

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](#)

Matalaenergia- ja passiivitalorakentamisessa huomioon otettavia seikkoja

Jukka Lahdensivu, tekniikan tohtori

Tutkimuspäällikkö, Tampereen teknillinen yliopisto

jukka.lahdensivu@tut.fi

1 Johdanto

Vuoden 2010 alussa voimaan astuneet lämmön-eristysmääräykset lisäsivät lämmöneristyksen määrää merkittävästi, minkä seurauksena monet yleisesti käytössä olleet rakennetyypit ovat kokeneet paikoin varsin huomattavia muutoksia dimensioiden kasvaessa. Siirryttäessä nyky määräysten mukaisesta rakentamisesta passiivirakentamisen tasoon lämmöneristeiden paksuus kasvaa seinissä nykyisestä noin 240 mm:stä noin 450 mm:iin käytetyn lämmöneristeen mukaan. Yläpohjissa vastaavat eristepaksuudet ovat noin 450 mm ja 700 mm, kun asiaa tarkastellaan samantyyppisillä mineraalivillaeisteillä, joita nykyisinakin käytetään. Ympäristöministeriön tavoitteena on saada kaikki uudistuotanto passiivirakentamisen tasoon ja jopa tuottamaan käyttämänsä energia ainakin osittain varsin nopealla aikataululla [1].

Näin huomattavat eristypaksuuksien lisäykset vaikuttavat suuresti siihen, miten rakenteet käytännössä toteutetaan. Harvoissa rakennetyypeissä eristypaksuutta voidaan kasvattaa näin merkittävästi ilman, että rakennetyyppiin on tehtävä oleellisia muutoksia joko jo suunnitteluratkaisun tasolla tai valmistus- ja asennustekniikoiden suhteen, etenkin jos rakennusosien kustannustehokkuus halutaan pitää hyvänä. Matalaenergia- ja passiivitaloissa rakenteiden energiatehokkuuden parantaminen tarkoittaa valtaosassa rakenteita muutoksia käytettäviin runkopaksuuksiin, eristetyyppeihin, rakenteiden ja rakennusosien liitoksiin, kiinnityksiin sekä ripustuksiin. Toisaalta osassa rakennetyypeistä muutos voi sujua lähes ongelmitta. Keskeiset rakennetyypit on koottu tätä silmällä pitäen seuraavaan taulukkoon.

Taulukko 1. Lämmöneristepaksuuden kasvattamisen ongelmallisuus eri rakennusosissa [2].

Lämmöneristepaksuuden kasvattamisen helpous/vaikeus		
Onnistuu helpohkosti	Joitakin vaikeuksia	Enemmän vaikeuksia
- Kuorimuuriseinät - Eristerapatut seinät, etenkin ohutrappaus-eristejärjestelmä - Peltisandwich- ja peltirankaelementit - Kevytsoarakatot (myös EPS/PUR + kevytsora) - Puuristikkokatot - Ontelolaatta-alapohjat	- Betonisandwich-elementit - Puurankaseinät - Mineraalivilla- ja EPS-eristetyt umpikatot - Puukorotetut katot - Kevytbetonikatot - Maanvastaaiset alapohjat	- Kevytbetoniseinät ja alapohjat - Hirsiseinät - Harkkoseinät - Puurakenteiset vasakatot - Puurakenteiset ryömintätilaiset alapohjat



Kuva 1. Lämmöneristyskyvyn parantuessa seinän ulko-osat altistuvat nykyistä ankarammalle pakkasrasitukselle lämpövuotojen vähentyessä. Kuvassa ulkoseinän kylmäsillat erottuvat selvästi muuten huurtuneesta julkisivusta.

Teollisessa asuin- ja liiketilarakentamisessa käytettävissä alapohja-, yläpohja- sekä seinärakenteissa eristypaksuuden kasvattaminen onnistuu joko helpohkosti tai siinä kohdataan jonkinasteisia vaikeuksia. Yhteistä kaikille seinärakenteille on, että seinän uloin osa altistuu jatkossa ankarammalle kosteus- ja pakkasrasitukselle, koska ulko-osat ovat aiempaa kylmemmässä ja niiden kuivuminen on hitaampaa. Tämän johdosta huokoisten materiaalien tulee olla erityisen pakkasenkestäviä, mikä edellyttää erityisesti käytettävien betonituotteiden ja laastien hyvää laadunhallintaa.

Tämä artikkeli perustuu Tampereen teknillisen yliopiston FRAME-tutkimuksen tuloksiin, missä tarkasteltiin sekä eristyspaksuuden kasvattamisen vaikutusta rakenteiden toimintaan että ilmastomuutoksen aiheuttamia olosuhtemuutoksia rakenteiden kosteustekniseen toimintaan.

2 Rakennusfysikaalisen toiminnan muuttuminen epäedullisemmaksi

Tehtyjen selvitysten mukaan [3, 4, 5, 6, 7 ja 8] vaipparakenteiden lämmöneristyskyvyn lisääminen sekä ilmaston muuttuminen nykyistä sateisemmaksi muuttaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa yleisesti ottaen epäedulliseen suuntaan. Tämä johtuu siitä, että rakenteiden kuivumiskyky ja siten ns. vikasietoisuus heikkenevät, koska rakenteiden läpi johtuva kuivattava lämpövirta pienenee samassa suhteessa kuin U-arvojen aleneminen, rakenteiden kastuminen sateessa kasvaa ja kosteuden poistuminen kuivumalla hidastuu. Tällä on merkitystä sekä rakentamis- että käyttövaiheissa.

Lämmöneristyksen lisäys ja ennustettu ilmastomuutos vaikuttavat rakenteiden kosteustekniseen toimintaan seuraavasti:

1. Lämmöneristyksen lisääntyessä rakenteiden ulko-osissa lämpötila laskee ja suhteellinen kosteus nousee, mikä entistä useammin luo kosteuden tiivistymiselle rakenteeseen tai homeen kasvulle otolliset olosuhteet. Ilmastomuutoksen aiheuttama lämpötilan nousu ja sademäärän lisäys voimistavat näitä ilmiöitä.
2. Rakentamisen yhteydessä tulee varata nykyistä enemmän aikaa rakennuskosteuden poistumiseen vaipparakenteista.
3. Yhä suurempi osa vaipparakenteiden rakennuskosteudesta poistuu rakennuksen sisätilojen suuntaan, millä on vaikutusta sisätiloissa mm. kuivatusjärjestelyihin ja töiden aikatauluihin.
4. Rakennusten käyttövaiheissa kuivumiskyvyn heikkeneminen alentaa rakenteiden vikasietoisuutta. Rakenteiden kuivumispotentiaalin vähentyminen aiheuttaa sen, että erityyppiset, nykyisin normaalisti pidetyt toimivuuspuutteet alkavat yhä helpommin muodostaa haittaa aiheuttavia vaurioita. Esimerkiksi vähäiset sisäilman vuodot vaipparakenteiden läpi tai pienet vesivuodot rakenteisiin (vesikatevuodot, julkisivusaumojen vuodot, putkistokondenssi yms.) saattavat alhaisen lämmönläpäisevyyden omaavissa rakenteissa johtaa vaurioiden syntymiseen, koska kuivuminen tapahtuu aiempaa hitaammin.

Rakenteiden kuivumiskyvyn heikkeneminen lisää riskiä lähinnä haitallisen homekasvuston muodostumiseen rakenteisiin. Tämä saattaa olla tulevai-

suudessa ongelmakenttänä nykyistään merkittävämpi, koska rakennusten käyttäjien vaatimukset homevaurioiden esiintymisen suhteen todennäköisesti entisestään tiukentuvat. Ongelmaa lisää myös se, että ilmastomuutoksen seurauksena sääolot Suomessa muuttunevat selvästi homeen kasvulle otollisiksi.

Kuivumiskyvyn heikkenemisen aiheuttamat ongelmat koskevat erityisesti niitä rakenteita, joissa on kosteudelle arkoja, lähinnä puupohjaisia materiaaleja. Kuivumiskyvylle ongelmallisia rakenteita ovat erityisesti puurakenteiset rossi- ja yläpohjaonnelot, joissa esiintyy homekasvua nykyistenkin lämmöneristysvaatimusten mukaan rakennetuissa rakennuksissa.

3 Rakenteiden kastuminen ja työnaikainen suojaus

Rakenteiden työnaikainen kastuminen aiheuttaa yleensä ylimääräistä kuivatustarvetta, aikatauluviiveitä sekä lisäkustannuksia. Myös rakennusmateriaalien ja valmiiden pintojen pilaantuminen on merkittävä riskitekijä. Tyypillisimmin rakenteille hitaasti ja vaikeasti poistuvaa ylimääräistä kosteusrasitusta aiheuttavat

- runkovaiheessa tasoilta ulkoseinäelementtien eristetilään valuva vesi
- yläpohjan rakentaminen, erityisesti ns. umpikatot
- ns. kelluvien lattioiden valaminen kantavan laatastaston päälle asennettujen eristeiden päälle
- ennakoimattomat paikalliset kosteuslähteet, kuten vesiletkujen vuodot, laastinsekoitus työpisteessä jne.



Kuva 2. Esimerkki rakennustyömaan sääsuojauksesta Ruotsin Malmössä. Kerrostalo rakennetaan kokonaan sääsuojaossa. Tosin lämmöneristeiden varastoinnissa suojaustaso ei ole samalla tasolla, vaan ne ovat paljaan taivaan alla.

Muut määritetyt työvaiheet, kuten tasoitustyöt ja pinta-lattioiden valaminen märkätiloihin ja muualle suoraan kantavaan laattaan kiinni, aiheuttavat rakennusvaiheessa ylimääräistä kosteusrasitusta. Niistä aiheutuva ylimääräinen kosteus on kuitenkin mahdollista kuivattaa suhteellisen nopeasti em. rakenteiden suuren haihduttavan pinta-alan johdosta.

Rakenteiden työnaikainen kastuminen tulee estää hyvin suunnitellulla ja toteutetulla työnaikaisella suojauksella. Erityisen tärkeää on estää veden pääsy kerroksellisten ja kotelomaisten rakenteiden sisään, joista kosteuden poistuminen on hyvin hidasta. Tällaisia ovat mm. jo mainittujen sandwich-elementtien yläosien lisäksi ikkuna- ja läpivientiaukkojen kohdat, puuelementit yleisesti sekä jo kertaalleen kuivuneet betoni- ja muut rakenteet.

Rakennuskosteuden hitaalla poistumisella on betonirakenteiden kuivumiskutistumaan ja käyritysmistaipumukseen myös positiivisia vaikutuksia. Hitaan kuivumisen johdosta betonin lujuus ehtii kehittyä paremmin, jolloin pintojen halkeilu jakautuu tasaisemmin ja halkeamaleveydet jäävät pieniksi. Toisaalta betonin tasoint- ja pinnoitustöiden aloitus siirtyy myöhäisemmäksi. Hitaan kuivumisen vuoksi paksuissa betonivaluissa materiaalille ominainen ns. autogeeninen kuivumiskutistuma, johon voidaan vaikuttaa vain materiaalivalinnoilla, ei jälkihoidolla, tapahtuu entistä myöhemmin. Siitä saattaa olla seurauksena mm. lattia- ja seinälaattojen irtoamista, mikäli laatoituksen alla ei käytetä ns. laakerointikerrosta. Myös rakenteiden sisäpintoihin asennettaviin kalusteisiin voi tulla kosteusvaurioita, jos betonirakenne ei ole päässyt kuivumaan riittävästi ennen niiden asentamista.

4 Aikataulut ja rakenteiden kuivuminen

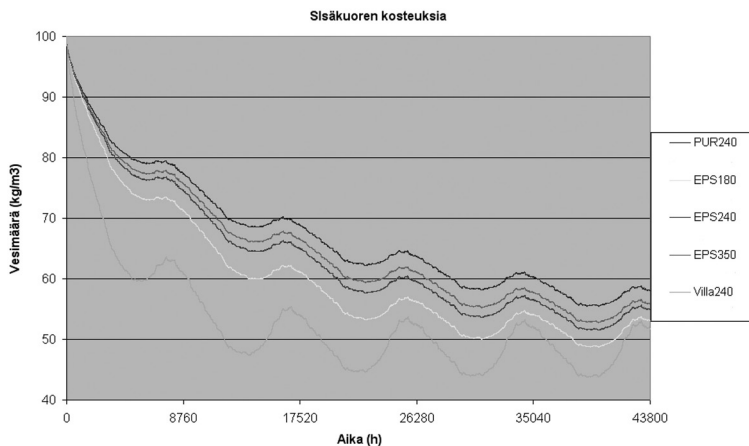
Rakennusaikaisen kosteuden poistuminen rakenteista on hidasta, ja se tulee lämmöneristeiden paksuuntuessa vielä hidastumaan. Lisäksi suomalaisessa rakentamisessa yleisesti käytettyjen mineraalivillojen korvaaminen solumuovieristeillä muuttaa kuivumiskäyttäytymistä siten, että rakenteet kuivuvat enemmän vain yhteen suuntaan eli sisätiloihin päin, mikä on nähtävissä kuvassa 3.

Rakenteiden kuivumiselle tulee antaa riittävästi aikaa. Rakenteita tulee pyrkiä tekemään mahdollisimman ”kuivina”, jotta kuivatustarve olisi mahdollisimman pieni. Tämä edellyttää mm. hyviä työnaikaisia sääsuojauksia. Rakenteita voidaan myös kuivata aktiivisesti, mikä tosin lisää rakennustyön energi-ankulutusta ja rakennuskustannuksia. Mm. näiden seikkojen huomioon ottaminen lisää jonkin verran rakentamisen kokonaisaikaa ja kustannuksia, jotka tosin on mahdollista saada ainakin osittain takaisin vähentyneenä takuukorjaustarpeena.

5 Sisäilman laatu

Hyvin lämmöneristetyissä matalaenergia- ja passiivitaloissa tulee huolehtia siitä, että rakennuksen sisäilman laatu pysyy vaadittavalla tasolla erilaisissa ilmasto-olosuhteissa. Tämä koskee toisaalta ilmanvaihtoa ja toisaalta lämpövihiytyvyyttä lämmityskauden ulkopuolella.

Rakennusvaipan hyvä lämmöneristävyyys edistää hyvän sisäilman saavuttamista lämmityskauden aikana. Kun hyvin lämmöneristetyssä rakennuk-



Kuva 3. Laskennallinen esimerkki betonielementin sisäkuoren kuivumisesta erilaisilla lämmöneristeillä ja eristepaksuuksilla [9].

sessä ulkovaipan tulee ehdottomasti olla erittäin ilmanpitävä, vuotoilmanvaihtoa ei tapahdu käytännössä juuri ollenkaan. Tästä seuraa, että rakennusten ilmanvaihtolaitteistoja on käytettävä kaikissa olosuhteissa riittävällä teholla ja varmistettava laitteiden toimivuus tavanomaista rakentamista huolellisemmin. Muussa tapauksessa rakennusten sisäilman laatu heikkenee merkittävästi ja kosteusvaurioriski voi kasvaa. Ilmanvaihdon merkitystä ja oikeaa käyttöä tulee opastaa ja ohjeistaa sekä asukkaille/käyttäjille että rakennuksen huoltohenkilöstölle. Rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen kannalta LTO-laitteiston hyötysuhde on avainasemassa, sillä ilmanvaihdon osuus rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta on tutkimuksen mukaan 30–35 % [10 ja 11].

Lämmityskauden ulkopuolella lämpökuormat ja auringon säteily kohottavat sisätilojen lämpötilaa huomattavasti enemmän nyky määräyksien mukaan eristettyihin rakennuksiin verrattuna. Erityisesti näin tapahtuu suuren lämpökuorman omaavissa toimistorakennuksissa ja kevytrakenteisissa rakennuksissa, joissa rakenteiden kyky tasata lämpötilan vuorokausivaihteluita on pieni. Selvitysten mukaan ylimmät sisälämpötilat saattavat näissä tapauksissa kohota nykyisestä useilla asteilla, jopa yli 5 asteella. Tästä syystä rakennusten jäähdytystarve kasvaa huomattavasti, mikä toisaalta laukaisee päätöksen ylipäänsä ottaa käyttöön jäähdytys tai viilennys. Tällöin rakennuksen energiankulutus voi lisääntyä merkittävästi. Nykyyennusteiden mukainen ilmastomuutos tulee lisäksi kasvattamaan rakennuksen jäähdytystarvetta tulevaisuudessa voimakkaasti [8]. Rakennusten jäähdytystarvetta voidaan pienentää passiivisilla jäähdytysratkaisuilla, kuten erilaisilla li-

poilla, markiiseilla ja kaihtimilla, auringonsuojaikkunoilla, massiivisilla rakenteilla tai faasimuutosmateriaaleja sisältävillä rakenteilla sekä yötuuletuksella (ks. kuva 4).

6 Rakenteiden ilmanpitävyys

Osa rakennusten ilmanvaihdosta on aina ns. hallitsematonta, jolloin ilma kulkeutuu paine-eron vaikutuksesta rakennuksen epätiiviykskohdista rakenteiden läpi. Tätä kuvataan ilmanvuotoluvulla n_{50} [1/h] tai q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]. Tavanomaisessa pientalossa q_{50} -luku on keskimäärin $3,7 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ [12]. Rakennusten energiankulutuslaskennassa käytetäänkin ilmanvuotoluvun perusarvona lukua $4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

Rakennuksen vaipan ilmatiiviys vaikuttaa suoraan rakennuksen energiatehokkuuteen. Ilmatiivissä rakennuksessa lämpö ei kulje ilmvirtausten mukana ulos eikä kylmää ilmaa tule sisälle. Asuin-kerrostalossa ilmanvuotoluvun n_{50} laskeminen arvosta $4,0 \text{ 1/h}$ arvoon $1,0 \text{ 1/h}$ vähentää energiankulutusta jopa 10% [13]. Ilmavuodot voivat aiheuttaa kosteuden kertymistä rakenteeseen sekä sisäilmahaittoja. Hyvin lämmöneristetyissä rakennuksissa pienetkin ilmavuodot aiheuttavat herkästi vedontunnetta.

Energiatehokkaassa rakentamisessa tulisi pyrkiä siihen, että ilmanvuotoluku q_{50} olisi alle $1 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Passiivitalojen luokituksessa on määritetty, että ilmanvuotoluvun n_{50} tulisi olla pienempi kuin $0,6 \text{ 1/h}$ (q_{50} -luvulle ei ole annettu määrittelyä). Vaipan hyvä ilmatiiviys on saavutettavissa huolellisella rakenteiden sekä liitosten valinnalla ja suunnittelulla sekä huolellisella liitosten ja läpivientien toteutuksella. Määräystasoa parempi ilmatiiviys tulee aina osoittaa kohteessa tehtävin mittauksin. Käytännössä tämä tarkoittaa mittausten suorittamista useamassa vaiheessa rakennustöiden edetessä, jotta mahdolliset epätiiviyshkohdat löydetään ja voidaan tiivistää ajoissa ennen lopullisten pintojen valmistumista.

7 Rankarakenteiset ulkoseinät

Rankarunkoisia seinä tehdään sekä metalli- että puurankaisina. Metallirankoja on yksinkertaista valmistaa seinärakenteen lämmöneristeiden vaatimalle paksuudelle. Sen sijaan puurakenteisissa passiivitaloissa nykytuotoinen pystyrungon toteutustapa ei ole enää teknisesti eikä taloudellisesti mahdollista perinteisesti sahatavaralla, jos seinäpaksuus on 300 mm tai enemmän mm . sahatavaran mittapoikkeamien vuoksi.

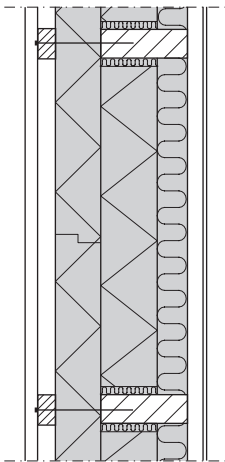


Kuva 4. Erilaisilla varjostusratkaisuilla voidaan vähentää rakennusten jäähdytystarvetta. Kuvan rakennuksessa on auringon lämmittävää vaikutusta vähentävät säädettävät säleiköt ikkunoiden edessä.

Runkotolpat ja lämmöneristeet

Rankarunkoisissa ulkoseinissä lämmöneristeet on perinteisesti asennettu pääosin rankojen väliin, mikä on varsin usein johtanut runkotolppien ylituotukseen kantavuuden suhteen jo tavanomaisessa rakentamisessa. Rakenteen kantavuuden suhteen puurunkoisissa ulkoseinissä pien- ja rivitaloissa riittävät suurelta osin 50 x 100–125 mm²:n sahatarvatolpat. Matalaenergia- ja passiivirakenteissa runkotolppien kantavuusmitoituksessa tulee rakennuksen jäykistykseen ja runkotolppien nurjastuutaan kiinnittää erityistä huomiota, mikäli rankarakenne ei jatku yhtenäisenä seinärakenteen läpi.

Matalaenergia- ja passiivitalon rakenteissa levyäisiä jäykkiä lämmöneristeitä käyttämällä osa lämmöneristyksestä voidaan helposti sijoittaa runkotolppien ulkopuolelle. Tällöin rankojen nurjastuuta ja rakennuksen jäykistys on mitoitettava pelkästään sisäpuolisilla rakenteilla. Yleisimmin jäykät levymäiset lämmöneristeet ovat solumuovipohjaisia, jotka voidaan asentaa runkotolppien väliin polyuretaanivaahdolla. Tällöin lämmöneristys estää rankojen nurjastamisen mikä voidaan joissakin tapauksissa ottaa huomioon seinän jäykistyksessä. Runkotolpan ollessa selvästi rakenteen lämpimällä puolella rakenteeseen ei pääse syntymään liian korkeita kosteusputoisuuksia. Rakennetta tehtäessä on kuitenkin varmistettava, että runkopuut ovat riittävän kuivia ennen kuin solumuovieristeet vaahdotetaan kiinni niiden ympärille.



Kuva 5. Puurankarunkoinen seinärakenne, jossa huomattavan suuri osa lämmöneristyksestä on runkotolppien ulkopuolella [2].

Ilmanpitävyys ja höyrynsulku

Rankarunkoisissa seinissä rakenteen ilmanpitävyys toteutetaan joko kalvomaisilla tai levymäisillä rakennustarvikkeilla. Käytännössä sama rakennekerros toimii myös seinärakenteen höyrynsulkuna. 0,2 mm paksu höyrynsulkumuovi on ollut käytettyin ilman- ja höyrynsulku kaikissa rankarunkoisissa ulkoseinissä. Kalvomainen höyrynsulku tulee asentaa siten, että sähköasennuksista ei aiheudu höyrynsulkuun reikiä. On suositeltavaa asentaa höyrynsulku 50 mm:n etäisyydelle sisäpinnan levyn taakse. Höyrynsulkukalvon jatkokset sekä liitokset muiden rakennusosien sekä aukkojen ilmanpitäviin kerrokseen tulee toteuttaa vähintään 150 mm:n limityksin ja puristavalla liitoksella [14].

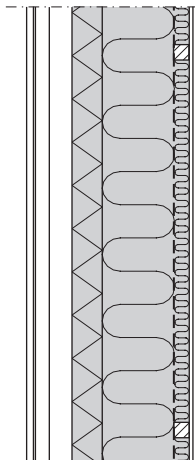
Rankarunkoisen rakenteen ilmanpitävyys voidaan toteuttaa myös rungon sisäpuolelle asennettavalla solumuovieristelevyllä. Eristelevyn tyyppi ja paksuus tulee valita siten, että saavutetaan rakenteelle riittävä vesihöyrynvastus. Solumuovieristeet vaahdotetaan rankojen väliin rakenteiden liikkeitä huomioon ottavalla saumaleveydellä (tyypillisesti 10–20 mm) ja joustavalla saumausvaahdolla.

Ulkoseinärakenteen läpivientien tiivistämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kalvomaiseen höyryn-/ilmansulkuun tehtäviä reikiä tulee välttää. Läpiviennit on suositeltavaa toteuttaa aina solumuovieristeestä tehtävän kauluksen avulla, jolloin läpivientien tiivistäminen onnistuu polyuretaanivaahdolla. Yhden putken muodostamissa läpivienneissä voidaan vaihtoehtoisesti käyttää myös joustavia muovisia tai kumisia läpivientikauluksia. Solumuovieristettyihin ulkoseiniin ei erityistä läpivientikaulusta tarvita.

Ulkopuolinen sadevesitiiviys

Rankarunkoisten seinien ulkopinta voi muodostua erilaisista verhoukslevyistä, kaseteista, pellityksestä, rapatuista levyistä sekä hyvin monenlaisista puutuotteista. Kaikelle ulkoeristykseksi oleellinen teknisen suunnittelun lähtökohta on sadevesitiiviys. Ulkoeristykseen tehtävänä on suojata varsinaista seinärakennetta sään aiheuttamilta rasituksilta. Suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota detailien ja liitosten sadevesitiivyyteen ja kosteustekniseen toimivuuteen. Toisaalta ulkoeristykseen läpi päässeeseen kosteuteen on voitava kuivua, joten ulkoeristykseen taakse tulee järjestää toimiva tuuletus.

Monet ulkoeristyslevyt ja kasetit asennetaan avosaumoin julkisivuun. Tällaisten avosaumoin asennettavien julkisivujärjestelmien taakse tulee suunnitella ja asentaa sadevesitiivis julkisivu siten, että myös tämän vesitiiviin julkisivun taakse järjestetään riittävä tuuletus. Tämä on otettava huomioon myös kaikissa julkisivun detailien, liitosten ja läpivientien suunnittelussa.



Kuva 6. Rapattu puurankaseinä toimii kosteusteknisesti, kun rappaus toteutetaan taustaltaan tuuletettuna levyrappauksena ja huolehditaan liitosten tiivyydestä [2].

Myös tiiliverhouksen läpi voi viistosateen vaikutuksesta siirtyä kosteutta rakenteen sisään huomattavia määriä, mikä on otettava huomioon erityisesti korkeissa puurunkoisissa rakennuksissa (yli 10 m korkeat seinät). Tuulensuojalevyn tulee olla hyvin lämpöeristävää ja huonosti homehtuvaa.

Tuulettuvat levyrappausjärjestelmät soveltuvat hyvin myös rankarakenteisten seinien julkisivuverhoiluksi, sillä levyjen taustalle järjestetään yhtenäinen tuuletusväli. Tuulettuvat levyrappaukset tehdään rappausalustana toimivan levyn päälle. Ilmaston muuttuessa nykyistä sateisemmaksi rapattujen julkisivujen kosteudenhallinta ja liitosten suunnittelu korostuvat entisestään. Levyrappausjärjestelmien pintakäsittelynä on varsin usein vettä hylkivä, mutta vesihöyryä läpäisevä pinnoite. Tällaiseen pintaan muodostuu sateella nopeasti vesikalvo, joka kulkeutuu tuulen vaikutuksesta julkisivupinnalla myös sivusuunnassa. Suunnittelussa ja toteutuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota levyrappausjärjestelmän halkeilemattomuuteen. Toinen keskeinen huolellista suunnittelua ja toteutusta vaativa asia on rappausten liitokset aukkoihin sekä erityisesti läpivienteihin ja erilaisiin pellityksiin. Näiden liitosten kautta ei saa päästä sadevettä levyjen taakse tuuletusväliin [15].

Ilmaääneneristys

Käytettäessä solumuovieristeitä rankarunkoisten rakennusten ulkoseinissä tulee suunnittelussa ottaa huomioon niiden vaikutus rakennuksen ilma-

ääneneristykseen. Kevyiden lämmöneristeiden ilmaääneneristyskyky on varsin vaatimaton, joten rakenteeseen tarvitaan toisaalta massaa matalien äänien vaimentamiseksi ja toisaalta pehmeää materiaalia korkeiden äänien absorboimiseen. Alueilla, joilla on asetettu vaatimuksia rakenteiden ilmaääneneristävyydelle, tulee tehdä rakennusakustiset tarkastelut tapauksittain.

Yksinkertaisimmillaan rankarakenteisen ulkoseinän ilmaääneneristävyyttä voidaan parantaa asentamalla seinän sisäpintaan 50 mm mineraalivillaa sekä sisäpintaan kaksinkertainen kipsilevytys. Solumuovieristeet toimivat tyypillisesti rakenteen ilman- ja höyrynsulkuna, joten sisäpuolelle asennettavan ääneneristysmateriaalin vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan on tarkastettava tapauksittain laskelmin.

8 Muuratut seinät ja harkkoseinät

Matalaenergia- ja passiivirakentamisen seurauksena yksiaineisten massiiviharkkoseinien rakentaminen ei ole mielekäästä rakennepaksuuden ylittäessä metrin. Lämmöneristysvaatimusten täyttäminen edellyttää käytännössä aina varsinaista lämmöneristekerrosta seinärakenteessa.

Ilmanpitävyys

Erilaisista harkoista (kahi, kevytsora, kevytbetoni) muuratut seinät eivät sellaisenaan ole ilmanpitäviä, vaan niiden ilmanpitävyys muodostuu seinän sisäpinnan tasoituksesta. Tasoituslaasti on siten levitettävä ulkoseiniin kauttaaltaan sisäpinnoille siten, että se liittyy toimivasti muiden rakennusosien sekä aukkujen ilmanpitäviin kerroksiin. Tasoituksen tulee siten ulottua seinien ylä- ja alareunoihin saakka myös kiintokalusteiden, erilaisten laiteasennusten ja alaslaskettujen kattojen taakse.

Seinärakenteen halkeamat heikentävät rakenteen ilmanpitävyyttä, joten muurattujen rakenteiden suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota halkeilun hallintaan mm. taipumia ja painumia rajoittamalla sekä seinärakenteen raudoituksella. Mikäli eristehalkaistuista harkoista muuratuissa seinissä avonaisten päätysaumojen leveys ylittää 3 mm, myös päätysaumojen tulee olla muurattu täyteen sekä sisä- että ulkopuolella. Näin varmistetaan harkkoseinän toiminta rappaus- ja tasoitealustana.

Lämmöneristeen yhtenäisyys

Muurattavissa harkoissa on tyypillisesti solumuovipohjainen lämmöneriste harkon keskellä. Eristehalkaistujen harkkojen asennuksessa lämmöneristeen pintaan levitetään polyuuretaanivahtokerros juuri ennen päälle muurattavaa harkkoa. Harkkojen

väliin ei saa jäädä tyhjiä tiloja, vaan vaahdotuksen tulee täyttää harkkojen väli kokonaan. Harkkojen välisen saumatilan täyttymisen varmistamiseksi polyuretaanivaahtoa levitetään 2–3 rinnakaista nauhaa harkkojen lämmöneristepaksuuden mukaan. Lämmöneristeiden pystysaumata vaahdotetaan täyteen ennen seuraavan harkkokerroksen muuramista/ladontaa.

Lämmöneristeen tulee olla yhtenäinen myös kuorimuuriseinissä ja ns. EPS-harkkoseinissä, mutta niissä lämmöneristeyksen yhtenäisyys on helpompi varmistaa kuin eristehalkaistuista harkoista muuratussa tai ladotussa seinässä. Lämmöneristeyksen tulee olla hyvin kiinni alustassaan ja eri lämmöneristekerrosten toisissaan, jotta eristekerrokseen ei pääse muodostumaan sisäistä konvektiota.

Kuorimuurin muuraussiteet

Matalaenergia- ja passiivirakentamisessa lämmöneristekerroksen paksuuden johdosta muuraussiteiden on oltava huomattavasti nykyistä pitempiä. Pitkät ja hoikat muuraussiteet ovat herkempiä nurjahtamaan, ja muuraussiteiden määrä onkin aina mitoitettava tapauksittain. Kuorimuriin kohdistuvia voimia on mahdollista jakaa esimerkiksi nurkka-alueille muuria raudoittamalla. Sekä muuraussiteiden että kuorimuurissa käytettävien raudoitteiden tulee olla ruostumatonta terästä.

Solumuovipohjaisten lämmöneristeiden yhteydessä muuraussiteiden asentaminen taustarakenteeseen saattaa olla hankalaa. Muuraussidettä varten tarvitaan asennuskolo, luokkaa $\varnothing$ 25 mm reikä, joka täytetään polyuretaanivaahdolla muuraussiteen asentamisen jälkeen. Polyuretaanivaahdon tulee kovettua täysin ennen kuin muuraussidettä saa taivutella kuorimuuraukseen sopivaksi. Muuraussiteen taivuttelun tulee olla hyvin vähäistä (CE-merkinnän sallimissa rajoissa) ja tapahtua siten, että polyuretaanivaahdotukseen ei muodostu rakoa. Vielä sitoutumattoman polyuretaanivaahdon häiritsemisen rikkoo saumavaahdon rakenteen ja johtaa epätiiviseen vaahdotukseen.

Kosteustekninen toiminta

Solumuovipohjaisilla lämmöneristeillä on tyypillisesti suuri vesihöyrynvastus verrattuna mineraalivilloihin. Solumuovieristeitä käytettäessä on rakenteiden kuivatukseen kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta rakenteisiin ei jää haitallisia kosteuskertymiä.

EPS-harkkoseinässä valetaan kantava betonirunko kahden EPS-kerroksen väliin. Tällaisessa seinärakenteessa rakennusaikaisen kosteuden poistuminen on erittäin hidasta, kuivuminen voi kestää jopa usean vuoden. Toisaalta rakennuksen käytön aikana sisäilman kosteus pääsee tiivistymään betoni-tyi-

men pintaan, mikäli lämmöneristeellä ei ole riittävää vesihöyrynvastusta ja tiiviyyttä.

Valuharkkoseinässä sisäkuori pääsee kuivumaan ainoastaan sisäänpäin, mikä on otettava huomioon rakennusaikatauluissa. Samoin ulkokuori kuivuu ainoastaan ulospäin, mikä on otettava huomioon julkisivun pintakäsittelyjen aikatauluissa. On suositeltavaa tehdä sisäpintojen tasoitus- ja rappaustyöt vasta yhden lämmityskauden jälkeen tai kuivattaa sisätiloja muulla tavoin aktiivisesti. Ulkokuoren kuivattaminen on harvoin mahdollista, joten viimeisten rappauspintojen tekeminen on suositeltavaa vasta vähintään yhden lämmityskauden jälkeen ulkonäköhaittojen minimoimiseksi.

9 Betonisandwich-seinät

Matalaenergia- ja passiivitaloissa betonisandwich-elementtien lämmöneristeenä käytetään yhä useammin tehokkaita solumuovipohjaisia lämmöneristeitä, joilla seinärakenteen paksuus saadaan pidettyä kohtuullisena. Tämän seurauksena elementin sisäkuoren rakennusaikainen kosteus poistuu lämmöneristekerroksen vesihöyrytiiviuden vuoksi vain sisäilmaan, mikä vaikuttaa kuivatustarpeeseen sekä pinnoitustöiden aikatauluihin.

Ilmanpitävyys

Ulkoseinärakenteen kokonaisenergiankulutuksen kannalta ulkoseinän ja siihen liittyvien rakenteiden ilmatiiviydellä on suuri merkitys. Betonielementti on yksittäisenä rakenneosana ilmanpitävä, kunhan suurten halkeamien synty on estetty hyvällä jälkihoidolla ja esimerkiksi riittävän tiheällä raudoituksella. Rakenteeseen rakennustyön aikana syntyvät halkeamat voidaan ilmanpitävyyden parantamiseksi tiivistää esimerkiksi pintakäsittelyllä.

Koko seinärakenteen ilmanpitävyys riippuu suurelta osin elementtien välisistä liitoksista sekä ikkuna- ja oviaukkojen tiivistyksestä. Ikkuna- ja oviaukot tiivistetään käyttämällä polyuretaanivaahtoa. Seinäelementtien väliset saumat tehdään juotosvaluilla (sisäkuoressa) tai joustavien elastisten saumojen avulla (ulkokuoren saumat). Saumavalujen onnistuminen on äärimmäisen tärkeää rakenteen ilmatiivyyden ja siten koko rakennuksen energiankulutuksen kannalta. Elementtien vaakasauma on hyvä suunnitella niin, että lattian tasotevalu peittää sauman. Muissa tapauksissa vaakasauma on syytä tiivistää esimerkiksi elastisella saumamassalla. Talvella elementtien saumapintojen puhdistaminen lumesta ja jäädä ennen elementtien asennusta sekä saumojen valua on erittäin tärkeää saumavalun onnistumisen kannalta.

Epätasaisen kuivumiskutistuman aiheuttama kaareutuminen

Betonisandwich-elementtien nurkkaliitoksissa on aina luokkaa 700–1000 mm pitkä ulokkeellinen osa. Mikäli elementin ulkokuoren pinnat eivät kutistu samalla tavalla (esimerkiksi ulkopinnassa on kutistumaton tiililaatta), tulee nurkkaliitoksissa ottaa huomioon ulkokuoren kaareutuminen. Elementin halkeilun estämiseksi nurkkaliitoksessa elementin ulkokuorten sauman liikevaraa tulee kasvattaa noin 25 mm. Kutistumaeroista johtuva elementtien hammastelu voi olla esteettinen haitta, mutta liikeero aiheuttaa myös leikkausrasitusta elastisille saumoille.

Ulkokuoren ulokkeiden pituuksien kasvaessa elementtien vaurioitumisriski asentaessa lisääntyy. Samoin lisääntyy ulkokuoren kaareutumistaipumus, sillä ulkokuoren reunimmaisiet kiinnityspisteet siirtyvät eristepaksuuden lisäyksen verran kauemmas reunasta.

Lämmöneristeen yhtenäisyys elementtien saumoissa

Sandwich-elementtien valmistamisessa ja asentamisessa nurkkaelementit ovat haasteellisia. Pitkien ulokkeiden vuoksi lämmöneristeiden asentaminen elementtien väliseen pystysaumaan työmaalla tapahtuvan elementtiasennuksen yhteydessä hankaloituu entisestään mineraalivilllakaistojen leventyessä. Solumuovipohjaisten elementtien asennuksen yhteydessä pystysauman vaahdottaminen on haasteellinen tehtävä. Saumavaahtoa ei ole mahdollista asentaa ennakoon pystyssä olevaan elementtiin kuten mineraalivilllakaistaa, sillä vaaho painuu kasaan viereistä elementtiä paikoilleen hierottaessa. Toimivin vaihtoehto on käyttää elementtien välisissä liitoksissa aina mineraalivilllakaistaa ja tehdä elementtien väliset valuliitokset huolellisesti.

10 Eristerappaukset

Eristerappaukset ovat tuulettumattomia rakenteita. Paksu- ja ohutrappaus-eristejärjestelmillä verhoiltavien seinien tulee olla ensisijaisesti kiviaines-pohjaisia. Rakenteet voivat olla valettuja, ladottuja tai muurattuja joko paikalla rakennettuina tai elementtirakenteisina. Seinän runko toimii rappauksen ja lämmöneristeiden kantavana rakenteena sekä monessa tapauksessa myös rakennuksen väli-ilmatiiviyskerroksena.

Kaikkien eristerappausjärjestelmien tulee muodostaa toimiva ja testattu kokonaisuus. Eristerappausjärjestelmien vaatimuksia on esitetty ohjeessa ETAG 004 [16]. Kansalliset vaatimukset ovat tätä tiu-

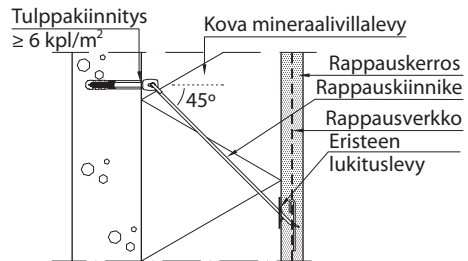
kempia mm. laastien ja järjestelmien pakkaskestävyyden osoittamisen suhteen [15].

Paksurappaus-eristejärjestelmä

Paksurappaus-eristejärjestelmässä noin 20–25 mm:n paksuinen mekaanisesti alustaan kiinnitetty rappauskerros rapataan aina mineraalivilllaeristeen pintaan. Matalaenergia- ja passiivitaloissa paksu lämmöneristyskerros tuo haasteita paksurappaus-eristejärjestelmän lämmöneristeiden sekä rappausverkon kiinnikkeiden asentamiseen. Niissä lämmöneristeet on asennettava kahdesta tai kolmesta eri eristekerroksesta.

Rappauskerroksen mahdollisimman vähäisen painumisen varmistamiseksi rappausverkon kiinnikkeet asennetaan noin 45 °:n kulmaan. Rappauskerroksen painumattomuus on keskeistä rappauskerroksen halkeilun vähentämisessä ja siten mm. sadeveden sisään pääsyn rajoittamisessa. Oikeanlaisten kiinnikkeiden lisäksi rappauksen vähäiselle painumiselle merkittävä asia on lämmöneristekerroksen pieni kokoonpuristuminen kuormituksen alaisena. Mitä vähemmän lämmöneristeet painuvat kasaan, sitä vähemmän rappauskerros painuu alas-päin. Kiinnikkeiden mitoituksessa on otettava huomioon, että kuormitus ei jakaudu tasaisesti kaikille kiinnikkeille, vaan rappauskerroksen lämpö- ja kosteusolosuhteiden mukaan rappauskerros joko roikkuu ylimpien tai seisoo alimpien kiinnikkeidensä varassa.

Paksurappaus-eristejärjestelmissä on suositeltavaa käyttää ns. hybridieristeitä, joissa lämmöneristekerros muodostuu solumuovieristeen ja mineraalivilllan yhdistelmästä siten, että rappauskerroksen alla on vähintään 50 mm:n paksuinen rappausalustaksi tarkoitettu mineraalivilllakerros, joka toimii laakerikerroksena solumuovieristeiden ja rappauskerroksen välissä jotta rappausverkon kiinnikkeet on mahdollista asentaa. Tällöin ohuemman lämmöneristekerroksen vuoksi rappausverkon kiinnikkeet muodostuvat lyhyemmiksi.



Kuva 7. Periaatekuva paksurappaus-eristejärjestelmän kiinnityksestä alusrakenteeseen [15].

Ohutrappaus-eristejärjestelmä

Ohutrappaus-eristejärjestelmässä lämmöneristeiden ulkopintaan rapataan yhtenäinen, verkolla vahvistettu noin 5–10 mm:n paksuinen rappauskerros. Ohutrappaus-eristejärjestelmässä lämmöneristeillä on lämmöneristyskyvyn lisäksi myös rakenteen kantavuuteen ja kuormituksen välittämiseen liittyvä tehtävä. Rappauskerros kiinnittyy lämmöneristeisiin ainoastaan laastitartunnalla ja lämmöneristeet alusrakenteeseen joko laasti- tai valutartunnalla. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetään niitä varten kehitettyjä lämmöneristeitä, tyypillisesti EPS-eristettä tai tarkoitukseen valmistettua mineraalivillaa, joka voi olla joko lamelli- tai levytuote. Oleellista on, että käytettävien lämmöneristeiden pitkäaikainen leikkausjäykkyys on riittävä suuri, jotta rappaukset eivät painu liikaa, ja toisaalta puristus- sekä vetolujuus on riittävä tuulen paineelle ja imulle sekä mekaaniselle rasitukselle. Hybridieristeitä käytettäessä uloimpana eristerakkeena tulee olla ohutrappaus-eristejärjestelmän alustaksi kelpaava eristerakke.

Ohutrappaus-eristejärjestelmien pinnoitteena on varsin usein vettä hylkivä, mutta vesihöyryä läpäisevä pinnoite. Tällaiseen pintaan muodostuu sateella nopeasti vesikalvo, joka kulkeutuu tuulen vaikutuksesta julkisivupinnalla myös sivusuunnassa. Suunnittelussa ja toteutuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota ohutrappaus-eristejärjestelmän halkeilemattomuuteen.

Huolellista suunnittelua ja toteutusta vaativat myös rappauksen liitokset aukkoihin sekä rakenteiden liitokset ja erilaiset pellitykset. Liitokset onnistuvat varmimmin, kun käytetään erilaisia ohutrappaus-eristejärjestelmään kuuluvia päättö-, alareuna-, nurkkavahvikeprofiileita ja -listoja sekä liikuntasaumaprofiileja.

Erityistä eristerappaus-elementeistä

Sekä paksu- että ohutrappaus-eristejulkisivuja tehdään hyvin paljon elementtitehtaalla valmistetuista valmisosista eli elementeistä. Paksujen lämmöneristerakkeiden yhteydessä työmaalla tehtävässä asennuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota elementtien väliseen lämmöneristykseen yhtenäisyyteen. Elementtien välisessä saumassa tulee käyttää samantyyppistä eristettä kuin elementeissäkin on käytetty.

Elementtien liitoksissa rappausverkon tulee limityä vähintään 100 mm, jotta rappauskerroksesta on mahdollista saada yhtenäinen ja ehjä. Useimmilla elementin valmistajilla on niihin omat toimivat detailit. Elementtien lisäksi rakennuksissa on usein laajojakin työmaalla rapattavia osuuksia, jotka liittyvät joltakin reunalta eristerapattuun elementtiin. Nämä työmaalla tehtävät rappauskentät tulee suunnitella



Kuva 8. Paksurappaus-eriste-elementit asennettuna rakennuksen päätyseinään.

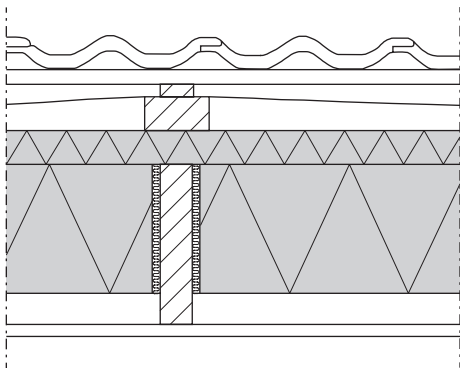
siten, että niissä ei esiinny liike-eroja elementteihin nähden. Mikäli liike-eroja ei voida välttää, tarvitaan liitoksiin liikuntasaumamat.

11 Yläpohjat

Tuuletetut yläpohjat

Tuuletetuissa yläpohjissa esiintyy jo nykyisin pitkiä, homeen kasvulle otollisten olosuhteiden ajanjaksoja, jotka ilmastonmuutoksen edetessä tulevat entistä suotuisemmiksi. Kriittisimmät olosuhteet ovat rakenteen yläosissa lähellä vesikatetta. Kirkkaina öinä vesikate jäähtyy ulkoilmaa kylmemmäksi katteen ulkopinnasta taivaalle lähtevän lämpösäteilyn takia. Tämä lisää entisestään riskiä homeen kasvulle ja kosteuden kondensoitumiselle. Tästä syystä aluskatteena tulee käyttää kosteutta kestäviä tuotteita, jotka eivät ole herkkiä homehtumaan.

Puurunkoisissa yläpohjassa kantavien puurakenteiden kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa asentamalla niiden ulkopuolelle varsinaisen vesikatteen alle lämmöneristys, jonka lämmönvastus on vähintään 0,4 m²K/W. Ristikkorakenteisissa tuuletetuissa yläpohjassa kattoristikoiden ulkopuolinen lämmöneristys voidaan toteuttaa lämpöä eristävällä aluskatteella tai erillisellä aluskatteen ja ristikon yläpäärteen väliin laitettavalla lämmöneristerakkeksel-



Kuva 9. Puurakenteinen vasakatto, jossa osa lämmöneristyksestä on kantavien vasojen yläpuolella. Rakenteen suunnittelussa ja vasojen yläpuolisen lämmöneristepaksuuden määrittämisessä on otettava huomioon, ettei vasojen yläosaan pääse muodostumaan homeelle ja kosteuden kondensoitumiselle suotuisia olosuhteita [2].

la. Vinoissa yläpohjissa kattovasojen ulkopuolinen lämmöneristys saadaan aikaan lämpöä eristävällä tuulensuojalla. Niissä tuulensuoja voi toimia samalla myös aluskatteena, jos se täyttää aluskatteelta vaadittavat ominaisuudet ja aluskatteen sekä vesikatteen väli on riittävän hyvin tuuletettu [17].

Lämpöä eristävän aluskatteen on täytettävä kaikki perinteiselle ohuelle aluskatteelle asetetut vaatimukset. Sen tulee olla vedenpitävä ja kosteutta kestävä eikä se saa repeytyä tai vaurioitua rakenteiden muodonmuutosten vuoksi. Jos vesikatteen alla on yhtenäinen lauta- tai vanerialusta, lämpöä eristävä aluskate voidaan asentaa sen päälle. Muussa tapauksessa se on tarvittaessa tuettava erikseen. Vesikatetta ja sen tukirakenteita asennettaessa tulee kiinnitykset alapuoliseen kantavaan puurakenteeseen tehdä siten, että vesikatteen ja kantavan puurakenteen välisessä liitoksessa säilyy riittävä lämmöneristys ja lujuus [17].

Tuulettumattomat yläpohjat

Tyypillisesti suurten teollisuus- ja liikerakennusten yläpohjissa käytetään mineraalivillaeeristeisiä bitumikermikattoja. Tuuletus on järjestetty painovoimaisena räystäältä sekä mahdollisesti ns. alipainetuulettimin katon keskiosilta. Kattorakenteiden tuuletus on niin vaatimatonta ja satunnaista, että niitä voidaan pitää tuulettumattomina yläpohjoina.

Tuulettumattomien ja heikosti tuulettuvien yläpohjien rakennusaikainen kosteudenhallinta ja sadevedeltä suojaaminen ovat keskeinen edellytys

rakenteen onnistuneeseen toteutukseen, sillä rakenteeseen päässeen veden poistuminen umpinaisesta kattorakenteesta kestää useita vuosia. Lämmöneristeiden kastuminen työn aikana on estettävä hyvällä suojauksella, mikä laajoilla kattopinnoilla saattaa olla hyvinkin haastavaa. Lämmöneristeiden asennus on suositeltavaa tehdä tilapäissuojien alla. Taivasalla tehtävä kattotyö on suunniteltava siten, että lämmöneristeet ehditään peittää sateen sattuessa tilapäissuojalla ja vesikate ehditään asentaa ennen työpäivän päättymistä. Veden kulkeutuminen valmiilta kattopinnalta vielä keskeneräiseen kattorakenteeseen ja lämmöneristeisiin on estettävä.

Matalaenergia- ja passiivitaloissa yläpohjissa on lämmöneristettä huomattavan paksulta, joten se myös painuu tavanomaista enemmän kuormituksen alaisena. Lämmöneristekerroksen painuminen on otettava huomioon mm. mekaanisten kiinnikkeiden valinnassa sekä kulkuteiden suunnittelussa. Vesikatteen mekaanisten kiinnikkeiden tulee joutaa riittävästi kuormituksen alla, jottei kiinnikkeiden kohdille muodostu ns. kovia kohtia eikä vesikate siten rikkoudu. Mineraalivillakatot eivät ole tarkoitettuja kulkuväviksi, kulkuväylillä eriste painuu jalan alla kasaan ja toistuvassa rasituksessa lämmöneriste pehmenee. Kulkuväylille tulee suunnitella erilliset kulkusillat, tai kulkuväylillä lämmöneristeen tulee olla kuormitusta kestävä, tarkoitukseen soveltuvaa solumuovieristettä. Lisäksi kulkuväylät tulee merkitä esimerkiksi erivärisellä pintakermillä.

Yläpohjan ilmanpitävyys

Matalaenergia- ja passiivitaloissa yläpohjan ilmanpitävyys ja vesihöyrytiiveys ovat yhtä tärkeitä kuin kaikissa muissakin lämmitetyissä rakennuksissa.

Puurakenteisissa yläpohjissa rakenteen ilmatiiyys aikaansaadaan joko kalvomaisilla tai levymäisillä rakennustarvikkeilla. Käytännössä sama rakennekerros toimii myös yläpohjan höyrynsulkuna. 0,2 mm paksu höyrynsulkumuovi on ollut käytetty ilman- ja höyrynsulku kaikissa puurakenteisissa yläpohjissa. Kalvomainen höyrynsulku tulee asentaa siten, että sähköasennuksista ei aiheudu höyrynsulkuun reikiä. Höyrynsulun liitokset ja jatkokset tulee tehdä puristusliitoksiksi [14]. Yläpohjan ilmansulkuna voidaan käyttää myös solumuovieristelevyjä, joilla on riittävän suuri vesihöyrynvastus. Solumuovieristeet vaahdotetaan kattokannattajien väliin joustavalla saumausvaahdolla ja saumausvälin valinnassa tulee huomioida rakenteiden liikkeet. Kattorakenteiden kuormituksesta aiheutuvaa painumaa on syytä rajoittaa erityisesti palkin ja seinän liitoksessa, jotta polyuretaanivaahdotus pysyy ehjänä.

Kevythormit

Elementeistä koostuvissa metallisissa kevythormeissa savukaasujen lämpötila voi nousta paikallisesti liian korkeaksi yläpohjan paksun lämmöneristeen kohdalla ja aiheuttaa palovaaran lämmöneristeseen ja yläpohjapalkkeihin. Kevythormin kohdalla yläpohjan lämmöneristepaksuutta on paikallisesti pienennettävä, jotta eriste viilenisi tehokkaammin [18].

12 Alapohjat

Ryömintätilaiset alapohjat

Matalaenergia- ja passiivitaloissa on oleellista, että alapohjarakenne tehdään täysin ilmatiiviiksi, jotta ryömintätilassa olevat homeet ja mikrobit eivät pääse sisäilmaan. Rakennuksen alaosassa sisätiloissa vallitsee tyypillisesti alipaine, jolloin ryömintätilassa olevat haitalliset aineet pääsevät herkästi sisätiloihin, jos alapohjarakenteessa on ilmavuotoja. Rakenteen ilmatiiviys on tärkein yksittäinen asia, joka tulee varmistaa ryömintätilaisissa alapohjissa.

Ryömintätilaa tulee tuulettaa, mutta liian voimakas tuuletus lisää ulkoa tulevan kosteuden määrää ja voi heikentää ryömintätilan kosteusolosuhteita. Ryömintätilan suositeltava ilmanvaihdon kerroin on 0,5–1,0 1/h. Ryömintätilaisissa alapohjissa ei saa säilyttää orgaanisia materiaaleja eikä maapohja saa muodostaa monttua, johon vesi jää herkästi makaa-maan.

Ryömintätilan maapohja tulisi lämmöneristää kauttaaltaan, jolloin maapohja jäähtyy ja sieltä diffuusiolla tulevan kosteuden määrä vähenee. Lisäksi lämmöneristys ehkäisee ryömintätilan viilenemistä maan vaikutuksesta. Maanpinnan lämmöneristäminen on erityisen tärkeää varsinkin puurakenteisessa ryömintätilaisessa alapohjassa. Kivirakenteisessa alapohjassa myös sepelikerroksen käyttö on mahdollinen.

Puurakenteisissa ryömintätilaisissa alapohjissa tuulensuojan tulee olla aina hyvin kosteutta kestävä. Tuulensuojana ei saa käyttää homehtumiselle herkkiä materiaaleja. Lisäksi tuulensuojan lämmönvastuksen tulee olla aina vähintään 0,4 m²K/W, ellei kantavan puurakenteen ja tuulensuojan välissä käytetä erillistä lämmöneristekerrosta, jonka lämmönvastus on riittävä.

Maanvastaiset alapohjat

Maanvastaiset betonialapohjat ovat tyypillisesti betonilaattoja, joiden alle on asennettu 200–300 mm EPS-lämmöneristettä. Maanvastaisen alapohjan liitosten ja läpivientien tiivistäminen ilmatiiviiksi on yhtä tärkeää kuin ryömintätilaisissa alapohjissa; korvausilmaa ei saa tulla sitä kautta sisäilmaan. Lämmöneristekerros painuu kuormituksen vuoksi

si hitaasti useiden vuosien kuluessa, jolloin ongelmat ilmaantuvat viiveellä. Eristeiden painuminen tulee ottaa huomioon alapohjan ja kantavien pystyrakenteiden liitosten suunnittelussa. Liitokset tulee tehdä siten, että esimerkiksi vedeneristykset ja radontitiivisykset pysyvät ehjinä laatan lievästä painumisesta huolimatta tai että laatan painuminen liitosalueella estyy.

13 Käyttäjän opastus

Rakennuksen energiatehokkuus ei välttämättä toteudu pelkästään hyvällä lämmöneristyksellä rakennuksen vaipan eri rakenteissa. Tarvitaan myös matalaenergia- ja passiivitaloihin soveltuvat tekniset järjestelmät, joilla saadaan mahdollisimman paljon esimerkiksi ilmanvaihdon energiaa talteen.

Kokonaisenergian käytössä keskiössä on kuitenkin ihminen, rakennuksen käyttäjänä tai asukkaana. Aiempien tutkimusten mukaan [19 ja 20] samantyyppisten rakennusten todellisessa energiankulutuksessa voi olla jopa viisinkertainen ero käyttötottumuksien mukaan. Siirryttäessä matalaenergia- ja passiivitaloihin ei rakennusten todellinen energiankulutus välttämättä laske oleellisesti keskimääräisestä nykytasosta edellä esitetystä syystä. Onkin oleellista ohjeistaa asukkaita ”nuukaan” asumiseen eli korostaa asumistottumusten vaikutusta rakennusten todelliseen energiankulutukseen, jossa mm. lämpimän veden käyttö on keskeisestä.

Sisäilman laadun takaamiseksi rakennusten ilmanvaihtoa ei tule kytkeä missään vaiheessa kokonaan pois päältä, vaikka sen kautta kulkeutuu huomattava määrä energiaa ulos. Sen määrää voidaan kuitenkin pienentää. Ilmanvaihdon oikea sekä tarpeenmukainen säätö ja mitoitus ovat asumisviihtyvyyden sekä energiankulutuksen kannalta oleellisia. Nämä seikat on syytä tuoda hyvin esiin sekä rakennuksen käyttäjille että niiden kunnossapidosta vastaaville henkilöille.

Lähteet

- [1] Martinkauppi, K. 2010. ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. Helsinki. Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes. 92 s.
- [2] Lahdensivu, J., Suonketo, J., Vinha, J., Lindberg, R., Manelius, E., Kuhno, V., Saastamoinen, K., Salminen, K., Lähdesmäki, K. 2012. Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu ja toteutusohjeita. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 160. 121 s. + 1 liite.
- [3] Ahrens, C. & Borglund, E. 2007. Fukt på kallvindar – en kartläggning av småhus i Västra Götalands län. Examensarbete inom civilin-

- genjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad, Chalmers Reproservice. Göteborg.
- [4] Padt, M., Tolstoy, N. & Deling, J. 2004. Fukttekniska lösningar för kryppgrunden med problem. Bygg & teknik 8/04, s. 29–34.
- [5] Samuelson, I. & Hägerhels, Engman, L. 2006. Kalla Vindar – problem och förbättringas. Bygg & Teknik 4/06.
- [6] SBUF Informerar nro 07:17. 2007. Fuktdimensionering av kryppgrund. SBUF Informerar nro 07:17. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.
- [7] Vinha, J., Lindberg, R., Pentti, M., Aaltonen, A., Aho, H., Heljo, J., Korpi, M., Lahdensivu, J., Leivo, V., Lähdesmäki, K., Mattila, J., Salminen, K., Suonketo, J. 2008. Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tutkimustuloksia ja suosituksia uusiin lämmöneristys- ja energiankulutusmääräyksiin ja -ohjeisiin. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusselostus 1706. 89 s.
- [8] Vinha, J., Laukkarinen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhnö, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O., Koskenvesa, A. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 159. 354 s. + 43 liites.
- [9] Ormiskangas, P. 2009. Betonisandwich-elementin kosteustekninen toiminta paksuilla eristeillä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere. 127 s. + 7 liites.
- [10] Linne, S. 2012. Ulkovaipan lämpötalouteen vaikuttavat korjaustoimenpiteet käytännössä. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. 57 s. + 50 liites.
- [11] Mäkinen, H. 2009. Energiatlehokas ikkuna- ja julkisivukorjaus. [WWW]. Suomen Talokeskus. [viitattu 28.2.2012]. Saatavissa: <http://www.teeparannus.fi/attachements/2009-04-22T10-49-599785.pdf>
- [12] Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K., Keto, M. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 140. 148 s. + 19 liites.
- [13] Boström, S. 2012. Lähiokerrostalon energiatehokkuusluvun laskenta ja lämmönkulutuksen jakautuminen. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Diplomityö. 89 s.
- [14] Aho, H. & Korpi, M. (toim.), Vinha, J., Lindberg, R., Mattila, J., Lahdensivu, J., Hietala, J., Suonketo, J., Salminen, K., Lähdesmäki, K. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka. Tutkimusraportti 141. Tampere. 100 s.
- [15] Lahdensivu, J., Suonketo, J., Vaarala, M., Pentti, M. 2011. Eriste- ja levyrappaus 2011. Suomen Betoniyhdistys ry. Julkaisusarja BY 57. 196 s.
- [16] ETAG 004 2008. Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering. European Organisation for Technical Approvals. Brussels. 114 s. + 29 liites.
- [17] Laamanen, P., Heimala, A., Heimonen, I., Järvinen, P., Vinha, J., Åström, G. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Julkaisusarja RIL 107-2012. 219 s.
- [18] Tutkimusselostus TTY/PALO/1950. 2011. Metalisten kevythormien paloturvallisuus. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Palolaboratorio. 78 s.
- [19] Vinha J., Korpi M., Kalamees T., Eskola L., Palonen J., Kurnitski J., Valovirta I., Mikkilä A., Jokisalo J. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka. Tutkimusraportti 131. 102 s. + 10 liites.
- [20] Boström, S., Uotila, U., Linne, S., Hilliäho, K., Lahdensivu, J. 2012. Erilaisten korjaustoimien vaikutuksia lähiokerrostalojen todelliseen energiankulutukseen. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 158. 77 s.