



SAVONIA

Asuinkerrostalon betonisandwich-elementin kosteusteknisen toiminnan muutos lisäeristämisen yhteydessä

Tommo Hämäläinen

Opinnäytetyö

| | | | |
|--|---------------------|--------------------|------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | | | |
| Koulutusohjelma Rakennustekniikka | | | |
| Työn tekijä(t) Tommo Hämäläinen | | | |
| Työn nimi Asuinkerrostalon betonisandwich-elementin kosteusteknisen toiminnan muutos lisäeristämisen yhteydessä | | | |
| Päiväys | 28. toukokuuta 2013 | Sivumäärä/Liitteet | 51/5 |
| Ohjaaja(t) Harry Dunkel, lehtori ja Ulla Haverinen-Shaughnessy, erikoistutkija | | | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Terveyden ja hyvinvoinninlaitos, ympäristöterveyden osasto, Kuopio | | | |
| Tiivistelmä Tämä opinnäytetyö tehtiin Terveyden ja hyvinvoinnin laitokselle liittyen INSULAVO-projektiin, jossa selvitetään rakennusten energiatehokkuutta lisäävien toimenpiteiden vaikutuksia sisäympäristön laatuun ja terveyteen. Opinnäytteen tavoitteena oli tarkastella muutosta betonisandwich-elementin kosteusteknisessä toiminnassa diffuusion osalta lisäeristämisen yhteydessä. Työssä perehdyttiin rakenteiden kosteusteknisen toimintaan vaikuttaviin fysikaalisiin ilmiöihin, ulkoseinien lisäeristykseen toteutustapoihin ja mikrobin kasvuedellytyksiin. Lisäksi työssä tarkasteltiin laskennallisesti Kuopiossa sijaitsevan hiljattain energiaremontoidun kerrostalon ulkoseinissä diffuusiolla tapahtuvaa kosteuden siirtymistä. Laskelmat tehtiin käsin ja ne perustuivat sisä- ja ulkoilmasta mitattuihin lämpötila- ja kosteusarvoihin. Laskelmia tehtiin myös ottamalla huomioon vaihtoehtoiset eristysratkaisut. Laskelmien mukaan tutkitut lisäeristysvaihtoehdot toimivat hyvin. Alkuperäinen seinärakenne oli lisäeristykseen jälkeen kuivissa ja lämpimissä olosuhteissa eikä kosteuden tiivistymistä havaittu missään osassa lisäeristettyä seinärakennetta. Jokainen tarkastelluista lisäeristysvaihtoehdoista on diffuusion osalta turvallinen. | | | |
| Avainsanat Lisäeristäminen, betonisandwich, lämpö, kosteus, diffuusio | | | |
| | | | |

| | | | |
|--|---------------------------|------------------|------|
| Field of Study | | | |
| Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme | | | |
| Construction Engineering | | | |
| Author(s) | | | |
| Tommo Hämäläinen | | | |
| Title of Thesis | | | |
| Moisture Technical Function of Concrete Sandwich Element after Additional Insulation | | | |
| Date | 28 th May 2013 | Pages/Appendices | 51/5 |
| Supervisor(s) | | | |
| Harry Dunkel, Principal Lecturer and Ulla Haverinen-Shaughnessy, Senior Reseacher | | | |
| Client Organisation /Partners | | | |
| National Institute for Health and Welfare, Department of Environmental Health, Kuopio. | | | |
| Abstract | | | |
| <p>This thesis was commissioned by National Institute for Health and Welfare and it was conducted as a part of INSULAVO-project which aims to research energy efficiency improvements of buildings in Eastern Finland. The purpose of the thesis was to evaluate the alteration of diffusion and temperature in concrete sandwich elements of an apartment house after extra insulation has been added.</p> <p>In this thesis physics behind the moisture technical function of structures, implementation of additional isolation in external walls and the precondition of the microbe growth were familiarized with. In addition diffusion in the external walls of a recently overhauled apartment house located in Kuopio was evaluated. The calculation was made manually based on the temperature and humidity measured indoors and outdoors. Also alternative insulation options were evaluated.</p> <p>The results were positive as all the additional insulation options were working well. What comes to diffusion they all were safe to use. The original structure was in good condition after additional insulation.</p> | | | |
| Keywords | | | |
| Isolation, prefabricated concrete element, diffusion, heat, moisture | | | |
| | | | |

ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia, jotka ovat olleet mukana auttamassa minua opinnäytetyön aikana. Erityiskiitos kuuluu työn ohjaajille Ulla Haverinen-Shaughnessylle (THL) ja Harri Dunkelille (Savonia AMK). Tausta-aineiston keräämisessä suurena apuna olivat Olli Kuronen (Niiralan Kulma Oy) ja Maria Pekkonen (THL).

Kuopiossa 15.4.2013

Tommo Hämäläinen

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO..... | 8 |
| 1.1 INSULAVO- projekti..... | 8 |
| 1.2 Rakennusfysikaaliset tekijät..... | 8 |
| 1.2.1 Veden kapillaarinen siirtyminen..... | 8 |
| 1.2.2 Diffuusio..... | 9 |
| 1.2.3 Konvektio..... | 11 |
| 1.2.4 Kosteuslähteet..... | 12 |
| 1.2.5 Kosteuden tiivistyminen ja kertyminen..... | 17 |
| 1.2.6 Rakenteiden kuivuminen..... | 18 |
| 1.3 Lisälämmöneristäminen..... | 19 |
| 1.3.1 Ulkoseinien lisälämmöneristäminen..... | 19 |
| 1.3.2 Eristerappaus..... | 21 |
| 1.3.3 Tuulettuvat levyverhoukset..... | 23 |
| 1.4 Mikrobikasvusto rakennuksissa..... | 25 |
| 1.4.1 Mikrobikasvun edellytykset..... | 25 |
| 1.4.2 Betoni kasvualustana..... | 27 |
| 1.4.3 Eistemateriaalit kasvualustana..... | 28 |
| 2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET..... | 29 |
| 3 KOHTEET JA MENETELMÄT..... | 30 |
| 3.1 Tutkittava kohde..... | 30 |
| 3.1.1 Kohteen perustiedot..... | 30 |
| 3.1.2 Ulkoseinien vanha rakennetyyppi..... | 31 |
| 3.1.3 Asuinkerrosten ulkoseinien lisäeristys..... | 32 |
| 3.1.4 Asuinkerrosten ulkoseinien vaihtoehtoinen lisäeristys..... | 34 |
| 4 TULOKSET..... | 37 |
| 4.1 Laskenta..... | 37 |
| 4.2 Alkuperäinen rakenne..... | 37 |
| 4.3 Levyrappaus 50 mm lisäeristeellä..... | 39 |
| 4.4 Levyrappaus 100 mm lisäeristeellä..... | 40 |
| 4.5 Lämpörappaus 50 mm lisäeristeellä..... | 42 |
| 4.6 Lämpörappaus 100 mm lisäeristeellä..... | 44 |
| 5 POHDINTA..... | 46 |
| 5.1 Johtopäätökset tuloksista..... | 46 |
| 5.2 Pohdintaa lisäeristämisestä..... | 46 |
| LÄHTEET..... | 50 |

LIITTEET

Liite 1 Laskelmien tulokset

1 JOHDANTO

1.1 INSULAVO- projekti

Tavoitteena tässä opinnäytetyössä tarkastellaan muutosta peruskorjatun asuinkerrostalokohteen ulkoseinien kosteusteknisessä toiminnassa. Kyseinen kohde on mukana ”rakennusten energiatehokkuuden parantaminen Itä-Suomessa -projektissa” (INSULAVO). Vuosina 2010 - 2013 toteutettava projekti on Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) Ympäristöterveyden osaston ja Itä-Suomen yliopiston rinnakkaishanke, jossa selvitetään rakennusten energiatehokkuutta lisäävien toimenpiteiden vaikutuksia sisäympäristön laatuun ja terveyteen. Projektin rahoitus tulee pääosin Euroopan aluekehitysrahastosta. (INSULAVO.)

INSULAVO-projektin tavoitteina on arvioida energiaparannusten kokonaisvaikutuksia ja lisätä itäsuomalaisten tutkimuslaitosten ja yksityisen sekä julkisen sektorin vuorovaikutusta. Tutkimuksen pilottikohteina toimii noin 15 asuinkerrostaloa ja 10 koulua Kuopiossa ja lähialueilla. Tietoa kohteista kerätään niiden käyttäjien haastatteluin sekä Itä-Suomen yliopiston toteuttamin mittauksin. Kenttätutkimuksia ja mittauksia tehdään asuintaloissa ennen ja jälkeen energian kulutusta parantavien toimenpiteiden. Asuinkerrostaloista kerätään aineistoa lämpö- ja kosteusolosuhteista, ilmanvaihdosta, tiiveydestä, käyttäjien toiminnoista ja ajankäytöstä sekä koetusta viihtyvyydestä ja terveydestä. (INSULAVO.)

1.2 Rakennusfysikaaliset tekijät

1.2.1 Veden kapillaarinen siirtyminen

Veden kapillaarinen siirtyminen tarkoittaa sitä, että kosteus siirtyy nesteinä rakennusaineen huokosissa. Rakenteen eri ainekerrokset pyrkivät tasapainokosteuteen. Huokoiset materiaalit, kuten puu, tiili ja harkko, kuljettavat vettä huokosissaan ja niillä kullakin on erilainen kyky imeä ja kuljettaa vettä. Veden lähteitä ovat mm. sade, pohjavesi ja sulamis- sekä valumavedet. (Siikanen 1996, 52 - 53.) Veden kapillaarista siirtymistä tapahtuu aina, kun rakenne on kosketuksissa vapaaseen veteen tai on kosketuksissa toiseen kapillaarisella alueella olevaan rakennusmateriaaliin.

Kosteuden kondensoituminen rakenteeseen tai sen osaan voi mahdollistaa sen siirtymisen kapillaariselle alueelle. (Ympäristöministeriö 1997, 54.)

Jos huokoinen materiaali on kosketuksissa vapaaseen veteen, imeytyy siihen vettä kapillaarisesti. Kapillaariset voimat aiheuttavat huokosalipaineen, joka saa veden siirtymään kapillaarisesti. Huokosalipaine on sitä suurempi, mitä pienempi huokonen on ja näin ollen sitä korkeammalle vesi nousee kapillaarisesti. Vesi nousee kapillaarisesti korkeuteen, jossa se on tasapainossa maan vetovoiman kanssa. Vesi voi myös siirtyä kapillaarisesti materiaalista, jossa on suuremmat huokokset materiaaliin, jossa pienemmät huokokset ja samoin materiaalin sisällä suuremmista huokosista pienempiin. (Ympäristöministeriö 1997, 52.) Käytännön rakentamisessa kosteuden siirtyminen huokoiseen aineeseen yleensä estetään kapillaarisen siirtymisen katkaisevalla kerroksella, joka voi olla esimerkiksi muovikalvo, bitumisively tai -kermi (Siikanen 1996, 54).

Se kuinka nopeasti vesi siirtyy kapillaarisesti riippuu huokosalipaineen suuruudesta ja vedenvirtausta vastustavista voimista. Vedenvirtausta vastustavat kitkavoimat kasvavat, kun huokoskoko pienenee ja veden kulkema matka kasvaa. Materiaalin huokosten koko aina vaihtelee, joten virtausnopeuskin vaihtelee materiaalin sisällä eri huokosten välillä. Aluetta, jonka huokokset ovat täyttyneet vedellä kapillaarisesti, kutsutaan tunkeutumissyvydeksi, jota voidaan arvioida kaavalla:

$$X = B\sqrt{t} \quad (1)$$

jossa X = veden tunkeutumissyvyys (m)

B = vedentunkeutumiskerroin (m / s^{0,5})

t = aika (s)

Yleensä rakenteissa vesi ei nouse suurinta nousukorkeutta vastaavaan korkeuteen, vaan tunkeutumissyvyys asettuu tasapainoon rakenteen pinnalla tapahtuvan haihtumisen kanssa. (Ympäristöministeriö 1997, 52.)

1.2.2 Diffuusio

Kaasuseoksessa olevat epämääräisesti jakautuneet kaasumolekyylit pyrkivät diffuusion vaikutuksesta liikkumaan siten, että syntyy tasaisesti jakautunut kaasuseos. Vesihöyry siirtyy diffuusion avulla suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta pienemmän pitoisuuden suuntaan. Kosteuserot pyrkivät siis tasoittumaan samaan tapaan kuin tapahtuu lämpötilaerojen suhteen. Diffuusiovirtauksen voimakkuuteen vaikuttaa vesi-

höyrynpitoisuusero rakenteen eri puolilla. Diffuusiovirtauksen suunta on yleensä lämpimästä kylmempään tilaan päin, mutta jos kylmemmän tilan kosteuspitoisuus on suurempi kuin lämpimän, kääntyy diffuusion suunta kylmästä lämpimään päin. (Siikanen 1996, 56.)

Käytännön rakentamisessa diffuusio esiintyy harvoin puhtaana, sillä materiaalin sisällä osa kosteuden liikkeestä on todennäköisesti kapillaarista. Vesihöyryn liiallisen seinärakenteisiin tunkeutumisen estämiseksi lämmöneristeen ja lämpimän sisätilan väliin asennetaan kerros, joka on riittävän vesihöyryntiivis. Lisäksi seinärakenne pyritään suunnittelemaan sellaiseksi, että rakenteen vesihöyryn vastus pienenee kylmään tilaan päin mentäessä, sillä muuten rakenteen kosteuspitoisuus kasvaa ja vesihöyry voi tiivistyä nesteeksi. (Siikanen 1996, 56.) Tällöin rakennekerroksen kosteuspitoisuus voi nousta tasolle, jossa tapahtuu kapillaarista kosteuden siirtymistä (Ympäristöministeriö 1997, 56.)

Vesihöyryn pitoisuuseron lisäksi vesihöyryn kulkuun rakenteissa vaikuttaa olennaisesti materiaalin vesihöyrynläpäisevyys. Kullakin materiaalilla on kyky vastustaa vesihöyryn virtausta sille ominaisella vesihöyrynvastuksen määrällä. Diffuusiolla siirtyvän veden määrä on riippuvainen materiaalin vesihöyrynvastuksesta ja ilman vesihöyryn osapaine-erosta. Materiaalien vesihöyrynvastuksissa on suuria vaihteluja ja siksi on tärkeää tarkastaa kerroksellisen rakenteen kosteustekninen toiminta tapauskohtaisesti. (Ympäristöministeriö 1997, 55) Erityisesti kylmänä vuodenaikana rakenteeseen voi tulla sen sisälle diffuusion välityksellä enemmän kosteutta kuin siitä voi poistua. Tällainen tilanne on kosteusvaurioiden kannalta vaarallinen, sillä rakenteeseen voi tiivistyä haitallisia määriä kosteutta. (Kosteuden siirtyminen 2008)

Rakenteen sisäpinnan tulee siis olla riittävän vesihöyryntiivis ja rakenteen vesihöyrynvastuksen pienentyä ulos eli kylmään tilaan mentäessä, jotta vältettäisiin kosteusongelmat (Siikanen 1996, 56.). Kun rakenteen ulkopintaan asennetaan lisälämmöneristystä, on aiheellista huomioida lisättävän eristeen vesihöyrynvastus. Mineraalivillan vesihöyrynvastus on hyvin pieni muihin eristeisiin verrattuna. Polystyreenisolumuovi-eristeiden vesihöyrynvastus on jo selkeästi suurempi. Esimerkiksi käytettäessä eristerappausrakenteeseen tiiviitä lämmöneristysmateriaaleja, kuten solumuoveja, on alustarakenteen vesihöyrynvastuksen oltava riittävän suuri verrattuna eristerappauksen vesihöyryn vastukseen. Riittävän tiiviitä alustarakenteista ovat esimerkiksi betoni ja tiili. (Pentti ym. 1999, 56, 73.)

1.2.3 Konvektio

Konvektiossa vesihöyry siirtyy ilmavirtausten mukana. Ilmavirtaukset puolestaan syntyvät ilmanpaine-eroista rakenteen eri puolilla. Ilmanpaine-erot syntyvät mm. tuulen, lämpötilaerojen ja ilmanvaihtojärjestelmän vaikutuksesta. (Björkholz 1997, 56) Tätä ilmanpaine-erojen synnyttämää konvektiovirtausta kutsutaan pakotetuksi konvektioksi. Tällöin konvektiovirtaus tapahtuu rakenteessa olevien reikien ja rakojen kautta. (Siikanen 1996, 56.)

Kerroksellisen seinärakenteen sisällä saattaa tapahtua ilman tiheyseroista johtuvaa ns. luonnollista konvektiota, jossa ilman virtaus tapahtuu pystysuoraan. Luonnollista konvektiota voi esiintyä esimerkiksi ulkoseinien huokoisessa lämmöneristeessä. Ylöspäin virtaava lämmin ilma kuljettaa mukanaan kosteutta ja aiheuttaa kosteuspainetta yläosastaan suljetun seinän yläosassa. Vastaavasti kylmän ulkopinnan läheisyydessä oleva ilma jäähtyy ja virtaa alaspäin, jolloin se lisää kosteuden kondensoitumisen riskiä. Lämmöneristeen ollessa ilmanläpäisevyydeltään tiiviimpää vähenee luonnollinen konvektio. (Siikanen 1996, 31.)

Rakenteiden kannalta merkittävimpiä ovat ilmanpaine-erojen vaikutuksesta reikien, rakojen, halkeamien yms. kautta tapahtuvat ilmavirtaukset. Kylmänä vuodenaikana niiden välityksellä voi kulkea moninkertainen määrä kosteutta verrattuna diffuusion. Ilmanpainesuhteilla ja niistä aiheutuvalla ilman virtauksella on merkittävää vaikutusta rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan lähinnä kylmänä vuoden aikana. Tällöin ilman lämpötila- ja kosteuspitoisuuserot voivat olla merkittävät sisä- ja ulkoilman välillä. (Siikanen 1996, 56.) Konvektion voimakkuus riippuu paine-erosta, materiaalin ilman läpäisevyydestä ja rakenteessa olevien ilman kulkuaukkojen virtausvastuksesta (Ympäristöministeriö 1997, 56).

Konvektio kastelee rakenteita silloin, kun ilma virtaa lämpimästä kylmempään suuntaan, jolloin se jäähtyy. Jos ilma jäähtyy alle kastepistelämpötilan, tiivistyy rakenteeseen kosteutta. Toisaalta, jos ilma virtaa kylmemmästä lämpimämpään suuntaan, on konvektiolla rakennetta kuivattava vaikutus. Konvektion välttämiseksi rakenteet pyritään tekemään ilmatiiviiksi. Lisäksi rakennuksen painesuhteet pyritään tekemään sellaisiksi, että lämmintä ilmaa ei pääse virtaamaan kylmiin rakenteisiin tai rakenneosiin. Jos rakenteen lämpimällä puolella vallitsee ylipaine, on kosteusvaurion riski aina ole-

massa. Rakennukset pyritäänkin siksi tekemään lievästi alipaineisiksi. (Ympäristöministeriö 1997, 57.)

Suurin riski konvektion aiheuttamille kosteusvaurioille on kylmänä vuodenaikana, koska rakenteet ovat kylmempiä kuin kesällä ja sisäilman sisältämä kosteus tiivistyy kylmiin rakenteisiin (Kosteuden hallinta ja homevaurioiden estäminen 2011, 70). Lisälämmöneristys vaikuttaa rakenteiden lämpötilaan ja edelleen kosteuden kondensoitumiseen. Esimerkiksi lisättäessä eristettä ulkoseinän ulkopintaan, pääsee vanha seinärakenne aikaisempaa lämpimämpiin ja kuivempiin olosuhteisiin, jolloin sisäilman kondensoitumisen riski vähenee. Toisaalta sisäpuolisen lämmöneristyksen vaikutus olisi päinvastainen. Usein lisälämmöneristämisen yhteydessä myös rakenteen tiiveys paranee, joka myös vähentää konvektion vaikutusta. (Björkholz 1997, 109.)

1.2.4 Kosteuslähteet

Sade

Rakennuksen vaippaa rasittaviin kosteuden lähteisiin kuuluu sade. Sateen vaikutus kohdistuu rakenteisiin sekä rakentamisen aikaisesti, että sen jälkeen. Rakentamisen aikainen sade kastelee rakennusmateriaaleja ja puolivalmiita rakenteita. Osa rakennusmateriaaleista voi mennä huonoksi välittömästi sateen vaikutuksesta. Kivipohjaiset tuotteet eivät turmellu sateen vaikutuksesta, mutta niiden liiallinen kosteus aiheuttaa myöhemmässä vaiheessa ongelmia liiallisen rakennuskosteuden muodossa. Samoin keskeneräisten rakenteiden huonon sadetta vastaan suojaamisen takia rakenteeseen jää kosteutta joka ei pääse poistumaan. (Björkholz 1997, 40.)

Yleisin sadetyyppi Suomessa on viistosade. Se rasittaa lähinnä vaakasuoria ja vinoja pintoja ja pystysuoria seinäpintoja, jos talossa ei ole räystäitä. Ulkoseinän kannalta merkittävämpi sadetyyppi on kuitenkin viistosade, joka aiheutuu voimakkaan tuulen vaikutuksesta. Viistosadetta pidetään merkittävimpana rakennuksen vaippaan kohdistuvana kosteusrasituksen lähteenä ja sitä myöten myös kosteusvaurioiden aiheuttajana. Sen vuoksi seinien ulkoverhouksen ja esimerkiksi ikkunoiden liittymien suunnitteluun pitää kiinnittää huomiota. (Siikanen 1996, 52.)

Viistosade kohdistuu epätasaisesti eri rakennuksiin ja seiniin. Sateen kohdistumiseen vaikuttaa rakennuksen muoto ja korkeus, rakennuspaikan maastonmuodot ja lähiympäristön kasvillisuus sekä rakennukset. Korkeita rakennuksia viistosade rasittaa enemmän kuin matalia. Samoin rasitus on suurempi seinän yläosissa ja nurkissa. Rasiituksen voimakkuuteen vaikuttaa rakennuksen muoto ja yksityiskodot. Rasiitusta vähentäviä piirteitä ovat leveät räystäät ja katokset. Paine-ero voi kuljettaa seinää pitkin valuvaa vettä rakenteiden sisään esimerkiksi räystäsrakenteiden, saumojen, rakojen ja halkeamien kautta. Myös muut voimat, kuten kapillaari-imu, painovoima ja pisaroiden kineettinen energia, voivat osaltaan kuljettaa vettä epäjatkuvuuskohtien kautta rakenteen sisään. (Pentti ym. 1999, 15.)

Viistosateen tuoman kosteuden liikkuminen ulkoseinässä riippuu pintamateriaalin vedenimukyvyistä. Eri materiaalien vedenimukyvyssä on suuria eroja. Tiili, rappaus, kevytbetoni, puu ja betoni ovat huokoisia materiaaleja joihin viistosade imeytyy. Näissä materiaaleissa seinän pinnalle syntyy yhtenäinen vesikalvo vasta, kun kapillaarisesti imeytyvä vesi on täyttänyt ainekerroksen huokokset. Betoniin vesi imeytyy varsin hitaasti. (Pentti ym. 1999, 15.) Vesikalvon synnyttyä seinän pinnalle voi tuuli painaa vettä verhouksessa olevista raoista verhouksen sisäpuolelle. Vesi pääsee seinärakenteen sisään myös huonojen elementtisaumojen kautta. Veden pääsy edelleen seinärakenteeseen voidaan tehokkaasti estää verhouksen ja lämmöneristeen välissä olevalla ilmaraolla. (Björkholz 1997, 41.)

Tiiviitä materiaaleja puolestaan ovat lasi, metalli, muovi, luonnonkivilaatat, keraamiset laatat ja tiiviillä maalilla maalattu puu, betoni tai rappaus. Näille pinnoille syntyy viistosateessa hetkessä vesikalvo, joka valuu alaspäin tai ilmavirtausten vaikutuksesta joskus ylöspäin. Epätasaisesti valuva vesi aiheuttaa pinnan epätasaisista peseytymistä ja tekee seinän kirjavaksi. (Pentti Ym. 1999, 15.)

Veden pääsyä seinän epäjatkuvuuskohdista sisään voidaan estää tekemällä julkisivu sateen ja ilman pitäväksi. Käytännössä tämä onnistuu lähinnä vain teollisesti valmistettujen elementtien avulla. Toinen tapa on erottaa julkisivu ja muu seinärakenne tuulettuvalla ilmaraolla ja lisäksi käyttää yli 4 mm leveitä avonaisia vaakasaumojia, joiden yli ei synny yhtenäistä vesikalvoa. Tällaisessa rakenteessa ilmanpaine ulkona ja ilmaraossa ovat käytännössä samat. Ilmaraon sisäpuolinen seinärakenne on tehtävä ilmatiiviiksi, koska nyt siihen kohdistuu sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero. Vedelle on myös järjestettävä pääsy ulos ilmaraosta, sillä saumoista pääsee pieni osa sateesta

sisään. Samalla lämmöneristys on kuitenkin varsin hyvin suojassa sateelta ja tuulelta. (Björkholz 1997, 41.)

Kosteuden pääsy ulos seinärakenteesta on varmistettava, koska sen pääsyä sisään rakenteeseen ei voi täysin estää. Vuotovesi kulkee yleensä ulkoverhouksen sisäpintaa pitkin painovoimaisesti alapäin. Se pyrkii kertymään erityisesti ikkunakarmien päälle, saumarakenteisiin ja sokkelihalkaisuun. Näiden osien suunnittelussa onkin huomioitava vuotoveden ohjaaminen pois rakenteesta haittaa aiheuttamatta. Vuotoveden estämisessä on kiinnitettävä erityistä huomiota ikkuna- ja muiden julkisivupellitusten tiiveyteen aja kallistuksiin. Tärkeitä ovat myös räystäs-, sauma- ja sokkelidetailit. (Pentti ym. 1999, 16.)

Betonisandwich-rakenteinen ulkoseinä ei juuri läpäise sadevettä, kunhan elementtisaumat ovat hyvin tehdyt. Tällöin vesi ei pääse julkisivupinnan sisäpuolelle ja lämmöneristeet ovat suojassa. (Björkholz 1997, 41.) Sadeveden imeytymisnopeus betonipintaan vaihtelee. Tiivis maalipinta lisää betonipinnan tiiveyttä. Rappaukseen vesi imeytyy hyvin. (Pentti ym. 1999, 16, 44.) Ulkopuolisen lisäeristuksen yhteydessä saatetaan käyttää julkisivupintaan tulevaa levyrappausta, jossa rappauksen ja eristeen väliin jää tuuletusrako. Tällainen rakenne toimii ”sadetakkina” ja varsinainen seinärakenne lämmöneristeineen on hyvin suojassa. (Björkholz 1997, 41.)

Usein käytetään ohutrappausta suoraan lisätyn lämmöneristeen päällä. Ohutrappauksen halkeamien ja muiden epäjatkuvuuskohtien kautta voi kulkeutua haitalliset määrät vettä rappauskerroksen taakse. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 30.) Rappauksen vedenimukyky on suuri, joten viistosade imeytyy julkisivuun nopeasti. Kun rappauksen huokoset ovat täyttyneet vedellä, muodostuu julkisivun pinnalle vesikalvo ja tuuli pyrkii painamaan vettä sisään rakojen kautta. Ilmaraollinen vaihtoehto on toimintavarmempi. (Björkholz 1997, 41.)

Ilman kosteus

Ilman kosteutta ilmaistaan vesihöyrymäärällä, vesihöyryn osapaineella tai suhteellisena kosteutena. Kosteaa ilmaa on vesihöyryn ja ilman seos. Vesihöyry puolestaan on kuivaa ilmaa keveämpi kaasu, joten ilma on siis sitä kevyempää mitä enemmän se sisältää vesihöyryä. Käytännössä kaikki rakenteet ovat kosketuksissa kostean ilman kanssa ja siten se vaikuttaa rakenteen ja sen materiaalikerrosten tasapainokosteuteen. Ilma oletetaan ideaalikaasuksi, kun tehdään rakennusteknistä tarkastelua. (Björkholz 1997, 43.) Merkittävin vaikutus ulkoseinän kosteustekniseen toimintaan aiheutuu seinän eri puolilla vallitsevista erilaisista ilman kosteuksista. Vuodenaikojen ja säätilojen muutokset vaikuttavat merkittävästi sekä sisä- että ulkoilman kosteuteen. Ilmankosteuden hetkelliset muutokset eivät kuitenkaan oleellisesti vaikuta rakenteiden toimintaan, koska kosteuden sitoutumisella materiaaliin ja siitä aiheutuvilla vaikutuksilla on suuri ajallinen viive. Oleellista onkin ilmankosteuden muutoksen pidempien ajanjaksojen keskiarvot. (Pentti ym. 1999, 17,19.)

Tietyn lämpöinen ilma pystyy sisältämään maksimissaan vain tietyn määrän vesihöyryä. Kyllästyskosteus tarkoittaa tilaa, jossa ilma sisältää maksimimäärän vesihöyryä. Kyllästyspaine puolestaan on suurin vesihöyryn aikaansaama osapaine tietyssä lämpötilassa. Kyllästyskosteus ja kyllästyspaine ovat suoraan yhteydessä toisiinsa. Molemmat ovat riippuvaisia lämpötilasta. Ne ovat sitä suurempia mitä suurempi on ilman lämpötila. (Siikanen 1996, 55.)

Rakenteisiin ilman sisältämä kosteus siirtyy ulko- tai sisäilmasta joko diffuusion tai konvektion kuljettamana. Ulkoilman suhteellinen kosteus on Suomessa korkeimmillaan talvisin ollen noin 90 %. Pienimmillään se on kesäisin, jolloin se on noin 65 - 75 %. Sen sijaan ilman absoluuttinen kosteussisältö on suurimmillaan kesäisin. Paikkakunnittain suhteellisen kosteuden arvot eroavat vain vähän. (Pentti Ym. 1999, 19.)

Sisäilman kosteuspitoisuuteen vaikuttaa pääasiassa ulkoilman kosteuspitoisuus, sisällä kehitetyn kosteuden määrä ja ilmanvaihdon suuruus. Muita vaikuttavia seikkoja ovat rakennusaineiden kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta, rakenteiden kautta poistuvan kosteuden määrä sekä rakenteiden kuivuessa niiden vapauttama rakennusaikana kertynyt kosteus. Tuotetun kosteuden määrään vaikuttaa huoneiston käyttötarkoitus. Tavallisesti sisätilat jaetaan kosteuden tuoton perusteella tavallisiin asuintiloihin, toi-

misto- ja muihin julkisiin tiloihin sekä teollisuustiloihin. Asuinrakennuksissa sisäilman kosteuslisä ulkoilman kosteuspitoisuuteen nähden voi vaihdella suuresti. Tähän vaikuttaa tilan käyttäjän toiminta, esimerkiksi hänen vedenkäyttötapaansa tai ilmanvaihdon säätäminen liian pienelle. Joskus myös rakenne tai ilmanvaihdon määrä voi olla suunniteltu väärin vallitseviin käyttöolosuhteisiin nähden tai käyttöolosuhteet ovat arvioitua kuormittavammat, jolloin rakenteiden kosteusrasitus voi nousta haitallisen suureksi. Märkätilojen yhteydessä on aina syytä tehdä kosteusteknisiä erityistarkasteluja. (Pentti Ym. 1999, 22.)

Betonirakenteisissa ulkoseinissä on sisäkuoren ilmanläpäisevyys yleensä pieni ja materiaalin kosteuden sitomiskyky suuri. Sisäkuoren sisäpinnan tiivis pinnoite vielä vähentää kosteuden siirtymistä sisäilmasta seinärakenteeseen diffuusion avulla. (Pentti Ym. 1999, 66.) Lisälämmöneristämisen yhteydessä seinärakenne yleensä tulee entistä tiiviimmäksi ilmanvirtausten suhteen ja samalla konvektion vaikutus vähenee (Björkholz 1997, 109). Usein lisälämmöneristys toteutetaan eristerappauksena. Eristerappauksen vesihöyrynvastuksen on oltava riittävän alhainen alustarakenteen vesihöyrynvastukseen verrattuna, jotta rakenteen sisäosista tuleva kosteus ei merkittävässä määrin tiivisty eristeeseen tai lisäeristyksen rajapintoihin. Hyviä alustarakenteita toimivalle rakenteelle ovat esimerkiksi betoni ja tiili. (Pentti Ym. 1999, 73-74.)

Rakennekosteus

Rakennusaineisiin ja -tarvikkeisiin sitoutuu valmistuksen, varastoinnin, kuljetuksen ja rakentamisen aikana ylimääräistä vettä. Osa tästä kosteudesta poistuu rakenteesta ennen kuin rakenne on tasapainokosteudessa ympäristön kanssa. Tätä poistuvaa ylimääräistä kosteutta kutsutaan rakennekosteudeksi. Rakenteista haihtuu kosteutta ilmaan ja näin sisäilman kosteuspitoisuus lisääntyy. Kosteutta voi myös siirtyä materiaalista toiseen niiden ollessa kosketuksissa toisiinsa. Rakennekosteuden välttämiseksi rakennustarvikkeet suojata hyvin rakentamisen ja varastoinnin aikana. Jos materiaalit on suojattu hyvin varastoinnin aikana sateelta ja maan kosteudelta, kosteus tarvikkeissa yleensä vähenee, varsinkin tarvikkeissa jotka sisältävät paljon tuotantoprosessin aikana syntyvää kosteutta. (Björkholz 1997, 51.) Rakennekosteutta on eniten betoni- ja kevytbetonirakenteissa, muuratuissa rakenteissa ja rappauksissa (Pentti Ym. 1999, 23).

Yleensä merkittävin kosteuslähde on kuitenkin betonissa ja muurauslaasteissa käytetty vesi. Rakentamisen aikaiseen käyttöönottoa edeltävään tuuletukseen ja kuivattamiseen tulee siksi kiinnittää huomiota. Rakenteet tulee myös suunnitella kosteusteknisesti oikein. (Siikanen 1996, 61.)

1.2.5 Kosteuden tiivistyminen ja kertyminen

Kosteutta tiivistyy rakenteisiin silloin, kun sen läpi kulkeva vesihöyry kohtaa pinnan tai huokosseinämän jonka lämpötila alittaa ilman kastepistelämpötilan, jolloin kosteusvirrasta tiivistyy kyllästysvesimäärän ylittävä osuus. Vesihöyry voi tiivistyä vedeksi rakenteen pintaa tai sen sisään. Jos tiivistyminen on lyhytaikaista, ei siitä yleensä ole haittaa rakenteen toiminnalle. (Pentti ym. 1999, 37.) Rakenteita suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että rakenteet saattavat syystä tai toisesta päästä kastumaan ja niillä tulee olla kyky kuivua riittävän nopeasti (Kosteuden hallinta ja homevaurioiden estäminen 2011, 57).

Jos kosteuden tiivistyminen rakenteeseen on mahdollista, mutta sitä ei haluta sallia, on rakennetta ja ympäristöolosuhteita muutettava niin ettei tiivistymistä tapahdu. Jos taas tiivistymistä sallitaan tapahtuvan, on määritettävä kuinka paljon kosteutta voi rakenteeseen tiivistyä ja kuinka usein. Jos materiaalin imukyky on pieni, valuu kosteus pintaa pitkin alaspäin. Jos materiaali on kosteutta imevä, kertyy kosteus lähelle materiaalin pintaa. (Pentti ym. 1999, 37.)

Kosteuden tiivistyminen rakenteiden sisäpinnoille riippuu rakenteen lämmönvastuksesta, sisäpinnan lämmönvastuksesta, sisäilman kosteuspitoisuudesta ja ulkoilman lämpötilasta. Näihin tekijöihin voi, ulkoilman lämpötilaa lukuun ottamatta, vaikuttaa teknisin toimenpitein. Rakenteiden lämmöneristyskyvyn parantuessa riski kosteuden tiivistymiselle rakenteiden sisäpinnalle vähenee. Toisaalta tarvittavan lämmitysenergian määrän vähetessä patterien pintalämpötilat ovat pienentyneet ja samalla pienevät sisäilman konvektiovirtaukset. Tällöin pintavastus kohoaa ja pintalämpötila alenee. (Björkholz 1997, 64.) Kosteiden tiivistymistä ulkopuolen vastaisen rakenteen sisäpinnalle voidaan vähentää esimerkiksi nostamalla pintalämpötilaa lämmöneristeellä tai lisäämällä ilmanvaihtoa. Vaikka rakenne toimisikin hyvin, ei kosteuden tiivistyminen pitkään jatkuvina pakkaskausina ole poikkeuksellista. (Pentti ym. 1999, 37.)

Rakennusta ympäröivissä olosuhteissa tapahtuu jatkuvasti suuriakin muutoksia esimerkiksi vuodenajan, sateen ja auringonpaisteen suhteen. Tällöin myös kosteuspitoisuus rakennuksen vaipan eri osissa vaihtelee jatkuvasti. Rakenteen tulee olla sellainen, ettei sen kosteuspitoisuus pääse vuosien mittaan kasvamaan. Kosteusteknisessä tarkastelussa pitää aina ottaa huomioon kaikkien kosteuslähteiden vaikutus, eli niin ulkoa kuin sisältä tuleva kosteus. (Björkholz 1997, 66.)

1.2.6 Rakenteiden kuivuminen

Ulkoseinät kastuvat pääasiassa viistosateen vaikutuksesta. Viistosateeseen verrattuna diffuusion ja konvektion tavanomaisia seiniä kasteleva vaikutus on pieni. Kosteus kuivuu pääasiassa ulospäin ja kuivuminen tapahtuu paljon hitaammin kuin kastuminen. Rakenteen pinnan kosteuden asetuttua tasapainoon ulkoilman kanssa, alkaa kosteus siirtymään rakenteen sisältä sen pintaan ja pinnasta edelleen ulkoilmaan diffuusion avulla. (Björkholz 1997, 79.) Sateen jälkeiseen kuivumiseen vaikuttavat ilman suhteellinen kosteus, tuuli ja auringonlämpösäteilyn aiheuttama ulkopinnan ja ulkopinnan välinen lämpötilaero. Nämä tekijät vaihtelevat esimerkiksi vuodenajan ja ilmansuunnan mukaan. (Pentti ym. 1999, 42.)

Jos rakenteella on hyvä vedenimukyky, ei sen pinnalle synny vesikalvoa, joka valuisi alaspäin pois pinnalta. Tällöin rakenne imee itseensä siihen kohdistuvan sadeveden. Jotta kosteustasapaino rakenteessa säilyisi, eikä sen kosteuspitoisuus nousisi kohtuuttomasti, on sadeveden jossakin vaiheessa päästävä poistumaan rakenteesta. (Björkholz 1997, 79.)

Ulkoseinärakenteen kuivuessa sen ulkopinta on aluksi kostea ja kuivumisnopeus pysyy suurin piirtein vakiona. Kun rakenteen kosteuspitoisuus ylittää kriittisen kosteuspitoisuuden, voi kosteus liikkua kapillaarisena nestevirtauksena kohti rakenteen pintaa ja näin pinta voi pysyä kosteana pitkään. Mitä nopeammin vesi liikkuu aineen kapillaarihuokosverkostossa, sitä pitempään pinta pysyy kosteana. Kuivuminen on nopeaa niin kauan kuin pinta pysyy kosteana. Prosessia nopeuttaa esimerkiksi auringon säteily. Esimerkiksi tiili, joka on suurihuokoinen materiaali ja jolla on pieni kapillaarivastus, kuivuu edellä kuvatulla tavalla. (Björkholz 1997, 80.)

Kuivumisen edetessä kapillaarinen nestevirtaus ei enää riitä pitämään rakenteen pintaa kosteana ja pinta pyrkii asettumaan tasapainokosteuteen ulkoilman kanssa, jol-

loin kosteus siirtyy diffuusion avulla rakenteen sisältä sen pinnalle ja edelleen ulkoilmaan. Tämän toisen kuivumisvaiheen aikana kuivumisnopeus hidastuu jatkuvasti, sillä kostea osa rakenteesta on aina vain etäämpänä rakenteen pinnasta ja diffuusiomatka sekä -vastus kosteasta rintamasta ulkoilmaan kasvavat samalla. Kuivumisnopeus riippuu rakenteen mitoista, materiaalien ominaisuuksista ja rakenteen sekä ympäristön kosteus- ja lämpötilaosuhteista. (Björkholz 1997, 80.) Betonin kuivuminen tapahtuu lähinnä tämän toisen vaiheen mukaisesti. Betonin huokokset ovat pieniä, joten kosteuden siirtyminen siinä on hidasta. Tämän takia rakenteen pinta pyrkii asettumaan pian tasapainoon ulkoilman kosteuden kanssa. Rakennekosteuden poistuminen betonista on usein ongelmallista rakentamisen tahdin ollessa nopea kuivumisnopeuteen verrattuna. (Pentti ym. 1999, 44.)

Betonin rakennuskosteuden poistuminen tapahtuu kahden erilaisen kuivumisprosessin välityksellä. Haihtumiskuivumisessa vesi siirtyy kapillaarisen johtumisen ja diffuusion johdosta kappaleen sisältä rajapintaan, josta se haihtuu edelleen ympäröivään ilmaan. Betonin kosteuden läpäisevyys on suuri kuivumisen alku vaiheessa, kun kapillaarihuokokset muodostavat yhtenäisen verkoston. Tällöin betonisandwich-rakenne on yli ylihygroskooppisella alueella ja ulkokuori kuivuu ulospäin mutta sisäkuori pystyy kuivumaan sekä ulos että sisään päin. Rakenteen kosteuspitoisuuden laskiessa hygroskooppiselle alueelle tapahtuu kuivuminen diffuusion avulla alemman vesihöyryn osapaineen suuntaan. Tällöin sekä ulko- että sisäkuori kuivuvat ulospäin. (Pentti Ym. 1999, 44.)

1.3 Lisälämmöneristäminen

1.3.1 Ulkoseinien lisälämmöneristäminen

Ulkoseinät voidaan lisälämmöneristää joko ulko- tai sisäpuolelta. On myös mahdollista vaihtaa vanha lämmöneriste uuteen tehokkaampaan eristeeseen. Tällä on se etu, ettei seinärakenne muutu paksummaksi. (Björkholz 1997, 109.) Ulkopuolisella lisälämmöneristyksellä on positiivisia vaikutuksia rakenteen toimintaan. Se vähentää vanhaan rakenteeseen kohdistuvaa sadevesirasitusta. Lisäksi vanhan rakenteen lämmityskauden aikainen lämpötila nousee ja samalla sen suhteellinen kosteus pienenee. Rakenteen korkeampi lämpötila ja pienempi suhteellinen kosteus vähentää kosteuslisän aiheuttamaa kosteuden kondensoitumista ja samalla homeen kasvulle otolliset olosuhteet poistuvat. Olennaista on, että rakenteen sisään ei pääse

sadevuotoja ulkopuolelta. Lisäksi rakenteella tulee olla riittävän pieni vesihöyrynvastus ulospäin mentäessä. Ulkoverhouksen takana oleva tuuletusväli vaikuttaa positiivisesti rakenteen kosteustekniseen toimintaan, ja on paras ratkaisu. (Vinha 2012)

Yleensä lisäeristämisen yhteydessä seinärakenne tulee tiiviimmäksi, jolloin rakenteen läpi kulkevat ilman virtaukset vähenevät. Tällöin on varmistettava, että ilmanvaihdon tarvitsemalle tuloilmalle on hallittu reitti. Ennen lisäeristämistä ulkoseinissä on saattanut olla epätiivitä kohtia joiden kautta korvausilma on tullut, mutta lisäeristuksen jälkeen se tulee jostain muualta. Korvausilmaa ei haluta imeä rakenteiden läpi niiden epätiiveyskohdista, joista siihen tulee epäpuhtauksia. (Björkholz 1997, 109.)

Ulkopuolinen lisäeristys asennetaan usein peittävän julkisivun korjauksen yhteydessä, kun halutaan peittää laaja-alaiset vauriot betonirakenteisissa ulkoseinissä. Ulkopuolinen lisäeristys nostaa vanhan julkisivun lämpötilaa ja näin mahdollistaa vanhan betonisen ulkokuoren kuivumisen. Tällöin betonin pakkasrapautuminen ja raudoitteiden korroosio hidastuvat merkittävästi. Vaurioiden eteneminen pysähtyy käytännössä kokonaan kun vanha julkisivu on riittävästi kuivunut. Aluksi lisäeristämisen jälkeen olosuhteet vanhassa eristetilassa muuttuvat mikrobien kasvun kannalta otollisemmiksi, niin kauan kuin betoni kuori on vielä kostea. Ulkopintaan lisätyn eristeen vesihöyrynvastus vaikuttaa olennaisesti alla olevan rakenteen kuivumisnopeuteen. (Lahdensivu & Hilliaho 2010, 27-28.) Seinän ulkoverhouksen on oltava joko tuulettuva tai rapatun julkisivun tapauksessa vesihöyryä läpäisevä, jotta rakenne varmasti pääsee kuivumaan (Nieminen 1998, 86).

Paksun lisäeristuksen asentaminen seinäelementin ulkopuolelle aiheuttaa tarpeen siirtää ikkunaa ulospäin kylmäsiltojen välttämiseksi ja tehdä muutoksia sisäpuolella pielirakenteisiin. Julkisivun kasvaminen ulospäin vaikuttaa myös seinään liittyviin rakenteisiin ja räystäisiin. Räystäät on muutettava uutta julkisivua vastaaviksi. Vanhat räystäät on järkevää muuttaa riittävästi ulkoneviksi, jolloin ne suojaavat seinän yläosaa viistosateelta. (Lahdensivu & Hilliaho 2010, 29.)

Lisäeristäminen ulkopuolelta katkaisee välipohjien ja -seinien kohdalla olevat kylmäsiltoja, jotka muodostavat varsinkin umpinaisissa tiiliseinissä huomattavan lämmönhukan. Sisäpuolinen lisäeristys ei näitä kylmäsiltoja poista. Lisäksi sisäpuolinen lisäeris-

tys kylmentää seinärakennetta, jolloin siihen kohdistuva pakkasrasitus nousee. Samalla kun sisäpuolinen lisäeristys kylmentää seinää, kasvaa seinärakenteen suhteellinen kosteus. Tämä voi aiheuttaa mm. lahovaurioita seinän sisällä olevissa orgaanisissa materiaaleissa. Sisäpuoliseen lisäeristekerrokseen laitetaan aina höyrynsulku. Ulkopuolinen lisäeristys on kylmissä ilmasto-olosuhteissa aina sisäpuolista parempi ratkaisu sekä kosteuden- että lämmöneristämisen kannalta. (Björkholz 1997, 109-110.)

1.3.2 Eristerappaus

Eristerappaus tarkoittaa rappausta, joka on tehty suoraan lämmöneristeen päälle. Lämmöneristeenä toimii solumuovi tai mineraalivilla. Eristerappausjärjestelmillä tarkoitetaan kokonaisuuksia, joiden materiaalit on materiaalitoimittaja kehittänyt niin, että ne sopivat yhteen. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 11-12.) Eristerappaus on ei-kan-tava julkisivurakenne, joka on ankkuroitu vanhaan seinärakenteeseen tai rakennuk-sen runkoon. Sitä käytetään sekä korjaus- että uudisrakentamisessa. Eristerapatussa rakenteessa ei ole tuuletusrakoa pintamateriaalin ja eristeen välissä, vaan rappaus on kosteutta läpäisevää ja rakenne kuivuu koko pinnaltaan. (Pyysalo 1997, 90.) Tuu-lettumattomilla eristerappausjärjestelmillä verhoiltavien seinien tulee olla lähtökohtai-sesti kiviainespohjaisia. Yleensä seinän runkorakenne toimii myös rakennuksen vai-pan ilmatiiveyskerroksena. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 12.)

Eristerappaukset ovat tuulettumattomia rakenteita, joten julkisivujen saneerauksissa pitää kiinnittää huomiota siihen, että rakenne pääsee kuivumaan. Huomion arvoista on, että eristerappauksella peitettävät rakenteet voivat sisältää huomattavia määriä kosteutta. Kosteuden on päästävä poistumaan vaurioittamatta rakenteita ja aiheutta-matta kosteushaittaa rakenteen sisäpuolella. Kuivuminen tapahtuu diffuusiolla raken-nekerrosten läpi. Lämmöneristeen ja rappausten yhdistelmän on oltava riittävän vesi-höyrynläpäiseviä, jotta kuivuminen on mahdollista. Rakenteeseen pääsevän kosteu-den määrä pyritään minimoimaan ja sen kuivuminen pyritään saamaan mahdollisim-man nopeaksi. Käytettäessä tiiviitä maaleja tai pintarappauslaasteja, muodostuu sa-teella julkisivun pintaan vesikalvo, josta sadevettä imeytyy halkeamien ja liitoskohtien läpi rakenteeseen. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 28-29, 118.)

Kosteutta voi päästä eristerapattuun rakenteeseen työn aikana, halkeamien ja liitosten kautta sekä pinnoitteen läpi. Hyvä työnaikainen sääsuojaus on tärkeää rakenteiden kostumisen estämiseksi. Olennaista on myös halkeilun tehokas rajoittaminen ja liitosdetaljien suunnittelu sellaisiksi, että vesi ohjautuu pois rakenteesta. Halkeamien estämiseksi rappaus lujitetaan verkotuksella joka sijaitsee riittävän lähellä pintaa, riittävällä määrällä sopivasti sijoitettuja liikuntasauvoja ja oikealla rappauserosten paksuudella. Käytävän rakenneratkaisun on mahdollistettava lämmöneristeen taakse pääsevän veden poistumisen valumalla rakenteen alareunasta. Eristerappauksissa käytetään rappausalustana jäykkää mineraalivillaa tai solumuovia, joista kumpikaan ei ime vettä kapillaarisesti. Mineraalivillaiseen eristetilaan päässyt vesi kulkee periaatteessa painovoimaisesti alaspäin. Muovipohjaisissa eristeissä vesi ei pääse kulkemaan alaspäin painovoimaisesti, mutta eristelevyjen välisiä saumarakoja pitkin se pääsee kulkeutumaan. Vesihöyryn läpäisevyys on mineraalivillassa hyvä, joten tältä osin lähtökohta rakenteen nopealle kuivumiselle on hyvä. Muovipohjaisilla eristeillä puolestaan vesihöyrynvastus on selvästi suurempi, mutta toisaalta ne eivät juuri ime kosteutta, joten poistettavan kosteuden määrä on paljon pienempi kuin käytettäessä mineraalivillaa. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 29-31.)

Ohutrappaus-eristejärjestelmä

Ohutrappaus-eristejärjestelmässä lämmöneristeet kiinnitetään alustaan liimalaastilla ja mekaanisin kiinnikkein. Rappauserros puolestaan kiinnitetään kauttaaltaan liimalaastilla lämmöneristeen ulkopintaan. Rappauserros muodostaa yhtenäisen suhteellisen taipuisan ja sitkeän levyn, joka on vahvistettu muovipinnoitetulla lasikuituverkolla. Rappauserros on yleensä 5 – 10 mm paksuinen. Lämmöneristeeseen kauttaaltaan liimattu rappaus liikkuu alustan, eli rakennuksen rungon ja lämmöneristeiden liikkeiden mukaan. Rappauserroksen halkeilua rajoitetaan rappauserroksella ja liikuntasauvoilla. Liikuntasauvoja tarvitaan vain rappauserroksessa olevien rakennuksen rungon liikuntasauvojen kohdille. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 13.)

Ohutrappausjärjestelmissä käytetyt laastit muodostavat yhtenäisen ja melko vesitiiviin kerroksen. Tällöin rappauserroksen pintaan syntyy viistosateella nopeasti vesikalvo ja vettä voi siirtyä haitallisia määriä rappauserroksien epäjatkuvuuskohtista sen taakse. Vanhan rakenteen sisällä olevan kosteuden poistumista auttaa se, että vanhasta ulkoseinästä poistetaan elastiset saumat ennen kuin uudet lämmöneristeet asen-

netaan. Rakenteen sisäisen konvektion estämiseksi avatut saumaraot on täytettävä lämmöneristeellä. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 30.)

Paksurappaus-eristejärjestelmä

Paksurappaus-eristejärjestelmässä rappauskerros on noin 20 - 25 mm paksu teräksisellä kuumasinkityllä rappausverkolla lujitettu jäykkä levy. Se kiinnittyy mekaanisin kiinnikkein lämmöneristeiden läpi alusrakenteeseen. Rappauskerrosta ei ole liimattu lämmöneristeeseen, vaan se liikkuu suhteellisen vapaasti eristeiden päällä, joka mahdollistaa rappauskerroksen lämpö- ja kosteusliikkeet alustaan nähden. Paksueristerappaukseen tarvitaan liikuntasauvoja vaaka- ja pystysuunnassa 12 - 15 m välein. Lisäksi tarvitaan liikuntasaumat rakennuksen rungon liikuntasauvojen kohdalle. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 17-19.)

Paksurappaus tehdään kalkkisementtillaasteilla ja yleensä se koostuu kolmesta eri laastikerroksesta, pohja-, täyttö- ja pintarappauksesta. Eri kerrosten laastit voivat olla koostumukseltaan samanlaisia tai lujuudeltaan ulkopintaa kohti heikentyviä. Joka tapauksessa niiden tulee olla hyvin pakkasta kestäviä. Pinnassa käytetään värillistä laastia tai pinta voidaan maalata. Lämmöneristeinä käytetään aina mineraalivillaa. Lämmöneristeiden pitkäaikaisen puristus- ja leikkauslujuuden tulee olla riittävän hyvä, sillä rappauskerros valuu alaspäin sitä enemmän mitä pehmeämpää eriste on. Rappauskerroksen lämpö- ja kosteusoloista johtuvat liikkeet ovat noin 5 - 15 mm ja ne on otettava huomioon liikuntasauvojen ja liitosten suunnittelussa. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 18-19, 137-138.)

1.3.3 Tuulettuvat levyverhoukset

Tuulettuvan levyverhouksen voi toteuttaa esimerkiksi levyrappauksena tai metalliverhouksena. Kaikissa toteutustavoissa eristeiden ja levyverhouksen väliin jää yhtenäinen tuuletusrako. Tuulettuvan levyverhouksen ja lisäeristyksen käyttö muuttaa usein rakennuksen alkuperäistä arkkitehtuuria. (Karimies 1997, 91-94.)

Levyrappauksessa rappaus tehdään rappausalustana toimivan levyn päälle. Lämmöneristeiden ja levyverhouksen väliin jäävän tuuletusraon on aina oltava yhtenäinen

ja sen minimileveys on 20 mm (Eriste- ja levyrappaus 2011, 154.). Tuuletusrako poistaa seinän seinärakenteen läpi tulevaa kosteutta ja lisäksi estää sadeveden tunkeutumisen syvemmälle rakenteeseen. Käytettävien levyjen vesihöyrynläpäisevyys on yleensä pieni. Siksi tuuletusrako on välttämätön, ettei seinärakenteen läpi tuleva kosteus tiivistyisi levyn sisäpintaa. Tuuletusraon leveys vaikuttaa tuuletuksen tehokkuuteen ja vedenpoiston riittävyyteen ääriolosuhteissa joissa vesi tunkeutuu raoista rakenteen sisään. Lisäksi lämmöneristeen ja uuden julkisivuverhouksen väliin jäävän raon avulla voi tasoittaa vanhan seinäpinnan epätasaisuuksia ja saada aikaiseksi suora julkisivupinta. (Karimies 1997, 93.)

Kun käytetään lisälämmöneristystä ja levyverhousta pääsee vanha seinärakenne kiuviempiin ja lämpimämpiin olosuhteisiin. Lisäksi uusi tuuletusraallinen verhoukset estää sadeveden tunkeutumisen seinärakenteeseen. Tällöin vanhan betoni-sandwichrakenteen ulkokuoren lämpötila nousee ja kosteus alenee. Samalla sen vaurioituminen hidastuu tai pysähtyy kokonaan. (Karimies 1997, 95.)

Tyypillinen tuulettuvan levyrappauksen käyttökohde on kerrostalojen rankarakenteiset ulkoseinät ja julkisivujen peittävä korjaaminen. Levyrakenteilla voi toteuttaa myös kaarevia muotoja. Rapattavat levyjärjestelmät koostuvat levyistä, niiden kiinnikkeistä ja levyn saumojen käsittelyratkaisusta. Levyjen päälle tehdään ohutrappaus. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 153.)

Tuulettuvan levyrappauksen kosteusteknisen toiminnan kannalta on tärkeää, että rakenteeseen pääsee kulkeutumaan mahdollisimman vähän sadevettä. Suunnittelussa ja rakentamisessa on kiinnitettävä erityishuomiota siihen, että erilaiset liitoskohdat pellityksineen, kuten ikkuna- ja räystääliitokset sekä liitokset muihin rakenteisiin, ovat mahdollisimman tiiviitä. Samoin on kiinnitettävä huomiota sokkeliliitoksiin, julkisivun nurkkiin ja ulkoseinän varusteisiin. Huonojen liitoskohtien kautta rakenteen sisään voi päästä merkittäviä määriä vettä. Tuulensuojapinnan tulisi olla sellainen, ettei kosteus imeydy sen läpi eristeisiin tai muihin rakenteisiin edes tuulensuojalevyn saumakohdista. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 154.)

Rakenteen on päästävä tuulettumaan ja mahdollisten vuotovesien on päästävä poistumaan myös liitoskohdissa. Tuuletusraoissa olevan ilmankosteuden ja rakenteen ilmanvuodoista johtuen levyjen taustapinnoille voi kondensoitua kosteutta. Vuoto- ja

kondenssivesien on päästävä poistumaan vähintään sokkeliliitosten sekä ikkuna- ja oviliitosten kohdalta. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 155.)

Levyrappausjärjestelmissä käytettävät levyt ovat yleensä joko lasipohjaisia, kalsiumsilikaattipohjaisia, kevytsora- tai kuitusementtilevyjä. Levyjen tulee olla hyvin säätä kestäviä, eli kestää toistuvaa kastumista ja jäätymistä lisäksi niiden kosteus- sekä lämpötilanmuodonmuutosten tulee olla tarpeeksi pienet. Levyjen kiinnityksessä käytetään rankarakennetta, joka toimii levyjen kiinnitysalustana ja samalla huolehtii riittävän tuuletusvälin muodostumisesta. Rankarakenne voi olla joko puusta tai metallista, kerrostaloissa käytetään metallirankaa. Useimmiten levyt asennetaan vaakaan ja niiden taakse tulee rankarakenne 600 mm jaolla pystyyn. Ikkuna- ja oviaukkojen kohdilla yleensä käytetään ristiinkoolausta tuuletuksen varmistamiseksi. (Eriste- ja levyrappaus 2011, 157.)

1.4 Mikrobikasvusto rakennuksissa

1.4.1 Mikrobikasvun edellytykset

Rakennuksissa kasvavat samat mikrobit kuin luonnossa ja ne voidaan jakaa eri mikrobiryhmiin, jotka hajottavat erityyppisiä hiiliyhdisteitä. Rakennusympäristössä kasvia mikrobeja ovat mm. home- ja hiivasienet, sinistäjä- ja lahottajasienet sekä bakteerit, mm. sädesienet. Mikrobikasvustoille riittää energianlähteeksi hyvinkin pieni määrä orgaanista ainetta, joka voi olla rakennusmateriaalia tai sen ainesosaa. Mikrobikasvusto voi hajottaa myös aiempien mikro-organismien hajoamistuotteita. On havaittu, että pelkkä huonepöly riittää ravinnoksi homeille ja sädesienibakteereille. Rakennuksissa esiintyvien lahottajasienten ravintona toimii yleensä puun sisältämä selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini. (Pessi, Suonketo, Pentti & Rantio-Lehtimäki 1999, 9.)

Mikrobien kasvuun vaikuttavat tekijät ovat kosteus, lämpötila, pH, epäorgaanisten ravinteiden, kuten happi-, hiilidioksidi-, typpi-, fosfori-, rikki- ja metalli-ionien pitoisuus. Nämä ympäristötekijät vaikuttavat toisiinsa. Rakennusympäristössä tärkein kasvua edistävä tekijä on kosteus. Vähäenergisiä huonosti biohajoavia rakennusmateriaaleja hajottaessaan mikrobit tarvitsevat enemmän kosteutta kuin hajottaessaan runsasenergisiä materiaaleja. (Pessi ym. 1999, 9.)

Mikrobikasvun kannalta on oleellista kasvualustan kosteuspitoisuus. Ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa mikrobien kasvuun epäsuorasti, sillä se vaikuttaa materiaalin kutumiseen ja kuivumiseen. Materiaalin hygroskooppiset ominaisuuden eli sen kyky sitoa kosteutta itseensä, vaikuttaa mikrobien saatavilla olevaan vesimäärään. Kasvualusta kosteus vaikuttaa oleellisesti mikrobien kasvuun. Materiaalin hygroskooppiset ominaisuudet saattavat olla erilaiset eri käyttökohteissa ja ne voivat myös muuttua ajan kuluessa. Kun materiaalin kosteuspitoisuus ylittää 75 - 80 % ilman suhteellista kosteutta vastaavan tason, on mikrobien, erityisesti homeen kasvu mahdollista. Sädesienten ajatellaan vaativan 90 - 95 % suhteellisen kosteuspitoisuuden rakennusympäristössä. (Pessi ym. 1999,9.)

Nykyisen tietämyksen mukaan homeetta esiintyy betonirakenteissa lähinnä lämmön-eristeessä. Sieltä niiden itiöt ja aineenvaihduntatuotteet voivat kulkeutua halkeamien ja muiden epätiivien kohtien kautta ilmavirtauksien mukana rakenteen läpi aina sisäilmaan asti. (Pentti, Mattila & Wahlman 1998, 84.) Yleensä rakennusten lämpöolosuhteet ovat otolliset homeiden ja muiden mikrobien kasvulle. Useimmat mikrobit kasvavat 10 - 40 °C:n lämpötilassa. Optimi lämpötila niiden kasvulle on 20 - 30 °C. Mikrobien kasvua rakennuksessa säätelee käytännössä rakenteiden ja pintojen kosteus. Mikrobilajista, lämpötilasta ja tarjolla olevista ravinteista riippuu, paljonko kosteutta tarvitaan mikrobien kasvuun. Lisäksi homehtumiseen vaikuttaa aika, jonka materiaali on kasvulle otollisessa ympäristössä. Rakenteen kosteusolosuhteet määräävät miten pian mikrobikasvusto kehittyy, sillä ulko- ja sisäilmasta pääsee aina mikrobeja rakenteiden pinnoille. Näistä mikrobeista kehittyy rakenteessa oleva mikrobikasvusto. (Ympäristöministeriö 1997, 65.)

Homeen kasvuun vaikuttavat sienilaji, kasvualusta ja kosteus, ja minimilämpötila, jossa home kasvaa vaihtelee 7 - 5°C:een. Kasvualustan happamuus vaikuttaa merkittävästi ravinteiden saatavuuteen, liukenemiseen ja entsyymireaktioihin, jotka vaikuttavat kasvuun paljon enemmän kuin itse happamuus. Useat sienet voivat kasvaa hyvin laajalla pH alueella. Otollisin ympäristö sienten kasvulle on yleisesti ottaen neutraali tai lievästi hapan alusta, jonka pH on 5 - 7. Sienten kasvun kannalta optimaalinen pH vaihtelee sienilajista riippuen. Esimerkiksi sädesienet menestyvät pH-alueella 5 - 9, optimi pH:n ollessa 7. (Pessi ym. 1999, 10.)

Eri mikrobiryhmillä on erilaiset vaatimukset kasvuolosuhteille. Niinpä yleensä kosteusvaurion tapahtuessa ilmestyvät vauriokohtaan ensiksi home-, hiiva- ja sädesienikasvustot. Kosteusvaurioituneen rakenteen väliaikainen kuivuminen ei tuhoa mikrobikasvustoa, sillä itiöt kestävät hyvin kuivuutta. Kun rakenteen kosteus kohoaa uudel-

leen, jatkaa osa mikrobeista kasvuun. Kuolleestakin mikrobikasvustosta voi aiheutua terveyshaittoja. (Ympäristöministeriö 1997, 65.)

Ympäristöolot vaikuttavat kasvun lisäksi myös mikrobien aineenvaihduntaan ja itiöiden tuotantoon, joka voi vaikuttaa mikrobikasvustoista aiheutuviin terveyshaittoihin. Sienillä ja sädesienibakteereilla on kyky tuottaa muiden mikrobien kasvua estäviä aineita. Tämä kyky riippuu kasvualustasta, erityisesti sen typen määrästä. Toisaalta itiöinnin tuotannon alkamista kiihdyttäviä seikkoja ovat mm. pula tyyppiyhdisteistä yhdessä hiilen saatavuuden kanssa. On hyvä muistaa, että sekä kasvu- että itiöintivaatimukset vaihtelevat suuresti eri lajien välillä. Kasvualustan pH vaikuttaa merkittävästi sädesienibakteerien kykyyn aiheuttaa mm. tulehdusreaktioita nisäkkäiden soluviljelyillä tehdyissä kokeissa. Ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa lähinnä siihen kuinka helposti itiöt irtoavat kasvustosta. Joidenkin sienilajien itiöt irtoavat helpommin ilman kosteuden ollessa matalampi ja toisilla kosteampi ilma edistää leviämistä. (Pessi ym. 1999, 10.)

Mikrobikasvusto voidaan havaita näkyvänä kasvustona sisäpinnoilla tai rakenteissa. Se voi näkyä värinmuutoksena materiaalissa tai puuterimaisina, pölymäisinä tai pisteinä kasvustoina. Mikrobikasvusto voi kehittyä pitkän ajan kuluessa rakenteiden sisällä niin, ettei siitä näy merkkejä sisäpinnoilla. Toisina aistittava homeenhaju tai tunkkainen, maakellaria muistuttava haju voi kertoa mahdollisista mikrobikasvustoista. Koska haju on peräisin mikrobien aineenvaihdunnasta johon vaikuttaa mm. kosteusolosuhteet, ei hajua esiinny jatkuvasti. Myös tilassa oleskelevien henkilöiden oireilu voi olla mikrobikasvuston tunnusmerkki. (Ympäristöministeriö 1997, 65.)

1.4.2 Betoni kasvualustana

Betoni ei ole otollinen kasvualusta sieni- ja sädesienikasvustoille, sillä siinä ei ole itsessään orgaanista hiililähdettä. Betonialustalla kasvavien mikrobien energian saanti perustuu epäpuhtauksiin, betonissa mahdollisesti esiintyvän muun mikrobikasvuston hyväksikäyttöön ja muuhun orgaaniseen aineeseen jota kertyy betonin pinnalle. (Pentti ym. 1998,10.)

Tuore betoni on voimakkaasti emäksistä, sillä sen pH on välillä 12 - 14. Betonipinnan pH on noin 8 - 9 vielä karbonatisoitumisen jälkeenkin, mikä hidastaa tai jopa estää mikrobikasvustoa, erityisesti sieniä. Jotkin sienilajit muodostavat käytössään olevasta vapaasta kalkista, kipsistä tai kalsiumkarbonaatista kalsiumoksalattia, jota ne käyttä-

vät ympäristönsä pH:n säätämiseen. Näin ne estävät vapaiden metallien toksisuuden tai voivat käyttää ympäristönsä rikkiyhdisteitä. (Pentti ym. 1998,10)

Vaikka betonielementtirakenteissa kosteusolosuhteet olisivat otolliset mikrobien kasvulle, saattavat muut ympäristötekijät olla kasvua rajoittavia. Erityisesti pH ja ravinnon heikko saatavuus rajoittavat kasvua. (Pessi ym. 1999, 10.)

1.4.3 Eristemateriaalit kasvualustana

Suomessa käytetään betonielementtirakentamisessa yleensä mineraalivilloja eli kivi-, lasi- ja kuonavilloja. 1950–60-lukujen vaihteessa on käytetty myös korkkilevyä ja lastuvillalevyä, jotka tarjoavat mikrobeille enemmän ravintoa. Mineraalivillat koostuvat lasi- ja kivikuiduista, jotka ovat epäorgaanisia, eivätkä näin ollen tarjoa hiiltä mikrobien ravinnoksi. (Pessi ym. 1999,11.)

Mineraalivillassa on siis vain vähän ravintoa mikrobien kasvua varten. Tilanne voi kuitenkin muuttua, sillä eristeiden tai elementtien valmistuksen, kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aikana eristeeseen voi kertyä pölyä, itiöitä ja sadevettä. Lisäksi elementin sisälle voi päästä epäpuhtauksia ilman ja sadeveden mukana, jos elementti on huonokuntoinen. Mikrobien on osoitettu pystyvän kasvavan lasi- ja kivivillassa, kunhan alustan vesipitoisuus on riittävän korkea. Eristetilaan päässyt vesi pyrkii liikkumaan ja valumaan alaspäin kertyen esimerkiksi aukkojen päällisiin, seinien alaosiin ja sokkeleihin. Tällöin eristemateriaalin vesipitoisuus saattaa nousta hyvinkin korkealle ainakin hetkellisesti. (Pessi ym. 1999, 11.)

2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Opinnäytetyössä tutkittiin Kuopiossa sijaitsevat asuinkerrostalon ulkoseinärakenteen kosteusteknistä toimintaa laskennallisesti. Kohteessa tutkittiin rakenteen lämpötilaa sekä diffuusiolla rakenteeseen ja siitä ulos siirtyvää kosteutta. Käytännössä toteutetun lisäeristyksen lisäksi tutkittiin myös toisen tyyppistä lisäeristysratkaisua sekä paksumman eristeen vaikutusta. Tavoitteena oli arvioida niiden kosteusteknistä toimintaa verrattuna alkuperäiseen rakenteeseen ja tunnistaa mahdolliset riskit, joita lisäeristämisestä voi aiheutua.

3 KOHTEET JA MENETELMÄT

3.1 Tutkittava kohde

3.1.1 Kohteen perustiedot

Kaikki tässä insinööriyössä tutkittavat rakenteet ovat asuinkerrostalokohteesta, joka sijaitsee Kuopiossa. Talo on valmistunut vuonna 1977, ja on aikakaudelle tyypillinen tasakattoinen asuinkerrostalo. Talossa on kahdeksan maanpäällistä kerrosta ja lisäksi kellarikerros. Pohjakerroksessa on lähinnä säilytystiloja sekä pesutupa ja kellarissa sijaitsee väestönsuoja. Ylemmät kerrokset ovat asuinhuoneistoja. Osassa pohjakerroksen säilytystiloja tapahtui käyttötarkoituksen muutos, kun sinne saneerattiin peruskorjauksen yhteydessä asuntoja. Rakennuksen ulkoseinät ovat pesubetonipintaisia betonisandwich-elementtejä. Porrashuoneita rakennuksessa on yksi ja huoneistoja 37 kappaletta.



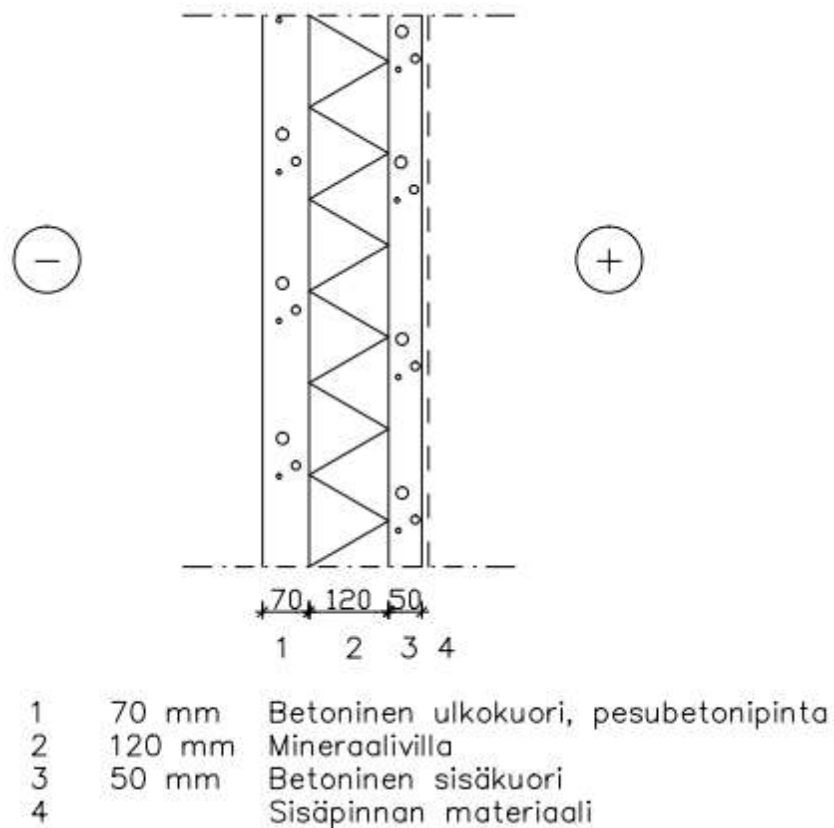
KUVA 1. Tutkittava kohde remontin jälkeen. Lisäeristyksen ja levyrappauksen myötä rakennuksen ulkonäkö muuttui. Kuva Tommo Hämäläinen. 2013

Rakennukselle on tehty kuntoarvio vuonna 2006, jolloin tässä opinnäytteessä tarkasteltavista rakenteista todettiin elementtirakenteisten ulkoseinien olevan päällisin puolin tarkasteltuna melko hyvässä kunnossa. Seinissä oli nähtävissä jälkiä vanhoista korjauksista. Kuntoarviossa suositeltiin seinien kuntotutkimusta ennen peruskorjausta. Yläpohjan osalta todettiin, että vesikatto on pääosin kunnossa, mutta läpimenoissa ja pellityksissä on vaurioita, jotka kaipasivat korjausta. Peruskorjaus on tehty vuonna 2011, jolloin julkisivut on lisäeristetty vanhojen BSW-elementtien päälle. Samalla uusittiin vesikate ja lisättiin yläpohjaan lämmöneristettä.

Kaikissa maanpäällisissä kerroksissa oli ennen peruskorjausta samanlainen ulkoseinärakenne. Peruskorjauksen jälkeen betonisissa ulkoseinärakenteisissa oli kahta erilaista rakennetyyppiä. Uudet rakennetyypit eroavat toisistaan ulkopinnan materiaalin sekä lämmöneristeen määrän ja sijainnin suhteen.

3.1.2 Ulkoseinien vanha rakennetyyppi

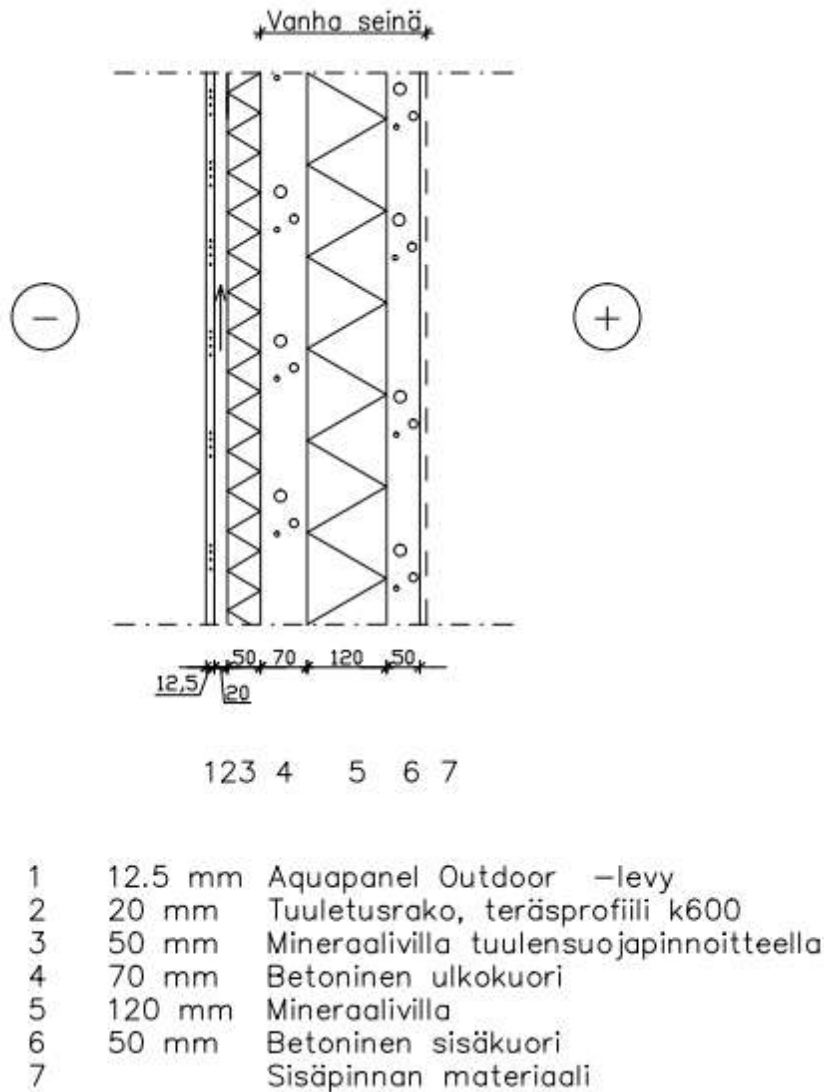
Rakennuksen julkisivuissa on kaikissa maanpäällisissä kerroksissa käytetty betonisia pesubetonipintaisia sandwich-elementtejä, joiden mineraalivillaisen lämmöneristeen paksuus on 120 mm. Elementtien sisäkuoren paksuus on 70 mm ja ulkokuoren paksuus on 50 mm, eli rakenne ei ole kantava. Rakenteen kokonaispaksuus on 210 mm. Rakenteen fysikaalista tarkastelua tehtäessä on oletettu, että lämmöneristeen paksuus on sama kuin sen nimellinen 120 mm:n paksuus. Lämmöneristeen todellista paksuutta ei ole erikseen mitattu. Todellisuudessa sen paksuus saattaa olla pienempi, koska villa pyrkii painumaan kasaan elementtiä valmistettaessa. Lämmöneristeiden kokoonpuristumisongelma koskee kaikkia 1970-luvun taloja, sillä silloin käytettiin yleisesti pehmeämpi villalatuja kuin 1980-luvulla ja sen jälkeen. Vuonna 1976 käytetyn lämmöneristeen lämmönjohtavuus on noin 0,05 W/mK, jolloin vanhan rakenteen U-arvoksi tulee 0,374 W/m²K.



Kuva 2. Ulkoseinien Sandwich-elementin rakenne

3.1.3 Asuinkerrosten ulkoseinien lisäeristys

Asuinkerrosten ulkoseiniin asennettiin ulkopuolinen lisäeristys ja Knaufin Aquapanel outdoor -julkisivurappausjärjestelmään kuuluva levyrappaus. Lisäeristykseen paksuus oli 50 mm ja se toteutettiin epäorgaanisesta materiaalista valmistetulla Isover RKL Facade -eristelevyllä, joka on pinnoitettu tuulensuojapinnoitteella. Lisäksi laskelmat tehdään myös 100 mm lisäeristepaksuudella. Ennen lisäeristeen kiinnittämistä olemassa olevan betonielementin ulkokuoreen, on elementin ulkopinta tasoitettu tarvittaessa osin laastilla. Näin varmistetaan lämmöneristeen kiinnittyminen tiiviisti alustaa vasten ja eliminoidaan epätoivotut ilmavirtaukset. Myös elementeissä olevat saumat ja urat on täytetty korjauslaastilla. Ulkoseinissä olleilta vaurioituneilta alueilta vaurioitunut betoni on poistettu ulkokuorista mekaanisesti piikaten terveeseen betoniin asti. Betonirakenteiden korjaukset on tehty paikkaamalla laastilla.



Kuva 3. Ulkoseinien lisäeristetty rakenne levyrappauksella

Isover RKL Facade -eristelevyt ovat pitkiltä sivuiltaan pontattuja ja lisäksi tiivistyksessä käytettiin järjestelmään kuuluvaa saumausteippiä. Lämmöneristeen lämmönjohtavuus on 0,031 W/mK (Lambda Declared) ja se soveltuu P1, P2 ja P3 paloluokkien rakennuksiin. (Isover RKL-31 Facade Tuoteseloste. 2012)

Aquapanel Outdoor -julkisivujärjestelmä koostuu rappausalustaksi tarkoitetuista rakennuslevyistä, niiden kiinnitystarvikkeista ja rappaustarvikkeista. Aquapanel Outdoor -levyt ovat sementtipohjaisia molemmin puolin lasikuituvahvistettuja rakennuslevyjä. Mekaanisilta ominaisuuksiltaan ne ovat jäykkiä ja niistä voidaan tehdä saumaton julkisivupinta joko puu- tai metallirankaan. (Aquapanel Outdoor -julkisivujärjestelmä) Tässä tapauksessa on käytetty vaakasuoraa teräksistä Z-rankaa, joka on kiinnitetty

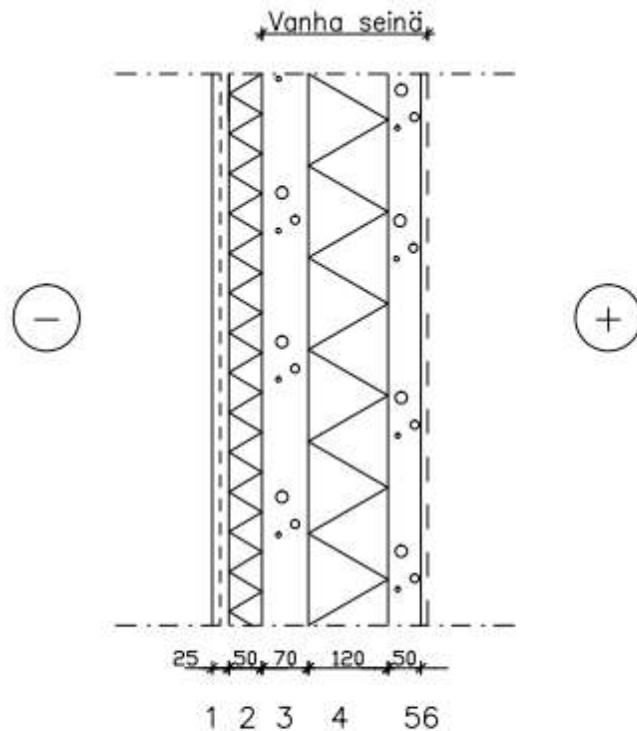
elementin ulkokuoreen 600 mm jaolla. Z-rangan päälle on asennettu pystykoolaus käyttäen teräksistä hattuprofiilia 600mm jaolla. Tällöin eristelevyn ja rappauksen pohjana olevan Aquapanel Outdoor -levyn väliin jää 20 mm tuuletusrako.

Aquapanel Outdoor -levyt toimivat rappausalustana samaan järjestelmään kuuluvalle ohutrappaukselle. Järjestelmä sisältää kaikki rappaukseen tarvittavat materiaalit, kuten saumanauhat ja tasoitteet, joilla on käsitelty ja vahvistettu saumat. Kulmat puolestaan on vahvistettu kulmaprofiileilla, jotka on kiinnitetty saumatasoiteella tai ohutrappauslaastilla. Aquapanel Outdoor -järjestelmän asennusohjeiden mukaisesti seinä on tasoitettu ohutrappauslaastilla, joka on vahvistettu vahvikeverkolla. Vahvisteverkotetun tasoitekerroksen paksuus on 5 - 7 mm, jossa vahvisteverkko on tasoitettu näkyvästi 1/3 syvyydelle levynpinnasta. Vahvisteverkon jatkoskohtiin on tehty 100 mm limitys. Tasoitekerroksen pintaan on laitettu ennen pintarappausta järjestelmään kuuluva pohjuste tartunnan varmistamiseksi. Lopuksi pinnoite on silotettu raekokoon saakka ja pinta on viimeistely hiertämällä. (Aquapanel Outdoor -julkisivujärjestelmä, 13)

3.1.4 Asuinkerrosten ulkoseinien vaihtoehtoinen lisäeristys

Tutkittavan kohteen käytännön toteutuksessa käytettiin siis lisäeristystä ja levyrappausta, mutta lisäksi haluttiin tutkia myös, miten eristeen päälle tehty lämpörappaus toimisi kosteusteknisesti. Tämän tyyppiset ratkaisut ovat nykyään varsin yleisiä. Tutkittavan kohteen saneerausta varten tehdyssä rakennusselityksessä esiintyy Vetonit SerpoROC -järjestelmän mukainen eristerappaus, vaikka käytännön toteutuksessa päädyttiinkin toiseen ratkaisuun. Tässä kappaleessa selostetaan pääpiirteissään Vetonit SerpoROC -eristerappauksen toteutus rakennusselityksen ja julkisivujärjestelmän valmistajan ohjeiden mukaisesti. Rappaus tehdään kolmikerrosrappauksena, kokonaiskerrosvahvuuden ollessa vähintään 20 – 25 mm.

Aluksi vanhojen betoniulkokuorien ulkopinta tasoitetaan lämmöneristysten alustaksi tarvittavilta osin laastipumpulla ruiskutettavalla korjauslaastilla. Pinta tasoitetaan riittävän tasaiseksi, jotta lämmöneriste asettuu tiiviisti alustaa vasten. Samalla tasoitetaan myös elementeissä olevat urat ja saumat.



| | | |
|---|--------|-----------------------|
| 1 | 25 mm | Kolmikerrosrappaus |
| 2 | 50 mm | Mineraalivilla |
| 3 | 70 mm | Betoninen ulkokuori |
| 4 | 120 mm | Mineraalivilla |
| 5 | 50 mm | Betoninen sisäkuori |
| 6 | | Sisäpinnan materiaali |

Kuva 4. Ulkoseinien lisäeristetty rakenne lämpörappauksella.

Lämmöneristeenä käytetään palamatonta kivivillaeristettä, kuten Paroc FAS 4, joka on suunniteltu käytettäväksi ohutrapatuissa julkisivuissa. Eristeen paksuudeksi valitaan 50 mm. Lisäksi laskelmat tehdään myös 100 mm lämmöneristeelle. Lämmöneristeen lämmönjohtavuus on 0,038 W/mK (Lambda Declared). Lämmöneristevyt kiinnitetään mekaanisilla kiinnikkeillä ja liimalaastilla. (Paroc FAS 4 Tuoteseloste. 2012)

Rappausverkkona käytetään pistehitsattua kuumasinkittyä teräslankaverkkoa, jonka lankavahvuus on 1 mm ja lankajako 19 mm ristiin. Rappausverkko kiinnitetään kiinnityshakaan lukitustapilla ja sen etäisyys eristeen pinnasta on 5 - 10 mm. Verkon jatkoksien limityksen tulee olla vähintään 50 mm. Verkkoa ei tule kiinnittää seinään. Ikku- ja oviaukkojen kulmiin asennetaan lisäverkotukseksi järjestelmään kuuluvat kulmavahvikkeet, jotka ankkuroidaan alla olevaan verkkoon.

Pohjarappaus tehdään koneellisesti ruiskuttamalla järjestelmään kuuluvalla pohjalaastilla, kerrosvahvuuden ollessa 8 - 10 mm. Rappauspinta tasataan oikolaudalla, mutta ei hierretä. Laastikerros tulee pitää kosteana 1 - 3 vuorokautta, riippuen ilman kosteudesta ja lämpötilasta. Kuivalla ja lämpimällä säällä turvaututaan rappauspinnan kostuttamiseen.

Täyttörappaus tehdään koneellisesti ruiskuttamalla järjestelmään kuuluvalla pohjalaastilla aikaisintaan 1 - 3 vuorokauden kuluttua pohjarappauksesta. Täyttörappauspinta oikaistaan ohjuren avulla siten, että saavutetaan RYL 2000 taulukon 71:TI toleranssiluokka 3. Pinta hierretään tasaiseksi siten, ettei rappauskerroksen pintaan synny sementtitiimakerrosta. Samoin kuin pohjarappauskerroksen kohdalla, on täyttörappaus pidettävä kosteana 1 - 3 vuorokauden ajan. Ennen pinnoitusta täyttörappauksen kovettua, viimeistään 3 - 4 vuorokauden kuluttua täyttörappauksesta, leikataan liikuntasaumot rakenteiden liittymien kohdalle. Pohjanauhana käytetään umpisoluista pohjanauhaa. Saumaus tehdään kestoelastisella saumausmassalla, jonka joustoalue on $\pm 50\%$.

Pintarappaus tehdään koneellisesti ruiskuttamalla esimerkiksi Vetonit -jalolaastilla aikaisintaan 5 vuorokauden kuluttua täyttörappauksesta. Pintarappaus tehdään kahtena kerroksena siten, ettei häiritseviä työsaumoja tule. Tuore laasti hierretään tasaiseksi. Tarvittaessa kuivalla ja lämpimällä säällä täyttörappauksen pinta kastellaan niin, että se on tasaisesti vettä imevä ennen kuin pintarappaus aloitetaan. Laastikerros pidetään kosteana 1 - 3 vuorokauden ajan. Rappaustyön aikana ja 3 vuorokautta sen jälkeenkin on ilman ja alustan lämpötila oltava vähintään $+ 5^{\circ}\text{C}$.

4 TULOKSET

4.1 Laskenta

Laskennan lähtötietoina käytettiin INSULAVO-projektin yhteydessä tutkimuskohteista mitattuja sisäilmatietoja ja Ilmatieteenlaitokselta hankittuja tietoja ulkoilmasta samalta ajanjaksolta. Sisä- ja ulkoilmasta mitattujen lämpötila- ja kosteustietojen perusteella laskettiin lämpötilajakaumaa ja kosteuspitoisuutta rakenteessa. Materiaalien ominaisuuksina käytettiin materiaalien valmistajien ilmoittamia tietoja, jos niitä oli saatavilla, muutoin käytettiin standardista EN-ISO-10456 ja Tampereen teknillisen yliopiston Raportista nro129 kerättyjä tietoja. Taulukossa 1. on nähtävissä laskelmissa käytetyt materiaalien lämmönjohtavuudet ja vesihöyrynläpäisevydet. Laskelmien tulokset kokonaisuudessaan ovat nähtävissä liitteessä 1. olevissa taulukoissa.

Taulukko 1. Laskelmissa käytetyt materiaalien ominaisuudet

| Materiaali | Lämmönjohtavuus λ_D (W/mK) | Vesihöyrynläpäisevyys δ_v (s/m) |
|---------------------------|--|--|
| Betoni (Sisäkuori) | 2,3 | $0,204 \cdot 10^{-6}$ |
| Betoni (Ulkokuori) | 2,3 | $0,273 \cdot 10^{-6}$ |
| Villa (Vanha) | 0,05 | $26,57 \cdot 10^{-6}$ |
| Villa (Isover RKL Facade) | 0,031 | $11,51 \cdot 10^{-6}$ |
| Villa (Paroc FAS 4) | 0,038 | $21,85 \cdot 10^{-6}$ |
| Rappaus | 0,8 | $3,64 \cdot 10^{-6}$ |

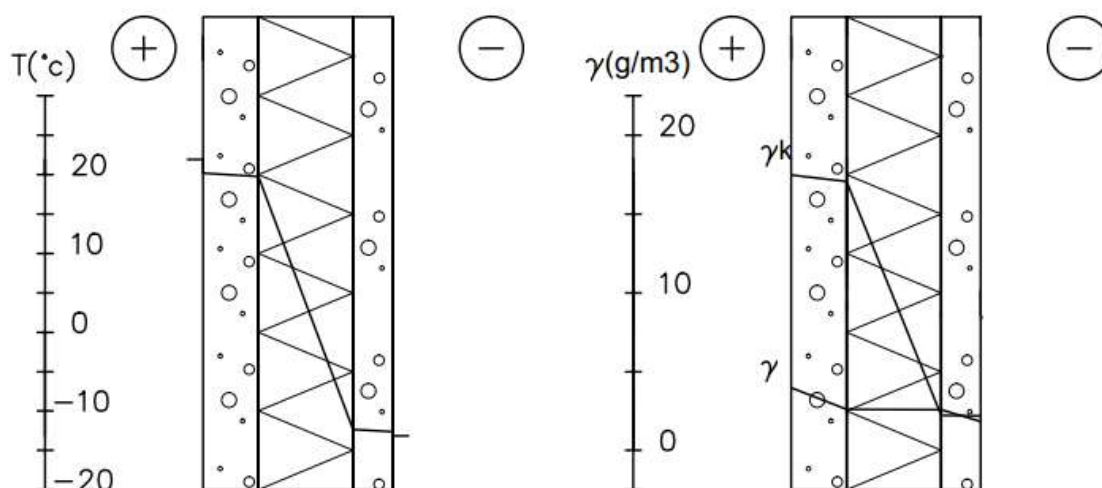
4.2 Alkuperäinen rakenne

Taulukon 2 perusteella sisälämpötila vaihtelee kesäkuukausien varsin korkeasta noin 28°C lämpötilasta talvikuukausien matalampaan sisälämpötilaan. Myös sisäilman suhteellinen kosteus on suurimmillaan lämpiminä kuukausina. Ulkolämpötila oli matalimmillaan helmikuussa, joka lähtökohtaisesti ajatellen asetti rakenteet kosteusteknistä toimintaa tarkasteltaessa hankalimpiin olosuhteisiin. BSW -rakenteessa sisäkuori on lähellä sisäilman lämpötilaa ja ulkokuori lähellä ulkoilman lämpötilaa.

TAULUKKO 2. Kosteuden tiivistymisen kuukausittainen keskiarvo alkuperäisellä rakenteella

| Kuukausi | T sisä (°c) | RH% sisä | T ulko (°c) | RH% ulko | Tiivist. SK/villa (g/hm ²) | Tiivist. Villa/UK (g/hm ²) |
|----------|-------------|----------|-------------|----------|--|--|
| elo | 27,6 | 42,3 | 17,6 | 73,9 | -0,43 | -0,14 |
| syys | 26,5 | 35,4 | 10,3 | 88,6 | -0,42 | -0,02 |
| loka | 24,2 | 33,2 | 5,7 | 87,0 | -0,42 | -0,02 |
| marras | 23,4 | 28,7 | 2,3 | 89,6 | -0,42 | -0,02 |
| joulu | 23,3 | 26,5 | 0,5 | 91,0 | -0,43 | -0,01 |
| tammi | 23,1 | 21,4 | -9,5 | 88,3 | -0,45 | 0,01 |
| helmi | 21,9 | 20,5 | -13,1 | 84,3 | -0,43 | 0,01 |
| maalis | 22,4 | 21,5 | -3,7 | 76,8 | -0,44 | -0,02 |

Sisäkuoren ja lämmöneristeen rajapinnassa kosteuspitoisuuden ja kyllästyskosteuspitoisuuden ero on koko tarkastelujaksolla selvä ja siinä tapahtuu selvää kuivumista. Sen sijaan lämmöneristeen ja ulkokuoren rajapinnassa pitoisuusero on pienempi ja tammi- ja helmikuussa, eli kahtena kylmimpänä kuukautena, siinä tapahtuuikin pientä tiivistymistä. Muina kuukausina rajapinnassa kuitenkin tapahtuu pientä kuivumista.



KUVA 5. Lämpötila ja kosteuspitoisuus alkuperäisessä rakenteessa helmikuussa

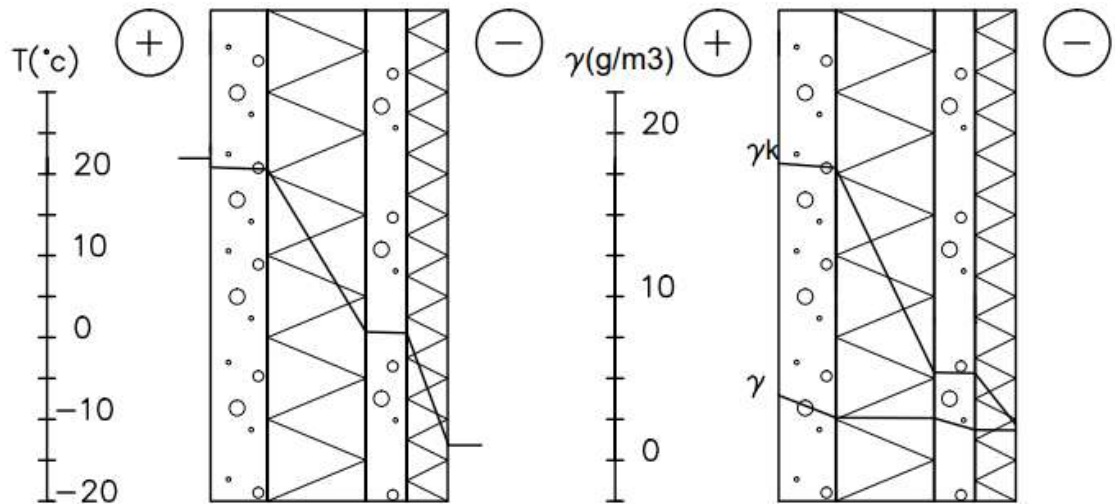
4.3 Levyrappaus 50 mm lisäeristeellä

Lisäeristyksen paksuuden ollessa 50 mm ja käytettäessä lisäeristyksen päälle tulevaa tuuletusraollista levyrappausta, muuttuu BSW-elementin lämmöneristetilassa vallitseva lämpötila suotuisammaksi kuin alkuperäisellä rakenteella. Tarkastelujakson kylmimpänä kuukautenakin, eli helmikuussa, lämmöneristeen ja ulkokuoren välisen rajapinnan lämpötila pysyy keskimäärin 0°C yläpuolella. Yksittäisinä kylminä päivinä lämpötila eristetilassa toki painuu pakkasen puolelle. Myös ulkokuoren ja lisäeristeen rajapinnassa lämpötila pysyy keskimäärin niukasti nolla yläpuolella.

TAULUKKO 3. Kosteuden tiivistymisen kuukausittainen keskiarvo levyrappauksella lisäeristeen paksuudella 50 mm

| Kuukausi | T sisä (°C) | RH% sisä | T ulko (°C) | RH% ulko | Tiivist. SK/villa (g/hm ²) | Tiivist. Villa/UK (g/hm ²) | Tiivist. UK/lisäer (g/hm ²) |
|----------|-------------|----------|-------------|----------|--|--|---|
| elo | 27,6 | 42,3 | 17,6 | 73,9 | -0,44 | -0,24 | -0,21 |
| syys | 26,5 | 35,4 | 10,3 | 88,6 | -0,45 | -0,17 | -0,15 |
| loka | 24,2 | 33,2 | 5,7 | 87,0 | -0,42 | -0,14 | -0,13 |
| marras | 23,4 | 28,7 | 2,3 | 89,6 | -0,43 | -0,13 | -0,12 |
| joulu | 23,3 | 26,5 | 0,5 | 91,0 | -0,44 | -0,13 | -0,11 |
| tammi | 23,1 | 21,4 | -9,5 | 88,3 | -0,47 | -0,10 | -0,09 |
| helmi | 21,9 | 20,5 | -13,1 | 84,3 | -0,45 | -0,08 | -0,08 |
| maalis | 22,4 | 21,5 | -3,7 | 76,8 | -0,45 | -0,13 | -0,12 |

Kyllästyskosteuspitoisuus on koko seinärakenteessa suurempi kuin vallitseva kosteuspitoisuus koko tarkastelujakson ajan. Verrattuna alkuperäiseen rakenteeseen ovat lämmöneristeet ja betonirakenteet koko ajan edullisemmissä olosuhteissa kosteuden suhteen. Tiivistymistä ei tapahdu tarkastelujaksolla kylmimpinä päivinäkään ja kuivuminen on voimakkaampaa lämmöneristeen ja ulkokuoren rajapinnassa, kuten taulukosta 3 voi nähdä.



KUVA 6. Lämpötila ja kosteuspitoisuus levyrappauksella 50 mm lisäeristeellä helmikuussa

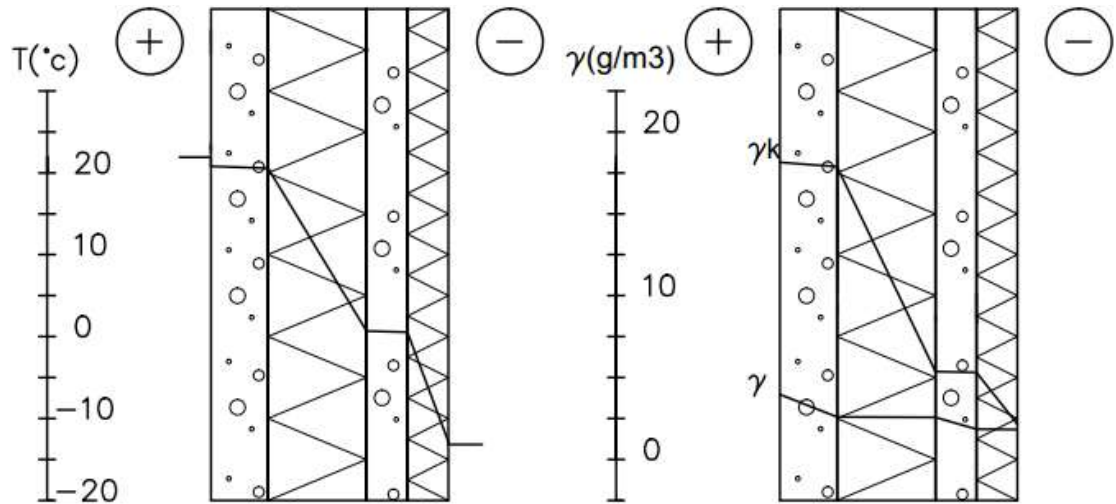
4.4 Levyrappaus 100 mm lisäeristeellä

Lisäeristysten paksuuden ollessa 100 mm lämpötila BSW-elementin eristetilassa on korkeampi kuin ohuemalla lisäeristeellä tai alkuperäisellä rakenteella. Kylmimpinä päivinä eristetilan lämpötila lämmöneristeen ja ulkokuoren rajapinnassa menee pakkasen puolelle, mutta keskimäärin eristetilan lämpötila pysyy nollan yläpuolella joka kuussa. Myös ulkokuoren ja lisäeristeen rajapinnassa lämpötila pysyy keskimäärin nollan yläpuolella.

TAULUKKO 4. Kosteuden tiivistymisen kuukausittainen keskiarvo levyrappauksella lisäeristeen paksuudella 100 mm

| kuukausi | T sisä (°c) | RH% sisä | T ulko (°c) | RH% ulko | Tiivist. SK/villa (g/hm ²) | Tiivist. Villa/UK (g/hm ²) | Tiivist. UK/lisäer (g/hm ²) |
|----------|-------------|----------|-------------|----------|--|--|---|
| elo | 27,63 | 42,29 | 17,60 | 73,85 | -0,43 | -0,29 | -0,26 |
| syys | 26,53 | 35,43 | 10,34 | 88,60 | -0,45 | -0,24 | -0,21 |
| loka | 24,21 | 33,17 | 5,69 | 87,01 | -0,42 | -0,21 | -0,19 |
| marras | 23,42 | 28,71 | 2,30 | 89,59 | -0,43 | -0,20 | -0,18 |
| joulu | 23,27 | 26,51 | 0,52 | 90,96 | -0,44 | -0,19 | -0,18 |
| tammi | 23,14 | 21,36 | -9,50 | 88,26 | -0,47 | -0,17 | -0,16 |
| helmi | 21,89 | 20,51 | -13,14 | 84,34 | -0,45 | -0,15 | -0,14 |
| maalis | 22,42 | 21,53 | -3,70 | 76,78 | -0,45 | -0,20 | -0,18 |

Kyllästyskosteuspitoisuus on koko seinärakenteessa suurempi kuin vallitseva kosteuspitoisuus koko tarkastelujakson ajan. Taulukossa 4. on nähtävissä, kuinka kuivumista tapahtuu tarkastelujakson jokaisena kuukautena. Tiivistymistä ei tapahdu kylmimpinä päivinäkään ja kuivuminen on ohuempaan eristeeseen verrattuna voimakkaampaa lämmöneristeen ja ulkokuoren sekä ulkokuoren ja lisäeristeen rajapinnoissa. Verrattuna alkuperäiseen rakenteeseen ovat lämmöneristeet ja betonirakenteet koko ajan edullisemmissä olosuhteissa lämpötilan ja kosteuden suhteen. Levyrappauksen toiminta molemmilla lisäeristyksen paksuuksilla on siis samankaltaista, paitsi että kuivuminen on voimakkaampaa ja lämpötila rakenteen sisällä pysyy korkeampana paksummalla eristeellä.



KUVA 7. Lämpötila ja kosteuspitoisuus levyrappauksella 100 mm lisäeristeellä helmi-
kuussa

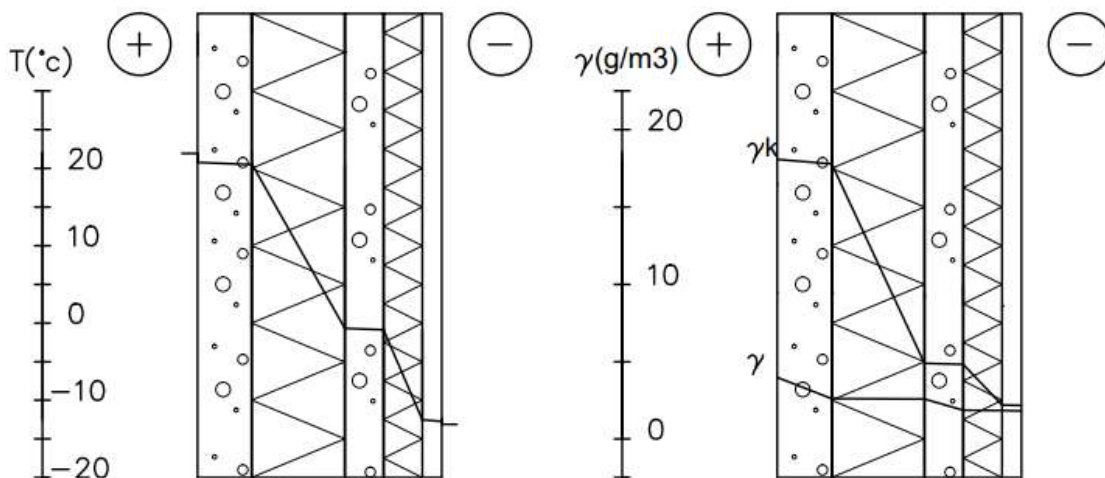
4.5 Lämpörappaus 50 mm lisäeristeellä

Käytettäessä lämpörappausta 50 mm eristepaksuudella alkuperäisen rakenteen pääl-
lä, on BSW-elementin lämmöneristetilassa vallitseva lämpötila suotuisampi kuin alku-
peräisellä rakenteella. Tarkastelujakson kylmimpänä kuukautena lämmöneristeen ja
ulkokuoren välisen rajapinnan lämpötila painuu keskimäärin hiukan 0°C alapuolelle.
Lämpörappaukseen soveltuva lämmöneriste ei ole lämmönvastukseltaan yhtä teho-
kasta kuin levyrappauksessa käytetty eriste. Myös ulkokuoren ja lisäeristeen rajapin-
nassa lämpötila painuu keskimäärin nolla alapuolella.

TAULUKKO 5. Kosteuden tiivistymisen kuukausittainen keskiarvo lämpörappauksella lisäeristeen paksuudella 50 mm

| kuukausi | T sisä (°C) | RH% sisä | T ulko (°C) | RH% ulko | Tiivist. SK/villa (g/hm ²) | Tiivist. Villa/UK (g/hm ²) | Tiivist. UK/lisäer (g/hm ²) | Tiivist. Lisäer/rapaus (g/hm ²) |
|----------|-------------|----------|-------------|----------|--|--|---|---|
| elo | 27,62 | 42,29 | 17,58 | 73,90 | -0,43 | -0,22 | -3,09 | -2,53 |
| syys | 26,53 | 35,42 | 10,34 | 88,59 | -0,44 | -0,15 | -2,05 | -0,74 |
| loka | 24,21 | 33,17 | 5,69 | 87,01 | -0,42 | -0,12 | -1,82 | -0,58 |
| marras | 23,42 | 28,71 | 2,30 | 89,59 | -0,42 | -0,11 | -1,64 | -0,39 |
| joulu | 23,27 | 26,51 | 0,52 | 90,96 | -0,43 | -0,11 | -1,59 | -0,31 |
| tammi | 23,14 | 21,36 | -9,50 | 88,26 | -0,46 | -0,08 | -1,32 | -0,18 |
| helmi | 21,89 | 20,51 | -13,14 | 84,34 | -0,44 | -0,07 | -1,18 | -0,18 |
| maalis | 22,42 | 21,53 | -3,70 | 76,78 | -0,44 | -0,11 | -1,69 | -0,57 |

Kyllästyskosteuspitoisuus on koko seinärakenteessa suurempi kuin vallitseva kosteuspitoisuus koko tarkastelujakson ajan. Tiivistymistä ei tapahdu tarkastelujaksolla kylmimpinä päivinäkään ja kuivumista tapahtuu lämmöneristeen ja ulkokuoren sekä ulkokuoren ja lisäeristeen rajapinnoissa. Kuivumisen voimakkuus rakennekerroksittain on esitetty taulukossa 5. Verrattuna alkuperäiseen rakenteeseen ovat lämmöneristeet ja betonirakenteet koko ajan edullisemmissä olosuhteissa lämpötilan ja kosteuden suhteen.



KUVA 8. Lämpötila ja kosteuspitoisuus lämpörappauksella 50 mm lisäeristeellä helmi-kuussa

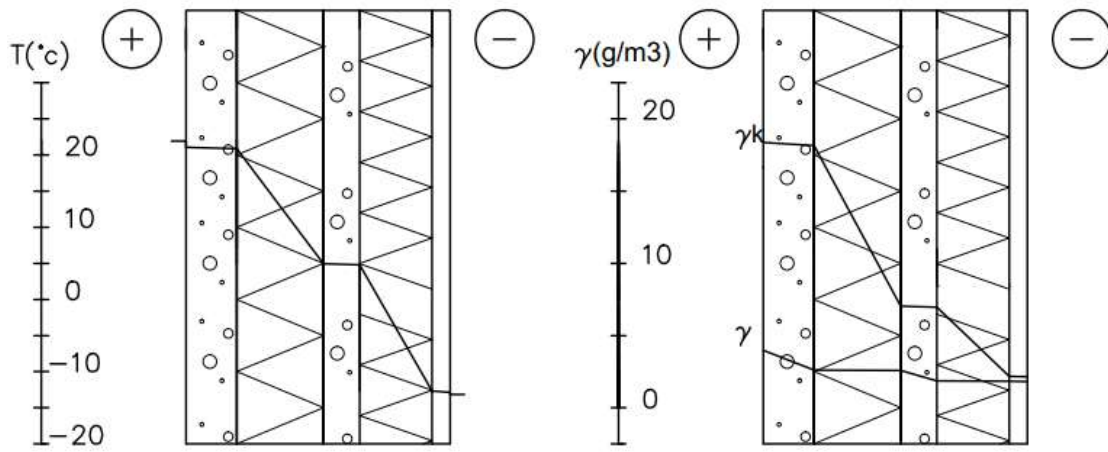
4.6 Lämpörappaus 100 mm lisäeristeellä

Lämpörappauksen lisäeristepaksuuden ollessa 100 mm, vallitsee BSW-elementin lämmöneristetilassa korkeampi lämpötila verrattuna ohuempaan lisäeristeeseen. Tarkastelujakson kylmimpänä kuukautena lämmöneristeen ja ulkokuoren välisen rajapinnan lämpötila pysyy keskimäärin 0°C yläpuolella. Samoin ulkokuoren ja lisäeristeen rajapinnassa lämpötila pysyy keskimäärin nolla yläpuolella.

TAULUKKO 6. Kosteuden tiivistymisen kuukausittainen keskiarvo lämpörappauksella lisäeristeen paksuudella 100 mm

| kuukausi | T sisä (°C) | RH% sisä | T ulko (°C) | RH% ulko | Tiivist. SK/villa (g/hm ²) | Tiivist. Villa/UK (g/hm ²) | Tiivist. UK/lisäer (g/hm ²) | Tiivist. Lisäer/rapaus (g/hm ²) |
|----------|-------------|----------|-------------|----------|--|--|---|---|
| elo | 27,62 | 42,29 | 17,58 | 73,90 | -0,43 | -0,27 | -3,02 | -2,52 |
| syys | 26,53 | 35,42 | 10,34 | 88,59 | -0,45 | -0,21 | -2,37 | -0,71 |
| loka | 24,21 | 33,17 | 5,69 | 87,01 | -0,42 | -0,19 | -2,16 | -0,55 |
| marras | 23,42 | 28,71 | 2,30 | 89,59 | -0,42 | -0,17 | -2,02 | -0,37 |
| joulu | 23,27 | 26,51 | 0,52 | 90,96 | -0,43 | -0,17 | -1,99 | -0,29 |
| tammi | 23,14 | 21,36 | -9,50 | 88,26 | -0,47 | -0,14 | -1,79 | -0,17 |
| helmi | 21,89 | 20,51 | -13,14 | 84,34 | -0,44 | -0,13 | -1,63 | -0,17 |
| maalis | 22,42 | 21,53 | -3,70 | 76,78 | -0,44 | -0,17 | -2,05 | -0,55 |

Kyllästyskosteuspitoisuus on koko seinärakenteessa suurempi kuin vallitseva kosteuspitoisuus koko tarkastelujakson ajan. Taulukon 6. mukaan koko seinärakenne kuivuu koko tarkastelujakson ajan. Tiivistymistä ei tapahdu tarkastelujaksolla kylmimpinä päivinä ja kuivumista tapahtuu lämmöneristeen ja ulkokuoren sekä ulkokuoren ja lisäeristeen rajapinnoissa. Verrattuna alkuperäiseen rakenteeseen ovat lämmöneristeen ja betonirakenteet koko ajan edullisemmissä olosuhteissa lämpötilan ja kosteuden suhteen. Kun verrataan paksumpaa lämpörappausta ohuempaan, on BSW-elementin ulkokuoren kuivuminen voimakkaampaa käytettäessä paksumpaa lisäeristettä.



KUVA 9. Lämpötila ja kosteuspitoisuus lämpörappauksella 100 mm lisäeristeellä helmikuussa

5 POHDINTA

5.1 Johtopäätökset tuloksista

Tavoitteena oli tutkia miten lisäeristäminen vaikuttaa seinärakenteen kosteustekniseen toimintaan. Laskelmien mukaan lisäeristämällä on positiivinen vaikutus diffuusiolla tapahtuvaan kosteuden siirtymiseen rakenteeseen ja siitä ulos. Vanha seinärakenne on aiempaa lämpimämmässä ja kuivemmissä olosuhteissa lisäeristämisen jälkeen. Tässä työssä tutkittiin vain diffuusion vaikutusta ja onkin hyvä muistaa, että rakenteeseen tulee kosteutta myös muilla tavoin, kuten konvektion tai sateen vaikutuksesta. Lisäksi laskennan lähtötietoja mitattiin vain muutaman kuukauden ajalta ja pidemmällä seurantajaksolla rakenteeseen olisi saattanut kohdistua kuormittavampia olosuhteita. Kuitenkin tuloksien mukaan rakenteen hyvälle kosteustekniselle toiminnalle on olemassa hyvät lähtökohdat.

Alkuperäisessä rakenteessa tapahtui lämmöneristeen ja ulkokuoren rajapinnassa pientä kosteuden tiivistymistä kahtena kylmimpänä kuukautena ja muinakin kuukausina oltiin vain vähän kuivumisen puolella. Vanhaakin rakennetta voidaan pitää toimivana, mutta paremmaksi tilanne muuttui lisäeristämisen myötä. Tällöin rakenne kuivui voimakkaammin myös ulkopinnastaan kaikilla tarkastelluilla lisäeristysvaihtoehdoilla. Näin ollen rakenteen sietokyky erilaisia häiriöitä vastaan paranee. Tarkastelluista lisäeristys vaihtoehdoista jokainen vaikuttaa olevan turvallinen vaihtoehto diffuusion osalta.

5.2 Pohdintaa lisäeristämisestä

Lisäeristäminen on sijoitus tulevaan ja energian hinnan noustessa voi olettaa, että monessa taloyhtiössä tehdäänkin jatkossa energiaremontteja. Remontin yhteydessä on syytä varmistautua siitä, että valittu lisäeristysmenetelmä on kosteusteknisesti toimiva. On hyvä myös muistaa, että ilmastonmuutoksen oletetaan muuttavan Suomen ilmastoa rakenteiden kannalta haastavampaan suuntaan, sademäärän ja kosteuden lisääntyessä. Lisääntynyt viistosade lisää seinää pitkin valuvan veden määrää ja sen pääsy rakenteeseen pitää estää.

Kosteusteknisen toiminnan arvioiminen laskennallisesti ei ole aivan ongelmaton. Materiaalien vesihöyrynläpäisevyys on riippuvainen lämpötilasta ja useissa tapauksissa myös kosteuspitoisuudesta. Alan kirjallisuudessa kerrotut vesihöyryn läpäisevyudet ovat siis tarkalleen paikkansapitäviä vain tietyissä olosuhteissa, joissa ne on mitattu. Eri lähteistä saaduissa arvoissa onkin jonkin verran hajontaa. Tämä merkitsee sitä, että kosteusvirtalaskelmat eivät ole täysin tarkkoja. Näin ollen olisi perusteltua mitata rakenteen toimintaa kokeellisesti laboratorio-oloissa, jos haluttaisiin selvittää sen toimintaa tarkalleen. Toisaalta laskennallisella menetelmällä saadaan hyvä arvio vertailtaessa eri vaihtoehtoja. Tämä tarkkuus riittänee käytännön rakennesuunnittelussa.

Tutkittavassa kohteessa lisäeristyksen lähtökohdaksi oli otettu se, että lisäeristys tulee rakenteen ulkopintaan, mikä onkin järkevämpi vaihtoehto. Ulkopuolinen lisäeristys vähentää alkuperäiseen rakenteeseen kohdistuvaa sadevesirasitusta ja ulkokuoren suhteellinen kosteus vähenee. Lisäksi alkuperäisen BSW-elementin lämpötila nousee, jolloin sisäilman kosteuslisän aiheuttama riski kosteuden kondensoitumiselle ja samalla homeen kasvulle pienenee. Käytettäessä sisäpuolista lisäeristystä seinärakenteen lämpötila muuttuu päinvastaiseen suuntaan, joten mielestäni lisäeristäminen tulisi toteuttaa nimenomaan rakenteen ulkopuolelle, kuten yleensä tehdäänkin.

Tutkitut lisäeristystavat osoittautuivat diffuusion osalta hyvin toimiviksi ratkaisuksiksi, kuten saattoi ennakoita odottaakin. Käytännössä on hyvä muistaa, että levyrappauksen tuuletusrako katkaisee tehokkaasti sadeveden pääsyn eristeisiin, mutta lämpörappaus on herkempi sadeveden aiheuttamille ongelmille. Periaatteessa ohutrappaus muodostaa lämmöneristeen pintaan riittävän suojan sadevettä vastaa, mutta ei ole vaikeaa kuvitella, että rappaukseen syntyy mekaanisen rasituksen, seinään tulevien kiinnitteiden yms. syiden johdosta reikiä ja halkeamia, joista vesi valuu eristeeseen. Lisäksi on syytä kiinnittää huomiota erilaisten liitosten ja läpivientien toteutukseen. Tällaisia detaljeja ovat esimerkiksi ikkunan pielet, jotka ovat työmaaoiloissa helppoa tehdä huonosti. Ikkuna-aukkojen huolellinen toteutus on tärkeää niin eriste- kuin levyrappauksellakin. Mikrobin kasvun lisäksi kastuneiden eristeiden varjopuolena on myös heikentynyt lämmöneristyskyky.

Nykytietämyksen mukaan puurunkoista seinää ei tulisi tehdä lainkaan eristerappauksella ilman tuuletusrakoa. Kerrostalot, joissa lämpörappaus tulee betonirakenteen päälle ollaan kuitenkin paremmassa tilanteessa, sillä betoni itsessään ei tarjoa

ravintoa mikrobeille ja muodostaa varsin tiiviin kuoren, joka päästää sisälleen vain vähän ilmavirtauksia ja niiden mukana mikrobeja. Rakenteen hyvä ilmatiiveys onkin olennaisen tärkeää. Tässäkin yhteydessä voi painottaa huolellisen työskentelyn merkitystä työmaalla, sillä likaisten eristelevyjen ja muiden tarvikkeiden mukana rappauksen ja betonielementin väliin saattaa päätyä orgaanista ainetta.

Lisäeristys itsessään tuskin huonontaa rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä, sillä lisäeristeiden kiinnityksessä ei lävistetä betonirakenteita. Lisäeristys voi parantaa ilmatiiveyttä hieman sen mukaan, millainen eristys on valittu. Eristysmateriaalia valittaessa on kuitenkin tärkeintä valita materiaali, jonka vesihöyrynvastus on riittävän pieni eikä tehdä valittaa ilmatiiveys mielessä. Lisäeristämisen yhteydessä on kuitenkin oiva hetki tehdä korjaavia toimenpiteitä vaipassa havaittuihin epätiiveyskohtiin. Vaipan ilmatiiveyden parantamisella nimittäin on lähes pelkästään positiivisia vaikutuksia rakenteen kosteustekniseen toimintaa samoin kuin asumismukavuuteen.

Tämän työn yhteydessä ei mitattu rakennuksen vaipan ilmatiiveyttä eikä tehty lämpökuvauksia. Ne olisivat mahdollistaneet konvektion vaikutuksen arvioimisen. Rakennuksen vaipan läpi kulkevat ilmavirtaukset saattavat aiheuttaa merkittävänkin kosteusliikkeen rakenteeseen. Lämpökuvauksella mahdollistaisi pahimpien vuotokohtien paikallistamisen kohtuullisen helposti ja tieto olisi arvokas remonttia suunniteltaessa, jotta mahdollisiin ongelmakohtiin voitaisiin puuttua. Tässä työssä tutkittiin vain diffuusion vaikutusta, joten työn tulos ei ole koko totuus rakenteen toiminnasta. Jatkossa olisi mielenkiintoista perehtyä siihen millaisia ilmavuotoja rakenteista löytyy ja millaisen riskin ne aiheuttavat kosteusteknisessä mielessä. Samoin mielenkiintoista olisi tutkia miten erilaisten liitosdetaljien toteutus on käytännössä onnistunut, esimerkiksi ikkunan ja seinän liitoksissa.

Rakenteiden kosteusteknisen tarkastelun voidaan sanoa olevan arkipäivää nykyään. Erilaisten rakenne- ja liitososien toimintaa halutaan varmastikin tutkia lisääntyvässä määrin. Työkaluksi näihin tarkasteluihin on nykyään olemassa tietokoneohjelmia, jotka simuloivat rakenteissa tapahtuvaa ilman, kosteuden ja lämmön siirtymistä. Rakennusfysikaalisten laskentaohjelmien kehitys jatkuu ja ne uskoakseni tulevat laajempaan käyttöön, sillä erilaisten rakenneosien, kuten ikkunoiden liitoksien, aiheuttaman kylmäsillan ja kosteusteknisen toiminnan arviointi käsin on varsin työlästä. Ammattikorkeakouluopinnoissa ei juurikaan käsitelty tällaisia laskentaohjelmia, mutta

niiden toimintaan perehtymiselle koulussa saadut rakennusfysiikan opit antavat hyvän pohjan.

Opinnäytteen tekeminen oli hyödyllinen prosessi, jonka aikana opin ja sisäistin uusia asioita rakennusfysiikasta. Opinnäyte on paljon laajempi ja työläämpi kuin mikään muu harjoitustehtävä koulussa, joten se opettaa laajempien kokonaisuuksien hallintaa. Jälkikäteen voi sanoa, että monessa kohti opinnäyteprosessia olisi voinut toimia viisaammin, alkaen jo yksityiskohtaisemmasta suunnittelusta ennen työn aloitusta. Nykyisellään koulutukseemme Savoniassa sisältyy yksi kurssi rakennusfysiikkaa, jossa selostetaan perusteet rakennusten lämpö- ja kosteusteknisestä toiminnasta. Peruskurssi ei todellakaan tee opiskelijasta asiantuntijaa, mutta antaa hyvän pohjan jatkaa perehtymistä aiheeseen. Rakennusfysiikan ymmärrys on osa-alue jota tullaan varmasti tarvitsemaan sekä suunnittelussa että työmaalla yhä enemmän.

LÄHTEET

Aquapanel Outdoor -julkisivujärjestelmä. Knauf Oy:n www-sivusto. [Viitattu 5.11.2012]
Saatavissa: http://www.knauf.fi/sites/default/files/aquapanel_outdoor.pdf

Björkholz, Dick. 1997. Lämpö ja kosteus. Helsinki: Rakennustieto Oy

EN-ISO-10456 2008. Rakennusaineet ja -tuotteet. Lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

Eriste- ja levyrappaus 2011. BY 57. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Isover RKL-31 Facade Tuoteseloste. 2012. Saint-Gobain rakennustuotteet Oy:n www-sivusto. [Viitattu 5.10.2012] Saatavissa:
<http://www.isover.fi/tuoteseloste/2563/isover-rkl-31-facade.pdf>

INSULAVO. 2013. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen Itä-Suomessa. [Viitattu 18.3.2013] Saatavissa: www.thl.fi/insulavo

Kosteuden hallinta ja homevaurioiden estäminen. 2011. RIL 250-2011. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Karimies, M. 1997. Metall- ja levyverhoukset. Teoksessa Jukkola, E. (toim.).
Julkisivujen korjausopas. Hyvinkää: SP-Paino, 93-98.

Kosteuden siirtyminen. 2008. Sisäilmayhdistys ry:n www-sivusto. [Viitattu 12.3.2012]
Saatavissa:
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/kosteuden_siirtyminen/

Lahdensivu, J. & Hilliaho, K. 2010. Lämmöneristepaksuudet suomalaisissa betonielementtirakenteisissa asuinkerrostaloissa. Kiinteistöposti 9/2010. [Viitattu 9.3.2012] Saatavissa:
http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/images/stories/File/tutkittua/Beko_tutkimus/beko6.pdf

Nieminen, J. 1997. Julkisivujen lisälämmöneristäminen. Teoksessa Jukkola, E. (toim.). Julkisivujen korjausopas. Hyvinkää: SP-Paino, 82-88.

Paroc FAS 4 Tuoteseloste. 2012. Paroc Group Oy:n www-sivusto. [Viitattu 1.1.2013]
Saatavissa: <http://www.paroc.fi/ParocInternet/Layouts/ProductPrint.aspx/paroc-fas-4?id={009A5E02-4302-455A-9CA9-E40C53E37AD3}&t=pdf>

Pessi, A.-M., Suonketo, J., Pentti, M., Rantio-Lehtimäki, A. 1999.
Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Pentti, M., Mattila, J., Wahlman, J. 1998. Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Pentti, M., Hyypöläinen, T. 1999. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Pyysalo, M. 1997. Eristerappaus, ohutkuori- ja kuorielementit, tiiliverhoukset. Teoksessa Jukkola, E. (toim.). Julkisivujen korjausopas. Hyvinkää: SP-Paino, 89-92.

Siikanen, Unto. 1996. Rakennusfysiikka Perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Tuuletetut rakenteet. 2008. Sisäilmayhdistys ry:n www-sivusto. [Viitattu 4.4.2012]
Saatavissa:
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/tuuletetut_rakenteet/

Vinha, J. 2012. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen korjausrakentamisessa. Koulutustilaisuus. Kuopio 24.2.2012.

Ympäristöministeriö. 1997. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Tampere: Tammer-Paino.

