylmäsilta vaikutus vähenisi. Rakenteen ulkopinnassa voidaan käyttää ristikoolausta. Lämmöneriste tulee asentaa höyrynsulun sisäpuolelle 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 sisäilman 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 maanvastaisen betonilaatan yläpinnan tasalla. Aluspuu tulee erottaa kivirakenteesta kosteudeneristeellä. Liitoksen ilmatiiviyys tulee varmistaa tiivistenauhan, elastisen kittauksen tai polyuretaanivaahdotuksen avulla. Tiivistenauha tai polyuretaanivaahdotus voi toimia samalla myös kosteudeneristeenä. Seinien sisäverhoukslevyjen alapäiden tulee olla lattiapinnan yläpuolella siten, että ne eivät ole kontaktissa betonilaattaan.

Sandwich-rakenteiset seinät

- 1) Sandwich-rakenteisissa seinissä ei tarvita erillistä ulkoverhousta eikä höyrynsulku-

kerrosta. Seinän ulkopinta toimii ulkoverhouksena ja sisäpinta sekä mahdollisesti myös lämmöneriste (PUR tai XPS) höyrynsulkukerrosena. Betonielementti- ja ohutlevypeltiseinissä ilmatiiviyys saavutetaan, kun rakenteen saumakohdat tiivistetään huolellisesti esim. joustavan saumanauhan ja elastisen kittauksen avulla, polyuretaanivaahdon avulla tai betonielementeissä juotosvalun avulla. Ilmaa läpäisevissä eristeharkkorakenteissa rapataan tai tasoitetaan seinän kummatkin pinnat.

- 2) Seinän ulkopinta tulee tarvittaessa suojata sadevedeltä hyvin vesihöyryä läpäisevällä pinnoitteella, jolla on muodonmuutoskykyä ja hyvä tartunta pintaan. Sadevesirasituksen vähentämiseksi pinnoitteen on suositeltavaa olla myös vettä hylkivä.
- 3) Rakenteessa käytettävän lämmöneristeen tulee olla kosteutta kestävä, kosteutta sitomaton ja kuiva asennuksen aikana. Eristeharkoissa tulee käyttää umpisoluista lämmöneristettä (PUR, EPS tai XPS).
- 4) Betonielementtirakenteissa lämmöneristeen ulkopinnassa tulee olla aina pystysuuntainen uritus ja ulkokuoreen tulee tehdä vedenoistoreiät. Paras ratkaisu on eriyttää betonielementin ulkokuori kokonaan lämmöneristeestä, jolloin rakenteesta tulee kerroksellinen seinärakenne. Tällöin lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden tulee olla niin pieni, että eristetilassa ei tapahdu merkittävässä määrin konvektiovirtauksia.
- 5) Varsinkin ohutlevypeltiseinissä rakenteen liitokset tulee tehdä erityisen huolellisesti, jotta eristetilassa ei pääse ajan kuluessa vuotamaan kosteutta.

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 kestä ulkopuolelta kohdistuvan maanpaineen. Muussa tapauksessa lämmöneriste tulee laittaa seinän ulkopuolelle. Lämmöneristeen tulee olla kokoonpuristumaton ja kosteutta kestävä. Lämmöneristeen paksuutta voidaan pienentää seinän alaosassa, jossa maan lämmönvastus lämmittää rakennetta enemmän.
- 4) Kiviseinän ulkopintaan on suositeltavinta laittaa bitumikermistä tehty vedeneristys. Kermi kiinnitetään kauttaaltaan seinään ja saumat liitetään toisiinsa hitsaamalla. Seinärakenteen tulee antaa kuivua riittävän pitkään ennen kermien laitoa. Seinän ulkopuolelle asennettava lämmöneriste tulee vedeneristyksen ulkopuolelle.

- 5) Matalissa korkeintaan yhden kerroksen korkeissa maanvastaisissa seinissä bitumikermi voidaan korvata muovisella patolevyllä. Patolevyä käytettäessä sen yläpää tulee suojata niin, että sadevesi ei pääse valumaan levyn ja seinäarakenteen väliin. Suhteellinen kosteus patolevyn takana on usein korkea, mutta ylimääräinen kosteus voi kuitenkin poistua rakenteesta kondensoitumalla patolevyn sisäpintaan ja valumalla sitä pitkin alaspäin. Seinän alaosaan tulee liimata seinään kiinni bitumikermi, joka ohjaa kondenssivedet maaperään.
- 6) Seinän ulkopuoli väätetään kapillaarisen kosteuden siirtymisen estävällä soralla tai sepelellä.
- 7) Seinän yläreunan tulee olla vähintään 300 mm maan pintaa korkeammalla ja maan pinta tulee kallistaa seinästä pois päin.
- 8) Seinän ulkopuolelle tulee laittaa erillinen maan pinnan suuntainen routaeristys, jos seinäantura on lähempänä maanpintaa kuin routimatton perustamissyvyys. Routaeristyksen yläpuolelle on suositeltavaa laittaa muovikalvo ehkäisemään sadeveden tunkeutumista eristeeseen. Eristeen ja muovikalvon väliin tulee jättää n. 50 mm sorakerros.
- 9) Seinäanturan alapuolelle tulee tehdä salaojat. Jos rakennuksessa on syvälle ulottuvat pilarianturat, riittää että salaojat laitetaan maanvastaisen seinän alapään alapuolelle. Katolta tulevia sadevesiä ei saa johtaa salaojiin, vaan erillisiin sadevesikaivoihin.
- 10) Mikäli kellarikerros tehdään pohjaveden pinnan alapuolelle, vaatii rakenne aina erityissuunnittelua.
- 2) Lämmöneristys sijoitetaan kokonaan tai pääosin betonilaatan alle. Laatan alle tulee laittaa kauttaaltaan kokoonpuristumaton ja kosteutta kestävä lämmöneriste, jotta maaperän kosteus ei siirry maapohjan lämmetessä diffuusiolla laatan läpi sisäilmaan. Lämmöneristystä tulee lisätä, mikäli käytetään lattialämmitystä.
- 3) Lämmöneristyksen alle tulee laittaa vähintään 200 mm paksuinen kapillaarisen kosteuden nousun katkaiseva sora- tai sepelekerros. Rakenteeseen ei tule laittaa erillistä muovikalvoa.
- 4) Radonalueilla sora- tai sepelekerrokseen voidaan asettaa lisäksi tuuletusputkisto poistamaan radonia maaperästä.
- 5) Betonilaatan tulee antaa kuivua riittävän pitkään ennen sen pinnoittamista. Kuivumisaika riippuu betonilaatan paksuudesta, rakennuksen lämmityksestä ja ilmanvaihdosta. Suositeltava suhteellinen kosteus on 80–90 % RH tarkastussyvyydeltä mitattuna (40 % laatan paksuudesta sisäpinnasta mitattuna) riippuen laatan päälle laitettavasta pinnoitteesta.
- 6) Puullattian koolaukset tulee erottaa betonilaatasta kosteudeneristeellä (esim. bitumikermitaistat). Työstön yhteydessä syntyvä puru ja puupöly tulee poistaa betonilaatan päältä. Tässä rakenteessa on erityisen tärkeää se, että lämmöneriste on suurelta osin betonilaatan alla.
- 7) Puurunkoisten väliseinien alapaiden tulee olla maanvastaisen betonilaatan yläpinnan tasalla. Aluspuu tulee erottaa kivirakenteesta kosteudeneristeellä. Seinien sisäverhouslevyjen alapaiden tulee olla lattiapinnan yläpuolella siten, että ne eivät ole kontaktissa betonilaattaan.
- 8) Perusmuurissa on suositeltavaa käyttää eristehalkaisua ja myös sen sisäpinta tulee lämpöeristää. Kevytsojarahkoista voidaan tehdä perusmuuri myös ilman eristehalkaisua, mutta tällöinkin betonilaatta tulee erottaa perusmuurista lämmöneristekäiställä.
- 9) Perusmuurin yläreunan tulee olla vähintään 300 mm maan pintaa korkeammalla ja maan pinta tulee kallistaa perusmuurista pois päin.
- 10) Perusmuurin ulkopintaan maata vasten tulee laittaa muovinen patolevy. Levyn yläpää tulee suojata niin, että sadevesi ei pääse valumaan levyn ja perusmuurin väliin. Levyn sisäpintaan kondensoituvan veden tulee päästä valumaan patolevyn alapäästä maaperään.

6.3 Alapohjarakenteet ja perustukset

Alapohjarakenteet voidaan jakaa rakennusfysikaalisen toimintansa perusteella kahteen päätyyppiin: maanvastaisiin alapohjiin ja ryömintätilaisiin 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], [6], [8] [10] ja [12].

Maanvastainen alapohja

- 1) Betonilaatta toimii ilmatiiviinä ja riittävän vesihöyrynvastuksen omaavana ainekerroksena, kun betonilaatan ja seinäarakenteiden väliset liitokset tiivistetään esimerkiksi bitumikermitaistoilla ja läpiviennit polyuretaanivaahdolla. Ilmatiiviuden varmistaminen on tärkeää, koska laatan alla olevassa maaperässä on yleensä mikrobeja ja homeita.

- 7) Märkätilojen lattia on suositeltavaa tehdä betonista ja siinä tulee olla riittävät kallistukset lattiakaivoille. Kallistusvalun tulee antaa kuivua riittävän pitkään ennen vedeneristeen asentamista. Puurunkoisen ala- tai välipohjan päälle valetaan kosteiden tilojen kohdalle erillinen betonilaatta kuormitusta kestävä rakennuslevyn päälle (esim. filmivaneri). Rakennuslevyn päälle laitetaan höyrynsulkumuovi ennen betonilaatan valua. Muovikalvo nostetaan myös valutilan reunoille suojaamaan ympäröiviä rakenteita.
- 8) 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 vedeneristeeseen/muovimattoon tiiviisti.
- 9) Pesutilojen lattialaatan painuminen tulee ottaa huomioon vedeneristettä asennettaessa ja laatoitettaessa, jotta vedeneriste ei murru seinän ja lattian rajakohdasta. Painumista tapahtuu kahdesta eri syystä. Ensinnäkin lattialaatan reunat ja varsinkin nurkat nousevat valun jälkeen ylös betonin kuivumiskutistumasta johtuen ja alkavat painua sen jälkeen ajan kuluessa takaisin. Toisaalta maanvastainen betonilaatta taipuu myös keskeltä alaspäin jonkin verran ajan kuluessa. Varsinkin letattava vedeneriste on tästä syystä suositeltavaa irrottaa seinän ja lattian liitoskohdassa muutaman sentin matkalta esim. muovikalvon avulla, jotta sillä olisi joustokykyä painumia vastaan. Vedeneristettä ei saa myöskään rikkoa laatoitustyön yhteydessä.
- 10) Laatoitettu lattia on suositeltavaa tehdä vedeneristemassan päälle, koska muovimattojen saumahitsaukset voivat aueta ajan kuluessa. Laatoitetuissa lattioissa tarvitaan aina mukavuussyistä myös lattialämmitys. Seinän ja lattian rajakohdassa laattojen välinen sauma tulee tiivistää elastisella märkätiloihin soveltuvalla silikonimassalla.

7 Käsitteitä ja määritelmiä

Seuraavassa on määritelty joitakin rakennusfysiikkaan liittyviä käsitteitä.

7.1 Lämpöenergian siirtymismuodot

Johtuminen

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

Konvektio

Lämpöenergian konvektio tarkoittaa kaasuseoksen (esim. ilma) sisältämän lämpöenergian siirtymistä kaasuseoksen mukana sen liikkeessä kokonaispaine-eron vaikutuksesta.

Säteily

Säteilyssä lämpöenergia siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä valon nopeudella. 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 diffuusioilla 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 seinämiin läpi (ks. vedenpaineeneristys).

Painovoimainen siirtyminen

Painovoimainen siirtyminen tarkoittaa neste-mäisen 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 höyrynsulku käytetään samalla ilmansulkuna.

Ilmanläpäisevyys, κ_a ($m^3/(m^2Pa)$), ilmoittaa ilman tilavuusvirran, joka jatkuvuustilassa laminaarisena virtauksena läpäisee kohtisuorasti aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun ainekerroksen eri puolilla olevien ilmatilojen paine-ero on yksikön suuruihin. Ilmanläpäisevyys on materiaaliominaisuus.

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

Ilmanläpäisyvastus, S_a (m^2Pa/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.

Ilmavuotoluku, 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. Ilmavuotoluku lasketaan 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 ($kg/(m^2s^{1/2})$), ilmoittaa vesimäärän, joka imeytyy kapillaarisesti huokosalipaineen vaikutuksesta materiaaliin pintayksikön suuruiselta alalta aikayksikön ne-

löjuuren pituisena aikana, kun materiaalin alapinta on kontaktissa vesipintaan.

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

Kosteudeneristys tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen kosteuden siirtyminen kapillaarivirtauksena tai vesihöyryn diffuusiona rakenteeseen ja rakenteesta.

Kosteusdiffusiviteetti, D_w (m^2/s), ilmoittaa kosteusmäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun kosteuspitoisuuksien ero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruihin. Kosteusdiffusiviteetin arvossa on mukana kaikki kosteuden siirtymismuodot.

Kyllästystoasteuspuiteisuus, v_{sat} (g/m^3) tai $p_{v,sat}$ (Pa), ilmoittaa sen vesihöyrypitoisuuden, v , tai vesihöyryn osapaineen, p_v , joka ilmaan mahtuu tietyssä lämpötilassa.

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

Lämmönläpäisykerroin, U ($W/(m^2K)$), ilmoittaa lämpömäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruihin. Rakennusosan lämmönläpäisykerroin sisältää myös sisä- ja ulkopinnan lämmönsiirtokertoimet.

Lämmönvastus, R (m^2K/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, u , tai kosteuspitoisuutena, w .

Suhteellinen kosteus, ϕ ($\%$ RH), ilmoittaa kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä kyllästystoasteuspuiteisuuden verrattuna tietyssä lämpötila-

lassa. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan yleensä prosenttisuutena.

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

Tuuletustila tarkoittaa rakenteessa olevaa yhtenäistä ilmatilaa, jonka kautta rakennetta tuuletettava 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 tuuletettava 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, ikkunat, ovet 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.

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

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

Eri tavoin ilmoitettujen vesihöyrynläpäisevyysien välinen yhteys saadaan kaavasta:

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

jossa 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 ($kg/(m^2sPa)$), ilmoittaa vesihöyrymäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintatayksikön suuruisen rakennusosan, kun rakennusosan 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 (m^2sPa/kg), ilmoittaa tasapaksun ainekerroksen tai rakennusosan pinoilla eri puolilla vallitsevien vesihöyrypitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden eron ja ainekerroksen tai rakennusosan läpi jatkuvuustilassa pinta-alayksikköä kohti diffuusiolla siirtyvän kosteusvirran suhteen. Rakennusosan kokonaisvesihöyrynvastukseen laskeaan 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] Leivo V., Rantala J., Maanvastaaiset alapohjarakenteet – kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen, Tutkimusraportti 121, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikan laboratorio, 2002.
- [5] Myllylä P., Lod T. (toim.), Pitkäikäinen puurakenteinen halli – Toimiva kosteustekniikka ja edullinen elinkaari, Tutkimusraportti 124, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikan laboratorio, 2003.
- [6] Nevander L.E., Elmarsson B., Fukthandbok – Praktisk och teori, 2. ed., AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1994.
- [7] Pentti M., Hyypöläinen T., Ulkoseinä- rakenteiden kosteustekninen suunnittelu, Julkaisu 94, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikan laboratorio, 1999.
- [8] Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet, RIL 107-2000, Suomen Rakennusinsinöörien liitto, 2000.
- [9] RakMK C2, Kosteus – Määräykset ja ohjeet 1998, Ympäristöministeriö.
- [10] Talonrakennuksen routasuojausohjeet, 2. p., VTT ja Rakennustieto Oy, Helsinki, 2007.
- [11] Vesivahinkojen ehkäiseminen rakentamisessa, Ympäristöopas 111, Ympäristöministeriö, 2004.
- [12] Aho H., Korpi M. (toim.), Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa, Tutkimusraportti 141, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustek-

- niikan laitos, Talonrakennustekniikka. (julkaistaan v. 2008)
- [13] SFS-EN 12524, Rakennusmateriaalit ja -tuotteet. Lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Taulukoidut suunnitteluarvot, Suomen Standardoimisliitto, 2002.
- [14] Vinha J., Valovirta I., Korpi M., Mikkilä A., Käkälä P., Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona, Tutkimusraportti 129, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikan laboratorio, 2005.
- [15] RakMK D3, Rakennusten energiatehokkuus – Määräykset ja ohjeet 2007, Ympäristöministeriö.
- [16] RakMK C3, Rakennusten lämmöneristys – Määräykset 2007, Ympäristöministeriö.
- [17] RakMK D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto – Määräykset 2003, Ympäristöministeriö.
- [18] RakMK D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta – Ohjeet 2007, Ympäristöministeriö.
- [19] RakMK C4, Lämmöneristys – Ohjeet 2003, Ympäristöministeriö.
- [20] Tasauslaskentaopas 2007, Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen, Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto, 24.1.2008, www.ymparisto.fi
- [21] Teollisen talovalmistuksen ilmanpitävyyden laadunvarmistus. Rakennustieto Oy. (julkaistaan RT-kortistossa)
- [22] Lämmöneristysmääräysten 2003 täyttäminen – Lämpöhäviöiden tasaus ja U-arvon laskenta. Ympäristöopas 106, Ympäristöministeriö, 2003.
- [23] SFS-EN 10456, Rakennusaineet ja tuotteet. Menetelmät ilmoitetun lämpöteknisen arvon ja lämpöteknisen suunnitteluarvon määrittämiseksi, Suomen Standardoimisliitto, 2001.
- [24] SFS-EN ISO 6946, Rakennuskomponentit ja -osat. Lämmönjohtavuus ja lämmönläpäisykerroin. Laskentamenetelmä, Suomen Standardoimisliitto, 1998.
- [25] SFS-EN ISO 10077-1, Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 1: General, Suomen Standardoimisliitto, 2006.
- [26] Keränen H., Kalema T., Luhanka J., Ikkunoiden energiatekninen suunnitteluohje. Rakennusteollisuus RT ry, 2002.
- [27] Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta – Ohje standardien SFS-EN ISO 10456 ja SFS-EN ISO 6946 soveltamiseen, RIL 225-2004, Suomen Rakennusinsinööriliitto, 2004.
- [28] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta, 765/2007, www.ymparisto.fi
- [29] Laki rakennuksen energiatodistuksesta, 487/2007, www.ymparisto.fi
- [30] Energiatodistusopas 2007, Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen, Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto, 1.4.2008, www.ymparisto.fi
- [31] SFS-EN ISO 13790, Thermal performance of buildings. Calculation of energy use for space heating, Suomen Standardoimisliitto, 2004.
- [32] Vinha J., Korpi M., Kalamees T., Eskola L., Palonen J., Kurnitski J., Valovirta I., Mikkilä A., Jokisalo J., Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviyys, Tutkimusraportti 131, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikan laboratorio, 2005.
- [33] Vinha J., Korpi M., Kalamees T., Jokisalo J., Eskola L., Palonen J., Kurnitski J., Salminen K., Aho H., Saminen M., Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous, Tutkimusraportti 140, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Talonrakennustekniikka. (julkaistaan v. 2008)
- [34] Asumisterveysohje – Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät, Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1.
- [35] Paloniitty S., Rakennuksen lämpökuvaus, Hämeen ammattikorkeakoulu, Hämeenlinna, 2004.
- [36] RT 14-10850, Rakennuksen lämpökuvaus – Rakenteiden lämpötekninen toimivuus, Rakennustietosäätiö RTS, 2005.
- [37] 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.
- [38] Sisäilmastoluokitus 2008, Sisäilmayhdistys ry. (julkaistaan v. 2008)
- [39] Rakennusmateriaalien päästöluokitus, Rakennustietosäätiö RTS, www.rts.fi
- [40] Leivo V., Rantala J., Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus, Tutkimusraportti 139, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, 2006.