

TAMPEREEN  
TEKNILLINEN  
KORKEAKOULU



Julkisivuyhdistys r.y.

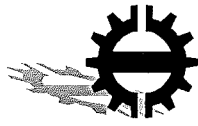
JULKAISU 94  
TALONRAKENNUSTEKNIikka

Matti Pentti – Tarja Hyypöläinen

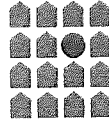
## ULKOSEINÄRAKENTEIDEN KOSTEUSTEKINEN SUUNNITTELU



Rakennustekniikan osasto  
Tampere 1999



TAMPEREEN  
TEKNILLINEN  
KORKEAKOULU



Julkisivuyhdistys r.y.

JULKAISU **94**

TALONRAKENNUSTEKNIikka

---

**Matti Pentti - Tarja Hyypöläinen**

**ULKOSEINÄRAKENTEIDEN  
KOSTEUSTEKINEN SUUNNITTELU**

---

Rakennustekniikan osasto

Tampere 1999

UDK 692.2  
699.82

ISBN 952-15-0173-1  
ISSN 1237-1483

Kannen valokuvat:  
TTKK, Talonrakennustekniikan laboratorio

*Matti Pentti, Tarja Hyypöläinen*

**ULKOSEINÄRAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN SUUNNITTELU**

TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka

Sivumäärä: 150 s. + 40 liites. Kuvia: 86

Rahoittajat: Teknologian kehittämiskeskus (TEKES) ja Julkisivuyhdistys ry

Maaliskuu 1999

Hakusanat: ulkoseinät, julkisivut, liitosrakenteet, kosteus, rakennusfysiikka

Tässä tutkimuksessa selvitettiin keskeisten suomalaisten ulkoseinätyyppien ja niiden liitosrakenteiden kosteusteknistä toimivuutta kirjallisuuden ja aiemmin tehtyjen tutkimusten avulla sekä haastatteleamalla rakennusalan keskeisiä suomalaisia ja ruotsalaisia asiantuntijoita. Ulkoseinärakenteiden kosteusteknisen toimivuuden lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin niihin liittyviä kosteusteknisiä riskejä, ongelmien syitä ja niiden vähentämismahdollisuuksia sekä yleisesti rakenteiden kosteusteknisen tarkastelun sisältöä. Tarkasteltavia ulkoseinätyyppejä olivat betonirakenteiset, muuratut, puu- ja teräsrunkoiset sekä eristerapatut ulkoseinät. Ulkoseinän liitosrakenteista käsiteltiin mm. räystäsrakenteita, ikkuna- ja oviliitoksia, ulkoseinän ja perusmuurin liitosta sekä erilaisia julkisivupinnan saumoja, liitoksia ja yksityiskohtia.

Tutkimukseen liittyvä kyselykaavake lähetettiin 52 suomalaiselle asiantuntijalle. Vastaukset saatiin 22 asiantuntijalta. Kyselyn tulokset osoittivat asiantuntijoiden olevan melko yksimielisiä siitä, että rakenteiden kosteusteknistä tarkastelua varten tarvitaan parempia ja kattavampia ohjeita. Kyselyn vastaukset huomioon ottaen laadittiin rakenteelliset ohjeet eri ulkoseinätyypeille ja niiden liitosrakenteille. Tutkimuksen yhteydessä lähetettiin lisäksi muurattuja ja puurunkoisia ulkoseiniä käsittelevä kyselykaavake neljälle ruotsalaiselle tutkijalle. Vastauksia palautettiin 3 kappaletta. Ruotsalaisten ja suomalaisten asiantuntijoiden vastaukset erosivat lähinnä muurattujen ja tiiliverhottujen puurunkoisten ulkoseinien osalta.

Ulkoseinän kannalta tärkeimpiä kosteusrasituksia ovat viistosade, sisäilman kosteus ja rakennuskosteus. Ulkoseinärakenteen suunnittelussa on pyrittävä rajoittamaan viistosaderasitusta sekä sadeveden ja sisäilman kosteuden pääsyä seinärakenteeseen sekä otettava huomioon rakenteeseen päässeän kosteuden vaikutukset. Rakenne, sen yksityiskohdat ja liitosrakenteet tulee suunnitella siten, etteivät ne aiheuta julkisivupinnalle keskittynyttä sadevesirasitusta ja että rakenteeseen mahdollisesti päässyt kosteus pääsee poistumaan haittaa aiheuttamatta. Myös rakennuskosteuden poistuminen tulee ottaa huomioon etenkin betonirakenteisten ja muurattujen ulkoseinien suunnittelussa ja pinnoittamisessa.

Betonirakenteisten ulkoseinien kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttavat oleellisesti rakenteen tuuletusjärjestelyt, saumaratkaisut ja vuotovesien poistaminen rakenteesta. Betonisandwich -rakenteessa tulee käyttää vähintään tuuletusurallista eristettä, tuuletusraolliset ratkaisut ovat kosteusteknisesti uritusta toimivampia. Sadeveden kerääntyminen kuorimuurin ja sadevesivuodot muurin läpi ovat merkittävimmät asiat muurattujen ulkoseinärakenteiden kosteusteknisessä tarkastelussa. Puu- ja teräsrunkoisten ulkoseinien suunnittelussa ja toteutuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota rakenteen höyry- ja ilmatiiviyteen. Kuorimuuriseiniin sekä puu- ja teräsrunkoisiin ulkoseiniin tulee tehdä yhtenäinen tuuletusrako, jonka avoimuus ja toimivuus on varmistettava. Muuraustyön huolellisuuteen tulee kiinnittää huomiota. Etenkin puurunkoisten ulkoseinien yhteydessä tulisi seinäpintaan kohdistuvaa viistosaderasitusta vähentää käyttämällä leveitä räystäitä.



*Matti Pentti, Tarja Hyypöläinen*

**DESIGN OF EXTERIOR WALL STRUCTURES FOR MOISTURE**

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Department of Civil Engineering, Structural Engineering

Pages: 150 p. + 40 app.

Figures: 86

Funding: Technology Development Centre, Finland (TEKES) and Julkisivuyhdistys ry  
March 1999

Keywords: exterior walls, facades, joints, moisture, building physics

This research discusses the moisture physical behaviour of Finnish exterior walls and their joints. The research was carried out as a literature survey of earlier publications dealing with the subject and by interviewing Finnish and Swedish experts on building trade. The risks and reasons for moisture problems and possibilities to reduce them were studied. Also the moisture performance analysis was studied generally. The research dealt with wall structures in concrete, bricks, timber and steel, as well as rendered additional insulation. Off the various wall joints e.g. roof, windows, doors and foundation wall were taken into account, as well as different joints and details of the facade.

Associated with the research a questionnaire was sent to 52 Finnish experts. Answers were received from 22 of those experts. The results showed that the experts were rather unanimous about the fact that better and more comprehensive guidelines and recommendations for the moisture control in buildings are needed. Also a questionnaire concerning masonry walls and walls with timber frame was sent to four Swedish researchers. Three answers were returned. There were differences between the Swedish and Finnish experts' answers in the questions dealing with the cavity masonry walls and timber frame walls with the brick cladding.

The most important moisture sources straining exterior walls are driving rain, indoor air humidity and excess moisture. The strain of rainwater on the exterior wall as well as the rainwater and indoor air humidity leaks into the wall structure have to be reduced to as small as possible. Attention has to be paid also to the effects of the water, which has penetrated into the wall. The structure, its details and joints have to be designed so that they won't cause a concentrated strain of rainwater on the facade. The water that may have penetrated into the wall structure has to be led out of the structure without causing any damage. Also the excess moisture should be taken into account, especially in the design and coating of concrete or masonry walls.

The ventilation system of the exterior wall, different joint solutions and arrangements for getting the leakage water out of the structure have an essential effect on the moisture physical behaviour of the concrete walls. The concrete sandwich panels must have at least an insulation with an air channel system even though an air space behind the external panel is better from a moisture physical point of view. The most important things in the moisture performance of masonry walls are the rain leaks through the brick cladding and the rainwater accumulation in it. In the design and construction of timber or steel frame walls attention has to be paid to good airtightness. These walls and the cavity masonry walls have to have a continuous and open air space behind the external cladding. The masonry work has to be done carefully. Especially associated with the timber frame walls the rainwater exposure on the facade should be reduced by using broad eaves.

## ESIPUHE

Julkaisu **Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu** on laadittu Tampereen teknillisen korkeakoulun Rakennustekniikan osaston Talonrakennustekniikan laboratoriossa professori Ralf Lindbergin ja tekn. lis. Matti Pentin johdolla. Julkaisun on koontanut tekn. yo. Tarja Hyypöläinen ja viimeistellyt Matti Pentti. Tutkimuksen rahoittajina ovat olleet Teknologian kehittämiskeskus TEKES ja Julkisivuyhdistys ry.

Tutkimuksen johtoryhmään kuuluivat:

<i>Markku Pyysalo</i>	Optiroc Oy Ab, pj.
<i>Jukka Sevón</i>	Partek Paroc Oy Ab
<i>Heikki Käkönen</i>	A-Insinöörit Oy
<i>Risto Vahanen</i>	Ins.tsto Mikko Vahanen
<i>Ilmari Absetz</i>	TEKES
<i>Matti Pentti</i>	Tampereen teknillinen korkeakoulu
<i>Tarja Hyypöläinen</i>	Tampereen teknillinen korkeakoulu, siht.

Julkaisussa tarkastellaan keskeisten suomalaisten ulkoseinätyyppien ja niiden liitosrakenteiden kosteusteknistä toimintaa ja esitetään rakenteellisia ohjeita niiden kosteusteknisen toimivuuden turvaamiseksi. Lisäksi siinä käsitellään rakenteiden kosteusteknisen tarkastelun sisältöä, vanhan rakenteen kosteusteknisen kunnan tutkimista sekä lyhyesti ulkoseinien kosteustekniseen tarkasteluun liittyviä ohjeistoja. Julkaisussa on myös useita periaatekuvia ulkoseiniin liittyvistä ongelmista ja parannusratkaisuista.

Kiitämme TEKES:iä ja Julkisivuyhdistystä rahoituksesta sekä kaikkia julkaisun laadintaan osallistuneita heidän työpanoksestaan. Kiitokset myös kaikille tutkimukseen liittyviin kyselyihin vastanneille suomalaisille ja ruotsalaisille asiantuntijoille.

Tampereella 9.3.1999

Matti Pentti

Tarja Hyypöläinen

# Sisällysluettelo

<b>Määritelmiä.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>7</b>
1.1 Työn lähtökohdat.....	7
1.2 Tavoitteet.....	7
1.3 Työn suoritus.....	7
<b>2 Ulkoseinärakenteen kosteusteknisen tarkastelun sisältö .....</b>	<b>9</b>
2.1 Kosteusteknisen suunnittelun kulku.....	9
2.2 Ulkoseiniin vaikuttavat kosteusrasitukset .....	12
2.2.1 Sade.....	13
2.2.2 Ilman kosteus .....	17
2.2.3 Pintavedet ja maaperän kosteus .....	22
2.2.4 Rakennuskosteus.....	23
2.2.5 Tilojen käytöstä aiheutuvat kosteusrasitukset.....	25
2.2.6 Muut kosteuslähteet .....	25
2.2.7 Muiden olosuhdetekijöiden vaikutus .....	26
2.3 Kosteuden sitoutuminen aineeseen .....	27
2.3.1 Kosteuden sitoutumismuodot.....	27
2.3.2 Tasapainokosteus .....	28
2.3.3 Eri aineiden tasapainokosteus .....	30
2.4 Kosteuden siirtyminen rakenteissa.....	31
2.4.1 Vesihöyryn diffuusio.....	31
2.4.2 Vesihöyryn konvektio .....	33
2.4.3 Kapillaarinen siirtyminen.....	34
2.4.4 Painovoimainen siirtyminen .....	37
2.5 Kosteuden tiivistyminen ja haihtuminen.....	37
2.5.1 Kosteuden tiivistyminen ja kertyminen rakenteeseen.....	37
2.5.2 Seinärakenteen kuivuminen .....	42
2.6 Kosteuden haittavaikutuksia.....	47
<b>3 Vanhan rakenteen kosteusteknisen kunnan tutkiminen.....</b>	<b>51</b>
3.1 Kosteusteknisen kuntotutkimuksen tarve ja tavoitteet .....	51
3.2 Tutkimusperiaate .....	51
3.3 Tutkimuksen sisältö ja vaiheet .....	52
<b>4 Rakennusmateriaalien kosteusteknisiä ominaisuuksia .....</b>	<b>54</b>
4.1 Betoni, muurauskivet ja laastit .....	54
4.2 Lämmöneristeet .....	56
4.3 Puu ja puupohjaiset sekä muut levytuotteet .....	57
4.4 Tuulensuojat, höyrynsulut ja pinnoitteet .....	58

<b>5</b>	<b>Ulkoseinätyyppien kosteustekninen toiminta ja yleiset suunnitteluperiaatteet.....</b>	<b>60</b>
5.1	Ulkoseinäarakenteen yleiset kosteustekniset vaatimukset.....	60
5.2	Julkisivurakenteen yleisiä suunnitteluperiaatteita.....	60
5.3	Betonirakenteiset ulkoseinät .....	61
5.3.1	Betonisandwich-rakenteet.....	61
5.3.2	Tuulettuvat betonijulkisivurakenteet .....	64
5.4	Muuratut ulkoseinäarakenteet.....	65
5.4.1	Massiivinen ulkoseinä rakenne.....	65
5.4.2	Kuorimuuriseinät .....	67
5.5	Puurakenteiset ulkoseinät, muurattu tai kevyt verhous.....	70
5.6	Teräsrakenteiset ulkoseinät .....	72
5.7	Eristerappaus.....	73
5.7.1	Ohutrappaus ja solumuovi- tai mineraalivillaeriste.....	73
5.7.2	Useampikerroksinen rappaus ja mineraalivillaeriste .....	74
<b>6</b>	<b>Ulkoseinäarakenteiden ja niiden yksityiskohtien kosteustekninen suunnittelu .....</b>	<b>77</b>
6.1	Räystäsrakenteet.....	77
6.1.1	Katon vedenpoisto .....	77
6.1.2	Räystäsrakenteen suunnittelu.....	78
6.1.3	Leveät räystäät .....	79
6.1.4	Kapeat räystäät.....	79
6.1.5	Räystäskourut.....	82
6.1.6	Syöksytorvet .....	83
6.2	Ikkuna- ja oviliitokset .....	85
6.2.1	Ikkunoiden ja ovien kosteusrasitusten vähentäminen.....	85
6.2.2	Ikkunan vesipellitys .....	87
6.2.3	Ikkunakarmin ja seinä rakenteen liitos .....	88
6.3	Julkisivupinnan saumat, liitokset, pellitykset ja muut yksityiskohdat .....	92
6.4	Ulkoseinän ja parvekkeen, kattopinnan tai muiden vaakarakenteiden liitokset ..	93
6.5	Ulkoseinän ja perusmuurin liitos .....	95
6.6	Perusmuuri .....	96
6.7	Betonirakenteiset ulkoseinät .....	97
6.7.1	Sadevesirasituksen ja –vuotojen vähentäminen.....	97
6.7.2	Vuotovesien poistaminen rakenteesta.....	100
6.7.3	Tuuletuksen järjestäminen .....	102
6.7.4	Betonirakenteinen ulkoseinä märkätilan kohdalla.....	103
6.7.5	Betonirakenteen pintavaihtoehtojen vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan .....	103
6.8	Muuratut ulkoseinät ja puurunkoiset tiiliverhotut ulkoseinät .....	104
6.8.1	Sadevesirasituksen ja –vuotojen sekä niiden haittavaikutusten vähentäminen .....	104
6.8.2	Vuotovesien poistaminen rakenteesta.....	107
6.8.3	Tuuletuksen järjestäminen .....	110
6.8.4	Rakenteen pinnoittaminen .....	111
6.9	Puu- ja teräsrakenteiset ulkoseinät, kevyt verhous .....	114
6.9.1	Sadevesirasituksen ja –vuotojen vähentäminen.....	114
6.9.2	Tuuletuksen järjestäminen .....	119
6.9.3	Rakenteen ilma- ja höyrytiiviyys.....	120
6.9.4	Höyrynsuluton puurunkoinen ulkoseinä rakenne .....	122
6.9.5	Puurunkoinen märkätilaan rajoittuva ulkoseinä .....	125
6.9.6	Kylmäsilat teräsrakenteisessa ulkoseinässä.....	130

<b>7</b>	<b>Asiantuntijakyselyt .....</b>	<b>131</b>
7.1	Kysely suomalaisille asiantuntijoille.....	131
7.1.1	Kyselyn lähtökohdat ja tavoitteet.....	131
7.1.2	Kyselylomakkeen sisältö ja vastausten käsittely .....	131
7.1.3	Kyselyn tulosten tarkastelua .....	134
7.2	Kysely ruotsalaisille asiantuntijoille .....	134
7.2.1	Kyselyn lähtökohdat ja tavoitteet.....	134
7.2.2	Kyselylomakkeiden sisältö .....	135
7.2.3	Kyselyn tulosten tarkastelua .....	135
7.3	Täydentävä kysely .....	136
<b>8</b>	<b>Ulkoseinien kosteustekniseen suunnitteluun liittyviä ohjeistoja .....</b>	<b>138</b>
8.1	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C2, Kosteus .....	138
8.2	RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet.....	138
8.3	RT -kortisto .....	139
8.4	Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, RYL.....	140
8.5	Muita rakenteiden kosteustekniikkaan liittyviä käsikirjoja.....	141
	<b>Lähdeluettelo.....</b>	<b>143</b>

## Liitteet

- Liite 1 Suomalaisille asiantuntijoille tehdyn kyselyn yhteenveto
- Liite 2 Ruotsalaisille asiantuntijoille tehdyn kyselyn yhteenveto





## Määritelmiä

**Höyrynsulku** on rakennekerros, jonka tehtävä on estää sisäilman kosteuden siirtyminen vesihöyryn diffuusiolla tai ilmavirtausten mukana rakenteeseen. Se on usein rakenteen ainoa yhtenäinen ilmatiivis ainekerros, joka voi estää rakenteen läpi tapahtuvat ilmavuodot. Höyrynsulkuna käytetään usein muovikalvoa.

**Ilmanläpäisevyys**  $\ell$  ilmoittaa ilman tilavuusvirran, joka jatkuvuustilassa laminaarisena virtauksena läpäisee kohtisuorasti pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun ainekerroksen eri puolilla olevien ilmatilojen paine-ero on yksikön suuruinen. Yksikkönä käytetään  $\text{m}^3/(\text{m s Pa})$ .

**Ilmanläpäisy** (ilmanläpäisykerroin)  $K$  ilmoittaa ilman tilavuusvirran, joka jatkuvuustilassa laminaarisena virtauksena läpäisee kohtisuorasti pintayksikön suuruisen tarvikkeen, kun tarvikkeen eri puolilla olevien ilmatilojen paine-ero on yksikön suuruinen. Yksikkönä käytetään  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{ s Pa})$ .

**Ilmansulku** tarkoittaa ilman liikkumista estävää ainekerrosta rakenteessa. Se muodostuu yhtenäisestä ainekerroksesta ja rakennusosien välisestä saumauksesta. Kevyillä ilmaa läpäisevillä eristeillä rakennetuissa rakenteissa höyrynsulkuna oleva muovikalvo on myös rakenteen ilmasulku. Ilmansulkuna voidaan käyttää myös erilaisia rakennuspapereita.

**Kapillaarivirtauksella** tarkoitetaan huokosalipaine-eron aiheuttamaa nestemäisen veden siirtymistä aineen huokosissa. Huokosalipaine määritellään ilman ja sitoutuneen veden väliseksi paine-eroksi aineen huokosissa.

**Kosteudeneristys** tarkoittaa kosteudelta suojaavaa eristystä, jolla estetään kosteuden kulkua rakenteessa.

**Kosteuden massaosuus**  $u$  on haihtumiskelpoisen veden massa jaettuna aineen massalla ( $\text{kg/kg}$ ). Aineen massana voidaan käyttää joko kostean tai kuivan aineen massaa, mikä on täsmennettävä ilmoitettaessa kosteuden massaosuus. Menetelmä veden haihduttamiseksi kosteasta aineesta on ilmoitettava.

**Kosteuden tilavuusosuus** on haihtumiskelpoisen veden tilavuus jaettuna aineen tilavuudella ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ). Aineen tilavuutena voidaan käyttää joko kostean tai kuivan aineen tilavuutta, mikä on täsmennettävä ilmoitettaessa kosteuspitoisuus. Menetelmä veden haihduttamiseksi kosteasta aineesta on ilmoitettava.

**Kosteus** on kappaleeseen muulla tavoin kuin kemiallisesti sitoutuneen jään, veden ja vesihöyryn yhteenlaskettu massa.

**Kosteuspitoisuus** (tilavuusyksikössä)  $w$  on haihtumiskykyisen veden massa jaettuna aineen tilavuudella ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Aineen tilavuutena voidaan käyttää joko kostean tai kuivan aineen tilavuutta, mikä on täsmennettävä ilmoitettaessa kosteuspitoisuus. Menetelmä veden haihduttamiseksi kosteasta aineesta on ilmoitettava.

**(Ilman) suhteellinen kosteus** on tietyssä lämpötilassa oleva ilman vesihöyryn osapaine jaettuna ko. lämpötilaa vastaavalla (vapaan) veden vesihöyryn kyllästyspaineella (suhde voidaan ilmoittaa myös prosentteina).

**Tasapainokosteudella** (hygroskoopinen) tarkoitetaan kappaleen kosteussisältöä (tai vastaavasti vesipitoisuutta) jatkuvuustilassa ympäristön tietyssä lämpötilassa ja vesihöyryn osapaineessa.

**Tasapainokosteus** (kapillaarinen) on aineeseen vapaasta vedenpinnasta absorboituva kosteus.

**Vedeneristys** on esimerkiksi kermeistä muodostuva rakenne, joka mahdollisine saumoi-  
neen muodostaa täysin vesitiiviin kerroksen ja kestää siihen kohdistuvan vedenpaineen.

**Vesihöyryn diffuusio** on vesihöyryn osapaine-eron aiheuttamaa vesihöyryn siirtymistä ilmassa tai aineen huokosissa.

**Vesihöyryn konvektio** on kaasuseoksen sisältämän vesihöyryn siirtymistä kaasuseoksen mukana sen liikkeessä kokonaispaine-eron vaikutuksesta.

**Vesihöyrynläpäisevyys** ( $\delta_p$  tai  $\delta_v$ ) ilmoittaa sen vesimäärän, joka läpäisee aikayksikössä aineen pintayksikön suuruisen alan ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun vesihöyryn osapaine-ero ainekerroksen eri puolella on paineyksikön suuruinen (Pa) tai vesihöyrypitoisuuksien ero on yksikön ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) suuruinen. Vesihöyryn läpäisevyyden yksikkö on edellisessä tapauksessa  $\text{kg m}/(\text{m}^2 \text{ s Pa}) = \text{kg m}/(\text{N s}) = \text{s}$  ja jälkimmäisessä tapauksessa  $\text{kg m}/(\text{m}^2 \text{ s kg}/\text{m}^3) = \text{m}^2/\text{s}$ . Eri tavoilla ilmaistujen saman aineen läpäisyarvojen lukuarvot ovat erilaiset.

**Vesihöyrynläpäisy** (vesihöyryn läpäisykerroin) ( $W_p$  tai  $W_v$ ) ilmoittaa sen vesimäärän, joka läpäisee aikayksikössä tarvikkeen pintayksikön suuruisen alan, kun tarvikkeen eri puolilla vesihöyryn osapaine-ero on paineyksikön suuruinen tai vesihöyrypitoisuuksien ero on yksikön suuruinen. Vesihöyrynläpäisyn yksikkö on edellisessä tapauksessa  $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ s Pa}) = \text{kg}/(\text{N s}) = \text{s}/\text{m}$  ja jälkimmäisessä tapauksessa  $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ s kg}/\text{m}^3) = \text{m}/\text{s}$ .

**Vesihöyrynvastuksella** ( $Z_p$  tai  $Z_v$ ) tarkoitetaan vesihöyrynläpäisyn käänteisarvoa. Yksikkönä paine-eroon perustuvassa arvossa on  $(\text{m}^2 \text{ s Pa})/\text{kg} = \text{m}/\text{s}$ . Vesihöyrypitoisuuksien eroon perustuvassa arvossa yksikkönä on  $(\text{m}^2 \text{ s kg}/\text{m}^3)/\text{kg} = \text{s}/\text{m}$ .

**Vesihöyrypitoisuus** (tilavuusyksikössä)  $v$  on vesihöyryn massa jaettuna kaasuseoksen tilavuudella ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn lähtökohdat

Kosteuden aiheuttamat ongelmat rakennuksissa ja rakenteissa ovat viime vuosina lisääntyneet. Yleisesti on arvioitu, että kosteudella on ollut vaikutusta jopa 80 – 90%:ssa kaikista rakennusvaurioista /24/. Rakenteiden vaurioiden ohella esiin ovat nousseet kosteuden aiheuttamat terveyshaitat. Ulkoseinärakenteiden kosteustekniikkaa käsittelevä teoreettinen tieto, vaurioista ja korjauksista saadut kokemukset ja käytettävissä olevat normit ja ohjeet ovat hajanaisia ja osittain ristiriitaisia. Viime vuosina on myös tehty havaintoja, joiden mukaan aiemmin toimiviksi katsotut ja yleisesti käytetyt rakenneratkaisut ovatkin toimineet puutteellisesti ja olleet osasyynä vaurioiden ja terveyshaittojen syntyyn. Eräistä rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttavista rakenteellisista periaatteista esitetään tällä hetkellä jopa keskenään päinvastaisia ohjeita.

Ulkoseinärakenteiden kosteusteknistä toimintavarmuutta tulisi parantaa siten, että kosteusvaurioiden ja –ongelmien esiintyminen tulevaisuudessa vähenisi. Nykyistä varmempien rakenneratkaisujen kehittämistyön pohjaksi tarvitaan tietoa siitä, mitkä ovat nykyisten yleisessä käytössä olevien ulkoseinätyyppien ja niiden liitosrakenteiden kosteustekniset ominaisuudet, potentiaaliset ja jo todetut ongelmat sekä lisätutkimusta kaipaavat asiat. Tätä tietoa voidaan hyödyntää myös rakenteiden kosteustekniikkaa käsittelevien normien ja ohjeiden uusimistyössä.

## 1.2 Tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää keskeisten suomalaisten ulkoseinätyyppien kosteusteknistä toimivuutta, niihin liittyviä riskejä, ongelmien syitä ja niiden vähentämismahdollisuuksia. Tutkimuksessa tarkasteltiin kaikkia keskeisiä ulkoseinämateriaaleja ja verhoustyyppejä. Rakennetyyppien ohella tarkasteltiin yleisiä liitosrakenteita. Lisäksi tutkimuksen yhteydessä oli tavoitteena laatia ulkoseiniä käsittelevä ohjetekstilunnon RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeen uudistettuun painokseen.

## 1.3 Työn suoritus

Eri ulkoseinärakenteiden kosteusteknistä toimivuutta selvitettiin kirjallisuuden ja aiemmin tehtyjen tutkimusten avulla sekä haastattelemalla rakennusalan asiantuntijoita. Asiantuntijat valittiin siten, että he mahdollisimman hyvin edustivat rakentamisen eri osa-alueita. Kyselylomakkeet lähetettiin 52 asiantuntijalle. Haastateltavina oli mm. tutkijoita, suunnittelijoita sekä kiinteistön omistajien, rakennuttamisen, rakennus- ja rakennustuoteteollisuuden sekä rakennusvalvonnan edustajia. Kyselylomake oli jaettu asiasisällön mukaan kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa oli rakenteiden kosteusteknisen tarkastelun yleiseen sisältöön

liittyviä kysymyksiä ja toisessa osassa tarkasteltiin lähemmin ulkoseinätyyppejä ja niiden liitosrakenteita.

Tämän lisäksi lähetettiin kyselylomake neljälle ruotsalaiselle tutkijalle. Kysymykset koottiin suomalaisille asiantuntijoille lähetetyn lomakkeen pohjalta. Kysymykset keskitettiin sellaisiin osa-alueisiin, jotka Suomessa tehdyn kyselyn perusteella olivat jääneet hieman epäselviksi tai joista tiedettiin Ruotsissa tehdyn korkeatasoista tutkimusta. Kysymykset käsittelivät muurattuja ja puurunkoisia ulkoseiniä. Kyselyn tarkoituksena oli selvittää, millainen käsitys ruotsalaisilla asiantuntijoilla on em. ulkoseinätyyppien kosteusteknisistä riskeistä ja niiden vähentämismahdollisuuksista sekä poikkeavatko suomalaisten ja ruotsalaisten asiantuntijoiden käsitykset merkittävästi toisistaan.

Näiden kyselytutkimusten jälkeen muutamaa lisäselvitystä tarvitsevaa asiaa tarkennettiin lyhyellä kyselyllä, joka lähetettiin viidelle suomalaiselle asiantuntijalle.

Haastattelujen lisäksi tarkasteltiin lyhyesti ulkoseinärakenteen ja sen liitosrakenteiden suunnitteluun liittyviä ohjeistoja ja normeja. Tavoitteena oli selvittää, millaisia asioita niissä on esitetty ulkoseinärakenteen kosteusteknisen tarkasteluun liittyen.

Kerätyn tiedon pohjalta laadittiin ohjejulkaisu ulkoseinärakenteen kosteusteknistä suunnittelua varten sekä ulkoseiniä käsittelevä ohjetekstiluoennos RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeen uudistustyötä varten. Tutkimuksen johtoryhmän kokouksissa käydyt keskustelut ja johtoryhmän jäsenten kokemukset ja kommentit olivat erittäin hyödyllisiä etenkin ulkoseinärakenteiden ja niiden liitosrakenteiden rakenteellisten ohjeiden muokkaamisessa.

## 2 Ulkoseinärakenteen kosteusteknisen tarkastelun sisältö

### 2.1 Kosteusteknisen suunnittelun kulku

Kosteusteknisen suunnittelun tavoitteena on suunnitella rakennus siten, että suorasti tai epäsuorasti kosteudesta aiheutuvat vauriot ja haitat voidaan estää. Rakenteen tulee suojata sisätiloja ulkopuolisen veden ja kosteuden haitallisilta vaikutuksilta sekä tehdä vaaditun sisäilmaston ylläpitäminen mahdolliseksi. Rakenteiden kosteuspitoisuus ei saa kohota käytön aikana missään vaiheessa niin suureksi, että siitä on merkittävää haittaa rakenteen toiminnalle tai kestävyydelle ja rakennuksen käytölle. Toisaalta suunnittelussa tulee varautua kuitenkin siihen, että rakenteet voivat satunnaisesti kastua ja niillä tulee olla kyky kuivua riittävän nopeasti. /52/

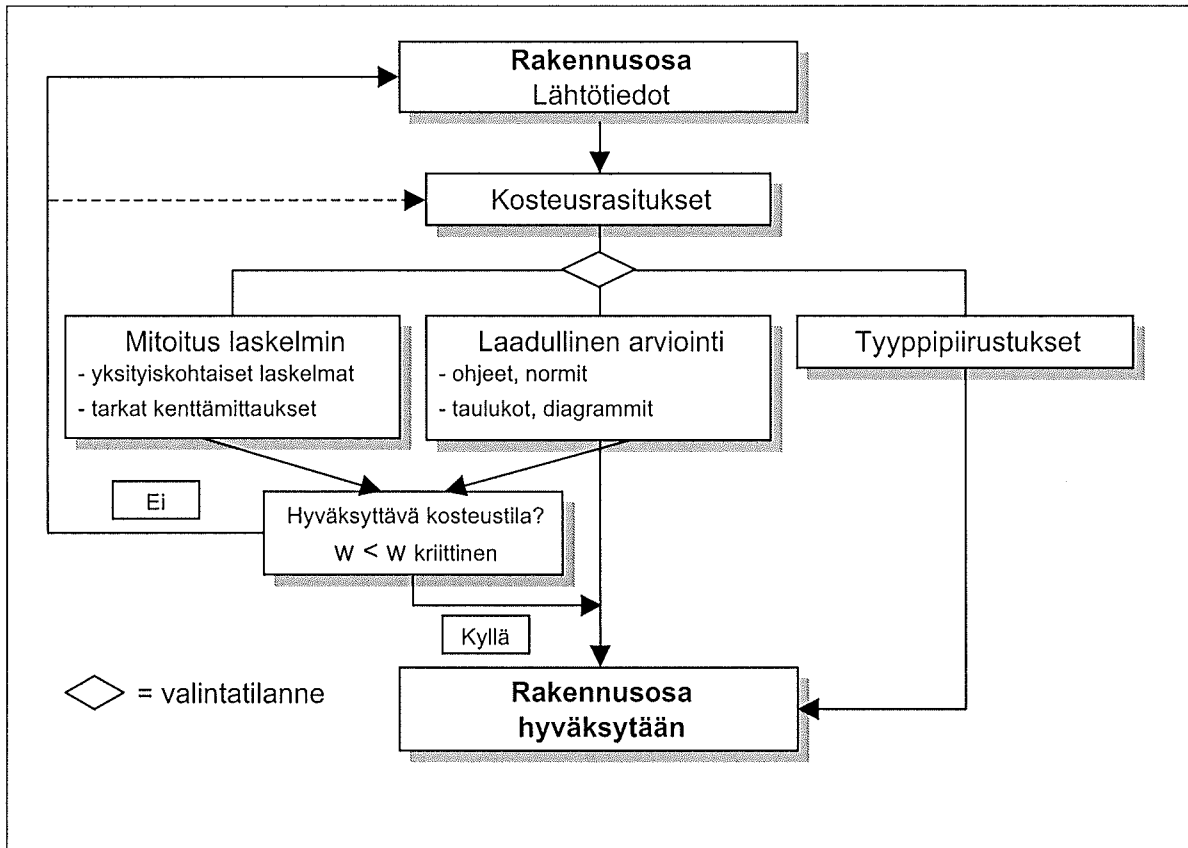
Kosteusteknisessä tarkastelussa käsitellään jokainen rakennusosa liitosrakenteineen erikseen. Kosteustekninen toimivuus ja rakenteen eri kerroksissa vaikuttavat kosteusrasitukset ovat oleellisia tietoja **rakenteen kestävyystarkastelussa**. Jotta rakenne voisi toimia ja kestää suunnitellulla tavalla, on kosteusteknisesti oleelliset rakenteen osat ja käytettävät materiaalit suunniteltava siten, että niiden käyttöikätaavoite on sama kuin koko rakenteen tai että niiden kuntoa voidaan helposti seurata ja ne voidaan tarvittaessa huoltaa tai uusia.

**Ulkoseinärakenteen kosteustekniseen tarkasteluun** kuuluvat seuraavat **vaiheet** /36/:

- 1) Kaikkien kosteuslähteiden (myös harvinaisten) ja muiden olosuhdetekijöiden arviointi.
- 2) Kosteuden siirtymisen ja sitoutumisen arviointi, tarvittaessa laskennallisesti; tarvittaessa myös eri tarkastelut vuodenaikojen, säänvaihteluiden yms. mukaan.
- 3) Sitoutuneen ja rakenteeseen päässeeseen kosteusmäärän vaikutusten ja haitallisuuden arviointi.
- 4) Rakenteeseen eri syitä päässeeseen tasapainokosteuden ylittävän kosteuden ulospääsyn ja kuivumisen varmistaminen (ei kasvavaa kosteuskertymää).
- 5) Rakenteen liitosten ja yksityiskohtien kosteusteknisen toimivuuden arviointi.

Kosteusteknisten riskien arvioinnin tavoitteena on tunnistaa ne rakennuksessa ja sen käytössä esiintyvät tilanteet ja rakenneratkaisut, joihin liittyy voimakkaan kastumisen mahdollisuus. Tällöin tulee ottaa huomioon kosteusvaurioista ja haitoista saadut kokemukset. /52/ Ulkoseinärakennetta voidaan pitää riskialttiina esimerkiksi silloin, jos kosteustekniset tarkastelut osoittavat, että seinään voi esimerkiksi saumojen vaurioituessa syntyä kasvava kosteuskertymä. Rakenne on riskialtis myös silloin, jos rakenteen kosteuspitoisuus pysyy jossakin ulkoseinän osassa vaurioiden syntymisen tai etenemisen kannalta liian kauan materiaalin kriittisen kosteuspitoisuuden yläpuolella. Rakenteet eivät saisi olla herkkiä vähäisille työ- tai huoltovirheille tai käytöstä aiheutuvien rasitusten odotettavissa oleville vaihteluille.

Ulkoseinärakenteen sisäisen rasitustason tarkka laskennallinen arviointi on vaikeaa mm. siksi, että sääolosuhteet vaihtelevat satunnaisesti ja voimakkaasti. Lisäksi monet materiaaliominaisuudet, esimerkiksi kosteudensiirto-ominaisuudet, riippuvat olosuhteista, kuten lämpötilasta ja kosteuspitoisuudesta. Monissa tapauksissa voidaan kuitenkin tarkastella tavanomaisten rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta ilman tarkkoja laskelmia. Tarkastelu perustuu tällöin yksinkertaistettuihin laskelmiin, kokemusperäiseen tietoon ja selkeiden, riittävän varmoiksi havaittujen tyyppiratkaisujen käyttöön (kuva 2.1).



Kuva 2.1. Kosteusteknisen tarkastelun vaihtoehdot /5, 7/.

Kosteusteknisessä tarkastelussa arvioidaan kaikki mahdolliset kosteuslähteet ja niiden vaikutukset rakenteen kosteusolosuhteisiin. Kosteustekniset tarkastelut voidaan tehdä kolmella eri tavalla riippuen rakenteelle asetetusta varmuustasosta ja rakenteen vaurioherkyydestä /5, 7/.

Tarkimmassa määrittämenetelmässä (tarkka *laskennallinen mitoitus*) käytetään yksityiskohtaisia laskelmia materiaalien ja rakenteiden kosteusolosuhteiden selvittämiseksi tai kenttämittauksista tai koerakennuksista saatuja mittaustuloksia. Tarkkojen laskelmien suorittamiseen voidaan käyttää tarkoitukseen soveltuvia tietokoneohjelmistoja. Laskelmien tavoitteena on arvioida kriittisen kosteustilan esiintymisriski rakenteessa erilaisilla rasitus- ja materiaaliominaisuusyhdistelmillä. Laajat kenttämittaukset tai koerakennuksista tehdyt mittaukset edellyttävät tarkkoja pitkän ajanjakson mittauksia ja kosteusolosuhteiden määrittämistä niiden perusteella. Ne ovat tarpeellisia etenkin silloin, kun halutaan varmistaa teoreettisten mallien tai täysin uusien rakenteiden toimivuutta.



Toisessa menetelmässä (*laadullinen arviointi*) voidaan rakenteiden kosteustekninen toimivuus selvittää käyttäen apuna yksinkertaisia apuvälineitä, kuten erilaisia ohjeita, normeja, taulukoita tai diagrammeja. Rakenteiden kosteustekniikkaa käsittelevissä ohjeissa ja normeissa esitetään yleisiä suunnitteluperiaatteita eri rakennusosille ja niiden liitosrakenteille. Taulukoista ja diagrammeista voidaan selvittää tarvittavat lähtötiedot, kuten materiaaliominaisuudet, yksinkertaisia kosteusteknisiä laskelmia varten.

Kolmas tapa on käyttää kosteusteknisesti hyvin toimiviksi todettuja *tyyppiratkaisuja*. Tällöin rakennukseen kohdistuvien kosteusrasituksien, muiden olosuhdetekijöiden sekä rakenne- ja materiaalivalintojen tulee olla samoja kuin tyyppiratkaisussa on oletettu.

Ulkoseinärakenteen rakennetyyppi, materiaalivalinnat sekä rakenteen ympärillä vallitsevat kosteusolosuhteet vaikuttavat oleellisesti seinärakenteen kosteustekniseen toimintaan ja siten myös tarvittaviin kosteusteknisiin tarkasteluihin. Poikkeukselliset rakenteet tai erityisolosuhteet vaativat aina erityistarkasteluja. Ulkoseinärakenteet voidaan jaotella tarvittavien kosteusteknisten tarkastelujen mukaan esimerkiksi seuraavasti:

- 1) Tuotekehityksen ja suunnittelun tuloksena syntyvät **uudet ulkoseinärakennetyypit** sekä muut **erikoisrakenteet**, joiden kosteusteknisestä toimivuudesta on hyvin vähän kokemuksia, tarvitsevat yleensä yksityiskohtaisia kosteusteknisiä tarkasteluja niiden toimivuuden varmistamiseksi eri olosuhteissa. Rakenteen monimutkaisuudesta riippuen tarkastelujen suorittamiseen voidaan käyttää esimerkiksi tarkoitukseen soveltuvia tietokoneohjelmistoja ja laboratoriokokeita.
- 2) **Märkätilojen**, kuten asuntojen pesuhuoneiden, saunojen, pyykinpesutilojen ja uima-allastilojen, sekä **hyvin kosteiden tilojen**, kuten uimahallien ja kostutettujen tai vettä käyttävien prosessien tilojen, yhteydessä tarvitaan aina tarkkoja kosteusteknisiä tarkasteluja. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota kosteuden kerääntymiseen rakenteeseen ja kuivumisen varmistamiseen sekä mahdollisiin kosteusvuotoihin ja niiden haittavaikutusten ehkäisemiseen. Rakennuksissa, joissa on **keinotekoinen ilman kostutus**, on sisäilman kosteus määritettävä aina erikseen. Niiden yhteydessä on syytä tehdä kosteuden kertymis- ja kuivumislaskelmat. Rakenteiden kosteustekniikkaan liittyvistä ohjeista ja määräyksistä löytyy yleisiä suunnitteluperiaatteita märkätilojen ja hyvin kosteiden tilojen rakenteille.
- 3) **Erikoistilojen** yhteydessä on syytä käyttää laskennallista kosteusteknistä mitoitusta. Esimerkiksi kylmä- ja pakkasvarastojen, maanvastaisten seinien ja talvella lämmittämättömien vapaa-ajan asuntojen yhteydessä tulee ottaa huomioon myös kosteuden kulkeutuminen diffuusiolla sisäänpäin. Mikäli rakennuksessa on sisäpuolinen ylipaine, saattaa rakenteeseen kertyä runsaasti kosteutta konvektion seurauksena. Tällöin tulee kiinnittää erityisesti huomiota rakenteiden höyry- ja ilmatiiviyyteen.
- 4) Myös **höyrynsuluttomien ulkoseinärakenteiden** yhteydessä on syytä tehdä kosteuden kertymislaskelmat ja varmistaa myös kosteuden kuivuminen rakenteesta.

- 5) **Normaalien asuinrakennusten ulkoseinien** kosteusteknisessä tarkastelussa ei tarvita tarkkoja laskelmia, mikäli ulkoseinärakenteen on todettu olevan kosteusteknisesti hyvin toimiva. Vaikka ulkoseinätyyppi olisi yleisesti käytetty, ei tämä takaa sen kosteusteknistä toimintavarmuutta. Kosteusteknisesti hyvin toimivia tyyppiratkaisuja käytettäessä tulee aina selvittää eri tekijöiden, kuten rakennuksen sijainnin, eri kosteusrasitusten, muiden olosuhdetekijöiden ja materiaaliominaisuuksien, vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan ja varmistua siitä, ettei mikään niistä heikennä rakenteen toimintavarmuutta. Lisäksi on syytä ottaa huomioon jokaisen seinätyypin erityispiirteet ja vaurioherkkyys eri kosteusrasituksille. Rakenteen sisäisiä tekijöitä, kuten rakenne- ja materiaaliominaisuuksia, säätelemällä voidaan rakenteen kosteusteknistä toimivuutta vielä parantaa. Seinärakenteiden kosteustekniseen tarkasteluun voidaan käyttää apuna erilaisia ohjeita ja normeja.
- 6) **Vanhan rakenteen** kosteusteknisen kunnon ja toimivuuden tutkimisen lähtökohtana on yleensä havaittu kosteusongelma. Kosteusteknisessä kuntotutkimuksessa selvitetään mm. rakenne-, rasitus- ja vauriotiedot kohteesta sekä tutkimushetken kosteus- ja lämpötilaolot rakenteessa. Tarvittavien kenttä- ja laboratoriotutkimusten pohjalta tehdään rakenteen kosteustekninen analyysi ja esitetään korjausvaihtoehdot. Vanhan rakenteen kosteusteknisen kunnon tutkimista on tarkasteltu lähemmin luvussa 3.

Kaikkien ulkoseinätyyppien yhteydessä tulee aina varmistua **ulkoseinän liitosrakenteiden** ja julkisivupinnan **yksityiskohtien** kosteusteknisestä toimivuudesta. Liitos- ja erikoiskohtiin ei saisi syntyä voimakkaampaa kosteusrasitusta kuin rakenteessa yleensä on.

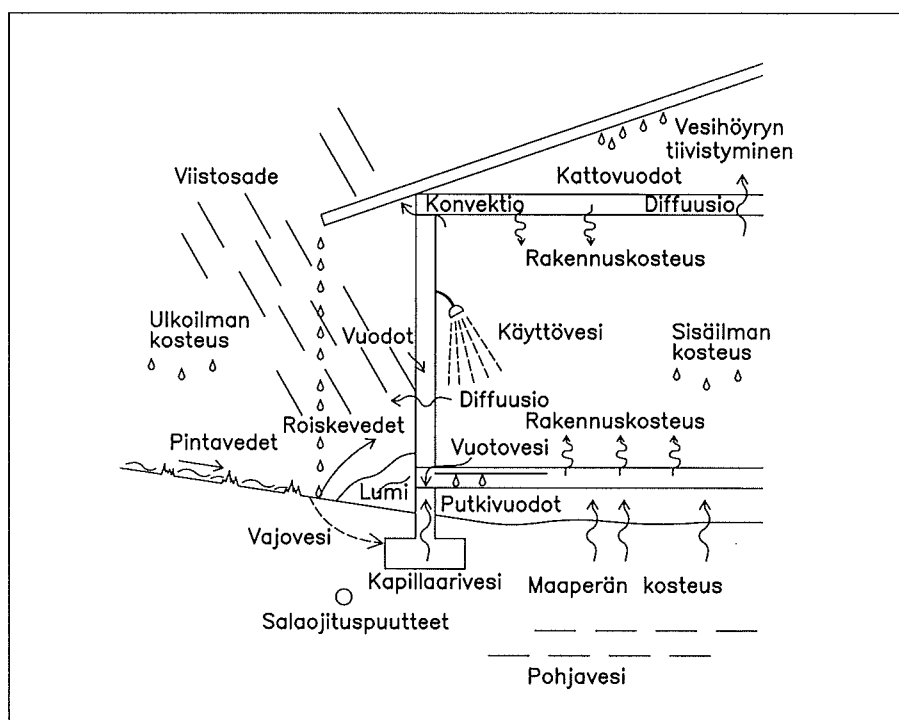
Ulkoseinärakenteen kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttavat rakenteelliset ominaisuudet, materiaaleille asetettavat vaatimukset, saumojen ja liitosten sekä muiden kosteusteknisesti tärkeiden yksityiskohtien rakenne, työlle asetettavat vaatimukset, oikeat pinnoitusajankohdat yms. on syytä esittää yksityiskohtaisesti suunnitelmissa.

## 2.2 Ulkoseiniin vaikuttavat kosteusrasitukset

Ulkoseinärakennetta rasittavia **kosteuden lähteitä** ovat vesi- ja lumisade, sisä- ja ulkoilman kosteus, maaperän kosteus, pohjavesi, pintavesi, rakennuskosteus, tilojen käytöstä aiheutuvat kosteusrasitukset sekä mahdolliset vuoto- ja roiskevedet. Kosteuslähteiden vaikutus vaihtelee huomattavasti rakennuksen käytön, vuodenaikojen, säänvaihteluiden ja vuorokausirytmien mukaan.

Ulkoseinän kannalta tärkeimpiä kosteuslähteitä ovat viistosade, sisäilman kosteus ja rakennuskosteus. Kosteuslähteiden lisäksi ulkoseinän kosteustekniseen toimintaan vaikuttavia **olosuhdetekijöitä** ovat tuuli, lämpötilat rakenteen eri puolilla, auringon säteily, painovoima sekä rakenteiden yli vaikuttavat paine-erot, jotka muodostuvat tuulen, termisen vaikutuksen sekä koneellisen ilmanvaihdon ja rakennuksen tiiviyssuhteiden yhteisvaikutuksesta. Minkä tahansa muun kuin kosteusrasituksen haitallinen vaikutus rakenteeseen voi vaarantaa myös sen kosteusteknisen toimivuuden /52/.

Ulkoseinään vaikuttavia kosteuslähteitä on esitetty kuvassa 2.2.



Kuva 2.2. Ulkoseinään vaikuttavat kosteuslähteet.

### 2.2.1 Sade /2, 37/

Sade voi tulla vetenä, lumena tai jäänä. Ulkoseinän kannalta merkittävin saderasitus on **viistosade**. Sateen aikana samanaikaisesti vaikuttava tuuli aiheuttaa sen, että sadepisarat putoavat vinosti. Sateen vaakasuoraa komponenttia kutsutaan viistosateeksi.

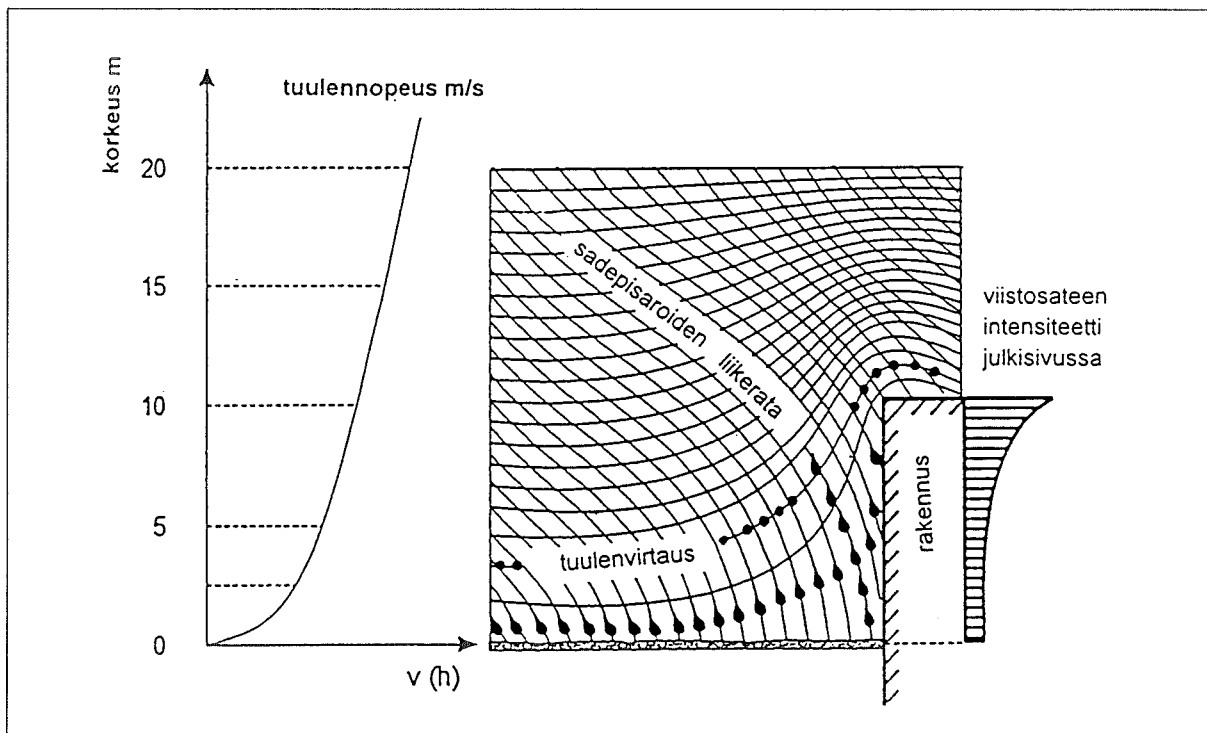
Sateen vaikutus voidaan jakaa ajallisesti rakentamisen aikaiseen ja sen jälkeiseen vaiheeseen. Rakentamisen aikana sade voi kastella rakennustarvikkeita ja puolivalmiita rakenteita. Valmiissa rakennuksessa sade rasittaa mm. katto- ja parvekerakenteita, vesikouruja, ulkoseiniä ja ikkunoita. Sadevesi ja lumen sulamisvedet voivat rasittaa ulkoseinää myös sekundäärisesti esimerkiksi räystäiden huonon toiminnan, saumarakenteiden ja pellitysten epäjatkuvuuskohtien sekä vaakapinnoilta ja maan pinnalta seinään pääsevän veden muodossa. Vaakapinnoilta seinärakenteeseen kulkeutuva sadevesi voi aiheuttaa **voimakkaan paikallisen kosteusrasituksen**.

Viistosateen määrä riippuu pystysuoran sateen intensiteetistä, tuulen nopeudesta ja pisaroiden putoamisnopeudesta. Viistosademäärät vaihtelevat suuresti eri vuosina ja vuodenaikoina. Syksyisin ne ovat suurimmillaan. Niihin vaikuttavat voimakkaasti myös ilman suunta ja rakennuksen maantieteellinen sijainti. Lähteen /57/ mukaan on vapaan viistosateen määrä karkeasti arvioiden noin 20 – 30 % pystysuorasta sateesta vuodessa eli n. 100 – 200 mm/m<sup>2</sup> vuodessa. Noin puolet tästä eli n. 50 – 100 mm/m<sup>2</sup> sataa syksyllä. Seinälle osuva viistosademäärä on pääosin vapaata viistosadetta vähäisempi. Rakennusten etelä-

länsisuuntaan olevat julkisivut altistuvat yleensä runsaimmalle saderasitukselle. Rasiuksen voimakkuuteen vaikuttavat kuitenkin vallitseva tuulen suunta ja erityisesti syksyn tuuliolot. Rasitus on voimakkaampaa saaristossa ja rannikolla kuin sisämaassa. Tutkimuksen /30/ mukaan puisen 1½-kerroksisen koerakennuksen viistosaderasitus oli runsainta eteläseinällä, jolle tulleen viistosateen määrä oli keskimäärin 10 – 50 % suoran sateen määrästä. Mitaus tehtiin syksyllä.

### Julkisivulle osuva viistosade

Rakennuksen korkeus ja muoto, rakennuspaikan maastonmuodot sekä lähiympäristön kasvillisuus ja rakennukset vaikuttavat siten, ettei viistosade kohdistu tasaisesti eri rakennuksiin ja seiniin. Korkeisiin rakennuksiin kohdistuu suurempi viistosademäärä kuin mataliin. Rasitus on suurempi seinän yläosissa ja nurkissa. Viistosaderasituksen voimakkuuteen vaikuttaa erityisesti vallitseva tuulen suunta. Rasitus on suurempi avoimella ja korkealla paikalla tuulen suunnassa. Kuvassa 2.3. on havainnollistettu julkisivun viistosaderasitusta /10/.



Kuva 2.3. Julkisivun viistosaderasitus /10/.

Lähteessä /57/ on arvioitu seinän yläosaan tulevan viistosademäärän olevan karkeasti noin puolet vapaasta viistosademäärästä eli noin 50 – 100 mm/m<sup>2</sup> vuodessa ja 10 – 20 mm/m<sup>2</sup> erittäin voimakkaalla viistosateella avoimella paikalla. Tutkimuksessa /30/ koerakennuksen ulkoseinien viistosaderasitus oli tuntiarvoina suurimmillaan rakennuksen kulmissa ollen yksittäisillä antureilla mitattuna jopa 50 – 85% suoran sateen määrästä.

Saderasituksen voimakkuuteen voidaan vaikuttaa rakennuksen muodolla sekä rakennuksen yksityiskohdilla, kuten räystäillä ja katoksilla. **Leveät räystäät** vähentävät seinään kohdistuvaa viistosaderasitusta erityisesti seinän yläosissa.

### **Sadeveden käyttäytyminen seinäpinnalla ja rakenteessa**

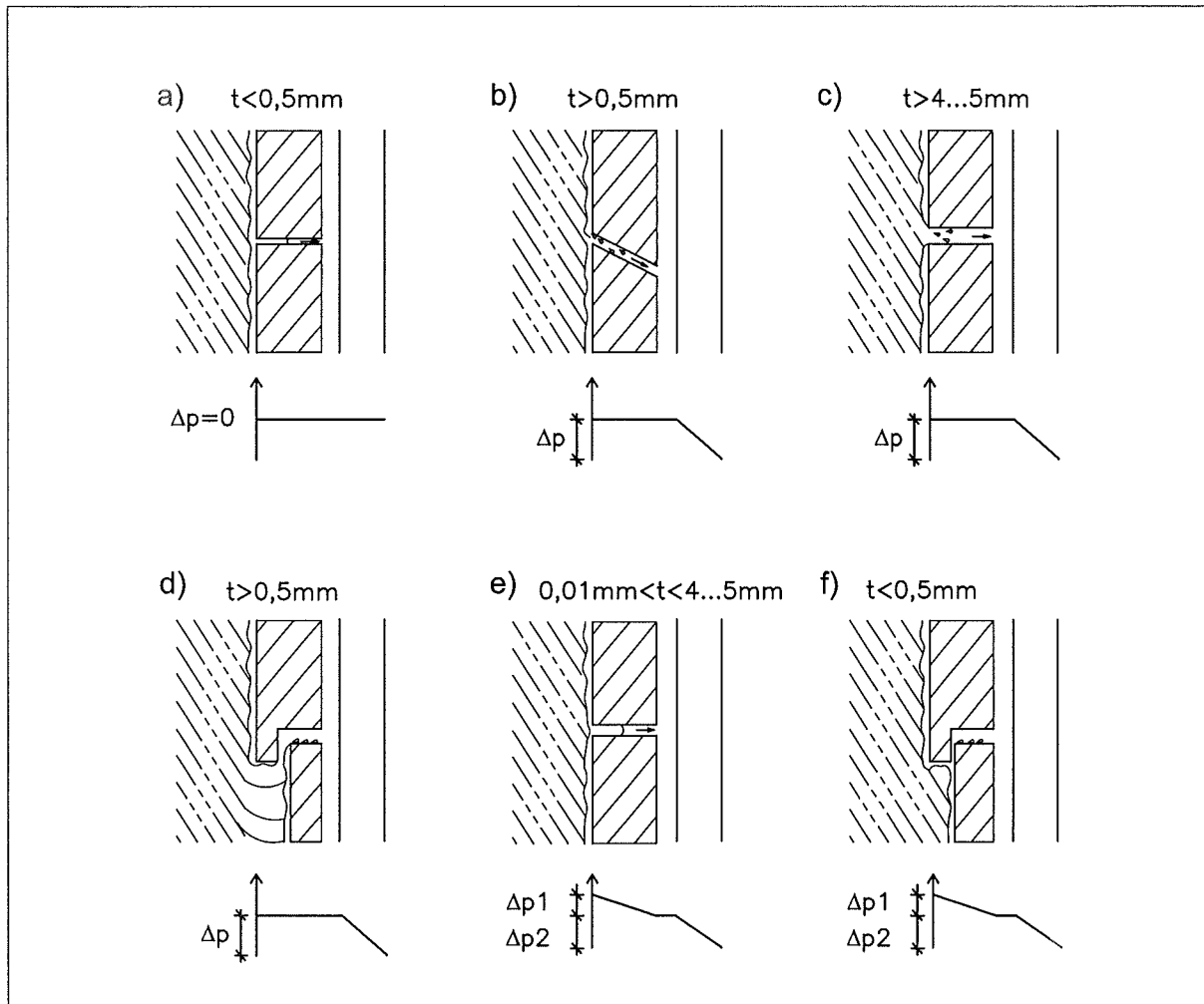
Ulkopinnan muotoilu, pintamateriaalin vedenimukyky ja saumarakenteet vaikuttavat viistosateen aikaansaaman vesikalvon syntyyn ja veden tunkeutumiseen seinärakenteeseen. Tiiviit ja huokoiset pintamateriaalit eroavat tässä suhteessa toisistaan.

Jos seinän ulkopinta on **tiivis**, muodostuu siihen heti sateen alkuvaiheessa alaspäin valuva vesikalvo. Pinnan karheudesta riippuen tämä vesikalvo voi olla suhteellisen yhtenäinen tai vesi voi valua alas pääasiassa satunnaisesti muodostuvia ”uomia” pitkin. Nämä ”uomat” muodostuvat ensin julkisivun pystysuuntaisiin kohoumiin tai syvennyksiin. Mitä karkeampi pinta on, sitä tasaisemmin sadevesi jakaantuu pinnan alueelle. Seinää pitkin valuva vesikalvo aiheuttaa ensisijassa epätasaista pinnan peseytymistä tehden rakennuksen seinän kirjavaksi. Vaikutus on sitä korostuneempi mitä epätasaisemmin vesi valuu pintaa pitkin. Tiiviitä julkisivumateriaaleja ovat lasi, metalli, muovi, klinkkerilaatat, luonnonkivilaatat, muut keraamiset laatat sekä tiiviillä maalilla maalattu puu, betoni tai rappaus.

Jos seinän ulkopinta on **huokoinen**, viistosade imeytyy kapillaarisesti pintamateriaalin huokosverkostoon ja vesikalvon muodostuminen viivästyy. Ulkoseinän ulkopinnalle syntyy yhtenäinen vesikalvo vasta kun pinnalle tuleva sadeveden määrä ylittää julkisivumateriaalin imunopeuden. Julkisivumateriaaleja, joihin viistosade imeytyy, ovat tiilet, rappaus, kevytbetoni, kevytsorabetoni, puu ja betoni. Materiaalien imukyky vaihtelee paljon. Betoniin vesi imeytyy kapillaarisesti verraten hitaasti, varsinkin tiiviiseen, alhaista vesisementtisuhdetta käyttäen tehtyyn julkisivubetoniin. Vesikalvo muodostuu maalaamattomilla betoniseinillä melko hitaasti eikä se harjatuilla, tiililaatta- ja pesubetonipinnoilla yleensä valu seinän alaosiin asti, vaan imeytyy sitä ennen seinään.

**Julkisivun pintakäsittely** vettä hylkivällä aineella vaikeuttaa sadeveden imeytymistä materiaaliin, mutta toisaalta hidastaa myös rakenteen kuivumista ulospäin. Tiivis vettä hylkivä pinnoite vaikuttaa myös vesikalvoa kasvattavasti, joten pinnoitteen epäjatkuvuuskohtissa veden paikallinen imeytyminen alustaan voi olla suurempaa kuin vastaavassa pinnoittamattomassa rakenteessa. Esimerkiksi tiiliseinissä tällainen käsittely voi johtaa julkisivun pakkasvaurioitumiseen.

Tuulen aiheuttamat ilmavirtaukset kuljettavat seinäpinnalla alas valuvaa vesikalvoa myös sivuille ja ylöspäin esimerkiksi räystäsrakenteisiin, saumoihin, rakoihin ja halkeamiin, joista paine-ero kuljettaa vettä rakenteiden sisään. Näistä epäjatkuvuuskohtista voivat muutkin voimat, kuten kapillaari-imu, painovoima ja pisaroiden kineettinen energia kuljettaa vettä sisäänpäin. Kuvassa 2.4. on esitetty veden eri kulkeutumistapoja rakenteeseen.



**Kuva 2.4.** Veden eri kulkeutumistapoja rakenteeseen a) kapillaari-imu, b) painovoima, c) liike-energia, d) ilmavirta, e) paine-ero, f) kapillaari-imu ja paine-ero /49/.

### Sadeveden poistuminen seinärakenteesta

Koska kosteuden pääsyä seinärakenteeseen ei voida täysin estää, on tärkeää varmistaa kosteuden ulospääsy rakenteesta. Viistosateella seinärakenteeseen mahdollisesti tunkeutunut **vuotovesi** kulkeutuu painovoimaisesti yleensä julkisivuverhouksen sisäpintaa pitkin alaspäin ja kertyy saumarakenteisiin, ikkunakarmien päälle sekä sokkelihalkaisuun. Liitos- ja aukkodetaljien toteutuksessa on otettava huomioon vuotoveden ohjaaminen pois rakenteesta haittaamatta. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota räystääs-, sauma- ja sokkelidetaljeihin sekä ikkuna- ja muihin julkisivupellityksiin.

Huokoiseen ulkoseinän pintamateriaaliin kapillaarisesti imeytyneen sadeveden kuivuminen tapahtuu diffuusion ja kapillaarisen siirtymisen yhdistelmänä siten, että kapillaarinen osuus ja samalla kuivumisnopeus ovat suuremmat kuivumisen alkuvaiheessa, kun julkisivumateriaalin kosteustila on korkea /37/. Tuulettuvissa rakenteissa kosteus poistuu diffuusion lisäksi ilmavirtausten mukana tuuletusraon kautta nopeuttaen rakenteen kuivumista. Rakenteen kuivumista käsitellään tarkemmin kohdassa 2.5.2.



Viistosaderasituksen haitallisuutta arvioitaessa tulee ottaa huomioon mm. julkisivumateriaalin ja –rakenteen vedenimeytymis- ja vedenläpäisyominaisuudet sekä sen vaurioherkkyys saderasitukselle sekä toistuvalla jäätymis- sulamisrasitukselle.

### 2.2.2 Ilman kosteus /2, 42, 57/

Rakennetta ympäröivän ilman kosteus vaikuttaa rakenteen ja sen materiaalikerrosten tasapainokosteuteen. Ulkoseinän kosteusteknisen toiminnan kannalta merkittävin vaikutus syntyy ulkoseinän eri puolilla vallitsevista erilaisista ilman kosteuksista.

Kostea ilma on kahden kaasun, kuivan ilman ja vesihöyryn seos. Kuiva ilma koostuu pääasiassa typestä (78 til-%), hapestä (21 til-%) ja argonista (1 til-%). Rakennusteknisissä tarkasteluissa voidaan ilma olettaa ideaalikaasuksi. Ideaalikaasujen yleinen tilanyhtälö esitetään usein muodossa

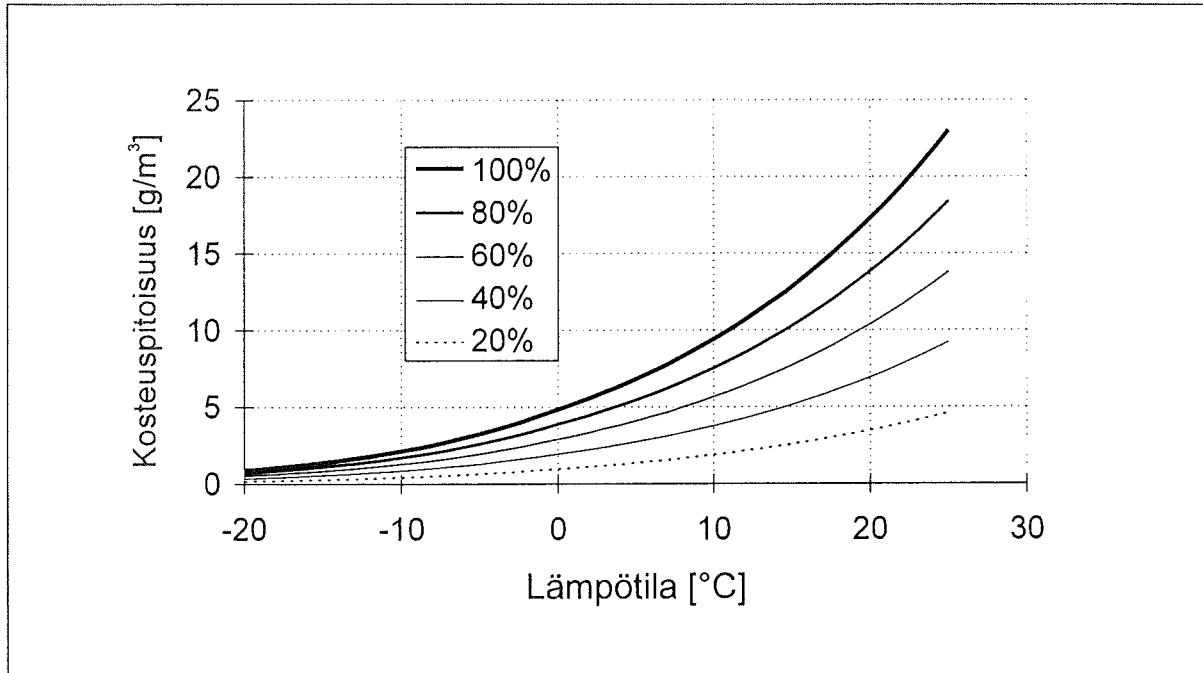
$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad (2.1)$$

$p$	= kaasun paine (Pa)
$V$	= kaasun tilavuus (m <sup>3</sup> )
$m$	= kaasun massa (kg)
$M$	= kaasun molekyylipaino (kg/mol)
$R$	= yleinen kaasuvakio 8314,3 (J/kmol <sup>o</sup> K)
$T$	= lämpötila (°K).

Tietyssä paineessa ja lämpötilassa oleva kaasutilavuus sisältää aina yhtä monta molekyyliä näiden painosta riippumatta. Ilmamolekyylit ovat painavampia kuin vesimolekyylit. Ilma on siis sitä kevyempää, mitä enemmän vesihöyryä se sisältää. Jokainen ilmassa oleva erillinen kaasu vaikuttaa osaltaan kokonaispaineeseen molekyylimäärän suhteessa. Jokaisella ilmassa olevalla kaasulla on oma osapaine. Kokonaispaine on likimain näiden osapaineiden summa. Ilman ja vesihöyryn ominaisuudet riippuvat paineesta ja lämpötilasta. Vakio-paineessa ilman tiheys pienenee lämpötilan kasvaessa, koska ilman tilavuus on suoraan verrannollinen ilman absoluuttiseen lämpötilaan. Jos taas ilman tilavuus on vakio, lämpötilan kasvaessa kasvaa myös ilmanpaine. Ilman vesihöyrypitoisuuden vaihtelusta aiheutuvat ilman tiheyserot ovat pieniä verrattuna lämpötilaeroista aiheutuviin. Tavallisimmin ilman tiheydeksi otetaan laskelmissa  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ .

Ilman vesihöyrypitoisuus (tilavuusyksikössä) on vesihöyryn massa jaettuna kaasuseoksen (ilman) tilavuudella. Ilmassa olevan vesihöyryn määrä vaihtelee. Tietyssä lämpötilassa ilma voi sisältää enintään tietyn vesihöyrymäärän. Tämä ns. kyllästyskosteus on suoraan yhteydessä kyllästyspaineeseen, joka on suurin vesihöyryn aikaansaama osapaine tietyssä lämpötilassa. Kyllästyskosteus ja kyllästyspaine ovat lämpötilasta riippuvia. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä suurempia ovat kyllästyskosteus ja kyllästyspaine. Kuvassa 2.5 on esitetty ilman sisältämän vesihöyryn määrän riippuvuus ilman lämpötilasta ja suhteellisesta

kosteudesta. Taulukossa 2.1 on esitetty kyllästyskosteuden ( $\nu_{sat}$ ) ja kyllästyspaineen ( $p_{\nu,sat}$ ) riippuvuus ilman lämpötilasta ( $t$ ).



Kuva 2.5. Ilman sisältämän vesihöyryn määrän riippuvuus ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta /18/.

Taulukko 2.1. Vesihöyryn kyllästyspaineet ja pitoisuudet ilmassa kokonaispaineessa 101325 Pa /2/.

t °C	$\nu_{sat}$ g/m <sup>3</sup>	$p_{\nu,sat}$ Pa	t °C	$\nu_{sat}$ g/m <sup>3</sup>	$p_{\nu,sat}$ Pa	t °C	$\nu_{sat}$ g/m <sup>3</sup>	$p_{\nu,sat}$ Pa
-20	0,87	102	14	12,10	1602	48	75,67	11207
-19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33	11786
-18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14	12390
-17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,10	13020
-16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21	13677
-15	1,38	164	19	16,30	2197	53	95,48	14362
-14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92	15075
-13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,5	15818
-12	1,83	221	22	19,40	2640	56	109,3	16592
-11	2,01	242	23	20,54	2805	57	114,2	17397
-10	2,20	266	24	21,74	2979	58	119,4	18234
-9	2,40	292	25	23,00	3162	59	124,7	19105
-8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,2	20010
-7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,9	20951
-6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,9	21928
-5	3,33	412	29	28,70	3999	63	143,0	22943
-4	3,60	447	30	30,31	4237	64	154,3	23997
-3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,9	25090
-2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,7	26224
-1	4,51	566	33	35,60	5027	67	174,7	27401
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,9	28620
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,4	29884
2	5,58	708	36	41,68	5940	70	197,1	31194
3	5,98	762	37	43,89	6278	71	205,1	32551
4	6,40	818	38	46,21	6631	72	213,3	33956
5	6,84	878	39	48,63	7000	73	221,8	35410
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,6	36915
7	7,80	1008	41	53,79	7793	75	239,6	38471
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,9	40082
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,5	41747
10	9,45	1234	44	62,40	9127	78	268,4	43468
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,6	45247
12	10,71	1408	46	68,77	10122	80	289,1	47084
13	11,38	1502	47	72,15	10653			

Ilmassa oleva vesihöyryn määrä ilmaistaan yleensä joko absoluuttisena kosteutena ( $\text{kg/m}^3$ ) tai suhteellisena kosteutena. **Suhteellisella kosteudella ( $RH$ )** tarkoitetaan tietyssä lämpötilassa ilmassa olevan kosteusmäärän suhdetta tämän lämpötilan kyllästyskosteuteen

$$\phi = \nu / \nu_{sat} \quad (2.2)$$

tai vesihöyryn osapaineen suhdetta tämän lämpötilan kyllästyspaineeseen

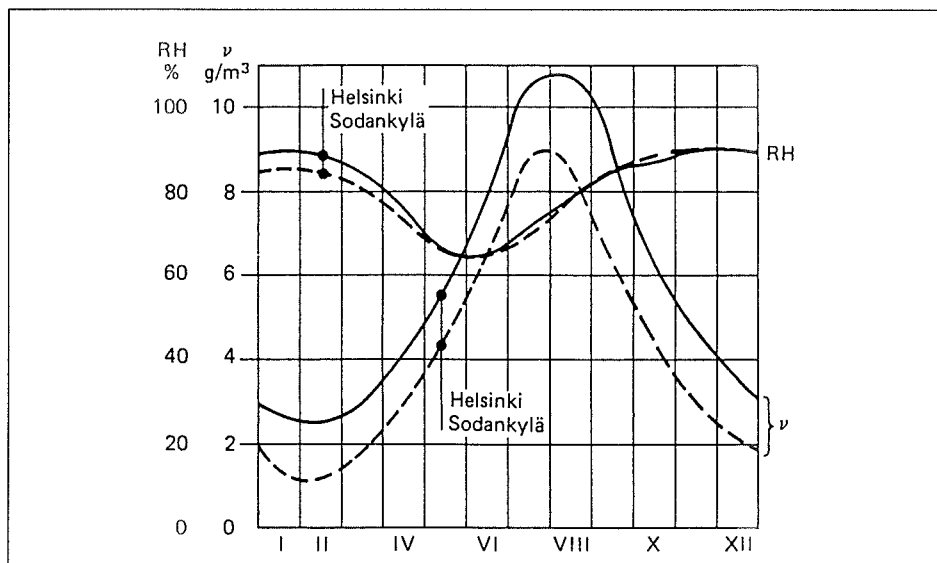
$$\phi = p / p_{\nu, sat} \quad (2.3)$$

Suhteellinen kosteus ilmaistaan yleensä prosentteina.

Sekä ulko- että sisäilman kosteuteen vaikuttavat suuresti vuodenaikojen ja säätilojen vaihtelut. Ulkoseinän kosteuskäyttäytymisen kannalta tärkeimpiä ovat pidempien ajanjaksojen keskiarvot. Koska kosteuden sitoutumisella materiaaliin ja siitä aiheutuvilla vaikutuksilla on suuri viive, eivät hetkittäiset ilman kosteuden vaihtelut oleellisesti vaikuta rakenteisiin.

### Ulkoilman kosteus

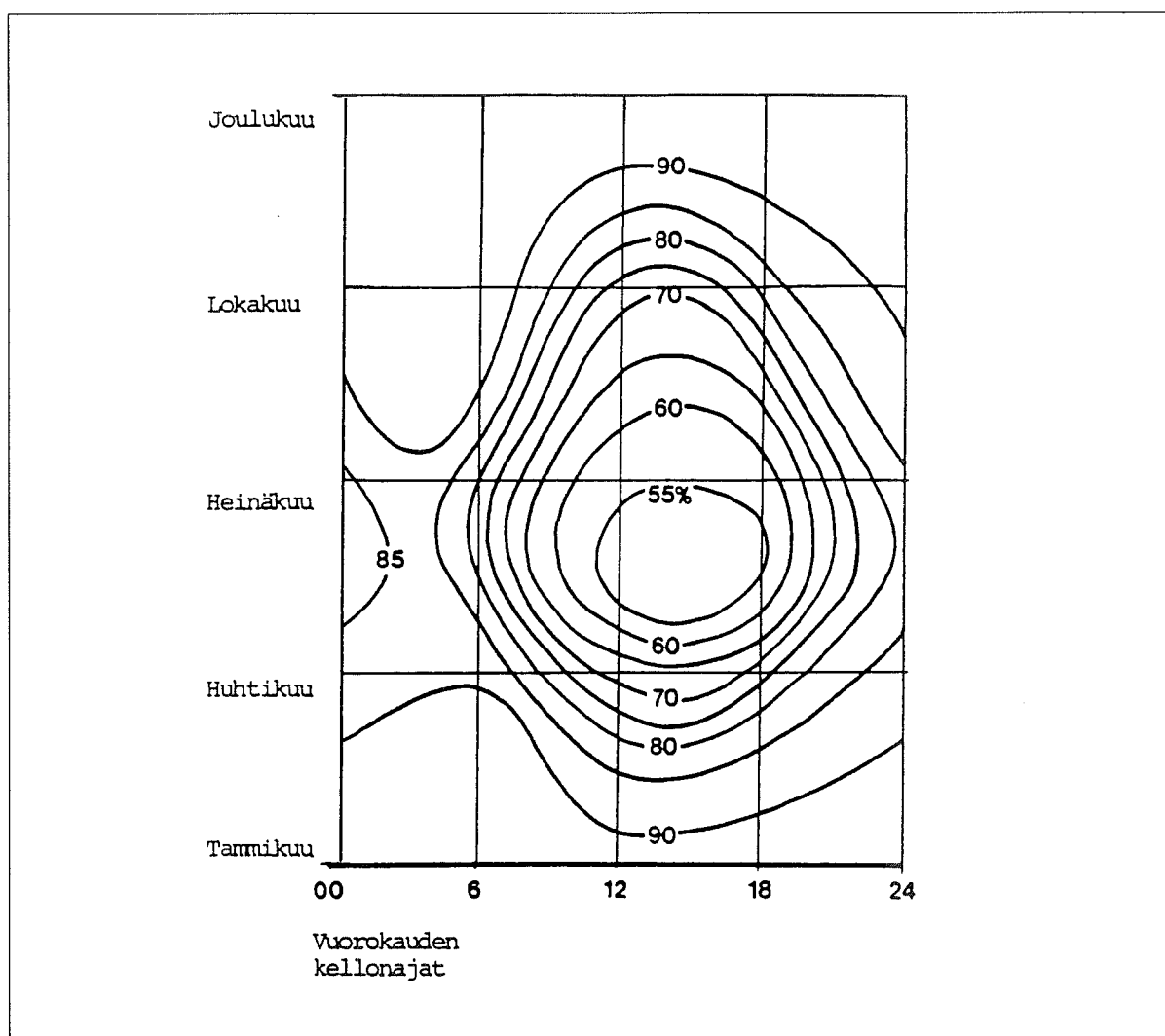
Taulukossa 2.2. on esitetty tietoja ulkoilmasta eräillä paikkakunnilla. Suomessa ulkoilman keskimääräinen suhteellinen kosteus on suurimmillaan talvella (noin 90 %) ja pienimmillään kesällä (noin 65 – 75 %). Ilman absoluuttinen kosteussisältö on puolestaan kesällä selvästi suurempi kuin talvella. Eri paikkakunnilla suhteellisen kosteuden arvot ovat lähellä toisiaan. Kuvassa 2.6. on esitetty ilman suhteellisen kosteuden ( $RH$ ) ja ilman kosteuspitoisuuden ( $\nu$ ) vaihtelu vuoden aikana Helsingissä ja Sodankylässä. Ilman suhteellisen kosteuden vuorokautinen vaihtelu on voimakasta, ja se johtuu vuorokauden lämpötilavaihtelusta. Kuvasta 2.7. näkyy ilman suhteellisen kosteuden tyypillinen vuorokautinen vaihtelu vuoden ajanjaksolla.



**Kuva 2.6.** Ilman suhteellisen kosteuden ja kosteuspitoisuuden vaihtelu vuoden aikana Helsingissä ja Sodankylässä [2].

Taulukko 2.2. Keskimääräisiä tietoja ulkoilmasta eräillä paikkakunnilla ajanjaksolta 1961-1990 /68/.

		Kuukausi											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Helsinki	t (°C)	-5,7	-5,7	-2,1	3,1	9,7	15,0	17,0	15,7	11,1	6,4	1,4	-2,9
	RH (%)	85	84	82	75	67	68	73	78	82	83	86	86
	p (Pa)	331	327	426	576	811	1161	1415	1393	1088	803	583	420
	v (g/m <sup>3</sup> )	2,68	2,65	3,41	4,52	6,21	8,74	10,58	10,46	8,30	6,23	4,61	3,37
Turku	t (°C)	-6,0	-6,2	-2,6	3,0	9,8	14,9	16,5	15,2	10,3	5,7	0,6	-3,6
	RH (%)	89	87	82	75	66	64	71	76	83	86	89	90
	p (Pa)	337	324	410	572	804	1086	1334	1315	1045	793	569	416
	v (g/m <sup>3</sup> )	2,74	2,64	3,29	4,49	6,16	8,18	9,99	9,89	8,00	6,17	4,51	3,34
Lahti	t (°C)	-8,4	-8,2	-3,6	2,6	9,8	14,7	16,3	14,5	9,3	4,5	-0,7	-5,5
	RH (%)	87	85	81	75	67	67	73	80	86	87	90	89
	p (Pa)	268	267	374	555	816	1123	1355	1324	1013	738	522	352
	v (g/m <sup>3</sup> )	2,20	2,18	3,01	4,37	6,25	8,46	10,15	9,98	7,78	5,76	4,15	2,85
Jyväskylä	t (°C)	-10,0	-9,5	-4,7	1,3	8,7	14,1	15,7	13,6	8,3	3,4	-2,2	-7,2
	RH (%)	88	87	81	73	65	65	72	80	85	87	91	89
	p (Pa)	234	243	342	491	735	1048	1286	1250	936	682	470	305
	v (g/m <sup>3</sup> )	1,94	2,00	2,76	3,88	5,66	7,91	9,66	9,45	7,21	5,35	3,76	2,49
Vaasa	t (°C)	-7,8	-7,8	-3,9	1,7	8,3	13,7	15,7	13,9	9,2	4,6	-0,9	-5,5
	RH (%)	88	87	84	77	69	67	73	79	84	87	90	89
	p (Pa)	286	283	379	534	760	1053	1304	1258	983	743	513	352
	v (g/m <sup>3</sup> )	2,34	2,31	3,05	4,21	5,85	7,96	9,79	9,50	7,55	5,80	4,09	2,85
Lappeenranta	t (°C)	-9,4	-8,8	-3,8	2,3	9,8	14,8	16,7	14,8	9,5	4,2	-1,2	-6,2
	RH (%)	88	87	82	73	64	65	70	77	84	87	91	90
	p (Pa)	248	259	373	529	780	1096	1332	1299	1003	722	507	336
	v (g/m <sup>3</sup> )	2,04	2,12	3,00	4,16	5,97	8,26	9,97	9,79	7,69	5,64	4,05	2,73
Kajaani	t (°C)	-12,4	-11,4	-6,4	0,0	7,5	13,3	15,6	13,1	7,8	2,4	-3,8	-9,4
	RH (%)	87	86	82	74	66	66	70	78	83	87	90	88
	p (Pa)	185	201	301	452	689	1011	1243	1179	884	635	409	248
	v (g/m <sup>3</sup> )	1,54	1,67	2,45	3,59	5,32	7,65	9,33	8,93	6,82	4,99	3,29	2,04
Oulu	t (°C)	-11,1	-10,4	-5,8	0,5	7,5	13,5	16,0	13,7	8,4	3,0	-3,1	-8,2
	RH (%)	86	85	82	74	67	65	70	77	82	85	88	88
	p (Pa)	206	218	316	470	699	1009	1274	1210	909	648	423	276
	v (g/m <sup>3</sup> )	1,71	1,81	2,57	3,72	5,40	7,63	9,56	9,15	7,00	5,08	3,40	2,26
Joensuu	t (°C)	-11,6	-10,7	-5,4	0,7	8,3	14,2	16,4	14,0	8,6	3,2	-2,7	-8,2
	RH (%)	87	85	82	73	64	65	70	78	84	86	90	89
	p (Pa)	200	212	327	470	705	1055	1307	1250	944	665	447	279
	v (g/m <sup>3</sup> )	1,65	1,76	2,65	3,72	5,43	7,96	9,79	9,44	7,27	5,22	3,58	2,29
Sodankylä	t (°C)	-15,1	-13,6	-8,5	-2,1	5,0	11,6	14,1	11,2	5,9	-0,2	-7,4	-13,1
	RH (%)	85	84	80	72	66	65	69	77	84	87	89	86
	p (Pa)	138	158	244	374	579	892	1113	1029	785	524	299	170
	v (g/m <sup>3</sup> )	1,16	1,33	2,00	3,00	4,51	6,79	8,40	7,85	6,10	4,16	2,45	1,42
Ivalo	t (°C)	-14,3	-13,0	-8,2	-2,2	4,4	10,8	13,7	11,0	5,9	-0,3	-7,4	-12,3
	RH (%)	83	82	79	73	67	65	69	76	83	85	86	84
	p (Pa)	146	164	248	377	564	846	1085	1002	776	508	289	180
	v (g/m <sup>3</sup> )	1,23	1,37	2,03	3,01	4,41	6,46	8,20	7,65	6,03	4,04	2,36	1,50



Kuva 2.7. Ilman suhteellisen kosteuden vuorokautinen vaihtelu vuoden ajanjaksolla Uppsalassa /6/.

### Sisäilman kosteus

Sisäilman kosteuspitoisuuteen vaikuttavat mm. ulkoilman kosteuspitoisuus, huoneen tai huoneiston käyttötarkoitus, sisällä kehitetyn kosteuden määrä, ilmanvaihdon suuruus, rakennusaineiden kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta, rakenteiden kautta poistuva kosteusvirta sekä rakenteiden kuivuessa vapautuva (rakennus-) kosteus. Sisäilman vesihöyrypitoisuus  $\nu_s$  voidaan esittää seuraavasti:

$$\nu_s = \nu_u + \frac{G}{n \cdot V} \quad (2.4)$$

$\nu_s$  = sisäilman vesihöyrypitoisuus ( $\text{kg/m}^3$ )

$\nu_u$  = ulkoilman vesihöyrypitoisuus ( $\text{kg/m}^3$ )

$G$  = kosteuden tuotto sisällä ( $\text{kg/h}$ )

$n$  = ilman vaihtuvuus aikayksikössä ( $\text{l/h}$ )

$V$  = tarkasteltavan tilan tilavuus ( $\text{m}^3$ ).

Rakennukset voidaan jakaa sisäilmaan tapahtuvan kosteuden tuoton mukaan esimerkiksi seuraavasti:

- tavalliset asuintilat, kosteuslisä ulkoilmaan verrattuna käyttötavan mukaan 3 – 4 g/m<sup>3</sup>
- toimisto- ja muut julkiset tilat 2 – 3 g/m<sup>3</sup>
- teollisuudessa kosteuslisä voi olla yli 6 g/m<sup>3</sup>.

Sisäilman kosteuslisä ulkoilman kosteuspitoisuuteen nähden vaihtelee suuresti etenkin asuinrakennuksissa käyttäjästä riippuen, sekä ajallisesti että huonekohtaisesti. Siihen vaikuttavat erityisesti ilmanvaihtojärjestelmä ja sen tehokkuus sekä asuinrakennuksissa käyttäjän vedenkäyttötavat. Rakenteiden kosteusrasitus voi kohota huomattavasti käyttäjän vedenkäyttötapojen seurauksena tai jos rakenne on suunniteltu väärin käyttöolosuhteisiinsa. Sisäilman kosteus voi nousta haitallisen suureksi esimerkiksi silloin, jos käyttäjä on pienentänyt ilmanvaihdon liian pieneksi.

Märkätilojen, kuten asuntojen pesuhuoneiden, saunojen, pyykinpesutilojen sekä uima-allastilojen, sekä hyvin kosteiden tilojen, kuten uimahallien, kostutettujen tai vettä käyttävien prosessien tilojen, yhteydessä tarvitaan aina kosteusteknisiä erityistarkasteluja. Esimerkiksi uimahallin sisäilman suhteellista kosteutta voidaan säädellä mm. sisäilman lämpötilan, veden lämpötilan, ilmanvaihdon sekä muiden kosteudenpoistomenetelmien avulla. Myös ilman kostutuksella varustetuissa rakennuksissa ilman kosteus määritetään kussakin tapauksessa erikseen. Tavanomaisissa asuinrakennuksissa sisäilman suhteellinen kosteus on yleensä suurimmillaan kesällä (n. 50 – 70 %) ja pienimmillään talvella (n. 20 – 40 %).

### 2.2.3 Pintavedet ja maaperän kosteus /2, 19/

Pintavedet, roiskevedet ja maaperän kosteus rasittavat lähinnä rakennusten perustusrakenteita, seinien alaosia sekä alapohjarakenteita. **Pintavesinä** rakenteita rasittavat maaperää pitkin tai katolta maaperään valuvat sade- ja lumen sulamisvedet. Maaperän kosteusrasituksia ovat pohjavesi, vajovesi, kapillaarivesi ja maahuokosissa oleva vesihöyry. Maaperän kosteuteen vaikuttavat rakennuspaikan maanpinnan korkeussuhteet, ylin pohjaveden korkeus, rakenteita ympäröivän maaperän ja maarakenteiden laatu sekä kuivatus- ja salaojitusjärjestelyt.

Osa pintavesistä johdetaan ojiin tai sadevesiviemäriin, osa joutuu maaperään. Jälkimmäisiä kutsutaan **vajovedeksi**. Osa vajovedestä sitoutuu hygrooskooppisesti ja/tai kapillaarisesti maa-ainekseen, osa kulkee kohti pohjavettä. Maalajin vedenläpäisyominaisuudet vaikuttavat voimakkaasti siihen, miten nopeasti vajovedet kulkeutuvat esim. salaojiin ja pois täytökerroksista.

**Pohjavesi** on maahuokoset täyttävää vettä, joka virtaa sivusuuntaan paine-eron perusteella. Virtauksen suuruus riippuu pohjavedenpinnan kaltevuudesta, gradientista sekä maa-aineksen läpäisevyydestä. Pohjaveden korkeus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Vuotuiset sademäärät vaikuttavat myös huomattavasti pohjavedenpinnan korkeuteen.



Pohjaveden yläpuolella on kerros, jossa on **kapillaarisesti imeytynyttä vettä**. Kerroksen paksuus on riippuvainen maa-aineksen kapillaarisesta nousukorkeudesta, johon taas vaikuttavat maa-aineksen raekokojakautuma ja huokostilavuus. Karkearakeisilla maalajeilla, kuten hiekalla, kapillaarinen nousukorkeus on pienempi kuin hienorakeisilla maalajeilla, kuten siltillä ja savella. Kapillaarisuuteen vaikuttavat erityisesti materiaalin hienoaineksien määrä ja hienous. Esimerkiksi karkeat mutta kuitenkin hienoainespitoiset murskeet voivat osoittautua yllättävän kapillaarisiksi. Kapillaariveden pääsy rakenteisiin estetään sijoittamalla maan ja rakenteen väliin kapillaarikatko, yleensä karkea sorakerros. Paras kapillaarikatko saadaan pestystä sorasta tai sepelistä, josta hienoaines on kokonaan poistettu.

**Maahuokosissa oleva vesihöyry** on vajovedestä ja kapillaarivedestä huokosiin tullutta vettä, joka on osittain huokosilman vesihöyrynä ja osittain ohuena adsorptiovesikerroksena maarakeiden pinnalla. Sen määrä vaihtelee lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mukaan. Maa-aineksen, kuten muidenkin materiaalien, hygroskooppinen tasapainokosteus riippuu aineen ominaispinta-alasta, joka kasvaa hienoaineksen määrän ja hienouden kasvaessa. Kosteusteknisissä laskelmissa oletetaan yleensä, että maaperän huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Joskus suhteellinen kosteus voi olla myös alhaisempi. Maaperän lämpeneminen lattian alla, esimerkiksi lämpöputkien vaikutuksesta tai laajarunkoisen rakennuksen alla, saattaa aiheuttaa merkittävää kosteuden kulkeutumista diffuusiolla sisäänpäin rakennukseen. Maanvastaisten rakenteiden suunnittelussa on otettava huomioon kosteuden mahdollinen kulkeminen molempiin suuntiin: maasta sisään rakennukseen ja rakennuksesta ulospäin. Kosteuden kulun suunta voi olla eri aikoina erilainen.

Maaperän kosteusolosuhteet rakennuksen alla ja sen lähiympäristössä tulee arvioida kussakin tapauksessa paikallisten olosuhteiden perusteella.

#### 2.2.4 Rakennuskosteus /2, 28/

Rakennuskosteus on rakennusaineiden valmistuksen, varastoinnin, kuljetuksen ja rakennustyön aikana rakenteisiin pääsystä kosteutta. Rakennuskosteutta poistuu niin paljon, että rakennusmateriaalit saavuttavat ympäristöolosuhteita vastaavan tasapainokosteuden. Rakennuskosteuden määrään vaikuttavat huomattavasti rakennusaineiden valmistusmenetelmä sekä kuljetuksen, varastoinnin ja erityisesti työaikainen suojaus. Eniten rakennuskosteutta on betoni- ja kevytbetonirakenteissa, muuratuissa rakenteissa sekä rappauksissa. Hydrauliset sideaineet, kuten sementti, sitovat osan valmistusvaiheen vedestä kemiallisesti, mikä pienentää poistumaan pyrkivän rakennuskosteuden määrää.

Rakennuskosteus voidaan ilmaista seuraavasti:

$$W_{\text{rak.kost}} = W_0 - W_{\infty} \quad (2.5)$$

$W_0$  = rakentamisvaiheessa rakenteessa oleva vesimäärä ( $\text{kg/m}^3$ )

$W_{\infty}$  = tasapainokosteus ympäristön kanssa käyttöolosuhteissa ( $\text{kg/m}^3$ ).

Tasapainokosteusarvot vaihtelevat materiaalista ja sen sorptiokäyrästä riippuen. Sorptiokäyrällä kuvataan tasapainoa, joka vallitsee materiaalin kosteuden ja ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden välillä. Tasapainokosteus on sitä suurempi, mitä korkeampi on ympäröivän ilman suhteellinen kosteus (ks. luku 2.3).

Taulukossa 2.3. on esitetty suuntaa antavia arvoja muutamien rakennusaineiden rakennuskosteuksista, kun ne ovat ympäristössä, jossa  $RH = 50\%$ .

**Taulukko 2.3.** Muutamien rakennusaineiden ja rakenteiden rakennuskosteuksia /2, 28, 52/.

Aine tai rakenne	Kosteus rakennusvaiheessa $w_0$ kg/m <sup>3</sup>	Aineeseen kemiallisesti sitoutuva kosteus kg/m <sup>3</sup>	Hygroskooppi-nen kosteus $w_\infty$ , kun ilman suhteellinen kosteus on 50% kg/m <sup>3</sup>	Tasapainokosteus $w_\infty$ , kun ilman suhteellinen kosteus on >90% kg/m <sup>3</sup>	Poistuva kosteus (=rakennuskosteus) kg/m <sup>3</sup>
Betoni K25	180	57	33	70...120	90
Betoni K30	180	60	35	70...120	85
Betoni K40	180	70	40	70...120	70
Karkaistu kevytbetoni	100...200	-	20	75...200	80...180
Kalkkilaasti	300	-30	10	17...34	320
Kalkkisementtilaasti	300	20	30	35...70	250
Poltettu tiili	10	-	10	5...17	0
Tiilimuuri	80	-	10		70
Puu	60...80	-	40	110...150	20...40
Kalkkiahiekkatiili	50	-	30	75...140	20
Kalkkiahiekkatiilimuuri	90	-	30		60

Seinärakenteen rakennuskosteuden kuivumisnopeuteen vaikuttavat rakenteen sisäisinä tekijöinä mm. rakenteen lämpötila, seinän muotoilu, pinnan karheus, rakenteen kosteustila tarkasteluajankohtana sekä rakenteen tuuletustapa ja rakennekerrosten materiaaliominaisuudet. Rakennuskosteuden kuivumisnopeuteen vaikuttavia ulkoisia tekijöitä ovat mm. sisä- ja ulkoilman kosteus ja kyllästysvajaus, ilman nopeus, lämpötila sekä lämpötilaero rakenteen pintaan, johon vaikuttaa esim. auringon säteily. /37/

Seinärakenteen kuivumista voidaan nopeuttaa mm. lisäämällä tuuletusta sekä lämmittämällä ja kuivattamalla rakennusta. Seinärakenteelle tulee varata **riittävä kuivumisaika** ennen mahdollista saumausta ja/tai pintakäsittelyä. Lisäkosteuden kulkeutumista rakenteeseen rakennustyön aikana on aina syytä vähentää **huolellisella sääsuojauksella**. Esimerkiksi betonisandwich-ulkoseinään voi kulkeutua vettä rakennustyön aikana suojaamattomien elementtien yläpään sekä avoimien saumojen kautta. Sateella kulkeutuvat vesimäärät voivat olla suuria. Ne valuvat eristekerroksessa alapäin ja kerääntyvät sokkelihalkaisuun ja ikkunoiden päälle. Seinärakenteen lämmöneristys on suojattava sään haitallisilta vaikutuk-

silta. Lisäksi väli- tai yläpohjatasolle kerääntyneiden sadevesien pääsy yläpään kautta seinärakenteeseen on pyrittävä estämään. Mahdolliset asennusaikaiset muovisuojat lämmöneristyksen päältä on poistettava elementin vaakasaumoista, sillä muuten lämmöneristekerroksessa alaspäin valuva vesi voi kerääntyä muovin päälle. Rakennusmateriaalien ja seinäelementtien tulee olla suojattuna vesi- ja lumisateelta sekä maaperän kosteudelta ja pintavesiltä myös kuljetuksen ja varastoinnin aikana.

### 2.2.5 Tilojen käytöstä aiheutuvat kosteusrasitukset /52/

**Märkätiloja** ovat lattiakaivolla varustetut huonetilat, joiden lattiapinta joutuu tilan käyttötarkoituksen vuoksi vedelle alttiiksi ja vettä voi roiskua seinille (esim. kylpyhuone, suihkutila ja sauna). WC-tilat, apukeittiöt ja keittiöt ym. vesipisteelliset tilat voivat tapauskohtaisesti kuulua märkätiloihin. Näissä tiloissa ulkoseinärakenteita rasittavat mm. korkea sisäilman kosteussisältö, roiskevedet, lattiapinnalla liikkuva vesi sekä seinärakenteiden pintaan tiivistyvä vesi, joka voi valua rakojen kautta tai siirtyä kapillaarisesti rakenteisiin. Näiden tekijöiden lisäksi märkätilojen ulkoseinärakenteiden erityistarkasteluissa tulee ottaa huomioon myös erilaiset pintarakenteet ja niiden vaatimukset alustalle, mahdolliset putkivuodot ja kylmien putkien pintaan tapahtuva kondenssi sekä kosteusrasituksen voimakkuus: vedenkäytön määrä ja muoto. Näiden tilojen kosteusteknisen suojauksen edellytyksenä on toimiva ja riittävän tehokas **ilmanvaihto**.

**Jäähdytettyjen tilojen** suunnittelussa tulee ottaa huomioon kosteuden kulkeutuminen vesihöyryn diffuusiolla kesäaikana sisäänpäin. **Erityistiloissa**, kuten uima-allastiloissa, teollisuuden prosessitiloissa ja kostutetuissa sisätiloissa esim. museoissa voi olla jatkuvasti korkea sisäilman vesihöyrypitoisuus. Tämä on otettava huomioon ulkoseinärakenteen suunnittelussa.

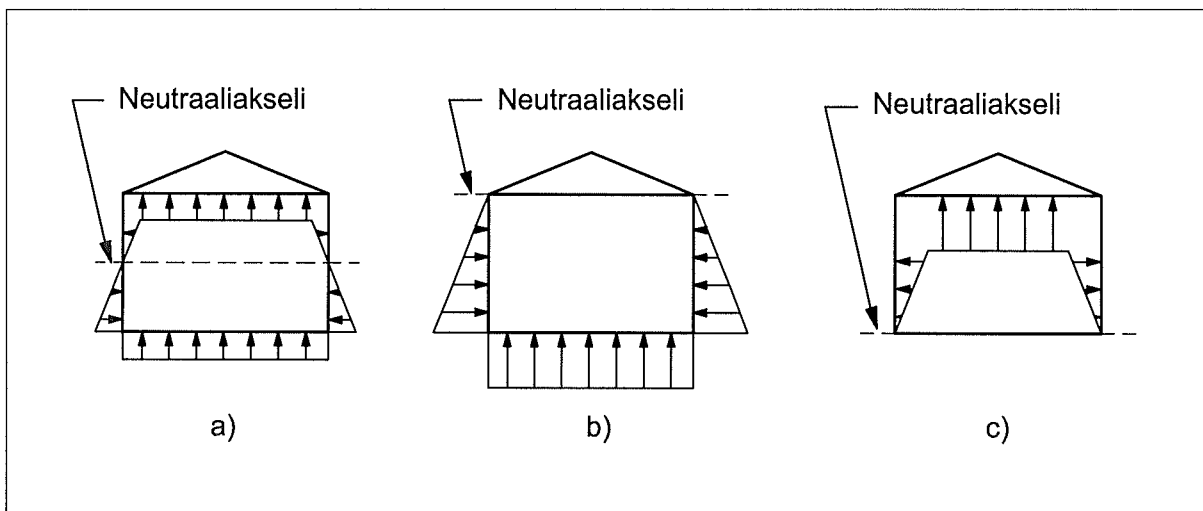
### 2.2.6 Muut kosteuslähteet

Ulkoseinien kosteusteknisessä suunnittelussa huomioon otettavia poikkeuksellisia kosteusrasituksia ovat esimerkiksi putkivuodot, vedeneristysvuodot, pellitysten rikkoutuminen ja saumausten vaurioituminen. Pahimmat vauriot syntyvät usein erilaisista **vesivuodoista**. Syntyvien vaurioiden vakavuuteen ja laajuuteen vaikuttavat oleellisesti rakennetyyppien kuivumiskyky ja materiaalien vaurioherkkyys poikkeuksellisille kosteusrasituksille. Rakenteet tulee suunnitella siten, ettei vuotoja esiinny tai ainakin mahdollisen vuodon haitta-vaikutukset ja korjauskustannukset voidaan rajata mahdollisimman pieneksi. Putket on suositeltavaa asentaa näkyviin tai erillisiin koteloihin, joista ne voidaan tarvittaessa tarkastaa.

### 2.2.7 Muiden olosuhdetekijöiden vaikutus /2/

Ulkoseinärakenteen kosteustekniseen toimintaan vaikuttavat merkittävästi rakenteiden yli vaikuttavat **ilmanpaine-erot**, jotka muodostuvat tuulen, lämpötilaerojen sekä koneellisen ilmanvaihdon ja rakennuksen tiivyyssuhteiden yhteisvaikutuksesta. Tuulen aiheuttama paine rakennukseen riippuu tuulen nopeudesta ja suunnasta ja rakennuksen geometriasta. Jos rakennuksen tuulenpuoleinen seinä on muita epätiivimpi, rakennuksen sisäpuolelle muodostuu ylipaine. Rakennuksen sisälle muodostuu alipaine, jos suurin osa aukoista on suojan puoleisella seinällä. Yleisesti käytetyistä ulkoseinärakenteista suurin ilmanläpäisy on hirsiseinillä.

Ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttamaa ilmanpaine-eroa kutsutaan savupiippuvai-  
kutukseksi tai termiseksi konvektioksi. Kun huoneilman lämpenee, sen tiheys pienenee ja lämmennyt kevyt ilma pyrkii nousemaan ylöspäin. Näin huoneen yläosaan muodostuu yli-  
painetta, kun taas alaosassa on alipainetta. Ilmanpaine-eron suunta, ulos- vai sisään-  
päin, riippuu siitä, missä rakennuksen vaipan epätiiviydet sijaitsevat (kuva 2.8.). Savupiippuvai-  
kutus on huomattava kondenssiin vaikuttava tekijä, sillä se toimii juuri pakkasella ja jatku-  
vasti. Korkeissa tiloissa tilanne vielä korostuu.



**Kuva 2.8.** Savupiippuvaikutus: a) vaipan epätiiviydet tasaisesti jakautuneet, b) epätiiviydet rakennuksen yläosassa ja c) epätiiviydet rakennuksen alaosassa /2/.

Myös rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttaa rakenteiden yli vaikuttavaan paine-  
eroon. Koneellisen poistopuhaltimen käyttö aiheuttaa paine-eron, joka vaikuttaa sisään-  
päin. Näin ollen se ei aiheuta kondenssiuhkaa rakenteisiin. Koneellisessa tulo- ja poistoil-  
manvaihdossa ohjataan sekä tulo- että poistoilmavirtoja puhaltimilla. Niiden vaikutus py-  
ritään tasoittamaan siten, ettei paine-eroja syntyisi. Ulkoseinärakenteen kannalta rakennuk-  
sen sisäpuolinen ylipaine on haitallinen. Tällöin ilmavuodot voivat kuljettaa suuria koste-  
usmääriä vuotokohdista rakenteeseen.

Muita ulkoseinärakenteen kosteustekniseen toimintaan vaikuttavia olosuhdetekijöitä ovat mm. **lämpötilat** rakenteen eri puolilla ja **auringon säteily**. Julkisivupinnan säteilyn ab-

sorptio-ominaisuudet (esim. väri) vaikuttavat pinnan lämpötilaan ja siten myös kosteuden haihtumiseen pinnalta. Lämmittämättömissä rakennuksissa ei lämpötilaeron aiheuttamaa kuivumista ulospäin pääse tapahtumaan. Ulkoseinärakenteen kosteusteknisessä suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös lumen määrä ja kinostuminen.

## 2.3 Kosteuden sitoutuminen aineeseen

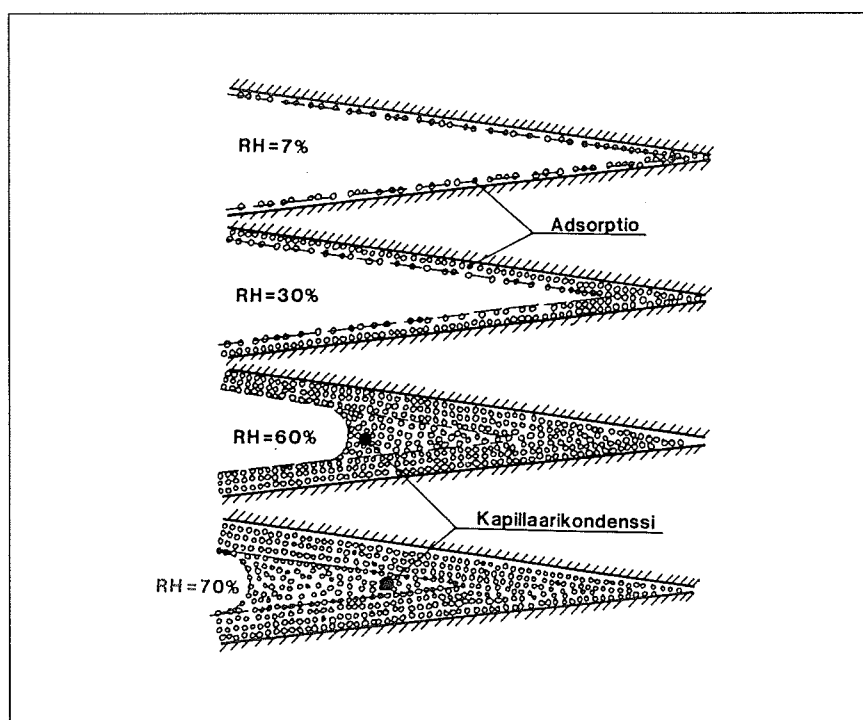
Huokoiset aineet kuten betoni, tiili, laasti ja puu imevät kosteutta ollessaan yhteydessä kosteutta sisältävään ilmaan tai vapaaseen vedenpintaan. Kosteuden sitoutuminen aineeseen johtuu siitä, että aineessa on tyhjää huokostilaa, johon vesimolekyylit mahtuvat. Huokoisten aineiden vastakohtana ovat mm. metallit, joiden rakenne on niin tiivis, ettei sinne mahdu vesimolekyylejä. Aineen imemään kosteuden määrään ja imunopeuteen vaikuttavat olosuhteiden lisäksi aineen huokosten muoto, koko, määrä ja huokosjärjestelmän ominaisuudet, kuten jatkuvuus. /51/

### 2.3.1 Kosteuden sitoutumismuodot

Aineeseen sitoutunut kosteus voi olla kaasuna, nesteenä tai kiinteässä muodossa. Vesi voi sitoutua rakennusmateriaaliin joko **kemiallisesti** tai **fysikaalisesti**. Kemiallisesti sitoutunut vesi on rakenteessa joko ioni- tai molekyylisidoksena, jolloin se on osa aineen rakennetta. Rakennusaineessa olevaa, heikommin sitoutunutta vettä kutsutaan fysikaalisesti sitoutuneeksi vedeksi. Fysikaalisesti sitoutunutta vettä ovat adsorptiovesi ja kapillaarisesti sitoutunut vesi. Lisäksi huokosilmassa on kaasun muodossa olevaa vesihöyryä ja suurissa raoissa tai onteloissa voi olla myös painovoimaisesti kulkeutunutta gravitaatiovettä.

Adsorptiovesi on huokosten pintaan van der Waalsin voimien välityksellä melko lujasti kiinnittynyttä puhdasta vettä. Se kiinnittyy huokosten pintaan aluksi yksimolekyylisenä kerroksena, mutta suhteellisen kosteuden kasvaessa huokosseinämiin kertyy useamman molekyylin vahvuinen kerros. Suhteellisen kosteuden kasvaessa kapeat huokokset ja huokososat alkavat täyttyä kapillaarikondenssin avulla. Kapillaarikondensoitumisessa vesi tiivistyy ohuisiin huokosiin koheesion ja pintajännityksen avulla jo suhteellisen kosteuden ollessa alle 100%. Kuvassa 2.9. on esitetty huokosten täyttyminen vähitellen adsorption ja kapillaarikondenssin vaikutuksesta. /1/

Rakenteen vaakasuorille pinnoille, halkeamiin ja aineen suuriin huokosiin ja onteloihin voi kertyä paine-eron, gravitaation ja kapillaarivoimien kuljettamaa vapaata vettä. Vesihöyrynä rakenteen huokosissa oleva vesi ei ole varsinaisesti aineeseen sitoutuneena, vaan se kulkeutuu osapaine-eron vaikutuksesta ilmatäytteisissä huokosissa.



Kuva 2.9. Huokosten täyttyminen vähitellen adsorption ja kapillaarikondenssin vaikutuksesta /1/.

Materiaaliin sitoutunut kosteus määrä riippuu ympäröivän ilman kosteuden lisäksi myös ympäristön lämpötilasta. Oletetaan, että huokoiseen aineeseen sitoutunut kosteus määrä on hygroskooppisella alueella ja tasaantunut ympäristön suhteelliseen kosteuteen. Jos kappaleen lämpötilaa tällöin nostetaan, huokosilman suhteellinen kosteus pienenee. Tästä seuraa, että huokosen pintaan kiinnittynyttä adsorptioveettä haihtuu huokosilmaan ja vesihöyrypitoisuus siinä kasvaa. Vesihöyryä alkaa kulkeutua diffuusiolla alemman pitoisuuden suuntaan ulos kappaleesta eli aine kuivuu. Kun huokosilman kosteuspitoisuus on ylihygroskooppisella alueella ( $RH \sim 100\%$ ), lämpötilaa nostettaessa huokosilman suhteellinen kosteus hetkellisesti pienenee. Tämän jälkeen adsorptioveettä haihtuu huokosilmaan, jonka suhteellinen kosteus nousee taas  $100\%$ :iin. Huokosilman vesihöyrypitoisuus on tällöin suurempi kuin ennen lämpötilan nostamista. Aineen ollessa ylihygroskooppisella alueella sen huokosilman vesihöyrypitoisuus on aina lämpötilaa vastaavan kyllästyspitoisuuden suuruinen huokosilman lämpötilasta riippumatta.

Rakennusaineen ja sen ympäristön välillä vallitsee aina jokin seuraavista olosuhteista: kostuminen (absorptio), kuivuminen (desorptio) tai tasapaino.

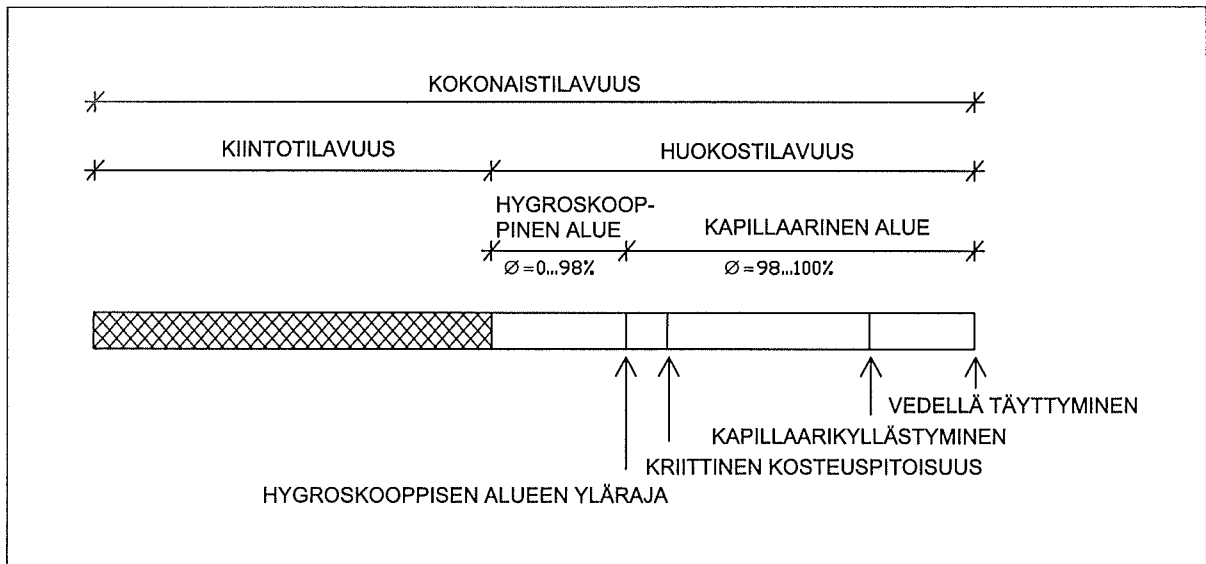
### 2.3.2 Tasapainokosteus /19, 51, 57/

Kosteustasapainolla tarkoitetaan sitä kosteutta, minkä aine saavuttaa, kun se asetetaan tiettyyn ympäristöön. Aineen huokosiin sitoutuvan kosteuden määrä riippuu siitä, onko aine kosketuksissa kostean ilman vai veden pinnan kanssa. **Hygroskooppiseksi tasapainokosteudeksi** kutsutaan sitä kosteutta, jonka aine sitoo itseensä suoraan ilmasta. Aineen kosteuspitoisuus tasapainotilassa riippuu ympäristön lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta

desta ja siitä, onko aine kostumassa vai kuivumassa. Aineen kostumisen ja kuivumisen välistä eroa kutsutaan hystereesiksi. Hygroskooppinen kosteus ilmaistaan usein suhteellisen kosteuden funktiona ns. sorptiokäyrän eli tasapainokäyrän avulla (kuva 2.11.).

**Kapillaarinen tasapainokosteus** saavutetaan, kun veteen kosketuksessa olevaan aineeseen ei enää imeydy vettä. Tällöin aineeseen vaikuttavat kapillaarivoimat ovat tasapainossa. Jos kaksi huokoskooltaan erilaista ainetta ovat kosketuksissa toisiinsa ja niissä on aluksi sama kosteuspitoisuus, kosteutta siirtyy alemman huokosalipaineen omaavasta aineesta suuremman huokosalipaineen omaavaan aineeseen eli yleensä suurihuokoisesta pienihuokoiseen. Aineen imuvoima riippuu siitä, minkä kokoiset huokokset ovat vedellä täyttyneitä. Kosteuden siirtyminen pysähtyy, kun huokosalipaine (kapillaari-imu) on molemmissa aineissa sama. Kosteuden sitoutumisesta hygroskooppisesti tai kapillaarisesti käytetään yhteisnimitystä sorptio.

Lämpötilan vaikutus aineen kapillaariseen tasapainokosteuteen on suhteellisen pieni. Suurempi vaikutus sillä on aineen tasapainokosteuteen hygroskooppisella alueella, lähinnä pienillä suhteellisen kosteuden arvoilla (RH alle 20 – 30%). Niillä aineilla, joiden tasapainokosteuskäyrät ovat ympäristön lämpötilasta riippuvia, on selvästi korkeampi tasapainokosteus 20% suhteellisen kosteuden arvolla kuin niillä aineilla, joiden kosteustasapaino ei ole lämpötilasta riippuva. Epäorgaanisilla materiaaleilla tasapainokosteuden riippuvuus ympäristön lämpötilasta on yleensä merkityksettömän pientä, orgaanisilla materiaaleilla sillä on jonkin verran merkitystä. /1/



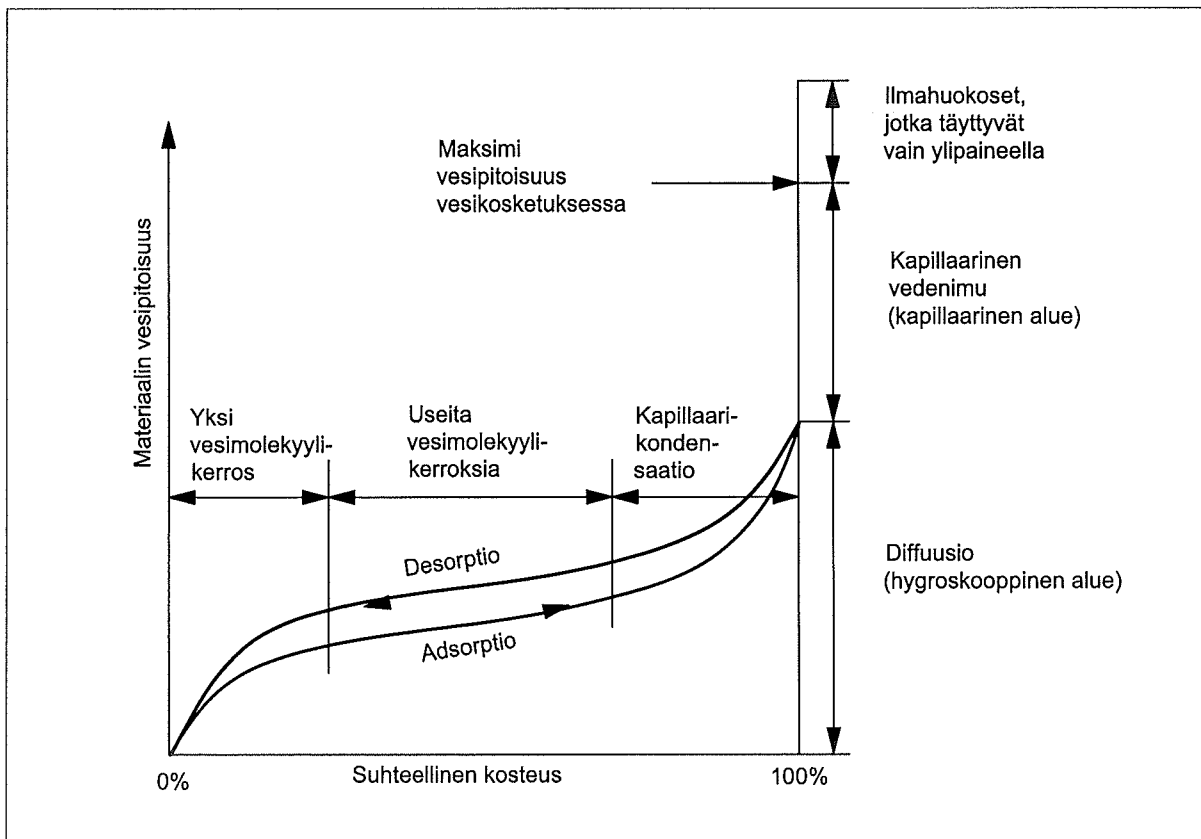
**Kuva 2.10.** Kosteus huokoisessa aineessa /57/.

Kuvassa 2.10. on esitetty kosteuden sitoutumista huokoiseen aineeseen, kun kappale on kastumassa ja lämpötila on vakio. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa 100% aineen huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteus ei nouse 98%:iin. Tämä on aineen sisältämän hygroskooppisen kosteuden yläraja. Aineen huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteus on välillä 98 – 100%, kun aine on kosketuksissa vapaan veden pinnan kanssa. Tällöin kosteus on sitoutunut aineen huokosiin kapillaarisesti.

Kriittistä kosteuspitoisuutta kuivemmassa aineessa kosteus siirtyy pääasiassa diffuusiona ja tätä kosteuspitoisuutta kosteammassa aineessa kosteuden siirtyminen on pääasiassa kapillaarista. Kapillaarikyllästyminen on aineen suurin kosteuspitoisuus, jonka aine voi saavuttaa kapillaarisen imun vaikutuksesta, kun aine on kosketuksessa vapaaseen veden pintaan. Aineen täyttyminen vedellä edellyttää kaiken huokosissa olevan ilman poistumista. Tämän ilman poistaminen on mahdollista vain keinotekoisesti, kuten tyhjäkäsittelemällä tai keittämällä ainetta.

### 2.3.3 Eri aineiden tasapainokosteus

Eri aineiden **sorptiokäyrät** (sorptioisotermit) poikkeavat toisistaan hyvinkin paljon. Tämä johtuu aineiden huokosrakenteiden erilaisuudesta. Aineet, joissa on paljon pieniä huokosia ja joiden huokosseinämien ominaispinta-ala on suuri, sitovat adsorptiovoimien vaikutuksesta runsaasti kosteutta jo alhaisissa ilman suhteellisissa kosteuksissa. Aineet voidaan jakaa hygroskooppisiin ja ei-hygroskooppisiin. Edellisessä ryhmässä aineen sitoma kosteus muuttuu selvästi ilman suhteellisen kosteuden muuttuessa. Hygroskooppisia rakennusmateriaaleja ovat esimerkiksi puu, betoni ja kevytbetoni. Eri lujuusluokan betonien tasapainokosteudet poikkeavat myös huomattavasti toisistaan. Ei hygroskooppisissa aineissa kosteus on vain vähäisessä määrin ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden funktio. Tällainen rakennusmateriaali on esimerkiksi poltettu tiili. Eri rakennusmateriaalien sorptiokäyriä löytyy esimerkiksi lähteistä /2/ ja /28/. Kuvassa 2.11. on esitetty periaatekuva tasapainokosteus- eli sorptiokäyrästä.



Kuva 2.11. Periaatekuva tasapainokosteus- eli sorptiokäyrästä, perustuu lähteeseen /71/.

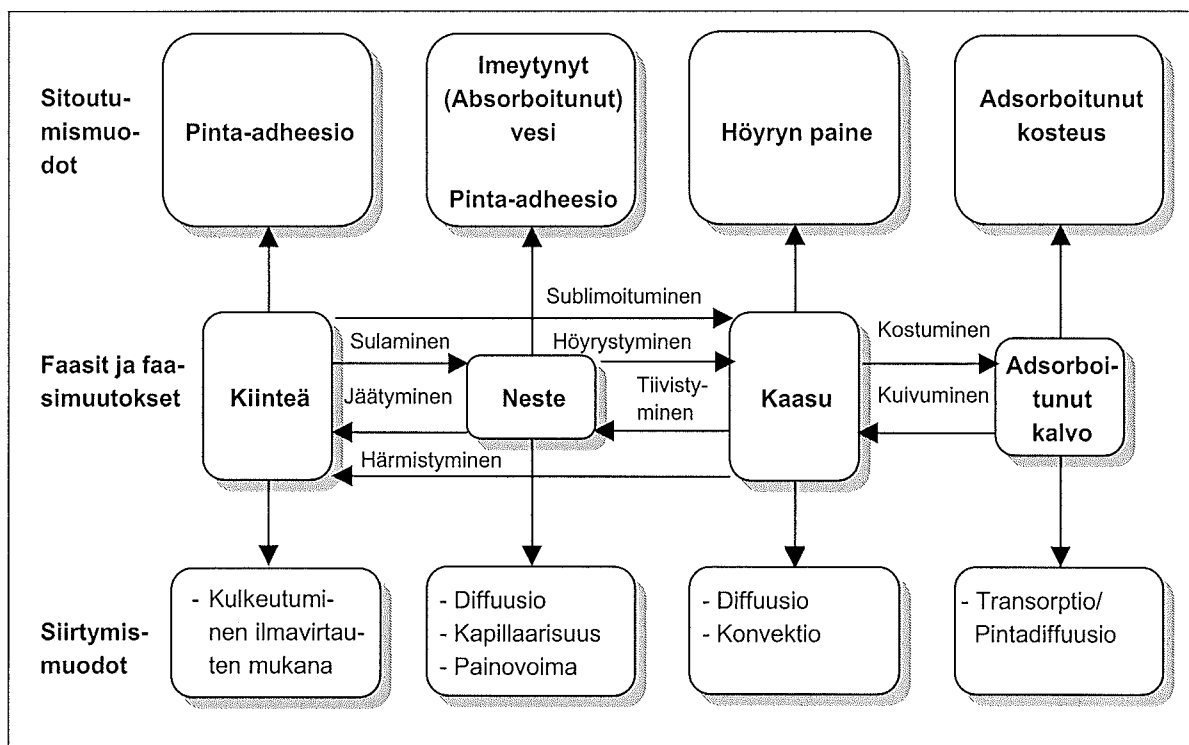


Aineen kosteustila voidaan ilmaista periaatteessa kahdella eri tavalla:

1. Aineen sisältämänä kosteutena
  - kg vettä / m<sup>3</sup> ainetta (kg/m<sup>3</sup>)
  - kg vettä / kg ainetta kuivana (paino-%)
  - kg vettä / kg ainetta vesineen (paino-%)
  - l vettä / l ainetta (tilavuus-%)
2. Aineen huokosilman suhteellisena kosteutena (vain hygroskooppisella alueella)

## 2.4 Kosteuden siirtyminen rakenteissa

Kosteuden siirtyminen rakenteiden epätiiviyiskohtien ja huokoisten aineiden läpi tapahtuu usein monien vaiheittaisten tai samanaikaisten ilmiöiden vaikutuksesta. Kuvassa 2.12. on esitetty kosteuden eri faasit ja faasimuutokset sekä eri sitoutumis- ja siirtymismuotoja. Kosteus siirtyy ulkoseinärakenteessa pääasiassa **vesihöyrynä** tai **vetenä**. Vesihöyry siirtyy mm. diffuusion ja ilmavirtausten eli konvektion kautta. Vesi siirtyy kapillaarisesti ja painovoiman tai paine-eron aiheuttamana nestevirtauksena. Myös **lumen** kulkeutuminen ilmavirtausten mukana on syytä ottaa huomioon.



Kuva 2.12. Kosteuden siirtymis- ja sitoutumismuodot eri faaseissa, perustuu lähteeseen /71/.

### 2.4.1 Vesihöyryn diffuusio /2, 42/

Seinärakenteen läpi tapahtuva vesihöyryn diffuusio aiheutuu rakenteen eri puolilla vallitsevista **ilman kosteuspitoisuueroista** tai toisin ilmaistuna **vesihöyryn osapaineiden eroista**. Kosteus siirtyy suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienemmän osapaineen

suuntaan. Suomen ilmastossa ovat olosuhteet normaalissa huonetilassa varsinkin talvella sellaiset, että diffuusio suuntautuu sisätiloista ulkovaipan läpi ulkoilmaa kohden. Sisäilman kosteuden lisääntyessä paine-ero ja siten myös diffuusion kuljettama kosteusmäärä kasvavat. Kesällä diffuusiolla kulkeutuvan kosteuden kulkusuunta voi vaihdella ulko- ja sisäilman olosuhteiden vaihdellessa. Sisäänpäin suuntautuvaa diffuusiota voi tapahtua päivisin ja se on lähinnä lyhytaikaista. Öisin ulkoilma yleensä jäähtyy, jolloin kosteuden kulkusuunta taas muuttuu sisältä ulospäin. Ulkoa sisäänpäin suuntautuva diffuusio tulee ottaa huomioon mm. erityistilojen, kuten kylmä- ja pakkasvarastojen, lämmittämättömien vapaa-ajanasuntojen sekä maanvastaisten seinien suunnittelussa.

Diffuusiolla jatkuvuustilassa kulkevan kosteuden määrä  $g$  ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ) ainekerroksen läpi voidaan laskea joko kaavalla (2.6) tai kaavalla (2.7)

$$g = \delta_v \cdot (\Delta v / \Delta x) \quad (2.6)$$

$\delta_v$  = vesihöyryn läpäisevyys ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\Delta v$  = kosteusero matkalla  $x$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\Delta x$  = diffuusiomatka (m)

$$g = \delta_p \cdot (\Delta p / \Delta x) \quad (2.7)$$

$\delta_p$  = vesihöyryn läpäisevyys ( $\text{kg}/\text{m sPa}$ )

$\Delta p$  = vesihöyryn osapaineen ero matkalla  $x$  (Pa)

$\Delta x$  = diffuusiomatka (m).

Vesihöyryn läpäisevyysarvojen  $\delta_v$  ja  $\delta_p$  välillä on seuraava yhteys

$$\delta_v = 461,4 (273 + t) \delta_p \quad (2.8)$$

$t$  = lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Luvussa 4 (taulukkoissa 4.1, 4.2, 4.3 ja 4.4) on esitetty eri rakennusaineiden vesihöyryn läpäisevyydelle  $\delta_p$  ja ainekerrosten vesihöyryn vastuksille  $Z_p$  likiarvoja. Kun rakenne koostuu useista homogeenisista ainekerroksista, saadaan sen läpi diffuusiolla jatkuvuustilassa kulkeva kosteusvirta  $g$  ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ) kaavasta (2.9) tai (2.10)

$$g = (v_s - v_u) / \sum Z_v \quad (2.9)$$

tai

$$g = (p_s - p_u) / \sum Z_p \quad (2.10)$$

$v_s, v_u$  = vesihöyrymäärät sisä- ja ulkoilmassa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$p_s, p_u$  = vesihöyryn osapaine sisä- ja ulkoilmassa (Pa)

$Z = d/\delta$  = eri ainekerrosten vesihöyryn vastus  $Z_v$  ( $\text{s}/\text{m}$ ) tai  $Z_p$  ( $\text{m}^2\text{sPa}/\text{kg}$ )

$d$  = homogeenisen ainekerroksen paksuus (m).

Laskelmissa tulee ottaa huomioon, että kosteussisältöön ja paineeseen perustuvien suureiden lukuarvot ovat erilaiset! Laskentaesimerkkejä löytyy mm. lähteistä /2/ ja /28/.

#### 2.4.2 Vesihöyryn konvektio /2, 52/

Rakenteessa ja rakenteen yli vaikuttavat **ilmanpaine-erot** aiheuttavat **ilmavirtauksia eli konvektiota**, jotka kuljettavat mukanaan kosteutta. Ilmavirtaukset kulkevat rakenteen läpi joko rakojen ja reikien kautta tai suotumalla huokoisen aineen lävitse. Ilmanpaine-eroja aiheuttavat tuuli, lämpötilaerot ja ilmanvaihtojärjestelmä. Konvektio vaikuttaa rakenteisiin kahdella eri tavalla.

- Ilma jäähtyy virratessaan sisältä ulos. Kosteus saattaa tästä syystä tiivistyä ja kerääntyä haitallisessa määrin rakenteeseen.
- Ilma lämpenee virratessaan sisälle päin. Virtaus kuivattaa rakennetta, koska ilman kosteuden sitomiskyky kasvaa. Ulkoilman virtaaminen rakenteiden läpi tai kautta voi kuitenkin jäädyttää niitä paikallisesti ja aiheuttaa sisäilman vesihöyryn kondenssia tai suhteellisen kosteuden haitallista nousua rakenteiden sisäpinnassa tai höyrynsulun sisäpinnassa.
- Konvektio heikentää myös rakenteiden lämmöneristyskykyä.

Rakenteissa, joiden ilmatiiviys on huono, voivat ilmavirtausten kuljettamat kosteusmäärät paikallisesti olla monikymmenkertaisia diffuusiolla kulkeutuvaan vesimäärään verrattuna. Rakenteen kannalta haitallinen tilanne syntyy, jos rakenteen yli vaikuttaa ylipaine sisältä ulospäin.

Jos raon tai reiän läpi virtaava ilmamäärä tunnetaan, saadaan kosteusvirta  $g$  (kg/s) kaavasta (2.11).

$$g = v \cdot R \quad (2.11)$$

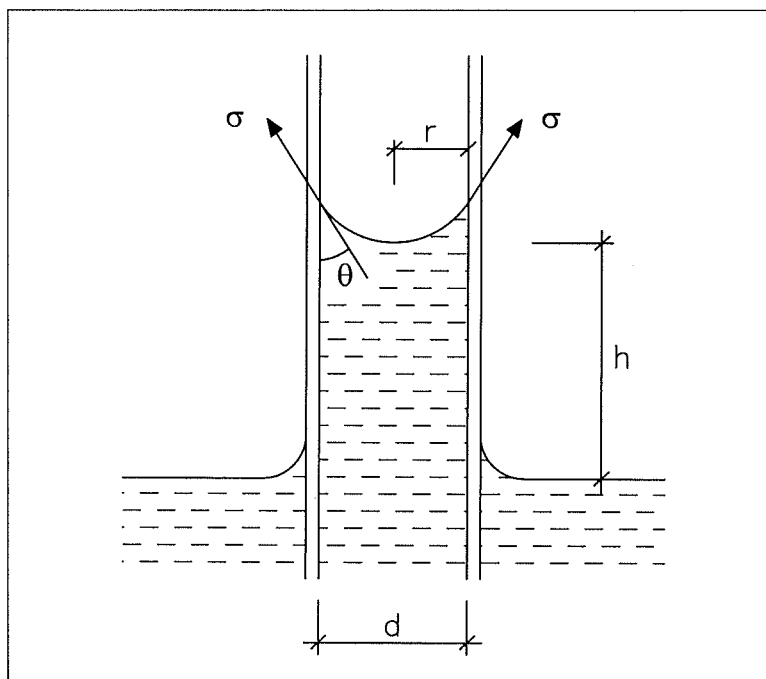
$v$  = ilman vesihöyrypitoisuus (kg/m<sup>3</sup>)

$R$  = läpi virtaava ilmamäärä (m<sup>3</sup>/s).

Reiän tai raon läpi virtaavien ilmamäärien  $R$  arviointitapaan vaikuttaa rakenteen paksuus. Kuvassa 2.13. on esitetty eri levyisten rakojen läpi virtaavan ilman määrä/jm eri ilman kokonaispaine-eroilla. Rako on 100 mm syvä, suora ja sileäpintainen. Lähteissä /2/ ja /28/ on esitetty laskentakaavoja eri paksuisille rakenteille sekä laminaarisilla että turbulentsilla virtauksilla. Samoissa lähteissä on esitetty laskentakaavat myös homogeenisista ilmaa läpäisevistä ainekerroksista koostuvan rakenteen läpi konvektiolla kulkeutuvalla kosteusvirralla. Ulkoseinärakenteessa huokoisessa materiaalissa tapahtuva konvektio on kuitenkin merkityksettömän pieni verrattuna rakojen ja reikien kautta tapahtuvaan konvektioon sekä diffuusion. Vuotoilmamääriä arvioitaessa on otettava huomioon se, mistä paine-ero johtuu ja onko se siten jatkuvaa, ajoittaista, lyhytaikaista jne. Kerroksellisessa rakenteessa rakojen aiheuttama ilmavirtaus riippuu myös siitä, mikä on rakenteen eri kerrosten merkitys



- $\sigma$  = pintajännitys (N/m)  
 $\theta$  = reunakulma  
 $r$  = kapillaariputken säde (m).



Kuva 2.14. Kapillaarinen imu pyöreässä putkessa.

Nestevirtausta aineen huokosverkoston läpi paine-eron alaisena voidaan kuvata yhtälöllä (2.13):

$$g = -\frac{1}{M} \cdot \frac{dP}{dz} \quad (2.13)$$

- $g$  = massavirran tiheys ( $\text{kg/m}^2\text{s}$ )  
 $M = 8\eta/r^2\rho$  = virtausvastus ( $\text{Ns/kgm}$ )  
 $dP/dz$  = painegradientti ( $\text{N/m}^2\text{m}$ )  
 $\eta$  = veden dynaaminen viskositeetti ( $\text{Ns/m}^2$ )  
 $r$  = huokossäde (m)  
 $\rho$  = veden tiheys ( $\text{kg/m}^3$ ).

Veden tunkeutumissyvyyden  $x$  (m) ja ajan  $t$  (s) välillä vallitsee seuraava yhteys:

$$x = B \cdot \sqrt{t} \quad (2.14)$$

- $t$  = aika (s)  
 $x$  = veden tunkeutumissyvyys (m)  
 $B$  = vedentunkeutumiskerroin ( $\text{m/s}^{1/2}$ ).

Vapaasta vedenpinnasta aineeseen tietyn ajan  $t$  (s) kuluessa imeytyvää vesimäärä  $m_s$  ( $\text{kg/m}^2$ ) voidaan kuvata yhtälöllä (2.15)

$$m_s = A \cdot \sqrt{t} \quad (2.15)$$

$A$  = kapillaarisuuskerroin ( $\text{kg/m}^2\text{s}^{1/2}$ ).

Imeytymisnopeus  $g$  ( $\text{kg/m}^2\text{s}$ ) saadaan yhtälöstä (2.16):

$$g = \frac{A}{2 \cdot \sqrt{t}} \quad (2.16)$$

Kapillaarisuuskerroin on likimain vakio tiettyyn kosteuspitoisuuteen, ns. vesikapasiteettiin asti. Taulukossa 2.4. on esitetty suuntaa antavia kapillaarisuuskertoimen  $A$  ja vedentunkeutumiskertoimen  $B$  arvoja eri materiaaleille. Myös lähteessä /58/ on esitetty mitattuja kapillaarisuuskertoimen arvoja eri rappaus/alustayhdistelmille.

**Taulukko 2.4.** Suuntaa antavia kapillaarisuuskertoimen  $A$  ja vedentunkeutumiskertoimen  $B$  arvoja /28/.

Aine	Tiheys $\text{kg/m}^3$	$A$ ( $\text{kg/m}^2 \text{s}^{1/2}$ )	$B$ $\times 10^{-3}$ ( $\text{m/s}^{1/2}$ )
Betoni $w/c = 0,3$	-	0,010	0,14
Betoni $w/c = 0,5$	-	0,020	0,17
Betoni $w/c = 0,7$	-	0,028	0,25
Kalkkiahiekkatiili	1800	0,18	0,8
Kalkkiahiekkatiili	1900	0,05	0,3
Poltettu tiili	1700	0,37	1,4
Poltettu tiili	1900	0,09	0,7
Kevytbetoni	500	0,08	0,4
Sementtilaasti	1900	0,03	0,5
Kalkkilaasti	1700	0,25	1,0
Puu syyn suuntaan	450	0,016	-
Puu syytä vastaan kohtisuoraan	450	0,004	-

Maaperän kapillaarivoimat nostavat vettä pohjavedenpinnan yläpuolelle. Tämä vesi ja maaperässä liikkuva vajovesi voivat imeytyä kapillaarisesti perustusrakenteisiin ja edelleen niiden kautta ulkoseinärakenteeseen. Kosteuden siirtyminen kapillaarisesti maaperästä rakenteeseen estetään yleensä **kapillaarisuuden katkaisevalla kerroksella**. Vesi voi siirtyä kapillaarisesti myös eri rakennusosien välillä, esimerkiksi betonirakenteista puurakenteisiin. Paikoissa, joissa vesi voi haitallisessa määrin siirtyä kapillaarisesti rakennusaineesta toiseen, tulee käyttää **kapillaarikatkosta materiaalien välillä**.

Kapillaarisesti imeytyvää vesimäärää arvioitaessa on otettava huomioon se, onko rakenteen vesikosketus jatkuvaa vai ajoittaista, ja mikä on näin ollen suurin mahdollinen imeytyvän veden määrä.

#### **2.4.4 Painovoimainen siirtyminen**

Painovoimainen virtaus on merkityksellisin suurihuukoissa aineilla ja sen merkitys vähennee huokoskoon pienetessä. Aineilla, joiden huokoskoko on alle 0,02 mm, painovoimainen virtaus on hyvin vähäistä. /51/

Ulkoseinärakenteeseen mahdollisesti päässyt runsas vuotovesi ja tiivistynyt kosteus kulkeutuvat painovoimaisesti alaspäin rakenteen ilmaraossa, muissa raoissa ja villatyypisissä lämmöneristeissä ja kertyvät seinien alaosiin, sokkeleihin ja vaakaliitosten, kuten ikkunoiden ja ovien, päälle. Tämän veden poistaminen rakenteesta tulee ottaa huomioon seinärakenteen ja sen liitosten suunnittelussa. Alaspäin kulkeutuvan veden määrään vaikuttaa myös se, miten nopeasti virtauskohtaan rajoittuvat rakennekerrokset pystyvät kapillaarisesti sitomaan vettä.

## **2.5 Kosteuden tiivistyminen ja haihtuminen**

### **2.5.1 Kosteuden tiivistyminen ja kertyminen rakenteeseen /2/**

Seinärakenteen lävitse kulkevasta vesihöyrystä osa tiivistyy vedeksi joutuessaan kosketuksiin sellaisen pinnan tai huokosseinämän kanssa, jonka lämpötila alittaa ilman kastepistelämpötilan. Tällöin kosteusvirrasta tiivistyy kyllästysvesimäärän ylittävä osuus. Kosteutta voi tiivistyä joko seinärakenteen pintaan tai rakenteen sisään.

Mahdollista kosteuden tiivistymistä tarkasteltaessa tulee ensin todeta, onko tiivistyminen mahdollista. Jos tiivistymistä ei sallita, tulee seinärakennetta ja/tai ympäristön olosuhteita muuttaa siten, että tiivistymistä ei pääse tapahtumaan. Jos taas tiivistyminen sallitaan, tulee määrittellä, miten paljon kosteutta rakenteeseen tiivistyy ja kuinka usein. Mikäli pinnan, johon kosteutta tiivistyy, imukyky on pieni, valuu pintaan tiivistynyt kosteus pintaa pitkin tai tippuu pinnasta alaspäin. Mikäli pinta taas imee kosteutta, kosteus kertyy materiaaliin lähelle pintaa. Tiivistymisen ollessa lyhytaikaista ei siitä yleensä ole mitään haittaa rakenteelle. Jatkuvasti toistuvan ja pitkäaikaisen tiivistymisen seurauksena voi pintaan syntyä hometta tai muita haittoja.

Ratkaisevia tekijöitä kosteuden tiivistymiselle seinärakenteen sisäpinnoille ovat rakenteen ja sisäpinnan lämmönvastukset, sisäilman kosteuspitoisuus ja ulkoilman lämpötila. Kolmeen ensimmäiseen voidaan vaikuttaa teknisin toimenpitein, viimeiseen ei lainkaan. Kosteuden tiivistyminen ulkoseinän sisäpintaan voidaan estää esim. lisäämällä ilmanvaihtoa tai nostamalla pintalämpötilaa esim. hyvällä lämmöneristyksellä. Runsasta tiivistymistä voi tapahtua yleensä hyvin toimiviin rakenteisiin pitkään jatkuvina pakkaskausina.

Kosteuspitoisuudet rakennuksen vaipan eri kohdissa vaihtelevat jatkuvasti. Tämä johtuu ympäröivien olosuhteiden suurista muutoksista. Seinärakenne ei saa olla sellainen, että sen kosteuspitoisuus vuosien mittaan kasvaa. Kosteusteknisissä tarkasteluissa tulee aina ottaa huomioon eri kosteuslähteiden vaikutus, ei pelkästään sisäilman kosteuden.

### **Diffuusion kondenssi /2, 28, 42/**

Diffuusiona siirtyvän kosteuden tiivistymistä voidaan yksinkertaisesti arvioida seuraavalla käsilaskentamenetelmällä. Diffuusiolaskelmissa mitoitusilmastona käytetään usein lämpötilan ja kosteus määrän kuukausikeskiarvoja. Laskelmissa tehdään yksinkertaistuksia, jotka saattavat vaikuttaa lopputulosten tarkkuuteen. Laskelmissa jätetään huomioon ottamatta mm. aineiden kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta, muut kosteuden siirtymismuodot, kosteuden- ja lämmönsiirtymisen vaikutus toisiinsa ja tuuletusrakojen vaikutus. Lisäksi ympäristöolosuhteet otetaan huomioon varsin karkeasti. Laskentamenetelmä perustuu jatkuvuustilan tapaukseen, jossa kosteusvirran ja laskennan reunaehtojen oletetaan olevan ajan suhteen vakioita.

Laskentamenetelmä soveltuu seinärakenteen keskimääräisten kosteusolosuhteiden tarkasteluun pitkällä ajanjaksolla. Se antaa kuitenkin joihinkin käyttöolosuhteisiin nähden liiaksi epävarmalla puolella olevia tuloksia. Suositeltavampaa olisi käyttää pidemmällä ajanjaksolla esiintyviä riskialttiimpia rasisolosuhteita sekä selvittää rakenteen kuivumista mahdollisimman epäsuotuisissa olosuhteissa.

Käytännössä useimpien rakenteiden kosteustila on jatkuvasti dynamisessa muutostilassa. Jos halutaan esimerkiksi tarkastella kosteusolosuhteiden vaihtelua lyhyellä ajanjaksolla, kuten eri vuorokaudenaikoina, tulee tapausta käsitellä epästationääritilassa, jolloin kosteusvirta ei ole ajan suhteen vakio. Kosteuden eri siirtymismuotojen samanaikaisuus ja epästationäärinen luonne aiheuttavat sen, että tarkkoja laskelmia pystytään toistaiseksi tekemään vain tutkimuskäyttöön tarkoitetuilla kehittyneillä malleilla ja ratkaisumenetelmillä /52/. Kosteuden siirtymistä epästationääritilassa on käsitelty mm. lähteessä /28/.

Käsilaskennassa jaetaan vuosi kahteen osaan: tiivistymisjaksoon ja kuivumisjaksoon. Tiivistymisjakson pituudeksi valitaan esim. 60 vrk ja ilmastoparametreiksi vuoden kahden kylmimmän kuukauden keskiarvot. Kuivumisajanjakso valitaan yhtä pitkäksi. Ulkoseinissä käytetään ulkoilman lämpötilana vuoden kahden lämpimimmän kuukauden keskiarvoja. Tiivistymislaskelmissa tulee ilmetä, kuinka paljon kosteutta tiivistyy tiivistymisajanjaksona ja mihin kohtaan. Vastaavan kosteus määrän on poistuttava tiivistyneestä kohdasta kuivumisajanjakson aikana. Kastumis- ja kuivumistarkasteluja voidaan luonnollisesti tehdä tarpeen mukaan muillekin olosuhteille ja ajanjaksoille, tarkastelun tavoitteista riippuen.



Vesihöyryn osapaine ja lämpötila rakenteen mielivaltaisessa kohdassa  $x$  saadaan kaavoista (2.17) ja (2.18)

$$p_x = p_s - \frac{\sum Z_x}{\sum Z} \cdot (p_s - p_u) \quad (2.17)$$

$$t_x = t_s - \frac{\sum R_x}{\sum R} \cdot (t_s - t_u) \quad (2.18)$$

- $p_x$  = vesihöyryn osapaine kohdassa  $x$  (Pa)  
 $\sum Z_x$  = sisäpinnasta kohtaan  $x$  olevien kerrosten vesihöyryn vastusten summa (m<sup>2</sup>sPa/kg)  
 $\sum Z$  = koko rakenteen vesihöyryn vastus (m<sup>2</sup>sPa/kg)  
 $p_s, p_u$  = vesihöyryn osapaineet sisä- ja ulkoilmassa (Pa)  
 $t_x$  = lämpötila kohdassa  $x$  (°C)  
 $\sum R_x$  = lämmönvastus sisäpinnasta kohtaan  $x$  (m<sup>2</sup>°C/W)  
 $\sum R$  = koko rakenteen lämmönvastus (m<sup>2</sup>°C/W)  
 $t_s, t_u$  = sisä- ja ulkoilman lämpötilat (°C).

Lämmönvastus  $R$  voidaan laskea kaavasta (2.19)

$$R = d / \lambda \quad (2.19)$$

- $d$  = ainekerroksen paksuus (m)  
 $\lambda$  = aineen lämmönjohtavuus (W/m°C).

Tavallisimpien rakennusmateriaalien normaalisen lämmönjohtavuuden arvoja löytyy esim. Suomen rakentamismääräyskokoelman lämmöneristysohjeista /25/.

Jos tiivistyminen tapahtuu ainekerrosten välisessä rajapinnassa  $x$ , rakenteeseen jäävää kosteutta  $g_{tiiv}$  (kg/m<sup>2</sup>s) voidaan arvioida kaavalla (2.20)

$$g_{tiiv} = \frac{p_s - p_x}{\sum Z_x} - \frac{p_x - p_u}{\sum Z - \sum Z_x} \quad (2.20)$$

- $p_x$  = vesihöyryn osapaine kohdassa  $x$  (Pa)  
 $p_s, p_u$  = vesihöyryn osapaineet sisä- ja ulkoilmassa (Pa)  
 $\sum Z$  = koko rakenteen vesihöyryn vastus (m<sup>2</sup>sPa/kg)  
 $\sum Z_x$  = sisäpinnasta kohtaan  $x$  olevien kerrosten vesihöyryn vastusten summa (m<sup>2</sup>sPa/kg).

Tiivistymispinnassa vesihöyryn osapaine on kyseisen lämpötilan mukainen kyllästyspaine. Kaavan ensimmäinen termi kuvaa sisältä rakenteeseen tulevaa ja tiivistyvää kosteutta. Jäl-

kimmäinen termi kuvaa kosteusmäärää, joka samanaikaisesti diffundoituu tiivistymiskohdasta ulos. Näiden erotus kuvaa seinään jäävää kosteusvirtaa. Tiivistymisajanjaksona  $t_{tiiv}$  ulkoseinärakenteeseen kerääntynyt kosteusmäärä  $G_{tiiv}$  ( $\text{kg/m}^2$ ) on

$$G_{tiiv} = g_{tiiv} \cdot t_{tiiv} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} g_{tiiv} &= \text{rakenteeseen aikayksikössä kerääntyvä kosteus (kg/m}^2\text{s)} \\ t_{tiiv} &= \text{tiivistymisajanjakso (s)}. \end{aligned}$$

Kuivumiskautena rakenteesta aikayksikössä poistuva kosteus  $g_{kuiv}$  ( $\text{kg/m}^2\text{s}$ ) saadaan kaavasta (2.22)

$$g_{kuiv} = \frac{p_x - p_u}{\sum Z - \sum Z_x} + \frac{p_x - p_s}{Z_x} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} p_x &= \text{vesihöyryn osapaine kohdassa } x \text{ (Pa)} \\ p_s, p_u &= \text{vesihöyryn osapaineet sisä- ja ulkoilmassa (Pa)} \\ \sum Z &= \text{koko rakenteen vesihöyryn vastus (m}^2\text{sPa/kg)} \\ \sum Z_x &= \text{sisäpinnasta kohtaan } x \text{ olevien kerrosten vesihöyryn vastusten summa} \\ &\quad \text{(m}^2\text{sPa/kg)}. \end{aligned}$$

Ensimmäinen termi kuvaa kuivumista tiivistymiskohdasta ulospäin ja jälkimmäinen termi kuivumista tiivistymiskohdasta sisään päin. Jos kuivumiskautenakin sisäilma on kosteampaa kuin tiivistymispinnan lämpötilaa vastaava kyllästyskosteus, kulkeutuu kosteus sisältä tiivistymispintaan päin. Kuivumisjakson  $t_{kuiv}$  aikana rakenteesta poistuva kosteusmäärä  $G_{kuiv}$  ( $\text{kg/m}^2$ ) saadaan kaavasta (2.23)

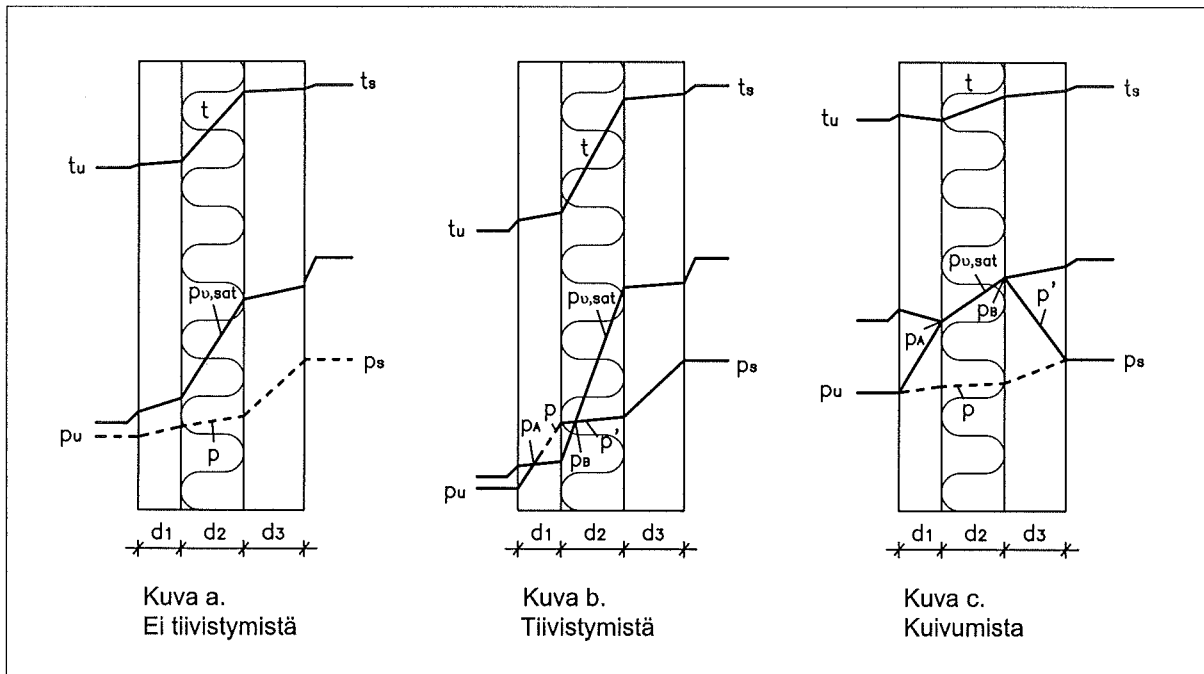
$$G_{kuiv} = g_{kuiv} \cdot t_{kuiv} \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} g_{kuiv} &= \text{rakenteesta aikayksikössä poistuva kosteus (kg/m}^2\text{s)} \\ t_{kuiv} &= \text{kuivumisajanjakso (s)}. \end{aligned}$$

Laskelmat voidaan laskea seuraavassa järjestyksessä /2/:

1. Sovitaan laskelmissa käytettävät ilmastolliset parametrit: lämpötilat ja vesihöyryn osapaineet rakenteen molemmilla puolilla.
2. Selvitetään aineominaisuuksien numeroarvot: lämmönjohtavuudet  $\lambda_n$  ja vesihöyryn läpäisevyydet  $\delta_p$  ja lasketaan tarvittavat vastukset.
3. Lasketaan lämpötilan jakauma rakenteessa kaavalla (2.18).
4. Lasketaan lämpötiloja vastaavat vesihöyryn kyllästyspaineet.
5. Lasketaan vesihöyryn osapaineen jakauma rakenteessa kaavalla (2.17).
6. Verrataan keskenään vesihöyryn kyllästyspaineen  $p_{v,sat}$  ja vesihöyryn osapaineen  $p$  arvoja. Jos  $p < p_{v,sat}$  jokaisessa kerroksessa, tiivistymistä ei tapahdu. Jos  $p > p_{v,sat}$  (mikä on fysikaalinen mahdottomuus) jossakin tai joissakin kerroksissa, se on osoitus tiivistymisestä.

7. Tulos esitetään myös graafisesti. Pystyakselilla on lämpötila ja vesihöyryn osapaine, vaaka-akselilla rakennekerrosten paksuudet. Jos vesihöyryn osapainekäyrä  $p$  leikkaa kyllästyspaineikäyrän  $p_{v,sat}$ , tapahtuu tiivistymistä. Koska  $p$  ei voi olla suurempi kuin  $p_{v,sat}$ , täytyy  $p$ -käyrää muuttaa. Muutettu käyrä  $p'$  tulee sivuta  $p_{v,sat}$  käyrää. Rakenteesta riippuen voi syntyä kaksi sivuamispistettä A ja B tai ne voivat yhtyä yhteen tasoon. Tiivistyminen ei tapahdu huokoisen aineen, kuten mineraalivillan, diffuusiolaskelmalla saadussa kastepisteessä vaan ensimmäisessä tiiviissä kylmässä pinnassa, kuten ulko-verhouksen sisäpinnassa.
8. Lasketaan tiivistyneen kosteuden määrä kaavalla (2.21)
9. Jos tiivistymistä esiintyy, lasketaan vastaavalla tavalla kuivumisajanjaksona poistunut kosteusmäärä.
10. Verrataan tiivistyneen kosteuden  $G_{tiiv}$  ja poistuneen kosteuden  $G_{kuiv}$  määriä.  $G_{kuiv}$  tulee olla selvästi suurempi kuin  $G_{tiiv}$ .



Kuva 2.15. Laskentatulosten esittäminen graafisesti /2/.

Menetelmällä voidaan arvioida muitakin kosteusvirtoja kuin sisäilman kosteuden kulkeutumista diffuusiolla. Esimerkiksi voidaan tarkastella rakennuskosteuden tai putkivuodosta aiheutuneen kosteusvaurion kuivumista diffuusiolla. Tarkasteluissa voidaan olosuhde- ja aineparametrejä muuttamalla tutkia rakenteen herkkyyttä kosteuden tiivistymisen suhteen.

### Konvektion kondenssi /57/

Kosteudensiirto konvektion avulla tapahtuu ensisijaisesti raoissa ja rei'issä. Ulkoseinärakenteita, joissa konvektiosta aiheutuva kondenssi on merkittävää, ovat mm. puu- ja teräsrunkoiset ulkoseinät. Ilmavuodoille herkkiä kohtia ovat lisäksi elementtien väliset saumat sekä eri rakennusosien liitokset. Ilmavuotojen sisältämän kosteuden tiivistyminen rakenteeseen riippuu

- rakenteeseen virtaavan ilman kosteuspitoisuudesta
- ulkoilman lämpötilasta
- ilmavirtauksen jäähtymisestä rakenteen sisällä
- ilmavirtauksen kosteuspitoisuuden tasaisuudesta.

Pitkinä pakkaskausina on mahdollista, että paikallisiin ilmavuotokohtiin kertyy runsaasti jäätä, joka myöhemmin sulaaessaan aiheuttaa ”vesivuodon” kaltaisen haitan.

Kondenssin määrä on vaikeasti arvioitavissa. Esimerkiksi reiän läpi virtaavasta kosteudesta ehkä vain osa tiivistyy ja loppu kulkee lävitse. Maksimaalinen kondenssi voidaan arvioida aiemmin esitetyllä kaavalla (2.11).

### 2.5.2 Seinärakenteen kuivuminen /2, 19, 23/

Ulkoseinät kastuvat ensisijaisesti viistosateen vaikutuksesta. Tavanomaisten seinien kastuminen diffuusion tai konvektion vaikutuksesta on viistosateeseen verrattuna pieni. Seinän kuivuminen sateen jälkeen riippuu ilman suhteellisesta kosteudesta, tuulesta sekä auringsäteilyn aiheuttamasta lämpötilaerosta julkisivupinnan ja ulkoilman välillä. Nämä taas riippuvat mm. vuodenajasta ja ilmansuunnasta. Kuivuminen on paljon hitaampaa kuin kostuminen ja tapahtuu pääasiassa ulospäin. Kuivuminen voidaan jakaa kahteen vaiheeseen.

**Ensimmäisessä vaiheessa** seinärakenteen ulkopinta on kostea (pintaan rajoittuvissa huokosissa ilman suhteellinen kosteus 100%) ja kuivumisnopeus pysyy lähes vakiona. Kuivumisnopeus voidaan arvioida kaavan (2.24) avulla

$$g = \beta \cdot (\nu_{sp} - \nu_u) \quad (2.24)$$

- $g$  = haihtuva kosteus aikayksikössä ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ )  
 $\nu_{sp}$  = vesihöyrypitoisuus pinnan huokosilmassa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $\nu_u$  = vesihöyrypitoisuus ulkoilmassa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $\beta$  = veden siirtymäkerroin pinnalla

$$\beta = h_{ko} / \rho \cdot c \quad (2.25)$$

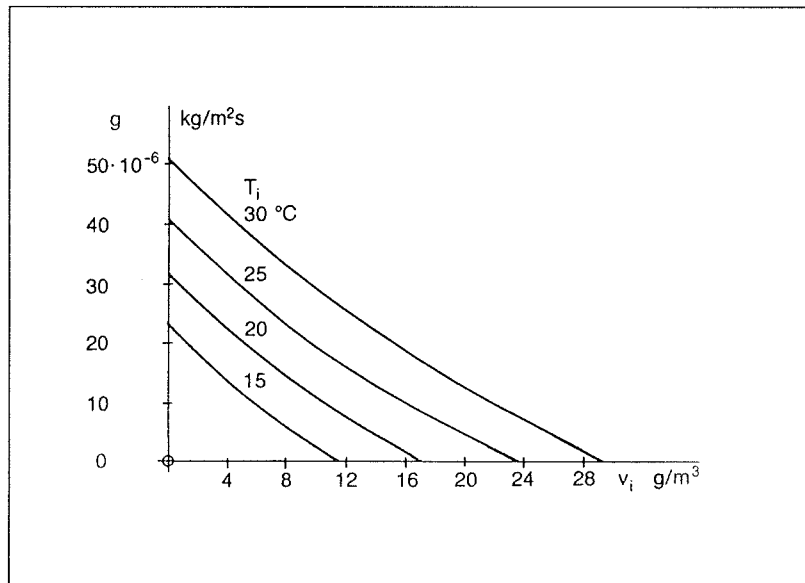
- $h_{ko}$  = pinnan konvektiivinen lämmönsiirtymiskerroin ( $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ )  
 $\rho$  = ilman tiheys ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $c$  = ilman ominaislämpö ( $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ).

Vesihöyrypitoisuus pinnassa  $\nu_{sp}$  vastaa pinnan lämpötilan mukaista kyllästyskosteutta. Pinnan lämpötila saadaan kaavasta (2.26)

$$t_{up} = \frac{a \cdot I + t_s / R_o + h_u \cdot t_u - r \cdot g}{1 / R_o + h_u} \quad (2.26)$$

- $a$  = pinnan absorptiokerroin lyhytaaltoiselle säteilylle  
 $I$  = lyhytaaltoisen säteilyn teho ( $\text{W}/\text{m}^2$ )  
 $h_u$  = ulkopinnan lämmönsiirtymiskerroin ( $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ )  
 $t_s, t_u$  = sisä- ja ulkolämpötilat ( $\text{°C}$ )  
 $R_o$  = rakenteen lämmönvastus sisäpinnasta ulkopintaan ( $\text{m}^2\text{°C}/\text{W}$ )  
 $r$  = höyrystymislämpö ( $\text{J}/\text{kg}$ )  
 $g$  = haihtuva kosteusvirta ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ).

Jotta pinta voisi olla pitkään kostea, rakenteen kosteuspitoisuuden täytyy ylittää kriittinen kosteuspitoisuus. Tällöin kosteus voi liikkua kapillaarisena nestevirtauksena pintaa kohti. Pinta pysyy kosteana sitä kauemmin, mitä nopeammin vesi voi liikkua aineen kapillaarihuokosverkostossa. Niin kauan kun pinta pysyy kosteana, kuivuminen on nopeaa. Esimerkiksi suurihuokosinen tiili kuivuu pääasiassa ensimmäisen vaiheen mukaan. Auringon säteily vaikuttaa huomattavasti seinän kuivumiseen. Kuvassa 2.16. on esitetty ykkösvaiheen kuivumisnopeus ympäröivän ilman lämpötilan  $t_i$  ja kosteuspitoisuuden  $v_i$  funktiona.



**Kuva 2.16.** Ykkösvaiheen kuivumisnopeus ympäröivän ilman lämpötilan  $t_i$  ja kosteuspitoisuuden  $v_i$  funktiona /28/.

Kun kuivuminen on edennyt niin pitkälle, että kapillaarinen nestevirtaus ei enää riitä pitämään pintaa kosteana, rakenteen pinnan kosteus pyrkii asettumaan tasapainoon ulkoilman kosteuden kanssa. Tällöin kosteuden siirto tapahtuu rakenteen sisältä pinnalle ja edelleen ulos diffuusion avulla. **Toisen vaiheen** aikana kuivumisnopeus ei pysy vakiona, vaan pienenee jatkuvasti. Tämä johtuu siitä, että kun kostea rintama siirtyy yhä syvemmälle rakenteeseen, diffuusiomatka ja -vastus kosteasta rintamasta ulkoilmaan kasvavat jatkuvasti. Kuivumisnopeuteen vaikuttavat rakenteen mitat, materiaaliominaisuudet sekä rakenteen ja ympäristön kosteus- ja lämpötilaolosuhteet. Kosteuden kulkeutuminen betonissa, jonka

huokokset ovat pieniä, on hidasta. Tällöin rakenteen pinta asettuu pian tasapainoon ulkoilman kosteuden kanssa. Betonin kuivuminen tapahtuukin lähinnä toisen vaiheen mukaisesti.

**Betonin rakennuskosteuden kuivuminen** voidaan jakaa haihtumiskuivumiseen ja sitoutumiskuivumiseen. **Haihtumiskuivumisella** tarkoitetaan veden siirtymistä diffuusion ja kapillaarijohtumisen vaikutuksesta kappaleen sisältä rajapintaan, josta se haihtuu ympäristöön. Kuivumisen alkuvaiheessa kapillaarihuokokset muodostavat yhtenäisen kapillaariverkoston, jolloin betonin läpäisevyys ja siten haihtumiskuivumisen osuus on suuri. Betonisandwich-rakenteen kosteuspitoisuus on aluksi ylihygroskooppisella alueella. Sisäkuori voi tällöin kuivua molempiin suuntiin, ulkokuori kuivuu ulospäin. Kun elementin kosteuspitoisuus laskee hygroskooppiselle alueelle, rakenteen kuivuminen tapahtuu diffuusiolla alemman vesihöyryn osapaineen suuntaan eli normaalisti sekä sisä- että ulkokuori kuivuvat ulospäin.

**Sitoutumiskuivumisella** tarkoitetaan veden sitoutumista betoniin sementin ja veden välisen kemiallisen reaktion, hydratoitumisen, kautta. Sementin hydratoituessa betonin huokosrakenne muuttuu. Kapillaarihuokosten tilavuus pienenee hydratoitumisen edetessä ja betonista tulee tiiviimpää, jolloin veden siirtyminen hidastuu. Betonin huokosrakenteen muuttumisen myötä myös betonin läpäisevyys ja siten myös kosteudensiirtokyky muuttuvat. Tämä on eräs syy siihen, että vanhan betonin kuivuminen on huomattavasti hitaampaa kuin uuden betonin.

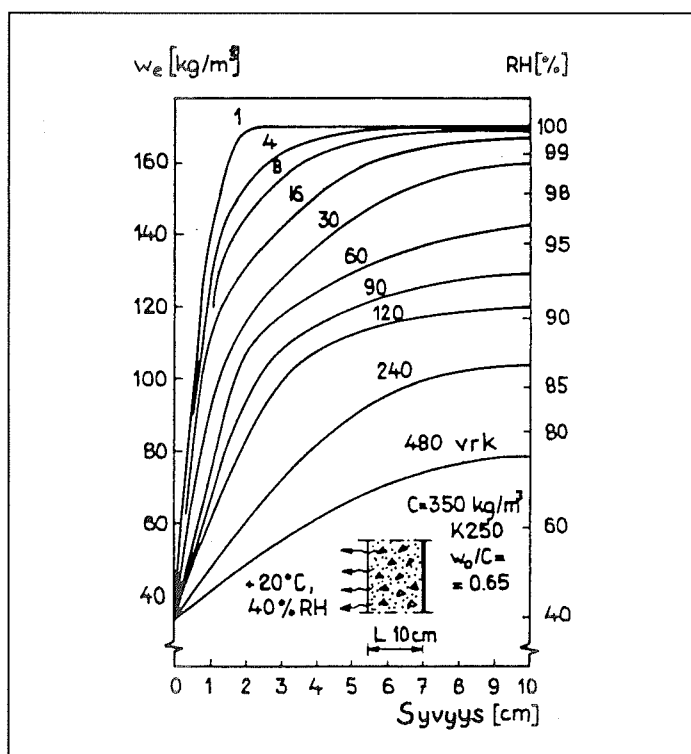
Betonin kuivumisnopeus riippuu merkittävästi **betonin koostumuksesta** ja etenkin **vesisementtisuhteesta**. Kun vesisementtisuhte on alhainen, suuri osa valmistusvaiheessa lisätystä vedestä sitoutuu kemiallisesti tai fysikaalisesti sementin hydratoituessa. Ylimääräisen haihtuvan veden määrä jää tällöin pieneksi, joten useimmissa tapauksissa alhaisen vesisementtisuhteen omaava betoni kuivuu nopeammin kuin korkean vesisementtisuhteen omaava, vaikka betonin vesihöyryn läpäisy onkin pienempi. Ylimääräisen kosteuden määrää rakenteessa lisää kuitenkin rakennusaikana sinne pääsevä sadevesi.

Korkealujuusbetonissa (>K60) kemiallisesti ja fysikaalisesti sitoutuneen veden määrä on niin suuri, että tasapainokosteuspitoisuus 90 %:n suhteellisessa kosteudessa saavutetaan ilman kosteuden haihtumista eli betoni kuivuu ”sisäänpäin”. Nykyisin käytössä olevat nopeasti kuivuvat betonit kuivuvat 2 – 3 kertaa tavanomaista betonia nopeammin. Niiden kuivumisominaisuudet perustuvat tavanomaista suurempaan sementtimäärään, jolloin valtaosa betonin seosvedestä kuluu hydrataatioreaktioon sementin kanssa, ja lisäaineisiin, jotka edesauttavat tehokkaasti veden haihtumista betonista.

Betonin alkuperäistä vesimäärää voidaan vähentää käyttämällä notkistavia lisäaineita. Tavallisessa betonissa notkistamisen aiheuttama vesisementtisuhteen pieneneminen tiivistää betonia, jolloin betonin läpäisevyys alenee ja veden haihtuminen hidastuu. Toisaalta esimerkiksi sadeveden imeytyminen tiiviiseen betoniin on huomattavasti vähäisempää kuin korkean vesisementtisuhteen omaavaan betoniin.

Myös **kuivumisolosuhteilla** on suuri vaikutus betonin kuivumisnopeuteen. Ympäristön lämpötila, suhteellinen kosteuspitoisuus ja ilman virtaus vaikuttavat siihen, miten nopeasti betonirakenteen pinnalla oleva kosteus haihtuu ja rakenteen sisällä oleva kosteus siirtyy pintaan. Lämpötilan noustessa ilman suhteellinen kosteus pienenee, jos vesihöyrymäärä pysyy vakiona. Tällöin betonia ympäröivän ilman kyky vastaanottaa kosteutta kasvaa. Betoniulkoseinässä betonin lämpötilan kohotessa esimerkiksi auringon säteilyn vaikutuksesta vesihöyryn osapaine rakenteen sisällä kasvaa. Samalla betonin vesihöyrynläpäisevyys lisääntyy. Nämä tekijät yhdessä edesauttavat betonin nopeampaa kuivumista. Kuivumista edistää huomattavasti betonin ympäristöä korkeampi lämpötila.

Muita betonin kosteuden kuivumisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat **rakennepaksuus** ja rakenteen **pinnoittaminen**. Betonisandwich-elementin sisäkuoren tiivis pinnoittaminen aikaisin pidentää kuivumisaikaa, koska kuivuminen sisätilaan päin hidastuu merkittävästi. Mikäli ulkokuori pinnoitetaan tiiviillä pinnoitteella, rakenteesta ulospäin kulkeutuva kosteus kerääntyy pinnoitekerroksen alle ja voi aiheuttaa pinnoitteen irtoamista ja lohkeilua. Jos pinnoite on vesihöyryä hyvin läpäisevä, rakenne pääsee pinnoittamisen jälkeenkin kuivumaan ja saavuttaa ajan kuluessa ympäristön kanssa saman suhteellisen kosteuspitoisuuden.



**Kuva 2.17.** Laskennallinen kosteusjakauma 100 mm paksussa betonilevyssä, joka pääsee kuivumaan yhteen suuntaan. Pystyakselilla ovat kosteuspitoisuus  $w_e$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] ja suhteellinen kosteus RH [%], vaakakselilla on rakenteen paksuus [cm] /32/.

Kuvassa 2.17. on esitetty Nilssonin /32/ esittämään laskentamalliin perustuva kosteuden jakautumisen muuttuminen 100 mm paksussa betonilevyssä, joka pääsee kuivumaan yhteen suuntaan. Betonin lujuusluokka on K25 ja vesisementtisuhte 0,65. Kuivattavan ilman lämpötila on  $+20^\circ\text{C}$  ja suhteellinen kosteus 40%. Laskelmissa on oletettu, että kuivuminen

alkaa kuukauden kuluttua valusta. Kuvassa näkyvät keskimääräiset kosteuspitoisuudet ja vastaavat suhteellisen kosteuden arvot.

Ulkoseinärakenteisiin jätetään yleensä **tuuletusrako**, jonka tehtävä on poistaa ylimääräinen kosteus rakenteesta ilmavirtausten avulla. Tämä voi tapahtua ainoastaan sellaisessa ilmaraossa, joka on avoin eli yhteydessä ympäristöön. Suljetussa ilmaraossa ilma kiertää ainoastaan raossa ja pystyy kuljettamaan kosteutta vain ilmaraon sisällä.

Tuuletuksella poistuva kosteusmäärä riippuu ilmavirran suuruudesta sekä ilman sitomasta kosteudesta. Tuuletusraon ilmavirtaukseen vaikuttavat painesuhteet tuuletuskanaviston eri osien välillä (mm. tuulen paine ja terminen konvektio), kanaviston virtaustekniset ominaisuudet (dimensiot, pintojen laatu) ja ilman sisään- ja ulostulojärjestelyt. Tuuletusrako pystyy poistamaan kosteutta rakenteesta vain jos tuuletusraossa virtaavan ilman vesihöyrypitoisuus on pienempi kuin vesihöyrypitoisuus rakenteen haihduttavalla pinnalla. Tuuletusraon lämpötila ja tuuletusrakoon tulevan ilman lämpötila vaikuttavat merkittävästi siihen, toimiiko tuuletusrako rakennetta kuivattavasti vai tuleeko tuuletusraon kautta lisää kosteutta rakenteeseen. Jos tuuletusraossa ilma lämpenee, sen kosteudensitomiskyky kasvaa ja siten rakenne kuivuu tehokkaammin. Lämpeneminen saa aikaan myös termisen konvektion, jolloin ilma liikkuu paremmin pystysuorissa ja viistoissa raoissa. Tästä syystä esim. auringon säteily tehostaa tuulettumista voimakkaasti. Jos taas sisään virtaava ilma on lämpimämpää kuin tuuletusraossa oleva ilma, kuivuminen voi estyä tai kosteus voi jopa tiivistyä tuuletusraossa rakenteen pintaan.

Tuuletusraosta poistuvan ilman kosteuspitoisuus ei ylitä tuuletusraossa olevan ilman kylästyspitoisuutta. Tuuletusraon toiminnan selvittämiseksi on tunnettava tuuletusraon ilmavirtaukset, ilman ja rakenteen lämpötilat ja kosteuspitoisuudet. Käsilaskentamenetelmää on käsitelty mm. lähteissä /2, 19, 28/.

Tuulettuminen on tehokkainta yhtenäisessä tuuletusraossa. Tuuletusrurien tihentäminen kasvattaa lähes lineaarisesti kosteudenpoistokykyä urien sijaitessa ulkoseinärakenteen ulkoverhousta (esim. betoniulkokuorta) vasten. Ilman virtaus tuuletusrurissa riippuu urien hydraulisista halkaisijoista tuuletusjärjestelmän eri osissa sekä ilmanpaine-eroista ilman tulo- ja poistokohdissa. Tuulettuvissa rakenteissa tuuletuskanaviston ilmanvaihtuvuuteen vaikuttavat kanaviston rakenne ja sijainti, ilmanpaine-erot sekä tulo- ja poistoilma-aukkojen järjestelyt. Tulo- ja poistoilma-aukkojen dimensiot vaikuttavat eniten ilmanpaine-erojen ollessa pieniä. Ilman vaihtuvuus on huomattavasti parempi yhtenäisellä tulo- ja poistoilmaraolla verrattuna erilaisiin tuuletusputkiratkaisuihin. Laskentatulosten mukaan yhtenäisellä 5 mm tuuletusraolla on ilmanvaihtuvuus 15 – 20-kertainen verrattuna eri tuuletusputkiratkaisuihin 5 Pa:n ilmanpaine-erolla. /8/

Erilaisilla pinnoitteilla on suuri vaikutus sekä rakenteen kastumiseen että kuivumiseen. Pinnoitteiden veden imeytymisominaisuudet ja vesihöyryn läpäisyvaihtelevat pinnoitteen tyyppin ja tuotteen mukaan.



## 2.6 Kosteuden haittavaikutuksia /19, 36, 37, 51, 52/

Rakenteiden sisältämä kosteus voi aiheuttaa monenlaisia ilmiöitä, joista useimmat ovat rakenteiden kestävyys- tai toimivuuden kannalta haitallisia. Monet turmeltumisilmiöt voivat tapahtua vain kosteuden ollessa tietyn rajan, kriittisen kosteuden, yläpuolella. **Kriittisellä kosteudella** tarkoitetaan siis kosteuspitoisuuden ylärajaa, jolla jokin rakennusaine toimii tyydyttävästi pitkiäkin aikoja. Se ilmaistaan yleensä suhteellisena kosteutena.

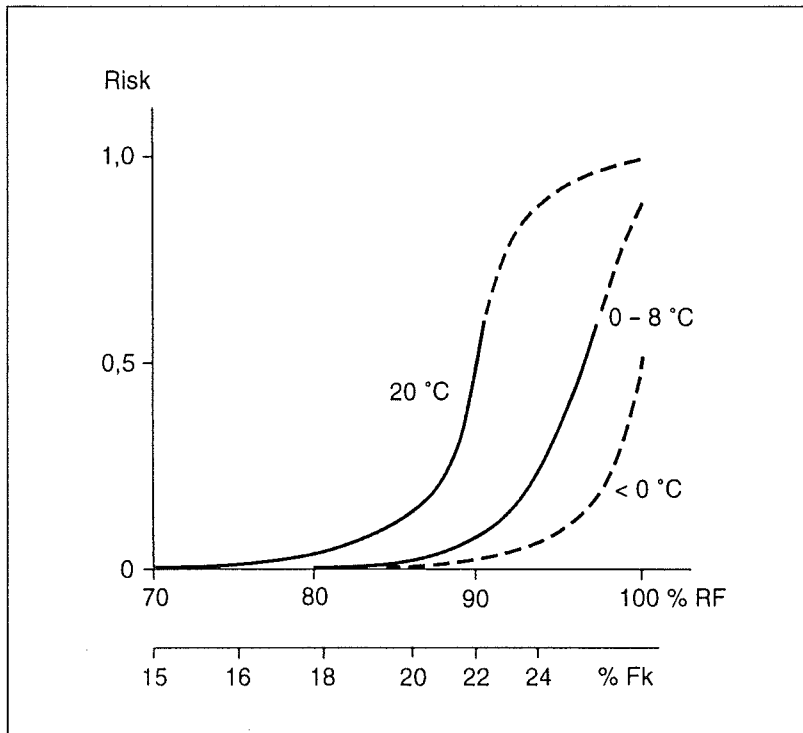
Rasitusten hallinta on keskeinen osa kestävyysuunnittelua. Mahdollisten **turmeltumisilmiöiden** etenemistä voidaan usein rajoittaa suunnittelemalla rakenne siten, että eri materiaalien kannalta haitallisten rasitusten ja rasitusyhdistelmien intensiteetti ja vaikutusaika minimoidaan. Rakenteen epäjatkuvuuskohdat suunnitellaan ottaen huomioon niissä vaikuttavat poikkeukselliset rasitusolosuhteet. Rakenteen sisäistä rasitustasoa voidaan säädellä myös erilaisilla suojauksilla, kuten veden-, kosteuden- ja lämmöneristyksillä. Vanhoissa rakenteissa vaurioituminen voidaan saada pysähtymään tai hidastumaan merkittävästi, kun vähennetään rakenteeseen kohdistuva kosteusrasitus kriittisen tason alapuolelle.

**Kosteuden vaikutusmuodot** voidaan vaikutusmekanismin perusteella jakaa viiteen pääryhmään: kemiallinen, fysikaalinen, biologinen, sähkökemiallinen ja esteettinen vaikutus. Useat kosteuden vaikutukset ovat sekä kosteuspitoisuudesta että ajasta riippuvia. Kosteuden aiheuttamia vaurioita tai haittoja ovat mm. lahoaminen, homehtuminen, pakkasvauriot, jäätyminen, korroosio, kosteusmuodonmuutokset, lujuusominaisuuksien ja lämmöneristävyyden heikkeneminen, suolojen kulkeutuminen ja väriviat. Seuraavassa on käsitelty kosteuden tavallisimpia vaikutuksia luettelomaisesti.

**Rakennusmateriaalin pakkasenkestävyys** riippuu sekä ympäristötekijöistä että aineiden ominaisuuksista. Vaikuttavia seikkoja ovat mm. ympäristön lämpötilan muutokset (toistuva sulaminen, jäätyminen), rakenteen kosteuspitoisuus, rakennusaineiden huokosrakenne ja lujuus. Kriittinen vedellä kyllästysaste tarkoittaa aineen sellaista vesipitoisuutta (osuutta huokostilavuudesta), jonka alapuolella pakkasvaurioita ei synny. Tavallisilla kiviainesmateriaaleilla kriittinen vedellä kyllästysaste on yleensä välillä  $S_{cr} = 0,80 - 0,90$ .

Rakenteeseen tunkeutuva kosteus sekä rakenteiden ja materiaalien kuivuminen, etenkin puurakenteissa, aiheuttavat **muodonmuutoksia**, jotka on otettava huomioon rakenteen suunnittelussa. Rakennustarvikkeiden kiinnitykseen ja eri materiaalien yhteensopivuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

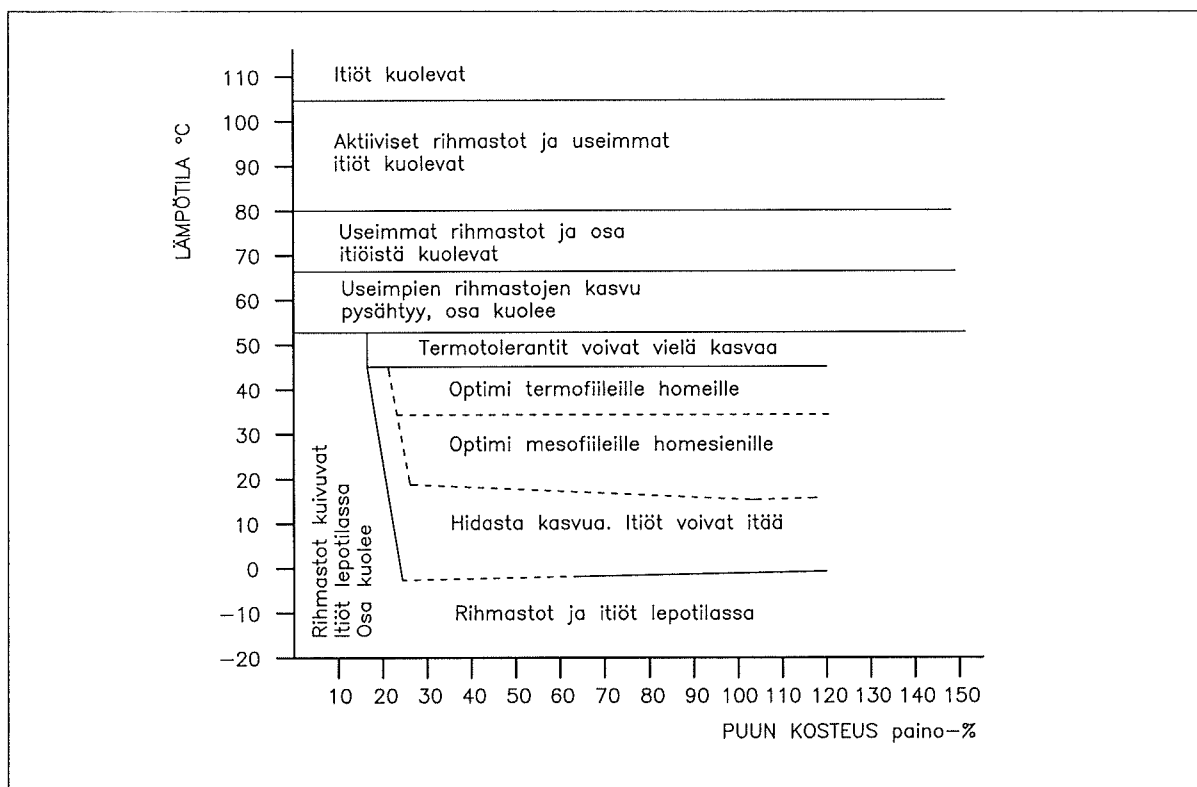
Ulkoseinä-rakenteessa oleva kosteus voi aiheuttaa esimerkiksi rakenteessa olevan pinnoitteen sideaineen vaurioitumisen ja pinnan irtoamisen. Kosteus voi lisäksi vaikuttaa haitallisesti rakennustarvikkeiden lujuuteen ja lämmöneristeiden lämmöneristyskykyyn.



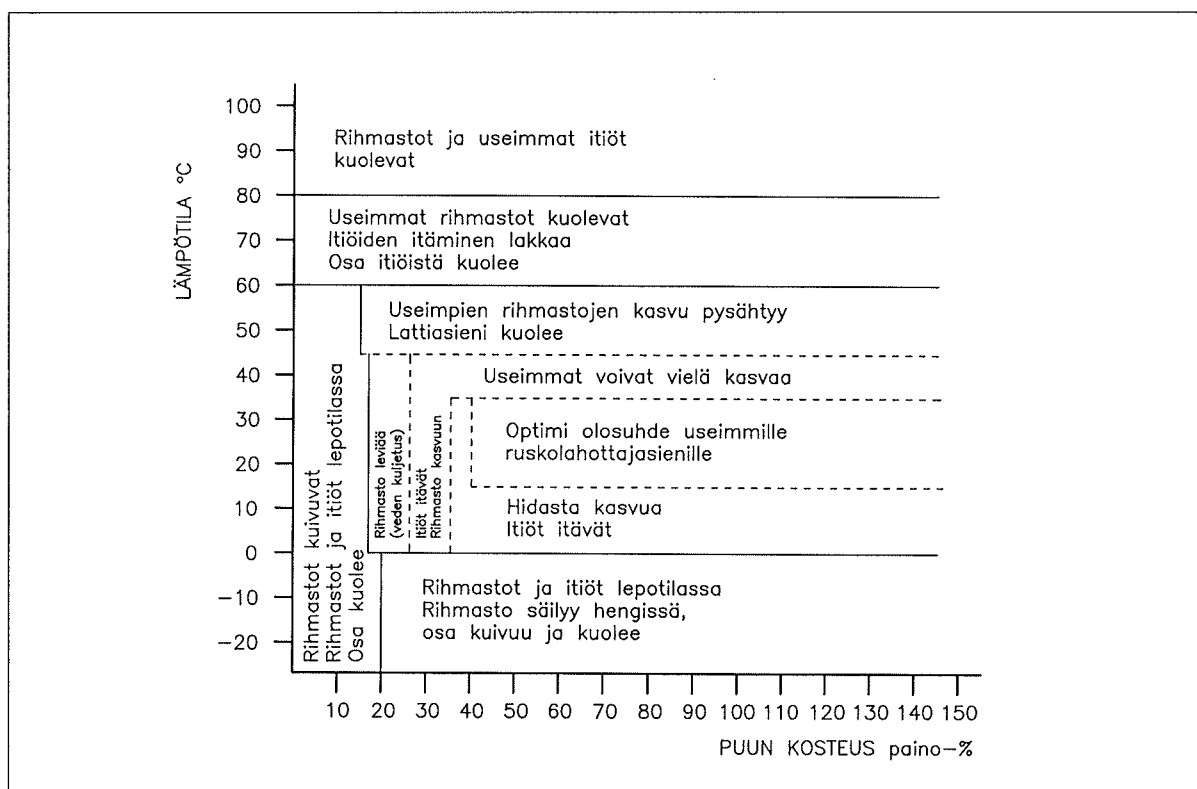
**Kuva 2.18.** Puutavaran homehtumisriski suhteellisen kosteuden ja kosteuspitoisuuden funktiona eri lämpötiloissa. RF = ilman suhteellinen kosteus [%] ja Fk = materiaalin kosteuspitoisuus [paino-%] /28/.

Liiallinen kosteus suosii sienikasvustoja, hometta ja muita mikro-organismeja. **Hometta** voi syntyä minkä tahansa rakennusaineen pintaan, jos lämpötila on yli 0 °C ja ympäristön suhteellinen kosteus yli 70%. Vaikka rakenteessa ei sellaisenaan olisi sopivia ravinteita organismeille, kelpaavat rakenteisiin kertynyt lika ja pöly näille kasvualustaksi. Home ei vaurioita puuta, mutta voi aiheuttaa haju- ja terveyshaittoja. **Puun lahoamiseen** vaikuttavat puun kosteus sekä ympäristön lämpötila. Lahoaminen voi alkaa, jos puun kosteuspitoisuus on suurempi kuin 20% kuivapainosta (ympäristön suhteellinen kosteus yli 80%) ja lämpötila yli 0 °C. Lahoaminen voi jatkua vielä puun kosteuden ylittäessä 17% kuivapainosta. Eräät lahottajat, kuten lattiasieni, voivat levitä vieläkin kuivemmissakin olosuhteissa. Lahoaminen pysähtyy, kun puun kosteuspitoisuus on 80...120% kuivapainosta tai lämpötila yli +35...50 °C. Rihmasto kuolee, kun lämpötila on yli +50...70 °C. Itiöt kuolevat vasta kun lämpötila on yli +100 °C. Kuvassa 2.18. on esitetty puutavaran homehtumisriski suhteellisen kosteuden ja kosteuspitoisuuden funktiona eri lämpötiloissa. Katkoviivoilla merkityt arvot ovat epävarmoja, koska homehtumista matalissa lämpötiloissa on tutkittu erittäin vähän.

Kuvissa 2.19. – 2.20. on esitetty home- ja lahovaurioihin johtavat kriittiset kosteus- ja lämpötilaolosuhteet /72/.



Kuva 2.19. Homevaurioihin johtavat kriittiset kosteus- ja lämpötilaolosuhteet /72/.



Kuva 2.20. Lahovaurioihin johtavat kriittiset kosteus- ja lämpötilaolosuhteet /72/.

Lisäksi kosteus saattaa aiheuttaa rakennusmateriaaleissa olevien erilaisten **yhdisteiden** ja **suolojen** haitallista **erittymistä** ja **kulkeutumista**. Esimerkiksi betonirakenteissa ja muuratuissa rakenteissa kosteuden kulkeutuminen voi aiheuttaa suolojen kertymistä kuiville

pinnoille ja selluvillaeristeessä vesi saattaa liuottaa ja kuljettaa palonestoaineena käytettyjä suoloja. Liiallinen kosteus voi myös aiheuttaa lämmöneristeiden painumista ja paakkuuntumista (esim. selluvillaeriste).

**Kemiallisen ja sähkökemiallisen korroosion** välttämiseksi pyritään estämään kosteuden vaikutus ja potentiaalierojen syntyminen. Mikäli rakenteessa käytetään eri metalleja tai metalliseoksia, on galvaanisen korroosion estämiseksi niiden sijainti galvaanisessa potentiaalisarjassa otettava huomioon. Kiinnikkeet eivät saa olla kiinnitettäviä osia epäjalompia ja esim. sadeveden virtaussuunta on syytä ottaa huomioon materiaalivalinnassa siten, että epäjalommat metallit ovat veden virtaussuunnassa jalompien yläpuolella. Karbonatisoituneessa betonissa ja laastissa olevan teräksen korroosionopeus määräytyy aineen kosteuspitoisuuden mukaan. Korroosio voi ilmetä metallipinnalla joko tasaisena tai pistemäisenä. Korroosioalttius on eri metalleilla erilainen, mutta huomattavasti ympäristöolosuhteista riippuvainen. Esimerkiksi hiiliteräs ruostuu, jos ympäristön suhteellinen kosteus on suurempi kuin 60 % /2/. Betoniterästen korroosionopeus kiihtyy suhteellisen kosteuden noustessa tasolta RH 80% ylöspäin.

Usein kosteuden vaikutukset ovat lähinnä **esteettisiä**. Tyypillisiä julkisivujen kosteudesta aiheutuvia esteettisiä vaurioita tai haittoja ovat julkisivupinnan epätasainen likaantuminen ja julkisivumateriaalien värinmuutokset.

## 3 Vanhan rakenteen kosteusteknisen kunnan tutkiminen

### 3.1 Kosteusteknisen kuntotutkimuksen tarve ja tavoitteet /41/

Tutkimuksen lähtökohtana on yleensä **havaittu kosteusongelma** eli kosteuden aiheuttama vaurio tai haitta, jonka syy ja oikea korjaustapa halutaan selvittää. Kosteustekninen kuntotutkimus on syytä tehdä myös silloin, kun rakennukseen suunnitellaan korjaustoimia tai kun rakenteiden kosteustekninen toimivuus halutaan muutoin varmistaa.

Kosteustekninen tutkimus voi kohdistua yksittäiseen rakennetyyppiin tai rakennekokonaisuuteen tai se voidaan tehdä koko rakennukseen, jolloin kysymyksessä on rakenteen tai rakennuksen **kosteustekninen kuntotutkimus**. Mikäli tutkimus rajataan vain tietyn paikallisen vaurion syy ja korjaustavan selvittämiseen, on kysymyksessä **vaurioselvitys**.

Kosteusteknisen kuntotutkimuksen tavoitteena on selvittää tarkasteltavan rakenteen kosteustekninen toimintatapa ja mahdollisten ongelmien syyt sekä määrittellä rakenteen korjaustarve ja sopivat korjausvaihtoehdot.

### 3.2 Tutkimusperiaate /41/

Kosteusteknisen kuntotutkimuksen periaatteena on kerätä riittävät tiedot tarkasteltavasta rakenteesta, rasisuoloista ja vaurioista ja muodostaa näiden tietojen pohjalta luotettava käsitys rakenteen kosteusteknisestä toimintatavasta.

Rakenteen kosteustekninen toiminta tarkoittaa mm. eri kosteuslähteiden, muiden olosuhdetekijöiden, kosteuden siirtymismuotojen, kertymisen ja kuivumisen sekä kosteuden vaikutusten muodostamaa kokonaisuutta. Kosteusteknisen toiminnan selvittäminen on välttämätöntä, jotta rakenteelle voidaan luotettavasti määrittellä toimivat korjaustavat. Mahdollisia kosteusteknisiä toimintamalleja voi olla useita, jolloin kerättävien tietojen avulla pyritään arvioimaan, mikä tai mitkä vaihtoehtoisista malleista parhaiten kuvaavat rakenteessa vallitsevaa tilannetta.

Kun todennäköisin kosteustekninen toimintamalli on selvillä, ideoidaan sen pohjalta sellaisia korjaustapoja, joilla rakenne saadaan toimivaksi ja joilla kosteuden aiheuttamat haitat voidaan poistaa.

Kuntotutkimuksen luotettavuuden kannalta on tärkeää, että tiedot hankitaan järjestelmällisesti ja suunnitelmallisesti ja että tiedot pyritään varmistamaan useilla rinnakkaisilla havainnoilla ja havainnointitavoilla. Luotettavan kuntotutkimuksen edellytyksenä on, että tutkija hallitsee tutkittavat rakenteet ja materiaalit, omaa riittävän perusteelliset teoreettiset tiedot kosteustekniikasta, tuntee korjaustavat ja osaa tehdä mittaukset ja havainnot oikein.

### 3.3 Tutkimuksen sisältö ja vaiheet /41/

Kosteustekninen kuntotutkimus sisältää yleensä seuraavia **selvityksiä**, joiden tuottamaan tietoon analyysi pohjautuu. Havainnoitavista rasitustekijöistä, rakenneominaisuuksista ja vauriotyypeistä on usein tarpeellista selvittää kunkin suureen olomassaoloa tai esiintymistä, laajuutta ja sijaintia, ajallista esiintymistä sekä intensiteettiä tai astetta.

1. Rasitusolojen selvittäminen
  - eri kosteuslähteet
  - eri rakennekerrosten kosteustila tutkimusaikana
  - lämpötilaolot
  - ilmanvaihto ja painesuhteet
  - olosuhteiden muuttuminen vuodenaikojen, sään jne. muuttuessa
  - rakennuksen ja tilojen erilaiset käyttötavat, jotka voivat vaikuttaa rasitukseen.
2. Rakenteiden selvittäminen
  - rakennetyyppi
  - materiaalit ja niiden ominaisuudet
  - veden- ja kosteudeneristysten olemassaolo ja kunto
  - tuulettumiseen ja veden poistumiseen vaikuttavat tekijät
  - lämmöneristykset
  - maaperän rakennekerrosten ominaisuudet.
3. Vaurioiden selvittäminen
  - erilaiset vauriotyypit
  - vaurioiden aiheuttamat haitat käyttäjille (esim. sisäilma) ja rakenteille.

**Kuntotutkimuksen vaiheet** ovat yleensä seuraavat:

1. Taustatietojen hankinta tutkimuskohteesta, kuten
  - kuntotutkimuksen tilaamisen syyt
  - käyttäjien ja huoltohenkilöstön havainnot ja tiedot ongelmista
  - kohteen suunnitelmat ja muut asiakirjat
  - tiedot tehdyistä korjauksista
  - aiemmat tutkimukset ja tarkastukset
  - henkilöt, jotka tuntevat kohteen.
2. Taustatietojen perusteella muodostetaan alustava käsitys kohteen rakenteista ja ongelmista ja laaditaan alustava tutkimussuunnitelma.
3. Yleistarkastus kohteessa, joka voi sisältää esim. seuraavia tehtäviä:
  - aistinvaraisten havaintojen teko vaurioista, rakenteista ja rasitusoloihin vaikuttavista asioista
  - asiakirjojen antaman tiedon luotettavuuden arviointi
  - yksinkertaiset ainetta rikkomattomat mittaukset

- tutkimustyöhön vaikuttavien rajoitusten, kuten pääsy tiloihin, purkumahdollisuudet yms., selvittäminen.

#### 4. Tutkimussuunnitelman tarkentaminen

Taustatietojen ja yleistarkastuksen perusteella ideoidaan rakenteen kosteustekninen toimintamalli tai vaihtoehtoiset mallit. Sen jälkeen suunnitellaan, millaisilla tiedoilla, havainnoilla ja mittauksilla voidaan testata ideoitujen mallien paikkansapitävyys. Yksityiskohtainen tutkimussuunnitelma laaditaan ja hyväksytetään tilaajalla. Yksittäisissä tapauksissa voidaan todeta, että taustatiedot ja yleistarkastus ovat jo tuottaneet riittävät tiedot analyysiä vasten.

#### 5. Kenttä- ja laboratoriotutkimukset voivat sisältää seuraavia tehtäviä:

- järjestelmällinen aistinvarainen havainnointi
- rakenteiden avaukset ja näytteenotto
- kosteusmittaukset
- lämpötilamittaukset
- ilmanvaihdon ja painesuhteiden mittaukset
- putkistojen vuototutkimukset
- vaurioihin liittyvät mittaukset ja havainnot
- materiaalien tunnistus ja niiden ominaisuuksien mittaaminen laboratoriossa
- mikrobiologiset tutkimukset.

#### 6. Analyysi, jossa käsitellään kerättyä tietoa seuraavasti:

- ideoidaan erilaiset rakenteen kosteusteknistä toimintaa kuvaavat mallit
- mallien paikkansapitävyys testataan havaintotietojen avulla
- osoitetaan todennäköisin toimintamalli ja ongelman syyt
- arvioidaan vaurion vaikutukset ja mahdolliset haitat ja niiden kehittyminen
- ideoidaan ja arvioidaan mahdolliset korjaustavat sekä laaditaan korjaussuositus.

#### 7. Raportointi kirjallisessa muodossa, josta selviävät:

- mittaustavat, mittaustulokset ja analyysi selkeästi esitettyinä ja eriteltyinä
- johtopäätökset korjaussuosituksen muodossa, eri korjausvaihtoehtojen vertailu toimivuuden ja riskien näkökulmasta.

## 4 Rakennusmateriaalien kosteusteknisiä ominaisuuksia

### 4.1 Betoni, muurauskivet ja laastit /12, 15, 27, 34, 37/

**Betonin** kosteustekniset ominaisuudet määräytyvät pääasiassa huokoskokojakauman ja kokonaishuokoisuuden perusteella. Huokosrakenteeseen ja siten betonin tiiviyteen vaikuttavat mm. vesisementtisuhde, hydratoitumisaste, ilmamäärä ja runkoaineen hienous. Julkisivubetonin vesisementtisuhde on yleensä niin alhainen, että sadeveden imeytyminen betonipintaan on hidasta, ja seinäpintaan muodostuu melko nopeasti vesikalvo. Betonin pienestä huokoskoosta on seurauksena korkea hygroskooppinen tasapainokosteus. Betonin vesihöyryn läpäisevyys riippuu huokosrakenteen lisäksi betonin kosteuspitoisuudesta ja lämpötilasta.

**Poltetun tiilen** huokosrakenne on tyypillisesti sellainen, että kapillaarisella alueella olevien huokosten osuus on suuri. Tästä on seurauksena mm. suuri vedenimunoisuus ja kosteudenjohtavuus. Tiilen vedenimunoisuudella tarkoitetaan tiilen minuutissa lapepinnan neliometriä kohti imemää vesimäärää kilogrammoina. Se vaihtelee välillä 0,4 – 6 kg/m<sup>2</sup>min. Vedenimukyky eli näennäinen huokoisuus on tiilellä polttolämpötilasta ja raaka-aineista riippuen 6 – 22 paino-%. Tiilen hygroskooppinen tasapainokosteus on alhainen, koska sen ominaispinta-ala on pieni. Täyskivillä se on noin 0,2 – 1,0 paino-% ja reikäkivillä n. 0,8 – 1,5 paino-%. Julkisivupinnassa normaalien poltettujen tiilien (ei matalaimuisten tiilien) vedenimukyky ja –nopeus ovat niin suuria, että tavallisilla viistosateilla lähes kaikki seinäpintaan tuleva sadevesi imeytyy rakenteeseen. Kuivan kuorimuurin imemät vesimäärät ovat noin 10 – 25 mm/m<sup>2</sup> normaalikivimuurauksessa ja 5 – 15 mm/m<sup>2</sup> moduulikivimuurauksessa /73/. Tiili kuivuu esimerkiksi betoniin verrattuna myös sisäosiltaan nopeasti, koska sen kapillaarinen kosteudenjohtavuus on suuri myös suhteellisen alhaisilla kosteuspitoisuuksilla ( $w_{kr} = 3 - 4$  paino-%) /59/ ja sen hygroskooppinen tasapainokosteus on pieni.

**Kalkkihiekkatiilen** hygroskooppinen tasapainokosteus on korkea, jopa 10 paino-%, ja kapillaarinen kosteudenjohtavuus pieni verrattuna poltettuun tiileen. Kapillaarinen imuvoima on taas suurempi mutta imunoisuus pienempi kuin poltetulla tiilellä. Kalkkihiekkatiilen vedenimunoisuus on yleensä alle 1,5 kg/m<sup>2</sup>min ja vedenimukyky on n. 10 – 16 paino-%. Viistosateella kalkkihiekkatiiliseinän pintaan muodostuu vesikalvo nopeammin kuin tiiliseinäpintaan. Kuivumisnopeus kalkkihiekkatiilellä on huomattavasti hitaampi kuin poltetulla tiilellä. Kriittinen kosteus, jonka yläpuolella kapillaarinen kosteudenjohtavuus on suuri, on kalkkihiekkatiilellä luokkaa  $w_{kr} = 6$  %.

**Kevytbetonin** hygroskooppinen tasapainokosteus on suuri, 15 – 20 paino-%, pienten huokosten suuren määrän ja siten suuren ominaispinta-alan vuoksi. Kapillaarinen imunoisuus on pienempi kuin tiilellä. Kevytbetoniharkkojen vedenimunoisuus on 4 – 7 kg/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup> ja ensimmäisen minuutin aikana noin 2 kg/m<sup>2</sup>min. Vedenimukyky on kevytbetonilla suuri, jopa yli 100 paino-%, jolloin myös osa makrohuokosista täyttyy vedellä. Kevytbetonin vesihöyryn läpäisevyys kasvaa kosteuspitoisuuden noustessa, kun pienten huokosten täyttyessä



kapillaarinen osuus kosteuden siirrosta kasvaa. Kriittinen kosteuspitoisuus, jonka yläpuolella kosteudenjohtavuus on suuri ja kapillaarinen liike määräävä, on kevytbetonilla korkea, luokkaa  $w_{kr} = 33\% /59/$ .

**Kevytsorabetonin** vesihöyryn läpäisevyys on riippuvainen sekä tiivyydestä (vesisementtisuhteesta) että tiheydestä. Harva kevytsorabetoni, jossa on läpimeneviä huokosia, on varsin hyvin vesihöyryä läpäisevää. Tiivis kevytsorabetoni vastaa vesihöyryn läpäisevyydeltään tavanomaista betonia. **Kevytsoraharkkojen** kapillaarisuus on vähäinen ja pienempi kuin esimerkiksi laastilla tai tiilellä. Kevytsorarakkeiden suljetusta huokosrakenteesta johtuen harkot imevät vähän vettä ja kuivuvat nopeasti. Ulkoseinissä harkkomuurin tasapainokosteus on 2...4 paino-% ja perustuksissa ja perusmuureissa 6...10 paino-%. Koska harkkojen betoniosuus ei täysin täytä kevytsorarakkeiden välitiloja, veden liikkuminen gravitaation ja paine-eron vaikutuksesta harkkoissa on mahdollista, eikä harkkomuurista saada pinnoittamatta sadevedenpitävää.

**Laastien** huokosrakenteeseen vaikuttavat mm. vesimäärä, vesi-sideainesuhde, ilmamäärä ja sideaineen kovettumisreaktioiden aste. Sementtipitoisuuden kasvaessa laastin huokoskoko yleensä pienenee. Muurauskiven imuominaisuudet, laastin vedenpidätyskyky ja kovettumisolosuhteet vaikuttavat myös laastin huokoisuuteen ja huokoskokojakautumaan. Laastin huokosrakenteen määrittelee sen kosteustekniset ominaisuudet: sen hygroskooppisen tasapainokosteuden, vesihöyryn läpäisevyyden, kapillaarisen imukykyyn ja –nopeuden sekä kuivumisnopeuden. Huokoskoon pieneneminen adsorptiohuokosten suuntaan johtaa hygroskooppisen tasapainokosteuden kasvuun, vesihöyryn läpäisevyyden pienenemiseen, kapillaarisen imunopeuden hidastumiseen ja imuvoiman kasvuun sekä kuivumisnopeuden hidastumiseen. Laastien ominaisuuksia voidaan vaihdella suurissa rajoissa. Laastien vedenläpäisevyys on yleensä riittävän pieni muurin sadevedenpitävyyden kannalta. Suurempi merkitys muurin sadevedenpitävyyteen on muuraustyön huolellisuudella.

**Taulukko 4.1.** Betonin, muurauskivien ja laastien kosteusteknisiä ominaisuuksia /2, 24, 28, 34, 37/.

Aine	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_p$ 10 <sup>-12</sup> kg/msPa	Vedenimuno- peus kg/m <sup>2</sup> min	Kosteusmuo- donmuutos rakenteessa max (o/oo)	Tasapaino- kosteus (> 90 % RH) (paino-%)	Huokoisuus (til-%)
Graniitti	2700	n. 0,4				0,4...1,5
Betoni	2300	10...2	0,1...0,5	< 0,45	3...5	10...18
S-laasti	2000	10...2	-	0,8*	2,5...6	15...30
KS-laasti	1800	17...6,5	-	1...1,5*	2...4	20...35
K-laasti	1700	20...15	-	3,5*	1...2	18...40
Kevytbetoni	400...650	42...15	1...1,5	0,5	15...40	70...85
Kevytsora- betoni	500...700	42...20	0,05...0,5	0,3...0,5	6...10	60...80
Kalkkihiek- katiili	1600...1900	20...10	0,8...3	0,1...0,2	4...7	25...37
Poltettu tiili	1100...1600	42...10	0,4...6	<< 0,1	0,3...1	15...40

\* = vapaa kutistuma

## 4.2 Lämmöneristeet /24, 37, 45/

**Mineraalivillan** vesihöyryn läpäisevyys on hyvin suuri muihin rakennusaineisiin verrattuna. Vesihöyrynä liikkuva kosteus pääsee kulkeutumaan mineraalivillakerroksen läpi tiivistymättä. Mineraalivillan hygroskooppinen tasapainokosteus on alhainen, luokkaa  $\leq 0,05$  tilavuusprosenttia. Hygroskooppisella alueella mineraalivillan kosteus ei yleensä lisää lämmönjohtavuutta merkittävästi, mutta kosteustilan noustessa lämmönjohtavuus kasvaa.

**Polystyreenisolumuovieristeet** jaetaan valmistustapansa mukaan muottipaisutettuihin (EPS) ja suulakepuristettuihin (XPS) solupolystyreenilevyihin. Vuoden upotuskokeessa EPS:n vettyvyys on ollut luokkaa 4 – 5 tilavuus-%. Suulakepuristettuun solupolystyreeniin imeytyy erittäin vähän vettä johtuen materiaalin suljetusta kennorakenteesta ja aineen vettä hylkivästä ominaisuudesta.

**Polyuretaanin** vesihöyryn läpäisevyys on pieni muihin tavanomaisiin lämmöneristeisiin verrattuna. Polyuretaanieriste imee umpisolurakenteensa ansiosta vähän vettä. Polyuretaanin vettyvyys on ollut 110 päivän vesiupotuskokeessa enintään kolme tilavuusprosenttia /44/. Diffuusion aiheuttama kosteus ei yleensä aiheuta ongelmia itse polyuretaanille. Tapauksissa, joissa vesihöyrynpaine on vuosikausia jatkuva ja rakenne ei pääse välillä kuivumaan, voi kosteuspitoisuus nousta niin korkeaksi, että sillä on merkittävä vaikutus polyuretaanin lämmöneristyskykyyn /50/. Yleisesti polyuretaanieristelevyissä käytetään erilaisia pinnoitteita, kuten metallifoliopinnoitteita, jotka parantavat niiden lämmöneristyskykyä ja estävät kosteuden tunkeutumisen eristeeseen.

**Taulukko 4.2.** Lämmöneristeiden kosteusteknisiä ominaisuuksia /2, 37, 44, 45/.

Aine	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_p$ 10 <sup>-12</sup> kg/msPa	Ilman läpäisevyys $\ell$ 10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /sPa
Ilma	1,25	185	
Mineraalivilla	200...17	60...200	
Pintaa vastaan			10000...200000
Pinnan suuntaan			30000...600000
Solupolystyreeni (EPS)	60...15	1,2...7	6,5...22,7
Solupolyuretaani (pinnoittamaton)	60...37	0,1...1,2	
Puukuitueristeet, levyt	40...20	25...40	10000...70000
Puhallettavat ja ruiskutettavat	65...25	80...130	65000...150000

**Puukuitueristeet** ovat orgaanisista kuiduista muodostuvia lämmöneristeitä. Koska puukuitueriste on puupohjainen tuote, sillä on suunnilleen sama hygroskooppinen tasapainokosteus kuin puulla. Puukuitueristettä voidaan käyttää levyinä, puhallettuna tai ruiskutettuna. Puhallettujen ja ruiskutettujen eristeiden vesihöyryn läpäisevyyteen vaikuttaa mm. se, kuinka tiiviisti eriste on rakenteessa pakkautunut. Eristeisiin lisätään booriyhdisteitä paloteknisten ominaisuuksien parantamiseksi. Näiden yhdisteiden on todettu hidastavan jonkin verran lahottajasienten kasvua eristeessä ja siihen kosketuksessa olevassa puussa /35/. Puhallettavan puukuitueristeen painuminen pystyrakenteissa voi muodostua ongelmaksi. Li-

an pieneen tiheyteen puhallettu eriste painuu ympäristöolosuhteiden vaihtelujen vaikutuksesta /31/. Lisäksi puhallettava eristeen asennus märkänä voi lisätä ulkoseinärakenteen kosteusteknistä riskiä, etenkin talvella rakennettaessa, jolloin eristeen kuivuminen on hidasta.

### 4.3 Puu ja puupohjaiset sekä muut levytuotteet /24, 28, 37/

**Puu** sitoo hygroskooppisesti kosteutta ilman vesihöyrystä ja pyrkii asettumaan ilman kosteuden ja lämpötilan mukaiseen tasapainokosteuteen. Maksimikosteus, jonka puu voi sitoa ilman kosteudesta, on erilainen eri puulajeilla ja yleensä n. 28 – 30%. Vettä voi imeytyä puuhun myös kapillaarisesti hygroskooppisen kosteuspitoisuuden yläpuolella. Kosteuden siirtyminen puussa tapahtuu diffuusion ja kapillaari-ilmiön yhteisvaikutuksesta. Diffuusion osuus kasvaa kosteuspitoisuuden aletessa ja lämpötilan kohotessa. Veden imeytyminen puuhun on paljon nopeampaa pituussuunnassa kuin säteen tai tangentin suunnassa. Vedenläpäisevyydet puun tangentin, säteen ja pituuden suunnassa ovat likimain suhteessa 1:20:400 /48/. Kosteuden sitoutuminen puuhun ja kuivuminen aiheuttavat suuria, eri suunnissa erilaisia muodonmuutoksia.

**Taulukko 4.3.** Puupohjaisten ja muiden levytuotteiden kosteusteknisiä ominaisuuksia /2, 21, 28, 46, 54, 70/.

Aine	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_p$ 10 <sup>-12</sup> kg/msPa	Paksuus mm	Vesihöyryn vastus $Z_p$ 10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> sPa/kg	Turpoama levyn tasossa
Kuusi, mänty	500	1...3	20	20...6,7	
Kuitusementtilevy	1600...1300	2...5	3	1,5...0,6	0,15 (20...92 % RH)
Bitumilla kylästetty huokoinen kuitulevy	350...270	15...23	15	1,0...0,6	0,1...0,35% (40 – 90 % RH)
Lastulevy	800...600	3...7	13	4,3...1,8	0,2...0,35%
Huokoinen puukuitulevy	<350	30...120	13	0,4...0,1	0,2...0,35% (30 – 90 % RH)
Puulikova puukuitulevy	800...350	3,6...4,5	3,5	1,0...0,7	0,2...0,35% (30 – 90 % RH)
Kova puukuitulevy	>800	2,7...3,4	3,5	1,3...1,0	0,2...0,35% (30 – 90 % RH)
Vanerilevyt	700...520	0,7	15	20	0,1-0,15 (30...90 % RH)
Kipsilevy	770	10...20	13	n. 0,75	0,04 (45 – 90 % RH)

Puulevyjä ovat esimerkiksi **puukuitulevyt**, **lastulevyt** ja **vanerituotteet**. Kosteusliikkeet levyn tason suunnassa ovat levyillä pienempiä kuin puun kosteusliikkeet kohtisuoraan syyn suuntaa vastaa, mutta ovat noin kolme kertaa suurempia kuin puun kosteusliikkeet syyn suunnassa. Vanerituotteiden kosteustekniset ominaisuudet ovat muutoin suunnilleen samanlaisia kuin puulla. Puukuitulevyjen kosteusteknisiin ominaisuudet riippuvat tiheydestä (kovalevyt, puolikovat kuitulevyt ja huokoiset kuitulevyt). Lastulevyjen kosteusteknisiin

ominaisuuksiin vaikuttavat myös liimatyyppi sekä liimamäärä. Puulevyjen omaisuudet voivat vaihdella huomattavasti riippuen levytyypistä ja tuotteesta.

**Kipsilevyllä** on melko suuri vesihöyryn läpäisevyys. Kipsilevyjä voidaan käyttää ulkoseinässä sisäverhoukseen sekä tuulensuojaukseen. Lämpötila- ja kosteusvaihteluiden aiheuttama kipsisen sisäverhouksen muodonmuutos on niin vähäinen, ettei se vaikuta haitallisesti levyyn tai sen saumoihin. Tuulensuojaukseen soveltuvat kipsilevyt on yleensä käsitelty jollakin vettä hylkivällä aineella. Kipsilevyn käyttöä on kuitenkin vältettävä sellaisissa teollisuus- tai erikoistiloissa tai rakenteissa, joissa vallitsee pitkäaikainen poikkeuksellisen korkea kosteuskuormitus: suhteellinen kosteus yli 90%.

#### 4.4 Tuulensuojat, höyrynsulut ja pinnoitteet /52/

**Rakennuspaperit** ovat paperista tai impregnoidusta (esim. tervapaperi) tai pinnoitetusta (esim. muovi- tai alumiinipinnoitettu) paperista valmistettuja tuulensuoja tai höyryn- ja ilmansulkutarkoituksiin käytettyjä tuotteita. Tuotteen vesihöyryn vastus ja ilmanläpäisy määrää soveltuuko paperi tuulensuojaksi vai höyrynsulukuksi. Höyryn- ja ilmansulkuna voidaan käyttää myös läpäisevämpiä papereita useampikerroksisena ratkaisuna. Vesihöyrynvastuksen mukaan rakennuspaperit jaetaan viiteen ryhmään ja ilmanläpäisyn perusteella kolmeen. Vesihöyrynläpäisyn suhteen jaottelu on seuraava: erittäin tiiviit, tiiviit, vesihöyryn pitävät, heikosti läpäisevät ja läpäisevät.

Sisäpuolisena ilman- ja höyrynsulkuna käytettyjä tuotteita ovat rakennuspaperien ohella **höyrynsulkumuovit**, joista yleisin on polyeteenikalvo. Kalvo on läpinäkyvää, mutta säilytettyä. PEL -kalvon paksuus tulee olla vähintään 0,2 mm ja sen tulee täyttää standardin SFS 4225 pitkäaikaiskestävälle kalvoluokalle E asettamat vaatimukset. PEL -muovikalvo on käytännöllisesti katsoen ilma- ja höyrytiivis eikä se ime vettä (<0,01%). Höyrynsulkuna käytetyn tarvikkeen saumoineen tulee vastata muun rakenteen käyttöikä.

Mikäli laskelmilla tai muilla selvityksillä ei tarkemmin muuta osoiteta tulee höyrynsulun vesihöyrynvastuksen normaalihuonetiloissa (lämpötila +20°C, suhteellinen kosteus <60%) olla vähintään  $15 \times 10^9 \text{ m}^2\text{s/kg}$ . Kosteammissa tiloissa sekä suljetuissa rakenteissa tulee höyrynsulun vesihöyrynvastuksen olla suurempi. Höyrynsululta edellytetyn vesihöyrytiivisvaatimuksen täyttää lukuisa joukko polymeerisideaineisia maaleja ja pinnoitteita. Osa tuotteista kestää myös vedenpainetta.

Ulkopinnan **pintakäsittely** vaikuttaa toisaalta seinäpinnalta rakenteeseen imeytyvään sadevesimäärään ja toisaalta rakenteen kuivumisnopeuteen. Vettä hylkivä pinnoite vaikeuttaa sadeveden imeytymistä materiaaliin ja siten vaikuttaa vesikalvoa kasvattavasti, jolloin veden vuotoriski pinnan halkeamista ja rakenteen saumoista voi kasvaa. Pinnoitteen vesihöyryn läpäisy vaikuttaa rakenteen kuivumiseen ulospäin. Pintakäsittelyn kosteudenläpäisyyden vaikuttaa myös sen paksuus. Mikäli pinnoitteella on rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta oleellinen merkitys, on sen kestävyys ja uusimisen helppous otettava pintakäsittelyn valinnassa huomioon.

**Julkisivussa käytettävät pinnoitetyypit** voidaan karkeasti jakaa seuraavasti läpäisevyyden mukaisiin ryhmiin /40/:

- **Läpäisevät.** Ryhmään kuuluvat epäorgaaniset maalit, eli kalkki-, kalkkisementti-, sementti- ja silikaattimaalit, silikonihartsimaalit, epäorgaaniset rappaukset ja epäorgaaniset ohutrappaukset.
- **Puoliläpäisevät.** Ryhmään kuuluvat useimmat orgaaniset julkisivumaalit, kuten akryylilateksimaalit, PVA -lateksimaalit ja Pliolite –maalit.
- **Tiiviit.** Tiiviitä pintakäsittelyjä ovat mm. alkydiohutrappaukset ja –maalit sekä öljymaalit. Kloorikautsu-, PVC-, polyuretaani- epoksimaalit ovat erittäin tiiviitä.

**Taulukko 4.4.** Höyrystä sulkujen, tuulensuojien ja maalien yms. vesihöyryn vastuksen likiarvoja /2, 24, 28, 52, 58/.

Aine	Paksuus	Vesihöyryn vastus $Z_p$ $10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$
Muovikalvo, polyeteeni	0,09 mm	n. 200
Muovikalvo, polyeteeni	0,15 mm	n. 345
Muovikalvo, polyeteeni	0,20 mm	n. 450
Muovikalvo, polyeteeni	0,30 mm	n. 700
Kattohuopa		500...10000
Bitumikerros		500...1000
PVC-matto	2 mm	n. 70...270
Maaleja: Akryylilates	100...200 $\mu\text{m}$	2,5...4,0
PVA-latex	100...200 $\mu\text{m}$	1,0...1,4
Alkydi	90...120 $\mu\text{m}$	9,5...16,0
Kloorikautsu	40...50 $\mu\text{m}$	4,7...8,0
Polyuretaani	30...40 $\mu\text{m}$	11,5...16,0
PVC	30...40 $\mu\text{m}$	6,0...9,0
Silikaatti	80...100 $\mu\text{m}$	0,7...0,8
Kalkkimaali		~ 0,5
Sementtimaali		~ 0,5
Kolmikerrosrappaus	20 mm	0,9...2,7
K-rappaus	10 mm	0,6...1,4
Paperi	1 mm	0,1
Bitumipahvi, tuulensuoja		25
Erittäin tiiviit rakennuspaperit		vähintään 1000
Tiiviit rakennuspaperit		vähintään 250
Vesihöyryä pitävät rakennuspaperit		vähintään 50
Heikosti läpäisevät rakennuspaperit		1,5...10
Läpäisevät rakennuspaperit		enintään 1,5

Tässä luvussa esitetyt materiaalien kosteusteknisten ominaisuuksien lukuarvot on kerätty eri lähteistä ja ne ovat ainoastaan suuntaa antavia. Kunkin tuoteryhmän sisällä on em. arvoista huomattavastikin poikkeavia arvoja. Tuotteiden kosteusteknisissä laskelmissa käytettävät arvot kannattaa yleensä varmistaa tuotteen valmistajalta.

## 5 Ulkoseinätyyppien kosteustekninen toiminta ja yleiset suunnitteluperiaatteet

### 5.1 Ulkoseinärakenteen yleiset kosteustekniset vaatimukset

Ulkoseinärakenne tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että se suojaa sisätiloja ulkopuolisen veden ja kosteuden haitallisilta vaikutuksilta sekä tekee vaaditun sisäilmaston ylläpitämisen mahdolliseksi. Ulkoseinärakenteen on oltava sellainen, ettei sen läpi tapahdu haitallista kosteuden tunkeutumista eikä kosteus haitallisessa määrin kerääny rakenteeseen. Rakenteen eri ainekerrosten kosteus ei saa olla vaurioiden synnyn tai etenemisen kannalta liian kauan aineiden kriittisten kosteuksien yläpuolella. Ulkoseinärakenteeseen joutuneen kosteuden on päästävä kuivumaan rakenteesta vahinkoa tai terveystarpeita aiheuttamatta. Kosteudesta ei saa olla haittaa seinärakenteen toimivuudelle tai kestävyydelle.

### 5.2 Julkisivurakenteen yleisiä suunnitteluperiaatteita

Julkisivupinnalle osuvan viistosaderasituksen haitallisia vaikutuksia voidaan vähentää räystäiden avulla, estämällä keskittyneen saderasituksen esiintyminen julkisivun pinnalla esim. pinnan yksityiskohtien oikealla muotoilulla sekä tekemällä julkisivurakenne siten, että vesivuotoja julkisivun verhousrakenteen taakse esiintyy mahdollisimman vähän ja että rakenne pääsee helposti kuivumaan.

**Leveät räystäät** vähentävät seinäpintaan kohdistuvaa viistosaderasitusta erityisesti seinän yläosissa. Mikäli räystäitä ei käytetä, tulee runsaampi viistosaderasitus ottaa huomioon seinärakenteen suunnittelussa. Ulkoseinärakenne tulee räystäiden leveydestä huolimatta aina suunnitella siten, että sen kosteustekninen toimivuus voidaan varmistaa.

Julkisivupinnan **liitokset** ja **yksityiskohdat** on suunniteltava siten, että vesivuotojen pääsy julkisivun verhousrakenteen taakse voidaan mahdollisimman tehokkaasti estää. Ulkoseinärakenteen suunnittelussa tulee kuitenkin olettaa, että ulkoverhouksen taakse pääsee vuotovettä. Mahdollisen **vuotoveden poistuminen** ulos rakenteesta on suunnitelmissa otettava huomioon.

Kerroksellisissa ulkoseinärakenteissa, joissa on erillinen ulkoverhous, on **ulkoverhouksen taustan tuulettuminen** varmistettava. Tällainen ulkoseinärakenne voi toimia ilman tuuletusrakoa tai tuuletusuria, jos rakenteen materiaalikerrokset pystyvät sitomaan mahdollisesti rakenteisiin kertyvän kosteuden, kunnes se lämpötila- ja kosteusolosuhteiden muuttuessa voi haittaa aiheuttamatta poistua rakenteesta ulkoverhouksen läpi (esim. eristerappaus). Massiivisissa ulkoseinärakenteissa, joissa sama materiaali toimii sekä seinärakenteen runkona että lämmöneristeenä (esim. kevytbetoni, kevytsorabetoni ja tiili) ja pystyy sitomaan kosteutta, ei erillistä tuuletusrakoa tietenkään tarvita.

Julkisivun **rakennekerrosten ja pinnoitteen kastumis- kuivumistasapaino** tulee ottaa huomioon. Kerroksellisissa rakenteissa, kuten rapatuissa tai pinnoitetuissa julkisivuissa, tulee kerrosten kosteudenläpäisyominaisuudet valita siten, ettei rakenteeseen synny kasvavaa tai haitallisen korkeaa kosteuskertymää ja että kastumisen jälkeen rakenne voi kuivua nopeasti haittaamatta.

Vaakapintoihin ja viistoihin pintoihin kohdistuu paljon suurempi sadevesirasitus kuin pystysuoraan seinäpintaan. Seinäpinnan viistot osat ja vaakaosat on yleensä pellitettävä. Maanpinnalle ja vaakapinnoille, kuten parvekkeille, vesikatoille ja katoksille, kertyvän veden pääsy ulkoseinäpinnalle ja rakenteen sisään on estettävä.

Ulkoseinärakenteissa, joissa ulkokuori voi sitoa paljon kosteutta (esim. tiilikuorimuuri), on rakenteen ulkopinnan lämpenemisestä aiheutuva kosteuden diffuusio sisäänpäin otettava huomioon esimerkiksi yhtenäistä tuuletusrakoa käyttämällä.

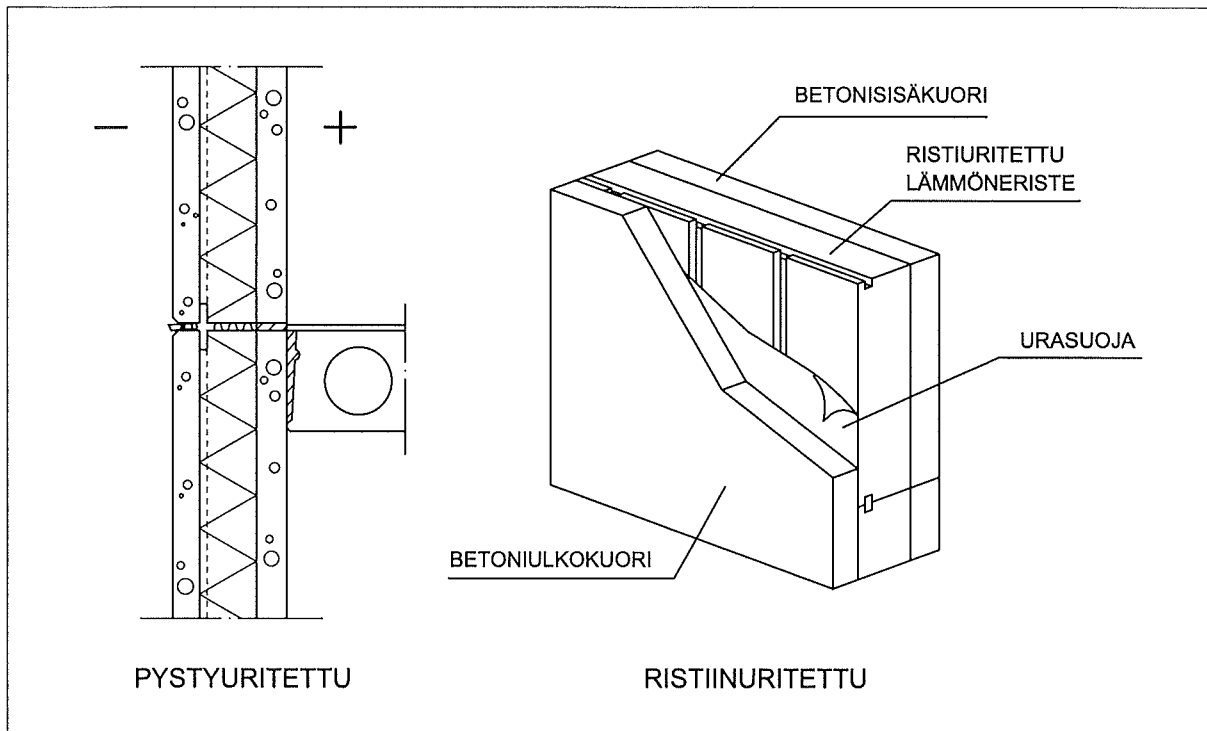
Vettä imemättömillä ja hitaasti imevillä julkisivupinnoilla on otettava huomioon nopea vesikalvon muodostuminen ja pinnalla liikkuvan veden suurempi määrä. Ulkoseinärakenteen liitokset tulee suunnitella siten, että vettä pääsee ulkoverhouksen taakse mahdollisimman vähän.

Ulkoseinärakenteen eri kerrosten **vesihöyryn läpäisyn ja ilmanpitävyyden** on oltava sellainen, ettei seinään vesihöyryn diffuusion tai ilmapirtausten vuoksi keräänty haitallisia määriä kosteutta. Ulkoseinärakenteeseen liittyvien rakennusosien liitosten, julkisivun saumakohtien ja läpivientien on oltava myös vesihöyry- ja ilmatiiviitä.

## 5.3 Betonirakenteiset ulkoseinät

### 5.3.1 Betonisandwich-rakenteet /8, 37/

**Betonisandwich-rakenne** koostuu betonisesta sisä- ja ulkokuoresta ja niiden välissä olevasta lämmöneristekerroksesta. Lämmöneristys on yleensä jäykkää mineraalivillaa ja joskus käytetään myös solumuoveja. Lämmöneristelevyt voivat olla joko uritettuja tai urittamattomia. Uritus voidaan toteuttaa joko ristiurituksena tai yhdensuuntaisena pystyurituksena. Urituksen tapauksessa ulkokuoren ja mineraalivillan välissä tulee käyttää ns. urasuojaa, esimerkiksi vesihöyryä läpäisevää lasikuituhuopaa, jotta betoni ei valuvaiheessa tunkeudu uriin. Elementin aukkojen, kuten ikkunoiden kohdalla, käytetään aukon ylä- ja alapinnassa vaakauraa. Elementin ylä- ja alareunassa on lisäksi vaakaura, johon tuuletusputket tai -kotelot asennetaan elementin saumauksen yhteydessä rakennustyömaalla. Eristelevyjen jatkoskohdissa urien on oltava kohdakkain tai on käytettävä vaakauraa, jotta ilman kulku on mahdollista koko urajärjestelmän läpi. Elementin ulko- ja sisäkuoret sidotaan toisiinsa ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla sideansailloilla. Elementit sidotaan runkoon sisäkuorestaan ja ulkokuoret saumataan liikkeen sallivilla tarvikkeilla, yleensä elastisilla saumaussmassoilla. Sisäkuori saumataan tavallisesti betonilla.



Kuva 5.1. Tuuletusurallinen betonisandwich-rakenne.

### Kosteusrasitukset

Julkisivurakenteen kosteusrasitus voidaan jakaa ajallisesti **rakennusvaiheeseen** sekä **käyttö- ja kunnossapitovaiheeseen**. Elementin valmistuksessa kosteuslähteitä ovat betonissa oleva hydratoitumaton vesi sekä esimerkiksi pinnan pesut. Valmistusvaiheessa lämmöneristeeseen imeytynyt kosteus on kuitenkin vähäistä. Rakennustyön aikana ulkoseinä-rakenteeseen kulkeutuu sateella vettä suojaamattoman elementin yläpäähän sekä avoimien saumojen kautta. Vesimäärien ollessa suuria ne valuvat eristekerroksessa alaspäin. Kun rakennusta aloitetaan lämmitetään sisäkuoreen sitoutunut kosteus sekä lämmöneristeessä oleva kosteus alkavat kulkeutua seinärakenteen ulko-osia kohden. Lämpötilaeroista johtuvien ilmavirtausten mukana vesihöyryä kulkeutuu lisäksi ylöspäin lämmöneristekerroksessa.

Rakennuksen käytön aikana kosteutta kulkeutuu sisäilmasta seinärakenteeseen vesihöyryn diffuusiolla sisäkuoren läpi ja kosteuskonvektiolla rakenteiden epätiiviyyskohdista sisäpuolisen ylipaineen tapauksessa. Lisäksi sadevettä imeytyy julkisivun ulkopintaan kapillaarisesti ja kulkeutuu ulkokuoren epätiiviyyskohtien kautta lämmöneristekerrokseen. Vesihöyryn diffuusiolla kulkeutuvat kosteusmäärät ovat pieniä verrattuna mahdollisiin kosteuskonvektioihin sekä varsinkin ulkokuoren vesivuotoihin. Rakenteen ulkokuoren kosteuspiitoisuus vaihtelee voimakkaasti sääolosuhteiden ja vuodenaikojen mukaan. Ulkokuoreen imeytyvään sadeveden määrään vaikuttavat viistosaderasituksen lisäksi mm. pintatarvikkeet, mahdollisen pinnoitteen vedenimuominaisuudet ja pinnoittamattomassa julkisivussa betonin laatu sekä rakenteessa olevat mahdolliset halkeamat ja seinän muut yksityiskohdat.



## Kosteuden kulkeutuminen ja tiivistyminen rakenteeseen

Betonisandwich-seinässä rakenteen ulko-osia kohden kulkeutuva rakennuskosteus sekä diffuusion kuljettama muu vesihöyry tiivistyvät talvikautena ulkokuoren sisäpintaan ja muodostavat tähän vesi- ja jääkerroksen. Tiivistyneestä kosteudesta osa imeytyy kapillaarisesti ulkokuoren huokosverkostoon ja, kun tiivistyvät vesimäärät ovat suuria, osa kulkeutuu sisäpintaa pitkin alaspäin. Ulkokuoreen kertynyt kosteus kulkeutuu sekä diffuusion muodossa ulkokuoren läpi että haihtuu mahdollisiin tuuletusuriin.

Betonirakenteisilla ulkoseinillä sisäkuoren ilmanläpäisevyys on yleensä pieni ja materiaalin kosteudensitomiskyky suuri. Kosteuden kulkeutumista diffuusion muodossa seinärakenteeseen voidaan edelleen vähentää pinnoittamalla sisäkuoren sisäpinta tiiviillä pinnoitteella sekä huolehtimalla siitä, että sisätilojen ilmankosteus pysyy alhaisena.

Kosteutta voi kulkeutua seinärakenteiden läpi myös ilmavirtausten mukana. Betoniulkoseinillä sisäkuoren saumat, liittymät muihin rakenteisiin, läpiviennit sekä halkeamat saattavat aiheuttaa huomattavia paikallisia kosteuskertymiä rakenteeseen. Tällaiset kohdat on tehtävä ilmatiiviiksi käyttäen tarvittaessa elastista saumausta.

Painovoiman kuljettama vesi kerääntyy seinien alaosiin ja sokkeleihin sekä ikkunoiden päälle, joista veden poistaminen on otettava suunnittelussa huomioon.

## Kosteuden kuivuminen

Tuulettumattomissa betonisandwich-rakenteissa kosteus poistuu rakenteesta **diffuusiolla** ulkokuoren ja mahdollisen pinnoitteen läpi. Tuuletusurallisissa betonisandwich-rakenteissa kosteutta poistuu diffuusion lisäksi **ilmavirtausten mukana** ilmavirtauskanavien ja tuuletusaukkojen kautta nopeuttaen rakenteen kuivumista. Kosteuden massavirtaan ulkokuoren läpi ulos vaikuttavat mm. ulkokuoren betonin ominaisuudet, rakenteen kosteus sekä käytetty julkisivupinnoite. Ulkokuoren kuivumista vaikeuttaa ulkopinnan pinnoitus huonosti vesihöyryä läpäisevällä materiaalilla. Betonin lujuusluokka on nykyisin K35-45, joten kuivuminen diffuusion muodossa ulkokuoren läpi on nykyisissä rakenteissa hidasta.

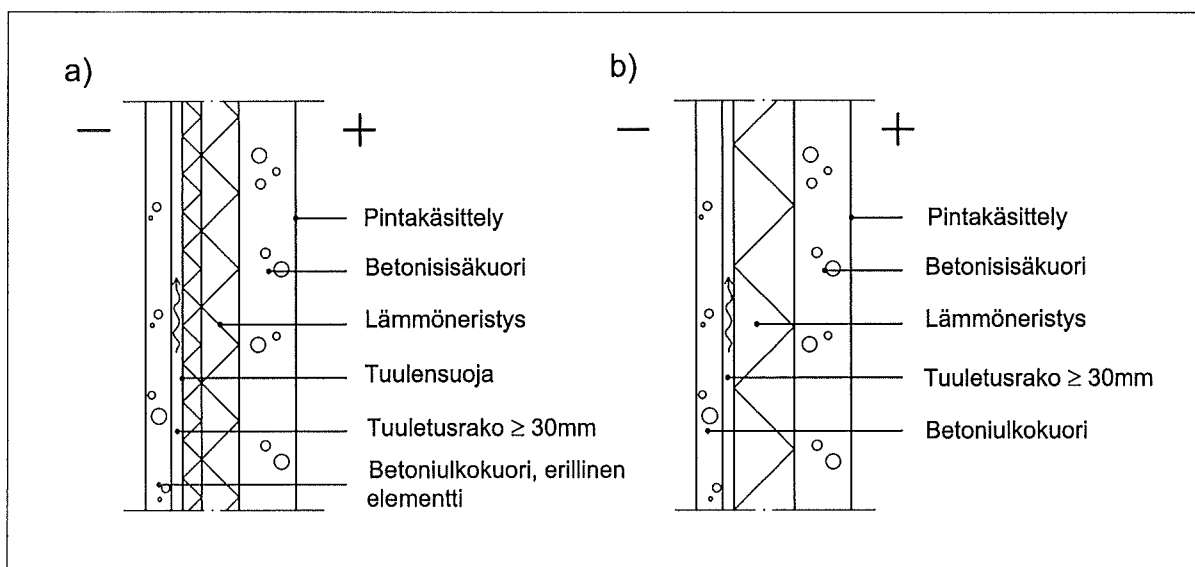
Tuuletuksen järjestämiseksi lämmöneristekerroksessa käytetään **uritusta** ulkokuoren sisäpintaa vasten. Ulkokuoren ja tuuletusurien välissä käytetään urasuojaa. Urasuojamateriaalin kosteudenläpäisevyyden tulee olla mahdollisimman suuri verrattuna betoniulkokuoren kosteudenläpäisevyyteen. Urituksen toimivuuden edellytyksenä on se, että ilma pääsee esteettä kulkemaan koko urajärjestelmässä. Urituksessa kulkevat ilmamäärät ovat vain murto-osa yhtenäisessä tuuletusraossa kulkevista ilmamääristä. Urituksen kyky kuivattaa rakennetta on siten pieni verrattuna yhtenäisen tuuletusraon kuivatuskykyyn /8/. Betonisandwich-rakenteen kosteusteknisen toimivuuden minimivaatimuksena voidaan pitää uritetun lämmöneristeen käyttöä.

Betonisandwich-ulkoseinän kuivumisen kannalta merkittävä vaihe on **rakennuskosteuden poistuminen**. Betonista elementin valun jälkeen poistuva kosteus määrä on noin 80 kg betonikuutiometriä kohti. Mikäli rakenteeseen kulkeutuu vettä rakentamisen aikana, kuivumisaika tulee huomattavasti pidemmäksi kuin pelkästään elementin valmistuksessa betonikuoriin kemiallisesti sitoutumattoman veden kuivumiseen kuluva aika. Kuivumisaikaa pidentää lisäksi sisäkuoren tiivis pinnoittaminen aikaisin, jolloin kuivuminen sisäänpäin hidastuu. Betonisandwich-rakenteen rakennuskosteuden kuivuminen tapahtuu kuitenkin pääasiassa ulospäin. Mikäli lämmöneristeenä käytetään mineraalivillaa huomattavasti huonommin vesihöyryä läpäisevää materiaalia, tulee sen vaikutus sisäkuoren kuivumisnopeuteen ottaa huomioon sisäpinnan pinnoitusajankohtaa määrättäessä. **Seinärakenteelle on varattava riittävä kuivumisaika ennen ulkokuoren mahdollista pinnoitusta.** Ulkokuoren saumasajankohtaa suunniteltaessa on otettava huomioon sekä saumojen kautta tapahtuva tuulettuminen että avoimista saumoista tapahtuvat sadevesivuodot.

### 5.3.2 Tuulettuvat betonijulkisivurakenteet /9, 10/

**Eriytetty julkisivu** koostuu yleensä betonisesta sisäkuoresta, tuulensuojatusta lämmöneristekerroksesta, yhtenäisestä tuuletusraosta sekä erikseen ripustetusta tai muuten kannatetusta betoniulkokuoresta. Betoniulkokuori jaetaan kolmeen kokoluokkaan: pienet levyelementit, kuorielementit sekä jäykistetyt suurkuorielementit. **Yhdistelmäjulkisivurakenteissa** voi ulkoverhous olla muutakin materiaalia kuin betonia, kuten esimerkiksi metallia, luonnonkiveä, klinkkeriä, lasia tai tiiltä.

**Kaksoiskuorirakenteessa** ulkokuoren ja lämmöneristeen välissä on ulkoilmaan yhteydessä oleva yhtenäinen tuuletusrako. Ulkokuori ripustetaan sisäkuoresta ansailla. Lämmöneriste sekä betoninen ulko- ja sisäkuori liitetään toisiinsa tehtaalla, joten niiden kuljetus ja asennus tapahtuu yhtenä elementtinä kuten perinteisen betonisandwich-rakenteenkin.



Kuva 5.2. Eriytetty betonijulkisivurakenne (a) ja kaksoiskuorielementti (b).

Tuulettuvissa betonijulkisivuissa voidaan käyttää esim. suljettuja saumoja tai vaakasaumoina porrastettuja avosaumoja. Suljetut saumat toteutetaan tavallisesti elastisella saumaussmassalla tai saumanauhoilla. Avosaumoja voidaan käyttää vain sellaisissa rakenteissa, joissa avosaumasta rakenteeseen pääsevät sadevesimäärät ovat mahdollisimman pieniä ja joissa vuotovedet eivät vahingoita rakennetta tai sen toimintaa. Betonirakenteiden saumoja on käsitelty tarkemmin kohdassa 6.7.1.

Kosteuden kulkeutuminen rakenteeseen ja rakenteessa tapahtuu kuorijulkisivurakenteilla samojen periaatteiden mukaan kuin betonisandwich-rakenteiden yhteydessä on esitetty. Oleellisin ero kuorijulkisivurakenteiden ja perinteisten betonisandwich-rakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa on **rakenteen tuuletusjärjestelyt** ja niiden vaikutus rakenteen kuivumiseen.

**Yhtenäisellä tuuletusraolla** varustettu ulkoseinärakenne kuivuu ympäri vuoden eikä siihen yleensä tiivisty merkittäviä määriä diffuusiokosteutta. Tuuletusrako kuivattaa tehokkaasti rakennusaikana ja käytössä rakenteeseen joutuvaa kosteutta. Rakenteen ulkokuori kuivuu sekä sisä- että ulkopintansa kautta, jolloin kuivuminen on nopeampaa ja tasaisempaa kuin rakenteella, joka kuivuu vain ulospäin.

Tuulettuvalla taustatilalla varustetuissa rakenteissa tuuletusrako katkaisee viistosateen kapillaarisen kulkeutumisen rakenteeseen. Kun tuuletusrako on yhteydessä ulkoilmaan, valitsee julkisivuverhouksen molemmilla puolilla lisäksi likimain sama ilmanpaine, jolloin paine-erosta johtuva viistosateen tunkeutuminen saumojen läpi on vähäistä. Tuuletusraon tehtävänä on lisäksi johtaa julkisivuverhouksen taakse joutunut sadevesi ulos rakenteesta.

Korkeissa rakennuksissa tuuletusrakoon voi kerääntyä ja sen kautta poistua runsaasti vettä. Yhtenäinen tuuletusrako voidaan jakaa useammiksi lyhyemmiksi tuuletusraoiksi, joista jokaisesta on oma vedenpoisto. Näin lyhennetään kosteuden ulospääsyreittiä ja samalla voidaan rajoittaa lämpötilaeroista aiheutuvan termisen konvektion voimakkuutta ja siitä aiheutuvia ilman liikkeitä lämmöneristekerroksessa. Tuuletusraon katkaiseminen on tärkeää myös siksi, että tuuletusraossa virtaavan ilman suhteellinen kosteus on sitä korkeampi, mitä pidemmän matkan se joutuu tuuletusraossa kulkemaan.

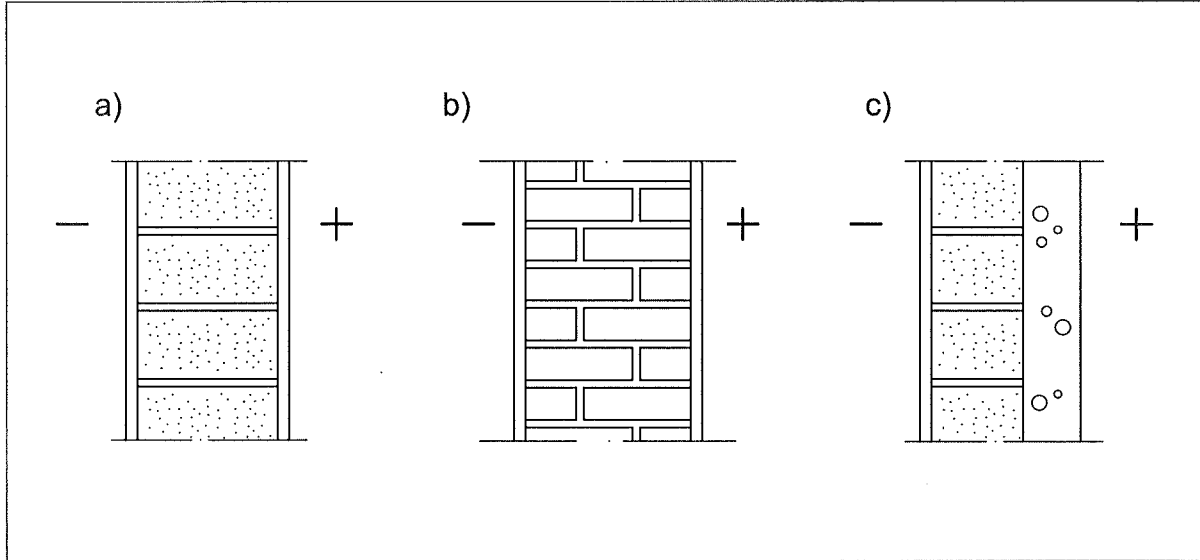
**Voimakkaalle viistosateelle altistuviin sekä tiivislaattapintaisiin betonijulkisivuihin on suositeltavaa tehdä yhtenäinen tuuletusrako.**

## 5.4 Muuratut ulkoseinärakenteet

### 5.4.1 Massiivinen ulkoseinärakenne /37/

**Muurattuja massiiviseiniä** voidaan tehdä joko poltetuista tiilistä, kalkkihiekkatiilistä tai muista muuraukappaleista, kuten kevytbetoni- tai kevytsorabetoniharkoista. Massiivisia ulkoseinärakenteita ovat myös **kanavaseinät** ja **betoni-kevytbetoniseinät**, joita käytettiin yleisesti 1960-luvulle saakka. Kanavaseinä on muurattu esimerkiksi poltetuista tiilistä si-

ten, että seinän sisään jää onteloita, mutta jonka ulko- ja sisäosa sidotaan muuraamalla yhteen. Betoni-kevytbetoniseinässä kevytbetoniharkot ovat betoniseinän ulkopuolella betonin tartunnalla kiinnittyneitä. Mineraalivillan tultua markkinoille 1950-luvulla ja lämmöneristysmääräysten kiristyttyä massiivisista seinärakenteista käyttöön ovat jääneet lähinnä kevytbetoniharkko- ja -elementtiseinät.



**Kuva 5.3.** Massiivisia ulkoseinärakenteita: kevytbetoniharkkoseinä (a), massiivinen tiiliseinä (b) ja betoni-kevytbetoniseinä (c).

Julkisivupintana olevan kevytbetonin vedenimunopeus on pienempi tai samaa luokkaa kuin poltetun tiilen mutta vedenimukyky huomattavasti suurempi. **Massiiviset kevytbetonijulkisivut tulee pinnoittaa** esimerkiksi rappauksella alustaan imeytyvän sadeveden vähentämiseksi, koska kosteus alentaa kevytbetonin lämmöneristyskykyä ja kevytbetoni kuivuu pinnoittamattomanakin hitaasti. Mikäli kevytbetoniseinässä käytetään kuorimuurausta, toimii tämä sadesuojana. Myös **kevytsoraharkkoseinillä tarvitaan pinnoitus** riittävän sadevesi- ja ilmatiiviyyden saavuttamiseksi. Pinnoitteiden on oltava riittävän hyvin vesihöyryä läpäiseviä.

**Seinämaterialin ja pinnoitteen huokosominaisuudet** vaikuttavat seinärakenteeseen imeytyvään vesimäärään ja sen kuivumisnopeuteen. Suuret huokokset imevät vettä nopeammin kuin pienet, mutta pienissä huokosissa on kapillaarinen imuvoima suurempi. Kevytbetonialustan pienempi huokoskoko rappaukseen verrattuna aiheuttaa sen, että voimakkailla viistosateilla rappauksen läpi kapillaarisesti siirtyvä vesi imeytyy helposti kevytbetonialustaan, mutta kuivuu hyvin hitaasti diffuusion kuljettaman vesihöyryn muodossa /58/. Toisaalta rappaus vähentää alustaan pääsevän veden määrää. Tiilialustan suurempi huokoskoko puolestaan mahdollistaa nopeamman kuivumisen viistosaderasituksen jälkeen.

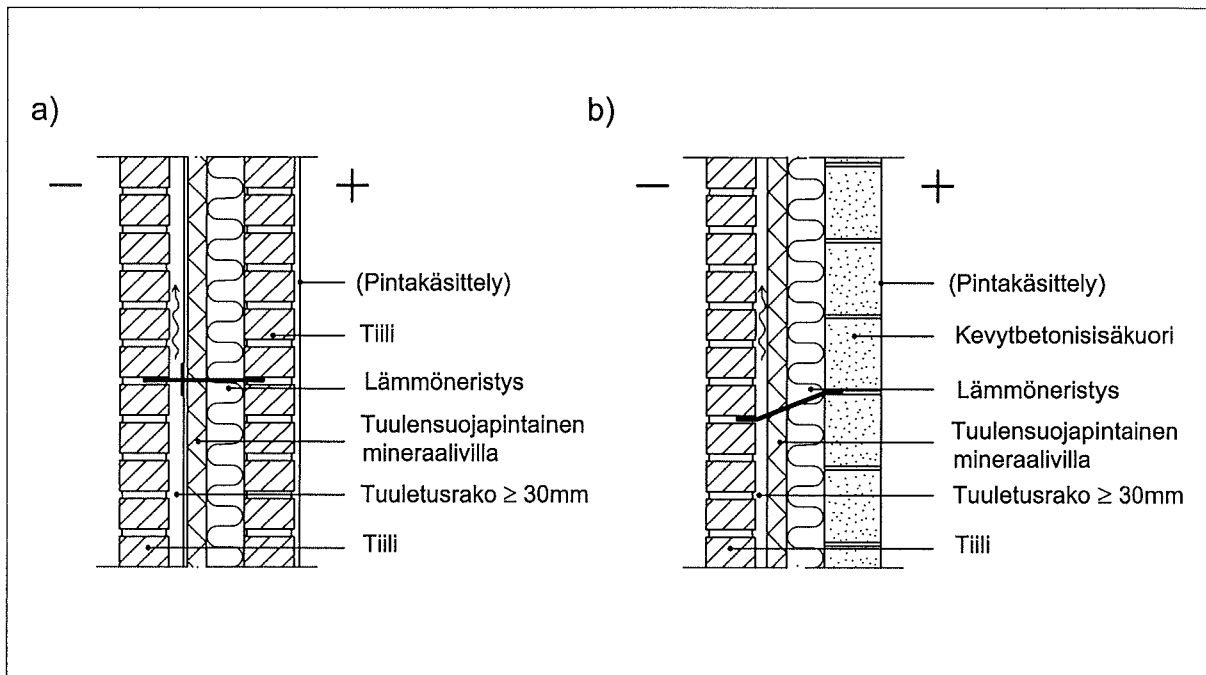
Massiivisissa ulkoseinärakenteissa tiivistyy diffuusion muodossa kulkeutuvaa kosteutta rakenteisiin hyvin vähän. Rakenteilla on yleensä **suuri kosteudensitomiskyky**. Sateesta imeytynyt tai tiivistynyt kosteus varastoituu rakenteisiin, kunnes se lämpötila- ja kosteusolosuhteiden muututtua voi haittaa aiheuttamatta poistua. Massiivisten ulkoseinärakentei-

den halkeilua on pyrittävä rajoittamaan paikallisten ilmavuotojen ja sadevesivuotojen estämiseksi. Rakenteen saumat, liitokset ja läpivientien kohdat on tehtävä ilmatiiviiksi.

Massiivisiin ulkoseinärakenteisiin voi olla sitoutuneena **suuri rakennuskosteusmäärä**, joka poistuu rakenteesta hitaasti. Esimerkiksi kevytbetoni sisältää valmistuksen jälkeen kosteutta jopa 40 paino-%. Pienestä huokoskoosta ja suuresta rakennepaksuudesta johtuen rakennuskosteuden poistuminen on hidasta. Seinärakenteen paksuntaminen pidentää ratkaisevasti kuivumisaikaa. Nämä asiat tulee ottaa huomioon julkisivun pinnoitusajankohtaa määrättäessä.

#### 5.4.2 Kuorimuuriseinät /37, 73/

**Kuorimuuuri** on seinän muurattu ulkokuori, joka tukeutuu yleensä perusmuuriin ja joka sidotaan vaakasuunnassa takana olevaan sisäkuoreen tai runkoon muuraussiteillä. **Rakoseinässä** on sekä sisä- että ulkokuori muurattu poltetuista tiilistä tai kalkkiehkekatiilistä tai sisäkuori on betoni- tai kevytbetonirakenteinen. Kuorimuuuri voi olla myös **puurunkoisen** tai **teräsrunkoisen lämpöeristetyn rankaseinän** ulkoverhouksena. Kuorimuuraus voidaan tehdä myös harkoista. Erikoistapauksena ovat lämmöneristehalkaisulla varustetut harkot. Kuorimuuriseinissä kuorien välissä on lämmöneristekerros, ja sisäkuori on usein kantava. Lämmöneristeenä käytetään yleensä mineraalivillaa, joka asennetaan tiiviisti lämpimään sisäkuoreen. Kuorimuurin paksuus on yleisimmin 130 mm tai 85 mm. Muurattu ulkoseinäpinta voidaan muurata puhtaaksi, jolloin tiilipinta jää näkyväksi ulkopinnaksi, tai seinä voidaan pinnoittaa.

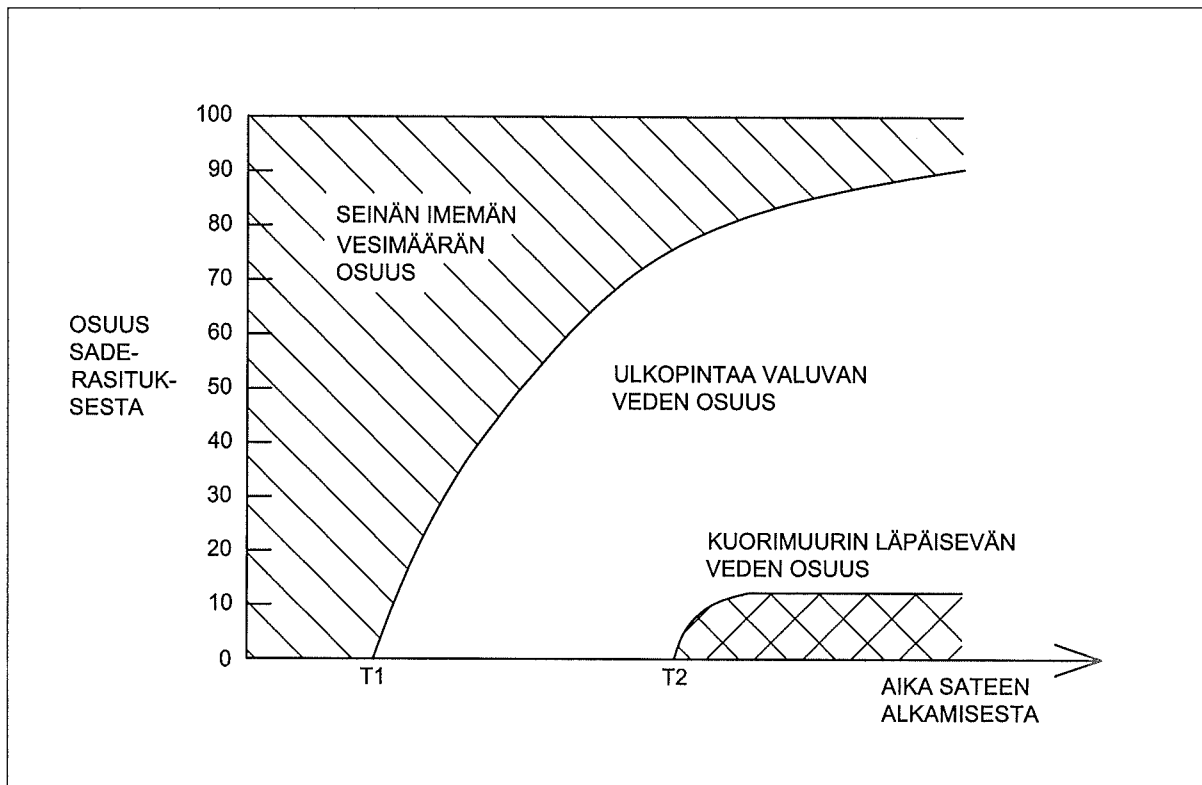


**Kuva 5.4.** Kuorimuuriseiniä: sisäkuori tiilimuuuri (a) ja sisäkuori kevytbetonirakenteinen (b).

## Kosteuden kulkeutuminen ja tiivistyminen rakenteeseen

**Sadeveden** imeytymiseen seinärakenteeseen vaikuttavat rakenne-pinnoiteyhdistelmän vedenimunopeus ja -kyky sekä seinän vesipitoisuus sateen alkaessa. Sadevesi tunkeutuu ulkokuoren taakse muuratun rakenteen halkeamien, rakojen ja epätiivien saumojen kautta. Normaaleista poltetuista tiilistä muurattu tiilimuuri imee yleensä lähes kaiken viistosateen. Sadevesivuotojen lähtökohtana oleva vesikalvo syntyy kuorimuurin pintaan, kun viistosade on niin voimakas ja pitkäaikainen, että kuorimuurin kyky imeä vettä itseensä hetkellisesti tai pysyvästi ylittyy. Kalkkiahiekkatiiliseinän pintaan muodostuu vesikalvo nopeammin kuin tiiliseinän pintaan. Kevytbetoni imee aluksi nopeasti, ja lyhytaikaiset viistosateet imeytyvät materiaaliin. Rappauspinnat voivat aluksi imeä pieniä vesimääriä lähes yhtä nopeasti kuin esimerkiksi tiilialusta, mutta suuret viistosademäärät aiheuttavat yleensä vesikalvon muodostumisen julkisivupinnalle.

Kuvassa 5.5. on esitetty muuratulle seinäpinnalle tulevan veden jakautuminen.  $T_1$  on hetki, jolloin seinän kyky imeä vettä ylittyy ja osa vedestä alkaa virrata ulkopintaa pitkin.  $T_2$  on hetki, jolloin vuotaminen kuorimuurin taakse alkaa kuorimuurin epätiiviykskohdista. /73/



Kuva 5.5. Seinäpinnalle tulevan veden jakautuminen /73/.

Vaikka kuorimuuri pyritään saamaan mahdollisimman **sadevesitiiviiksi**, ei vuotoja ulkokuoren läpi voida täysin estää. Ulkokuoren läpi päässyt vesi, joka ei ole imeytynyt muurauskiviin, valuu kuoren sisäpintaa pitkin alaspäin. Tämän **vuotoveden poistuminen** rakenteesta haittaa aiheuttamatta tulee varmistaa.

Muuratussa rakenteessa olevan **rakennuskosteuden** määrään heti rakentamisen jälkeen vaikuttavat huomattavasti mm. laastin seossuhteet, muurauskappaleiden materiaali ja säilytysolosuhteet sekä rakenteeseen pääsevän kastelu- ja sadeveden määrä. Materiaalien huokosrakenne, rakenteen materiaaliyhdistelmä sekä sisä- ja ulkoilmasto-olosuhteet määrittelevät rakenteen kuivumisnopeuden. Materiaali, jonka huokoskoko on pieni kuivuu hitaammin kuin suurihuokoinen materiaali. Sekä rakenteen sisä- että ulkopinnan pinnoittaminen hidastavat merkittävästi rakennuskosteuden kuivumista. Muuratuissa rakenteissa rakennusaikana sisäkuoreen pääsevän sadeveden määrää voidaan vähentää, kun asennetaan lämmöneristys ensin ylös asti ja suojataan yläpäästään ja muurataan ulkokuori vasta tämän jälkeen.

Sisäkuoren rakennuskosteus kuivuu lämmityskauden aikana pääasiassa ulospäin. Se haihtuu sisäkuoren ulkopinnasta, kulkee mineraalivillakerroksen läpi vesihöyryn muodossa ja tiivistyy ulomman kuoren sisäpintaan, mikäli lämpötilan lasku on riittävän suuri. Jos lämmöneriste on mineraalivillaa huonommin vesihöyryä läpäisevää materiaalia, saattaa vesihöyry tiivistyä myös itse eristeeseen. Tällöin sisäkuoren kuivuminen on myös hidasta.

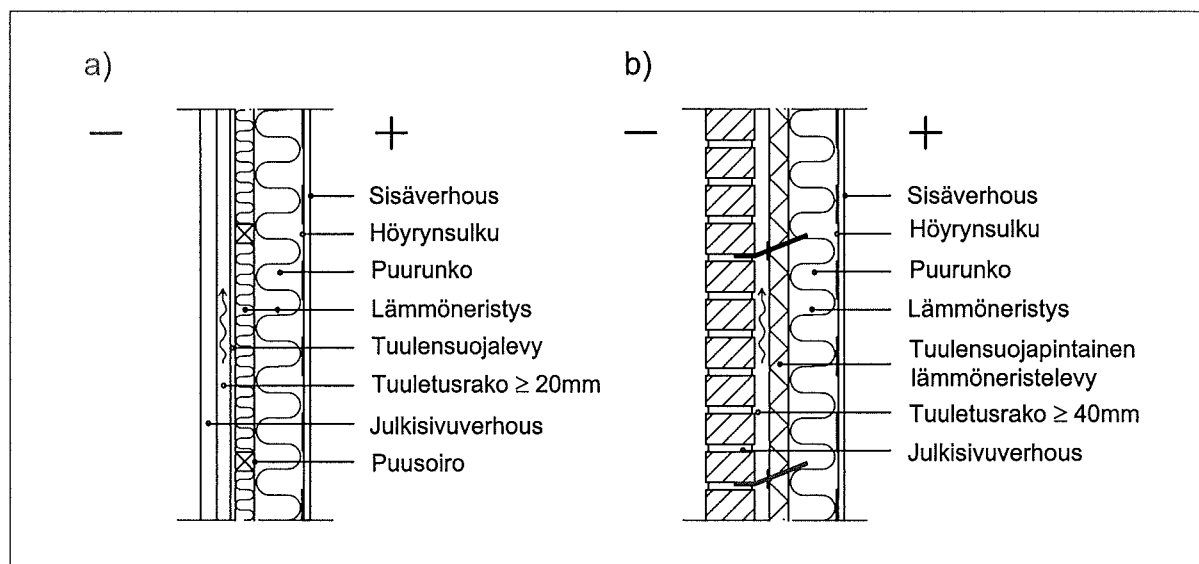
**Sisäilman kosteus** siirtyy diffuusiolla sisäpuolisen muurin läpi aina ulkomuurin sisäpintaan asti, jossa voi tapahtua talvikautena tiivistymistä. Kuorimuurin sisäpintaan tiivistynyt kosteus imeytyy kapillaarisesti kuorimuriin ja kuivuu pääasiassa diffuusiolla sen läpi ja osittain haihtuu tuuletusrakoon. Talvikautena tiivistynyt vesi jäätyy kuorimuurin sisäpintaan. Sisäkuoren halkeamien ja muiden epäjatkuvuuskohtien kautta tapahtuvat ilmapuodot voivat paikallisesti saada aikaan runsasta kosteuden tiivistymistä.

Mikäli liitoskohdat on tehty huolella, on muurattujen tai betonirakenteisten sisäkuorien ilmatiiviys yleensä melko hyvä. Kuorimuurin liittyessä puu- tai teräsrunkoiseen seinään, on seinän ilmatiiviyteen kiinnitettävä erityistä huomiota. Mikäli sisäilman kosteus on normaalia suurempi, tulee muuratun sisäkuoren sisäpintaan tehdä höyrytiivis kerros seinärakenteeseen diffuusiolla kulkeutuvan kosteuden vähentämiseksi. Jos rakenteen sisäkuori on betonia, tarvitaan höyrytiivis kerros rakenteen sisäpintaan ainakin märkätilojen kohdalla. Rakenteen sisäpuolelta tuleva kosteusmäärä (rakennuskosteus, konvektio- sekä diffuusiokosteus) ei yleensä kuivien tilojen kohdalla tuota ongelmia. Se on vain murto-osa siitä vesimäärästä, joka imeytyy verhomuuraukseen sateella.

Viistosateelle alttiissa rakoseinissä tulee käyttää **yhtenäistä tuuletusrakoa** kuorimuurin takana sekä kosteudenkestävää, vesihöyryä läpäisevää tuulensuojalevyä lämmöneristeen ulkopuolella tai tuulensuojapintaista lämmöneristelevyä. **Mikäli kuorimuraus on puu- tai teräsrunkoisen ulkoseinän ulkoverhouksena, on rakenteessa aina käytettävä tuuletusrakoa.** Tuuletusraon tulee olla yhtenäinen ja yhteydessä ulkoilmaan ylä- ja alareunastaan. Tuuletusrako katkaisee kuorimuurin epätiiviyyskohdista sisään tunkeutuneen sadeveden kapillaarisen kulkeutumisen rakenteeseen ja mahdollistaa ulkokuoren kuivumisen kahteen suuntaan. Sen tehtävä on myös johtaa kuorimuurin läpi tunkeutunut sadevesi haittaa aiheuttamatta ulos rakenteesta.

## 5.5 Puurakenteiset ulkoseinät, muurattu tai kevyt verhous /14/

**Puurakenteisessa ulkoseinässä** kantavana rakenteena toimii yleensä **puurunko**, johon kiinnitetty sisäverhouslevy ja rakennuslevyä käytettäessä myös tuulensuoja jäykistävät seinän. Puurungon ulko- tai sisäpuolella voidaan käyttää ristikoolausta. Seinän ulkoverhouksena voi olla **kuorimuuraus tai puu-, teräs- tai jokin muu verhous**. Muurattu ulkoverhous kannatetaan perusmuurista ja sidotaan muuraussiteillä puurunkoon.



Kuva 5.6. Puurunkoisia ulkoseiniä: puuverhous (a) ja muurattu ulkoverhous (b).

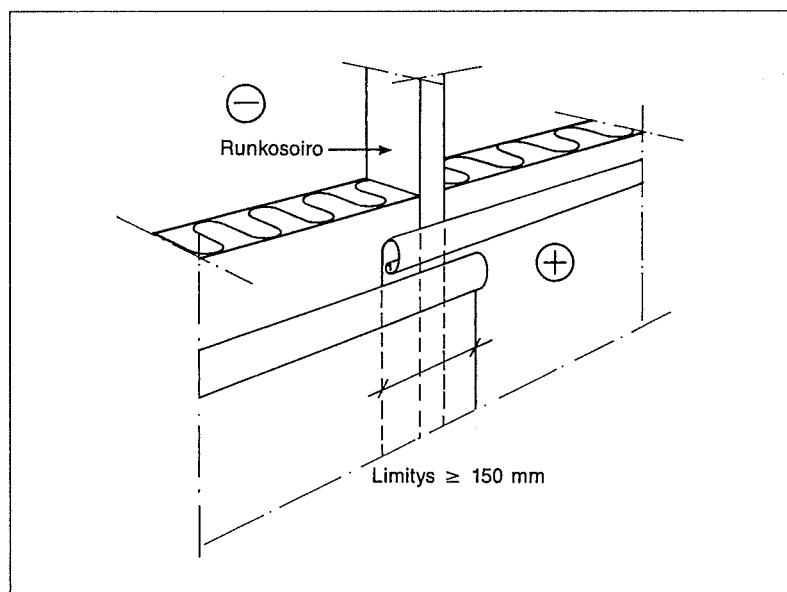
Sisäilman kosteus tulee puurunkoisissa rakennuksissa pitää alhaisena. Rankarakenteisissa kevyissä ulkoseinissä pyritään diffuusion muodossa seinärakenteeseen kulkeutuvaa kosteutta vähentämään tekemällä sisäpinnasta höyry- ja ilmatiivis ja pienentämällä rakenteen vesihöyrynvastusta paineen alenemisen suuntaan. Ilmatiiviyden aikaansaaminen rankarakenteisissa ulkoseinissä edellyttää erityisen tiivistyskerroksen tekemistä, muuratuista ja betonirakenteisista seinistä poiketen. **Rankarakenteisen seinän höyry- ja ilmatiiviyden varmistetaan yleensä asentamalla lämmöneristekerroksen sisäpintaan höyrynsulku ja ulkopintaan tuulensuoja.** Käytännön nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että tuulensuojan vesihöyrynläpäisyyden tulee olla vähintään 5-kertainen sisäpinnan höyrynläpäisyyden verrattuna. Tuulensuojana voidaan käyttää kosteudenkestävää, vesihöyryä läpäisevää tuulensuojalevyä tai tuulensuojamateriaalia, jossa on yhdistetty sekä lämmöneriste että tuulensuoja.

Puurankaseinän **lämmöneristeellä** (mineraalivilla, selluvilla) ei ole suurta merkitystä seinärakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta. Lämmöneristeinä käytetään yleensä mineraalivillaa, koska se on helppo asentaa tiiviisti runkopuita ja eristeeseen rajoittuvaa sisäpintaa vasten. Se ei myöskään painu käytön aikana. Lämmöneristys suojataan ulkoisilta ilmavirtauksilta tuulensuojan avulla. Lämmöneristekerrosten väliin, höyrynsulun sisäpinnan ja lämmöneristeen väliin sekä tuulensuojan taakse ei saa jäädä ilmarakoja. Tuulensuojan saumojen riittävä tiivistäminen on suojan toimivuuden kannalta oleellista. Saumat



tulisi sijoittaa aina runkorakenteiden tai niitä vastaavien rakenteiden kohdalle. Kondenssi-vaaraa aiheuttavien kylmäsiltojen muodostuminen rakenteeseen tulee estää.

Rakenteen epätiiviyiskohtien kautta ilmavuotojen eli konvektiovirtausten kuljettamat kosteusmäärät saattavat olla paikallisesti huomattavan suuria verrattuna diffuusion kautta siirtyviin kosteusmääriin. Konvektiovirtaukset voivat ulko- ja sisäilman välisistä painesuhteista riippuen suuntautua joko ulos- tai sisäänpäin. **Paikallisten ilmavuotojen vähentämiseksi on höyrynsulku ja tuulensuoja liitettävä tiiviisti ikkunoihin ja oviin sekä ala-, väli- ja yläpohjiin sekä perusmuuriin.** Höyryn- ja ilmansulun on oltava tiivis liitosten lisäksi **saumojen ja lävistysten kohdilla.** Höyrynsulun saumakohdat olisi limitettävä vähintään 150 – 200 mm. Liitokset tulee teipata ja puristaa kahden jäykän pinnan väliin tai tulee käyttää tarkoitukseen sopivia jatkoslistoja tai saumojen kuumaliimausta.



Kuva 5.7. Höyrynsulun asentaminen /14/.

**Höyrynsulun käyttö** on suositeltavaa rakennuksissa, joissa on tavanomaiset rankarakenteiset ulkoseinät ja normaali sisäilman kosteus. Jos rankarakenteisissa ulkoseinissä ei käytetä höyrynsulkua, on suurempi kosteuden massavirta otettava huomioon. Huolellisesti asennettu ilmansulku on tällöinkin välttämätön. Mikäli sisäilman kosteus on ajoittain tai pitkäaikaisesti korkea, on rankarakenteisessa ulkoseinässä aina käytettävä höyrynsulkua.

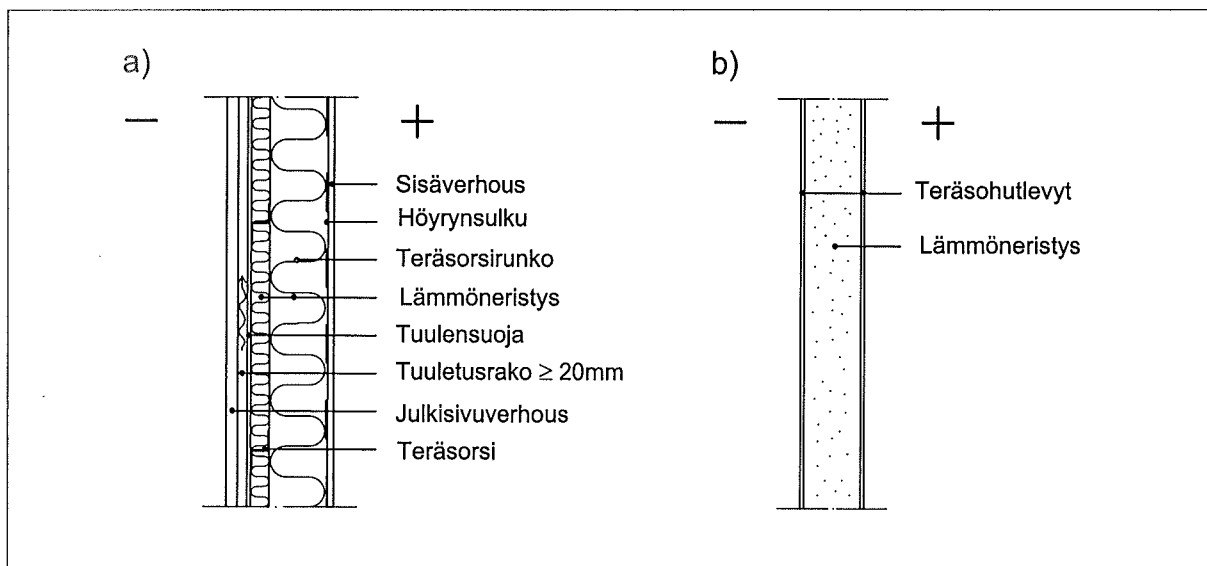
**Rakenteeseen päässeen kosteuden kuivuminen on varmistettava.** Muuratun ulkoverhouksen sisäpuolelle on jätettävä yhtenäinen tuuletusrako ja sen toimivuus tulee varmistaa myös raon ylä- ja alapäässä. Muurattua ulkoverhousta ei pystytä saamaan täysin sadevesitiiviiksi. Tuuletusraon kautta poistetaan kuorimuurin läpi tunkeutunut sadevesi sekä estetään vuotoveden pääsy puurunkoon. Kuorimuurin liittyessä puurunkoiseen seinään on kiinnitettävä erityistä huomiota materiaalien yhteensopivuuteen ja muuraustyön huolellisuuteen. Laastipurseet eivät saa pudota tuuletusrakoon ja tukkia sitä eivätkä ne saa ulottua tuulensuojamateriaaliin. Puurunkoisessa ulkoseinässä, jossa muurattu ulkoverhous voi sitoa paljon kosteutta, voi rakenteen ulkopinnan lämpeneminen aiheuttaa kosteuden kulkeutumista diffuusiolla sisäänpäin.

**Kevyen ulkoverhouksen** suunnittelussa on pyrittävä kosteusrasituksen vähentämiseen sekä kuivumisen varmistamiseen ja nopeuttamiseen. Lisäksi verhoukseen olisi saatava mahdollisimman **sadevesitiiviiksi**. Puinen ulkoverhous tehdään yleensä laudoista, jotka voivat olla pontattuja. Puiset julkisivupinnat käsitellään sekä ulkonäön että puupinnan kestävyuden parantamiseksi. Pintakäsittelyyn voidaan käyttää mm. maaleja, lakkoja ja pinnansuojausaineita eli kuullotteita. Metallilevyverhoukset ovat tavallisesti terästä, alumiinia tai kuparia, ja ne ovat yleensä profiloituja ja pintakäsiteltyjä.

Puu-, teräs- tai jotakin muuta kevyttä ulkoverhousmateriaalia käytettäessä tulee ulkoverhouksen ja puisen seinärakenteen väliin järjestää yhtenäinen, ulkoilmaan tuulettuva ilmarako. Se tasaa paine-eroja verhouksen eri puolilla, jolloin paine-eron aiheuttama sadeveden tunkeutuminen verhouksen läpi vähenee. Lisäksi tuuletusraon kautta voidaan johtaa mahdollisesti julkisivuverhouksen läpi tunkeutunut sadevesi sekä julkisivuverhouksen taakse kulkeutunut sisäilman kosteus tai seinän rakennuskosteus pois. Tuuletusraon tehtävä on myös helpottaa ja nopeuttaa puuverhouksen kuivumista tuuletusraon suuntaan. Ulkoverhousmateriaalien valinnassa tulee ottaa huomioon rakenteiden lämpö- ja kosteusliikkeet. /2, 37, 57/

## 5.6 Teräsrakenteiset ulkoseinät

Teräsrunkoisia ulkoseiniä käytetään usein metalliverhottujen julkisivujen yhteydessä erityisesti varasto- ja teollisuusrakennuksissa. Seinärakenne muodostuu yleensä ulkoverhouksena olevasta **profiloidusta metallilevystä** ja **teräsorsista** koostuvasta seinärakenteen rungosta. Sisäverhoiluina voi myös olla jokin metallilevy. Teräsrunkoisia ulkoseinärakenteita ovat myös ns. **ohutlevysandwich-rakenteet**, joissa lämmöneristys on kiinnitetty kahden tavallisesti sinkityn ja muovipinnoitetun ohutlevyn väliin. Ohutlevyt liimataan tavallisesti jäykkien polystyreeni- tai mineraalivillaeristeiden pintaan. Polyuretaanieristys voidaan paistaa levyjen väliin. /67/



**Kuva 5.8.** Teräsrunkoisia ulkoseiniä: teräsorsirunkoinen (a) ja ohutlevysandwich-rakenne (b).

Teräsrunkoisen ulkoseinän höyry- ja ilmatiiviys, lämmöneristys ja tuulensuojaus toteutetaan samojen periaatteiden mukaan kuin puurunkoisten seinien. Teräsrakenteisten seinien suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota **kylmäsilloihin**. Rakenne on suunniteltava siten, että kondenssivaaraa aiheuttavien kylmäsillojen muodostuminen voidaan estää. Teräsrakenteisten ulkoseinien höyry- ja ilmatiiviuden saavuttamiseksi tulee lämmöneristeen sisäpuolelle asentaa **höyrynsulku**. Höyrynsulun tulee olla tiivis myös saumojen ja liitosten kohdilla. Teräsrakenteisten ulkoseinien liitosten suunnittelussa tulee ottaa huomioon **rakenteiden liikkeet**. Teräsrunkoisessa metalliverhoilussa ulkoseinässä tulisi aina käyttää **yhtenäistä tuuletusrakoa** ulkoverhouksen takana. Korroosionkestävyyden kannalta on oleellista, ettei ulkoverhouksen taakse mahdollisesti päässyt vesi jää seisomaan, vaan se johdetaan rakenteesta ulos.

## 5.7 Eristerappaus /3, 34, 63, 66/

Eristerappaus on ei-kantava taustarakenteeseen kiinnitetty julkisivurakenne, joka sisältää lämmöneristykseen ja sen päälle tehdyn lujitetun, vanhaan seinärakenteeseen tai rakennuksen runkoon ankkuroidun rappauksen. Rakennetta voidaan käyttää sekä **uudis-** että **korjausrakentamisessa**. Eristerappausjärjestelmästä riippuen eristerappauksen alustana voi olla kivi-, puu- tai teräsrunkoinen ulkoseinärakenne. Eristerappausrakenteet voidaan jakaa rappauksen mukaan kahteen ryhmään: ohutrappauksiin ja useampikerroksisiin rappauksiin.

Tyypillinen eristerappauksen käyttökohde on rakennuksen lisäeristäminen julkisivukorjauksen yhteydessä. Ulkoseinän ulkopuolinen lisäeristys on sekä kosteus- että lämpötekniisesti parempi kuin seinän sisäpuolinen, koska lisäeristysrakenteen suojaa vanhaa seinää ulkopuolisilta rasituksilta, kuten sateelta ja pakkaselta, ja vanhan rakenteen lämpötila nousee. Vanha rakenne alkaa kuivua päästessään entistä lämpimämpään tilaan, mikäli vesihöyry voi poistua uuden rakenteen läpi alustarakenteesta. Lisäksi ulkopuolinen lisäeristys katkaisee tehokkaasti välipohjien ja –seinien muodostamat kylmäsillat. Uuden eristyksen taakse ei saa jättää tuuletusrakoa, vaan se on saatava toimimaan yhdessä vanhan rakenteen lämpöeristävän osan kanssa. /2/

### 5.7.1 Ohutrappaus ja solumuovi- tai mineraalivillaeriste

Eristerappausjärjestelmissä, joissa pintana on orgaanisista laasteista tehty ohutrappaus, käytetään lämmöneristeenä joko solumuovieristeitä (polystyreeni) tai jäykkää mineraalivillaa. Eristelevyt kiinnitetään liimaamalla ja erityisesti mineraalivillaa käytettäessä lisäksi mekaanisten kiinnikkeiden avulla. Rappauksen vahvikeverkkona käytetään lasikuituverkkoa.

**Eristerappausjärjestelmän vesihöyryn läpäisyn** on oltava sellainen, että järjestelmään kulkeutuva ja siinä oleva kosteus voi rakennetta vahingoittamatta haihtua rakenteesta. Eristerappausrakenteen, jossa käytetään tiiviitä lämmöneristemateriaaleja (solumuoveja), soveltuu sellaisiin rakenteisiin, joissa alustarakenteen vesihöyrynvastus on riittävän suuri

eristerappauksen vesihöyrynvastukseen verrattuna. Tällöin rakenteen sisäosista kulkeutuva kosteus ei merkittävässä määrin tiivisty eristeeseen tai lisäeristyksen rajapintoihin. Tällaisia alustarakenteita ovat esimerkiksi tiili-, kalkkihiekkatiili-, betoni- ja kevytbetonialustat. Kosteuden tiivistyminen tiiviiseen eristeeseen tai lisäeristyksen rajapintoihin on mahdollista silloin, jos alustarakenne on hyvin vesihöyryä läpäisevä, kuten sahanpuru- tai mineraalivillaeristeiset puurankaseinät, tai sisäilman kosteussisältö on suuri. Kosteuden tiivistymistä tulee tarvittaessa arvioida laskennallisesti.

Eristerappausjärjestelmään pääsevän **sadeveden** määrä tulisi olla mahdollisimman pieni ja siihen päässeen veden on päästävä poistumaan mahdollisimman nopeasti. Tämän ryhmän eristerappausrakenteen ulkopinta ja lämmöneriste (varsinkaan solumuovi) eivät ime vettä. Viistosateella rakenteen ulkopintaan muodostuu välittömästi yhtenäinen vesikalvo, jolloin halkeamien, epätiivien saumojen ja liitosrakenteiden kautta voi vettä kulkeutua haitallisessa määrin rappauksen taakse. Vuotovesi ei siirry painovoimaisesti alaspäin solumuovieristeessä. Saumakohtissa painovoimainen siirtyminen on kuitenkin mahdollista. Mineraalivillaa käytettäessä vuotovedet voivat kulkeutua eristeessä alaspäin. Kosteuden kerääntyminen rakenteeseen on mahdollista. Näin ollen **rappauksen halkeilua** on pyrittävä estämään mahdollisimman tehokkaasti ja liitosrakenteet tulee suunnitella siten, ettei sadevesi pääse niiden kautta rakenteen sisään. Myös **veden poisjohtaminen** rakenteista on otettava suunnittelussa huomioon.

Tämän ryhmän eristerappausrakenteita käytettäessä kuivuminen eristerappausrakenteen läpi on suhteellisen hidasta. Siksi **vanha seinärakenne tai seinän runko on syytä suojata kastumiselta työn aikana**. Alustarakenteen kosteuspitoisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota silloin, kun ulkopuolisena lisälämmöneristeinä käytetään huonosti vesihöyryä läpäiseviä materiaaleja kuten solumuovituotteita ja rakenteen sisäpinnassa on höyrytiivis kerros.

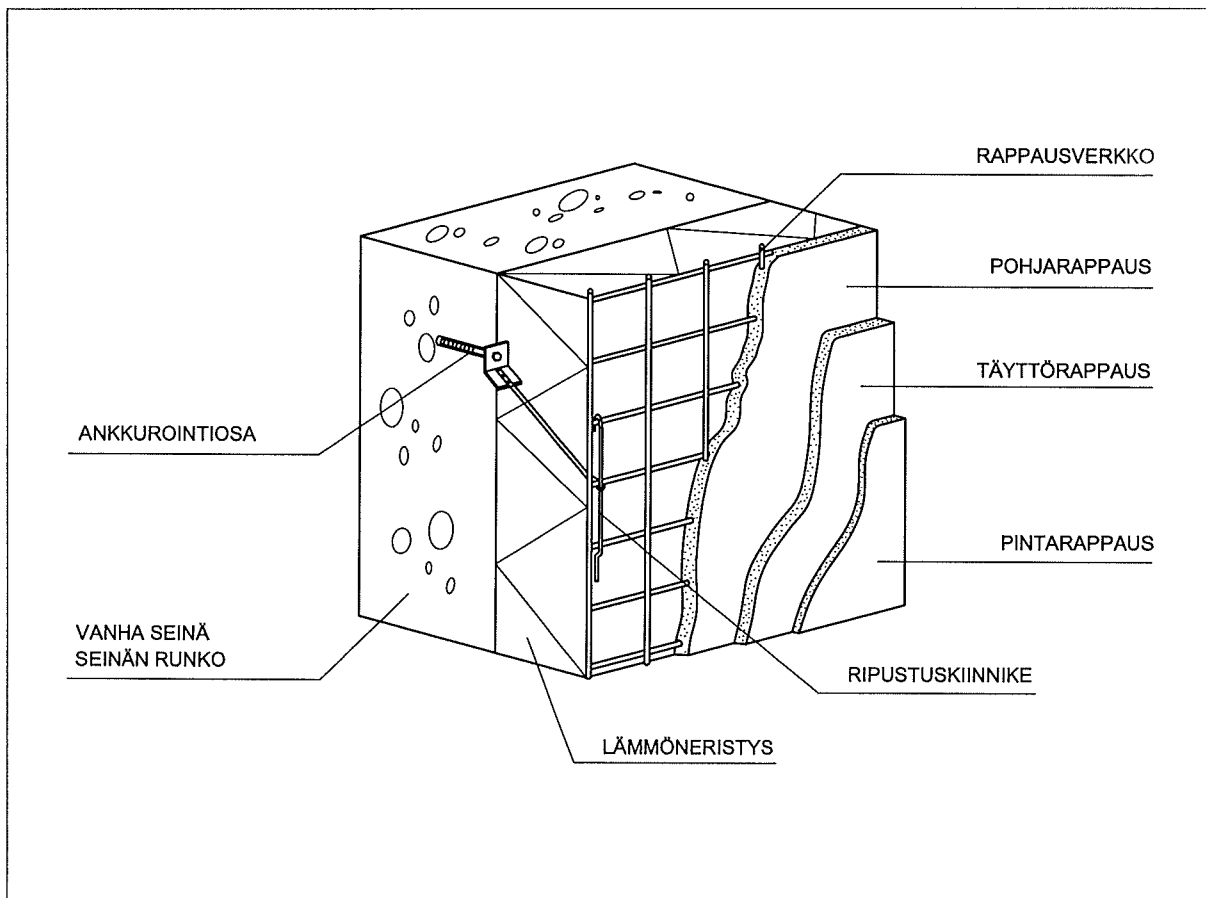
### 5.7.2 Useampikerroksinen rappaus ja mineraalivillaeriste

Useampikerroksinen rappaus voi olla epäorgaanisista laasteista, kuten kalkkisementtilaasteista, tehty **kaksikerrosrappaus** tai yleisemmin käytetty **kolmikerrosrappaus**. Vahvisteverkkona kolmikerrosrappauksessa käytetään kuumasinkittyä teräsverkkoa. Lämmöneristeinä tällaisissa eristerappausrakenteissa käytetään jäykkää mineraalivillaa ja rakenne kannatetaan mekaanisilla kiinnikkeillä. Rappaus ei aiheuta sisäpuolisen vesihöyrynsä ulospääsulle merkittävää estettä. Rakenteen alustana voi olla kivi-, puu- tai teräsrunkoinen ulkoseinä.

Rappauskerros imee runsaasti vettä, kaksikerrosrappaus jonkin verran vähemmän. Lämmöneriste ei ime vettä kapillaarisesti. Kolmikerrosrappauksen pintaan voi muodostua vesikalvo vasta pitkäaikaisella sateella. Rappauksen pintaan muodostuu vesikalvo, kun rappauksen huokostila on sateen seurauksena täyttynyt vedellä. Tällöin voi halkeamista ja epätiiviiä saumoista kulkeutua vettä rappauksen taakse eristekerrokseen. Eristetilaaan tunkeutunut vesi siirtyy painovoimaisesti eristeessä alaspäin ja voi kuivua ulkopinnan läpi

vetenä ja vesihöyrynä. Kolmikerrosrappausta käytettäessä ei halkeamista ja saumoista tavallisesti kulkeudu kovin suuria määriä vettä eristetilaan. Huonosti suunniteltujen tai toteutettujen liitosrakenteiden ja muiden rakennevirheiden takia myös kolmikerrosrappausten ulkopinta voi helposti kyllästyä vedellä, jolloin eristetilaan kulkeutuu vettä ja pinnoite voi vaurioitua. **Rakenteen suunnittelussa on estettävä keskittynyt sadevesirasitus ja otettava huomioon veden poisjohtaminen rakenteesta.**

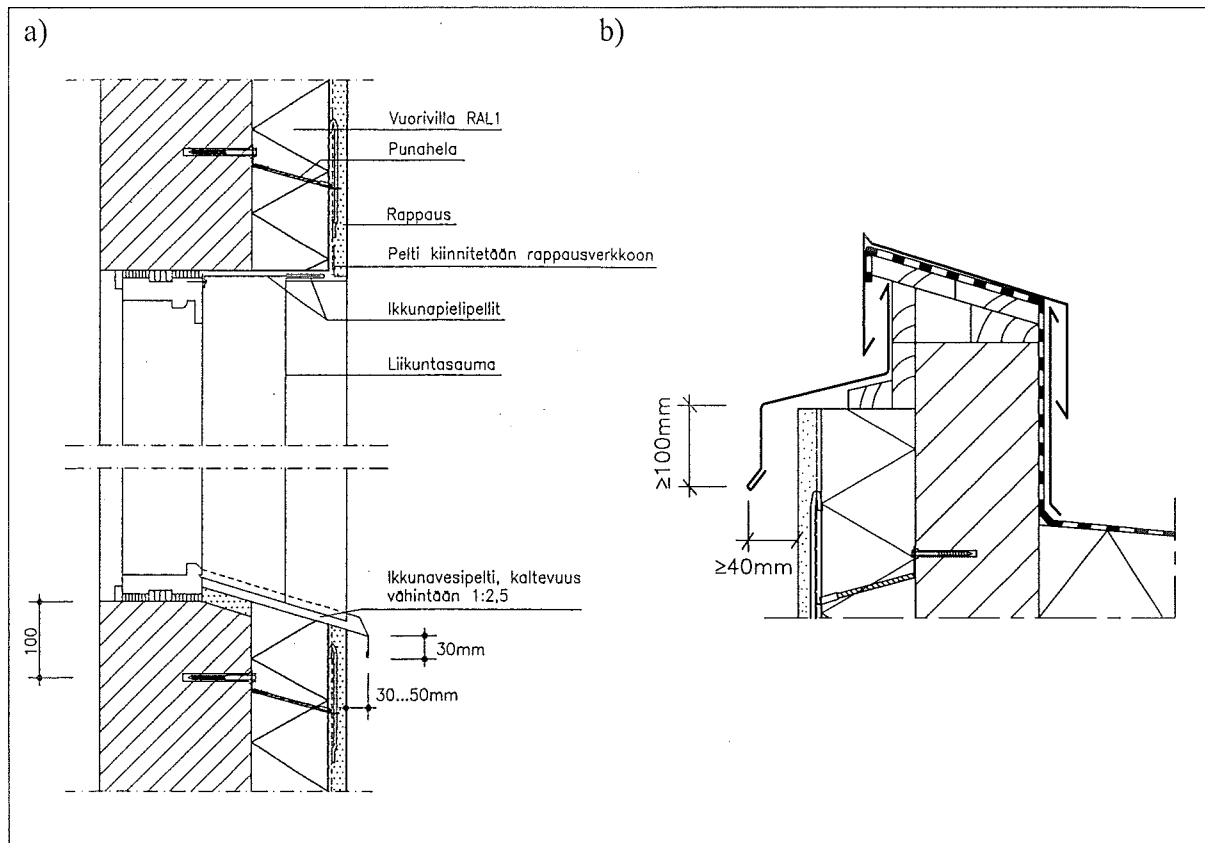
Tämän ryhmän rakenteilla kuivuminen eristerappausrakenteen läpi on suhteellisen nopeaa, sillä kosteus voi poistua rakenteesta sekä vesihöyrynä että vetenä. **Työn aikaisesta suojauksesta** on kuitenkin aina syytä huolehtia.



**Kuva 5.9.** Eristerappausrakenteen, jossa on käytetty jäykkää mineraalivillaa ja kolmikerrosrappausta /63/.

Maaperän kosteuden pääsy eristerappausrakenteeseen tai sen alle tulee estää.

Kuvassa 5.10. on esitetty eristerapatun julkisivun liitosdetaljeja.



**Kuva 5.10.** Rapatut ikkunapielet: pystyleikkaus (a) ja rappauksen räystäspellitykset kapean räystään yhteydessä (b) /63/.

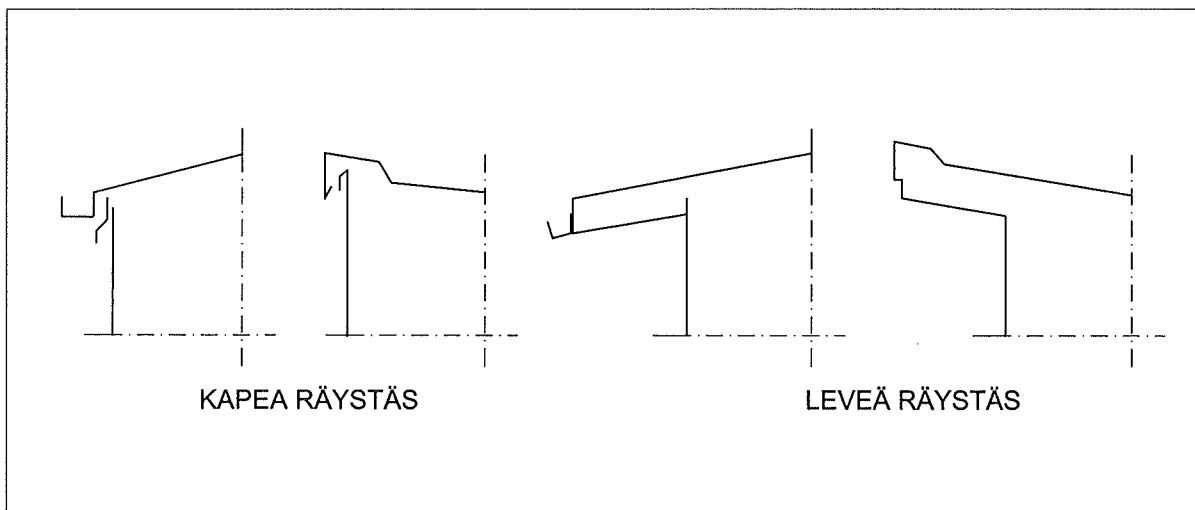
## 6 Ulkoseinärakenteiden ja niiden yksityiskohtien kosteustekninen suunnittelu

### 6.1 Räystäsrakenteet

Räystäät suojaavat seinän ja katon liitosta sekä tuuletusreittejä ja vähentävät ulkoseinän yläosan viistosaderasitusta. Räystäsrakenteista voi ulkoseinärakenteeseen kulkeutua huomattavasti suurempia vesimääriä kuin muista liitoksista, jos räystääs ei pysty estämään seinäpintaa ylöspäin nousevan vesikalvon ja katolta tuulen kuljettaman veden ja lumen pääsyä seinärakenteeseen.

#### 6.1.1 Katon vedenpoisto /37/

Katon vedenpoistojärjestelmä voi olla **ulkopuolinen** tai **sisäpuolinen**. Ulkopuolisessa vedenpoistojärjestelmässä kattolappeet on kallistettu ulospäin räystäälle, joista vesi poistetaan tavallisesti räystääskouruja ja syöksytorvia pitkin maan pinnalle. Sisäpuolisessa vedenpoistojärjestelmässä vesi johdetaan katolla oleviin kattokaivoihin ja niistä rakennuksen sisäpuoliseen sadevesiviemäriin. Kummankin vedenpoistojärjestelmän yhteydessä voidaan käyttää joko leveää tai kapeaa räystästä (kuva 6.1.).



Kuva 6.1. Eri räystäsmalleja.

Lämpimät (tuulettumattomat) katot ja loivat tuulettuvat katot on suositeltavaa tehdä sisäpuolisella vedenpoistolla, koska ulkopuolista vedenpoistoa käytettäessä kattopinnalla, lumen alla sulava vesi jäätyy tullessaan räystäällä olevalle kylmälle kattopinnalle tai kylmiin kouruihin ja syöksytorviin. Räystäälle kiinni jäätyvä vesi saattaa padota yläpuolelta juoksevan veden, jolloin seurauksena on vesivuotoja, mikäli kate ei ole tiivis. Jäätymisriskiä vähentää hyvä tuuletus, korkea tuuletusrako myös räystäällä ja hyvä yläpohjan lämmöneristys. Jäätymisriskiä voidaan puolestaan torjua sähkölämmityksellä.

Räystäälle kertyvä jää ja siitä aiheutuvat vesivuodot lisäävät ulkoseinän yläosan rasitusta ja vaurioriskiä seinän kastuessa ja jäätyessä toistuvasti. Vuotovedet voivat kulkeutua myös seinän eristetilaan.

Ulkopuolista vedenpoistoa käytettäessä on huomattava, että katolta tulevan sadeveden määrä on suuri ja että kaikki vuodot katon vedenpoistojärjestelmässä ovat seinärakenteenkin kannalta haitallisia.

### 6.1.2 Räystäsrakenteen suunnittelu /37/

Räystään suunnittelussa huomioon otettavia **kosteuslähteitä** ovat mm seuraavat:

- viistosade
- kattopinnalla liikkuva vesi
- katteen alapuolinen kondenssi- ja vuotovesi, aluskatteen päällä kulkeutuva vesi
- kourujen roiskevesi, vuotovesi ja jään sulamisvesi
- seinäpintaa ylöspäin kulkeva vesi
- tuulen ilmassa kuljettava lumi
- kattopintaa pitkin tuulen mukana kulkeva lumi
- katolta liukuva lumi ja jää
- kouruihin kertyvä jää
- diffuusiona ja konvektiona kulkeutuva sisäilman kosteus.

Räystäsrakenteet on suunniteltava siten, että tuulenpaineen seinän pintaa pitkin ylöspäin kuljettava lumi ja sadevesi eivät pääse rakenteisiin. Kattovesien ja räystäskourujen vuotovesien pääsy julkisivupinnalle ja ulkoseinärakenteeseen on myös estettävä.

Jos kattorakenteessa on **aluskate**, on se ulotettava ulkoseinäpinnan ulkopuolelle siten, että aluskatteen päälle joutuvat kondenssi- ja vuotovedet pääsevät haittaa aiheuttamatta ulos.

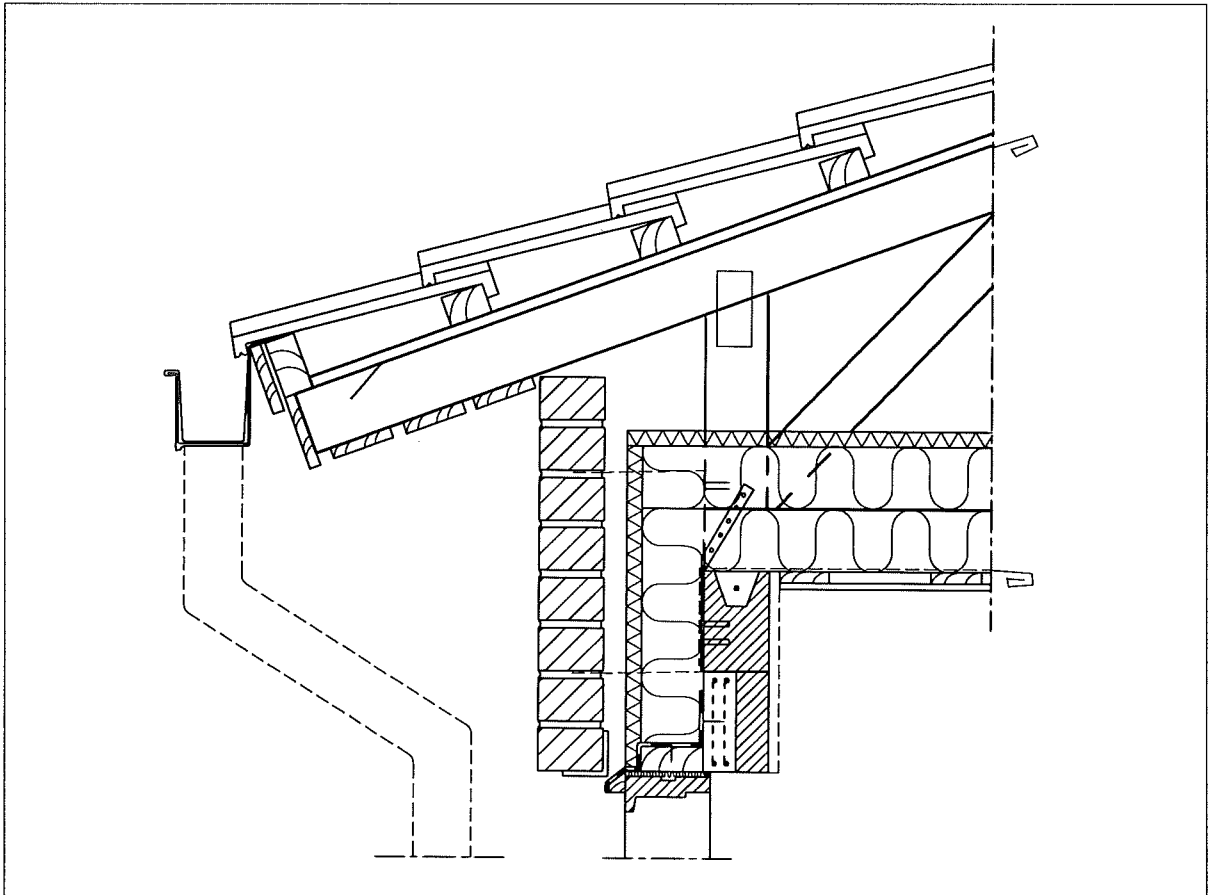
Räystäsrakenteiden suunnittelussa on otettava huomioon **yläpohjan ja seinän tuuletusraon ilmankierto** sekä pyrittävä rajoittamaan **lumen** pääsyä yläpohjaan. Tuulen kuljettava lumi pääsee kuitenkin joskus kapeastakin raosta rakenteiden sisään. Rakenne on suunniteltava siten, ettei tunkeutunut lumi sulaessaan aiheuta haittaa, vaan haihtuu aikanaan tuuletusilmaan.

**Yläpohjan ilmavuodot** voivat kuljettaa kosteutta rakenteisiin. Talvikausina rakennuksen sisätilat ovat usein ylipaineisia ulkoilmaan nähden. Kattorakenteisiin tiivistyvä kosteus saattaa aiheuttaa kosteusvuotoja seinärakenteisiin tai talvisin jääpuikkoja räystäisiin. Ilmavuotojen estämiseksi tulee yläpohja, yläpohjan läpiviennit sekä seinän ja yläpohjan liitos tehdä sekä ilma- että höyrytiiviksi.



### 6.1.3 Leveät räystäät

Leveitä räystäitä käytettäessä tulisi räystäään ulottua vähintään 400 mm julkisivupinnan ulkopuolelle. Leveitä räystäitä on suositeltavaa käyttää erityisesti voimakkaalle viistosateelle altistuvissa rakennuksissa ja rakennuksissa, joiden ulkoseinät ovat puurakenteiset tai joiden julkisivumateriaali (esim. puu ja rappaus) on syytä suojata voimakkaalta viistosateelta. Leveitä räystäitä voidaan hyvin käyttää myös sisäpuolisen vedenpoiston yhteydessä. Kuvassa 6.2. on esitetty leveä räystääs tiiliseinän yhteydessä.



Kuva 6.2. Leveä räystääs tiiliseinän yhteydessä /34/.

### 6.1.4 Kapeat räystäät /14, 37/

Kapeiden tai sisään vedettyjen räystääiden suunnittelu ja toteutus vaatii aina erityistä huolellisuutta.

Sisäänpäin kallistetuilla loivilla katoilla ( $\leq 1:20$ ) tulee räystäälle tehdä vähintään 100 mm korkea **korotus** kattopinnasta lukien (kuva 6.3.) estämään tuulen kattopintaa pitkin kuljetaman veden pääsy räystäään yli seinäpinnalle ja seinärakenteeseen. Räystäällä on **katon vedeneristys** ulotettava korotuksen yli ulkoseinäpinnan ulkopuolelle siten, ettei räystäään yli vuotava vesi valu seinärakenteen sisään. Räystääskorotus pellitetään ja sen yläpinta kallostetaan katolle päin, jotta pellin päältä valuva vesi ei likaa julkisivua. Räystääskorotuksen

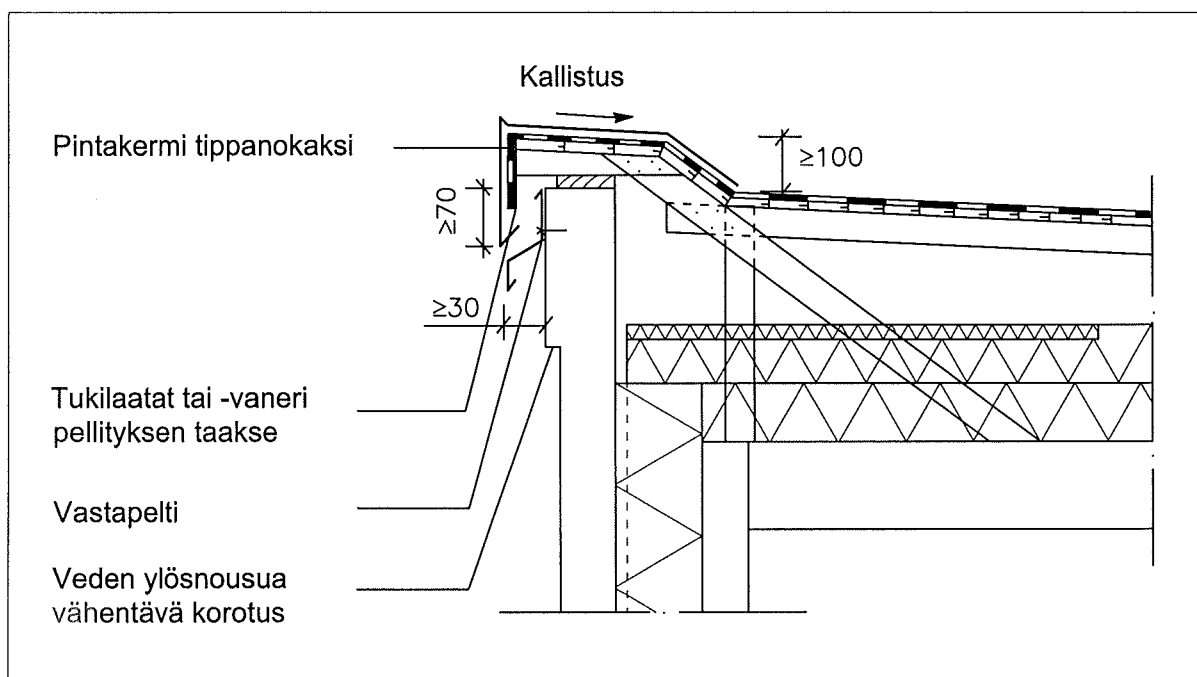
korkeutta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon katon kallistukset ja kattokaivojen määrä, lumen määrä, rakennuksen korkeus sekä mahdollinen tulviminen.

**Räystäspellin** on ulotuttava vähintään 70 mm julkisivun yläreunaa alemmaksi sekä vähintään 30 mm seinäpinnasta ulospäin ja se on varustettava tippanokalla (kuva 6.3.). Tätä minimiratkaisua paremmin suojaavaa rakennetta on suositeltavaa käyttää mm. seuraavissa tapauksissa:

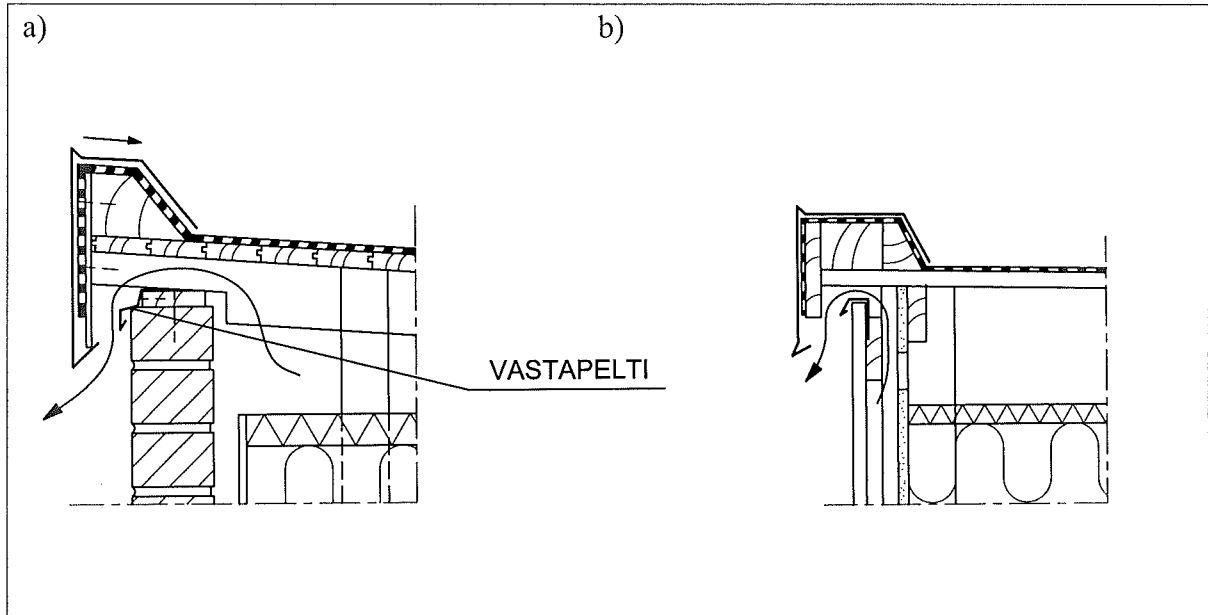
- 1) rakennus sijaitsee rannikolla tai saaristoalueella
  - 2) rakennukseen kohdistuu muutoin voimakas viistosaderasitus
  - 3) rakennus on yli 3-kerroksinen
  - 4) rakennuksen julkisivumateriaali on syytä suojata voimakkaalta saderasitukselta.
- Paremmiin suojaaviin ratkaisuihin ovat esimerkiksi leveä räystäas tai suurempi (esim. 200 mm) räystäaslevennys.

Räystäspellin ja seinän ulkopinnan väliin jätetään rako katon tuuletusta varten. Seinäpintaa pitkin ylöspäin nousevan lumen ja veden pääsyä seinärakenteeseen tämän raon kautta voidaan rajoittaa käyttämällä **myrskypeltiä** ja muotoilemalla ulkokuoren yläreunaan korotus (kuva 6.3.). Myrskypeltiä tulee käyttää kapeissa räystäissä yli 2-kerroksisissa rakennuksissa. Sen käyttö on tarpeellista erityisesti meren rannassa ja tuulisilla paikoilla sekä julkisivun ollessa vettä hitaasti imevää materiaalia.

Katon tuuletus on mahdollista hoitaa seinän päällä olevan tuuletusraon sijasta myös seinän läpi menevien, hieman seinäpinnasta ulos vedettyjen tuuletusputkien, tuuletuskoteloiden tai alipainetuulettimien avulla tai tuuletuselimillä kattopinnan läpi. Tuuletusputkien lukumäärä ja niiden pinta-ala vaikuttavat oleellisesti tuuletuksen tehokkuuteen.

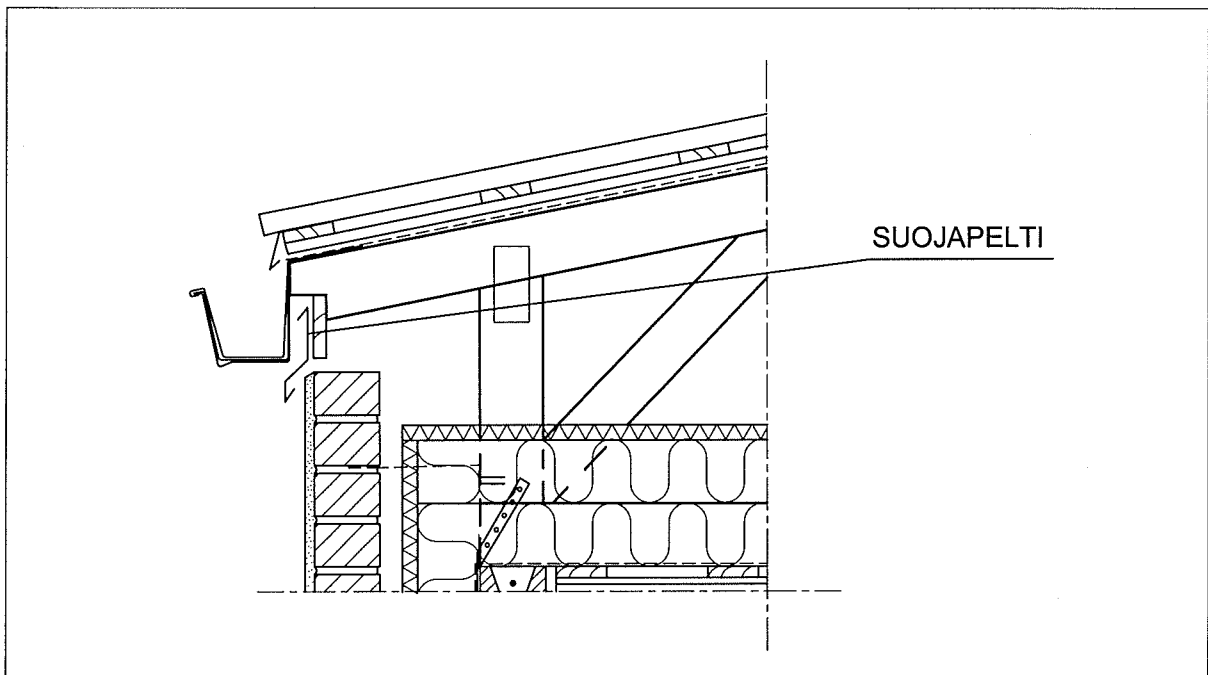


Kuva 6.3. Sisäänpäin kallistetun bitumikermikaton räystä /37/.



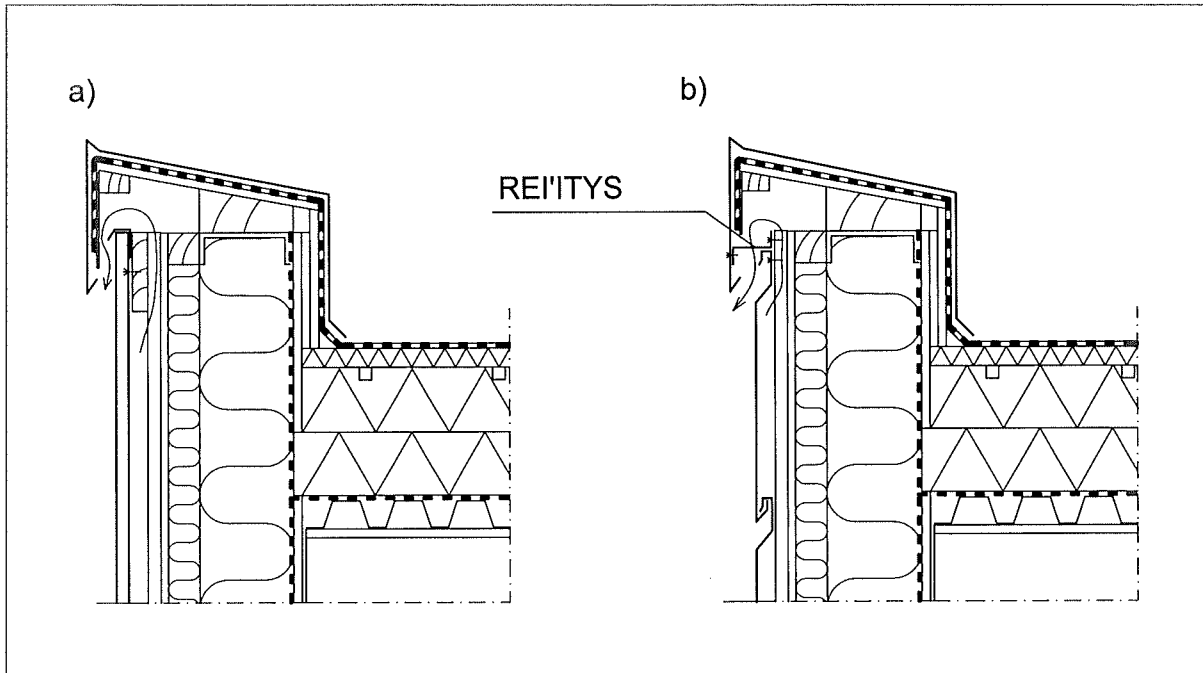
**Kuva 6.4.** Sisäpuolisella vedenpoistolla varustetun katon kapea räystäs muuratun ulkoseinän yhteydessä (a) ja puu-ulkoseinän yhteydessä (b) /37/.

Kapearäystäisten harjakattojen yhteydessä tarvitaan räystäskourun takana **vastapelti** suojaamaan seinää kourun vuotovesiltä ja estämään lumen ja veden tunkeutuminen yläpohjaan ja sitä kautta seinärakenteeseen (kuva 6.5.).



**Kuva 6.5.** Seinän suojaaminen räystäskourun vuotovesiltä /37/.

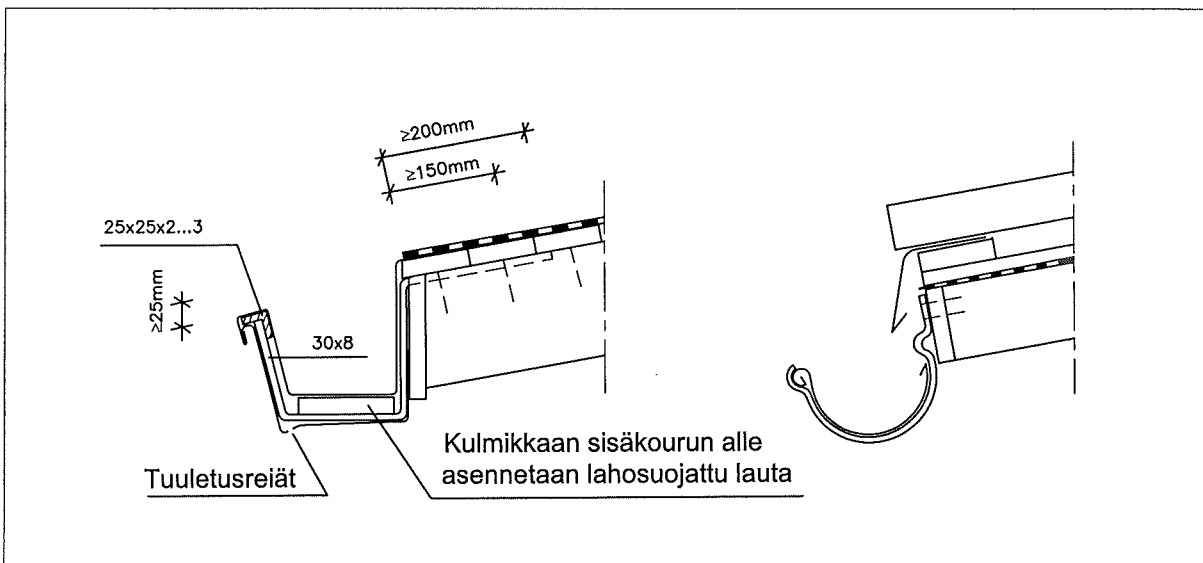
**Räystäspellitysten jatkokset ja kiinnityskohdat** tulee tehdä siten, että ne pysyvät tiiviinä lämpöliikkeistä huolimatta ja ettei vesi pääse tunkeutumaan pellitysten alle. Jatkoksissa on syytä käyttää haka- tai pystysaumaa. Kiinnityksissä tulee ottaa huomioon tuulesta aiheutuva imu ja mahdollisessa reiässä liikevara. Räystäspellit kiinnitetään lämpöliikkeet mahdollistavalla tavalla.



**Kuva 6.6.** Sisäpuolisella vedenpoistolla varustetun katon kapea räystäs teräsrakenteisen ulkoseinän yhteydessä, kun ulkoverhouksena käytetään pystyyn asennettua profiilipeltiä (a) tai metallikasetteja (b).

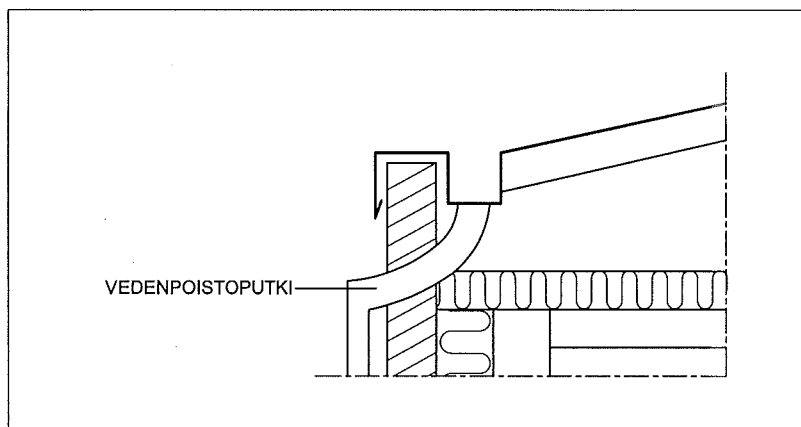
### 6.1.5 Räystäskourut /26/

Räystäskourut tulee suunnitella siten, etteivät katolta valuvat lumi ja jää kerry niihin ja vaurioita niitä. Kouruissa tulee olla kallistukset syöksytorviin päin. Räystäskourujen suunnittelussa on otettava huomioon kourujen tukkeutumisesta tai jäätymisestä aiheutuvien vuotovesien ohjaus siten, etteivät ne kulkeudu seinäpinnalle tai pääse sisään seinärakenteeseen. Kourun yläreunan tulee olla katon lappeen pintaa alempana. Räystäskourujen jäätyminen voidaan tarvittaessa estää käyttämällä niissä lämmityskaapeleita. Kuvassa 6.7. on esitetty sekä kulmikas että puolipyöreä räystäskouru.



**Kuva 6.7.** Kermikatteeseen liittyvä kaksinkertainen räystäskouru ja yksinkertainen puolipyöreä räystäskouru /26/.

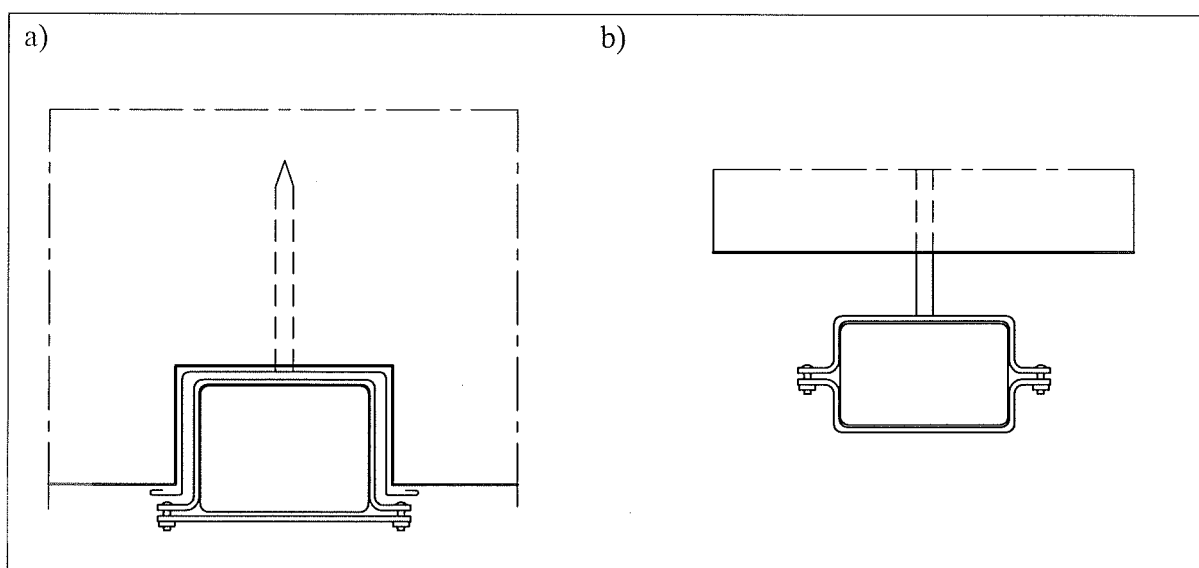
Ulkopuolisella vedenpoistolla varustetuilla katoilla seinärakenteen sisään tai seinälinjan päälle ei tule rakentaa räystäskouruja (kuva 6.8.).



**Kuva 6.8.** Seinärakenteen sisään rakennettu räystäskouru (ei suositeltava).

### 6.1.6 Syöksytorvet /26, 51/

Syöksytorvien etäisyys seinästä on oltava vähintään 30 mm. Syöksytorvien pystysaumoja ei saa asentaa seinän puolelle ja kiinnikkeet on asennettava viistosti ulospäin viettäviksi, ettei vuotava vesi kastele seinärakennetta tai seinää pitkin valuva vesi kerry kiinnityskohtiin. Kiinnikkeiden materiaalin ja asennustavan on oltava sellainen, ettei se likaa seinäpintaa. Jäätyminen estetään tarvittaessa sähkölämmityksellä. Seinään upotettuja syöksytorvia käytettäessä on seinä suojattava erillisillä suojarakenteilla, kuten esimerkiksi pellillä, mahdollisia syöksytorvien vesivuotoja vastaan. Tällainen ratkaisu ei aina ole teknisesti hyvä, koska seinään upotettujen syöksytorvien vaurioita on vaikeampi havaita ja korjata kuin kokonaan seinäpinnasta irti olevien torvien vaurioita. Syöksytorvien alaosa vaurioituu usein myös ilkvillan seurauksena, jolloin vesi pääsee roiskumaan seinään. Tämän ehkäisemiseksi voidaan syöksytorvien alaosa tehdä esimerkiksi suurempaa ainepaksuutta ja tiheämpää kiinnikeväliä käyttäen.



**Kuva 6.9.** Syöksytorvi (a) seinään upotettu, (b) seinäpinnasta ulkoneva /26/.



**Kuva 6.10.** Pintavedet sekä syöksytorven vuoto- ja roiskevedet ovat vaurioittaneet parvekepieliseinää.  
(Kuva: TTKK, Talonrakennustekniikan laboratorio)



**Kuva 6.11.** Huonosti suunnitellut räystäspellitykset aiheuttavat seinän yläpään värjäytymistä. (Kuva: TTKK, Talonrakennustekniikan laboratorio)

## 6.2 Ikkuna- ja oviliitokset

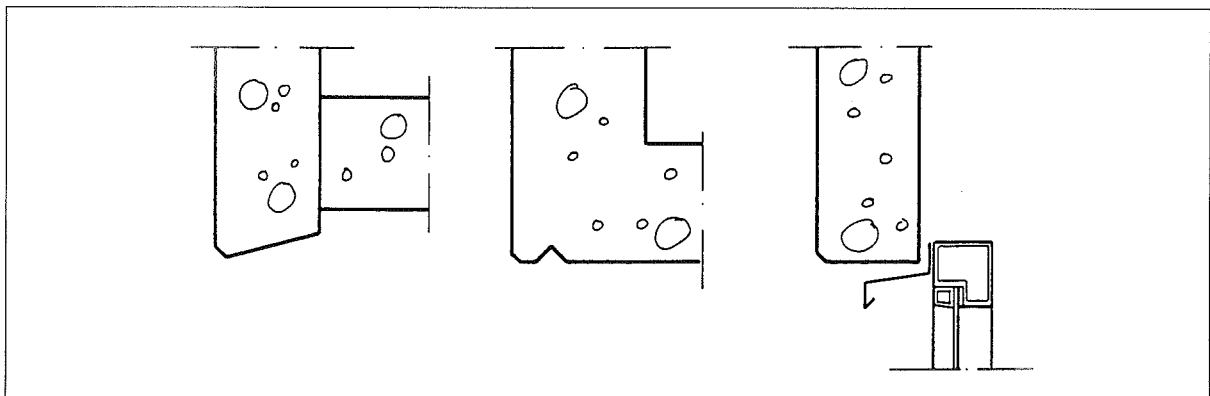
Jos puurakenteiset ikkunat ja puuovet joutuvat runsaalle saderasitukselle alttiiksi, niihin voi syntyä erilaisia vaurioita. Lahovaurioiden lisäksi ovet saattavat käyristyä ja ikkunapuitteiden saumat voivat aueta. Tuulisella paikalla varsinkin korkeissa rakennuksissa viistosade voi tunkeutua ikkunan raoista rakenteisiin ja aina sisätiloihin saakka. Talvella ikkunat saattavat huurtua ja jäätyä, mikä usein toistuessaan voi aiheuttaa vaurioita puiselle ikkunapuitteelle. /37/

### 6.2.1 Ikkunoiden ja ovien kosteusrasitusten vähentäminen /37, 39/

Ikkunaan kohdistuvan viistosaderasituksen määrään vaikuttavat mm. rakennuksen sijainti, seinän korkeus, ilmansuunta, ikkunan sijainti, sen mitat ja sijainti seinän syvyysuunnassa, räystäät, seinäulokkeet ja ikkunapellitykset. Ovirakenteisiin kohdistuu periaatteessa samat rasitukset kuin ikkunarakenteisiin. Rasitustaso on yleensä kuitenkin alhaisempi, koska ovet sijaitsevat tavallisesti sateelta suojassa joko katos- tai parvekerakenteiden alla. Ovirakenteiden liittyminen seinärakenteeseen tehdään samojen periaatteiden mukaan kuin ikkunoidenkin.

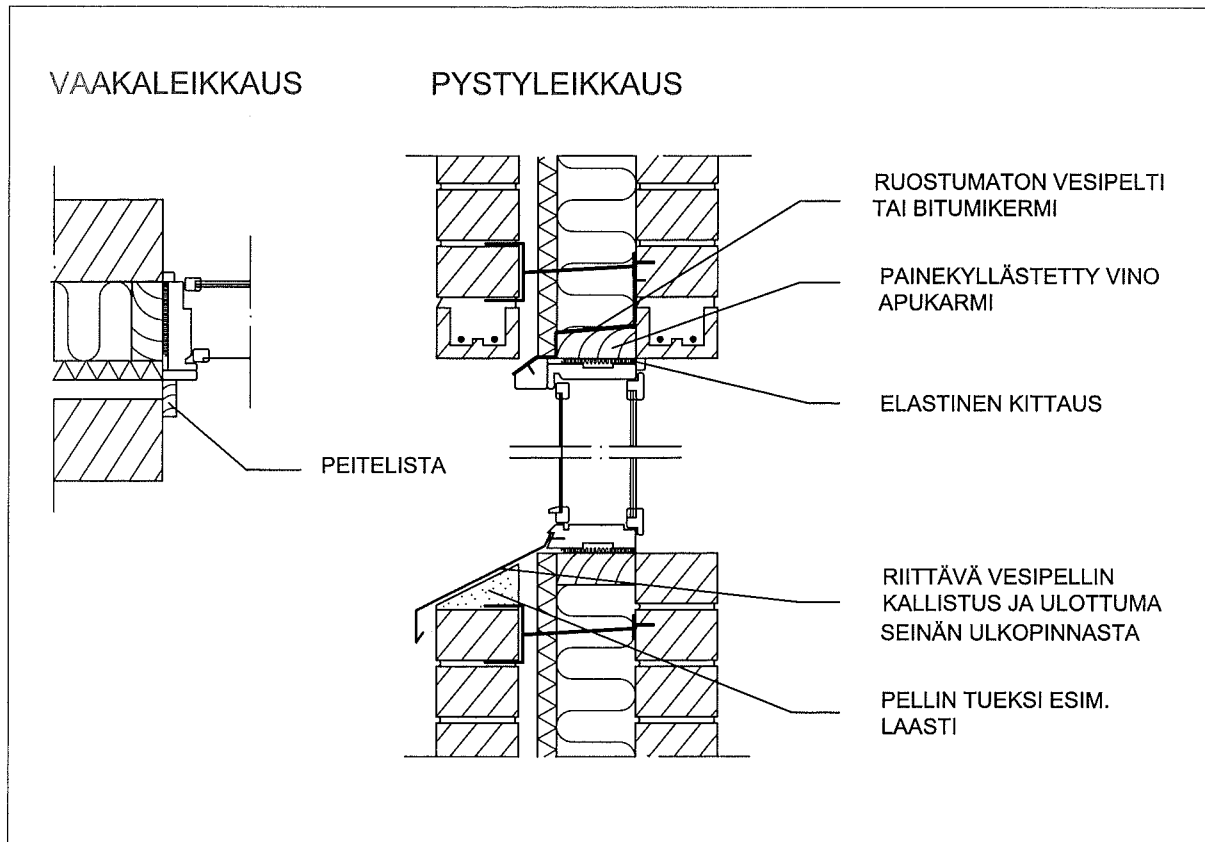
**Leveät räystäät ja seinäulokkeet** ikkunan päällä vähentävät ikkunaan kohdistuvaa sadevesirasitusta. Ulokkeiden suojavaikutus ei ulotu ikkunan alaosiin asti, mutta vähentää alaosankin rasitusta. Korkeiden kerrostalojen ylimpien kerrosten ja nurkkien osalta suojamahdollisuudet ulokkeiden avulla ovat vähäiset. /48/

**Seinäpinnan materiaali** vaikuttaa ikkunan saderasitukseen siten, että vettä imevillä pinnoilla alaspäin valuvan vesikalvon syntyminen viivästyy ja valuva vesimäärä on vähäisempi kuin vettä imemättömillä julkisivumateriaaleilla. Seinäpintaa alaspäin valuva vesi kulkeutuu ikkunoiden yläpuolelle ja valuu siitä osittain sauma- ja ikkunapinnalle ja tippuu vesipellille. Ikkunan yläpuolella olevan seinärakenteen vaakasuorat alapinnat tulee suunnitella siten, ettei seinäpintaa pitkin valuvan vesi kulkeudu suoraan ikkunapinnalle. Tämä voidaan estää käyttämällä terävää kulmaa, vesiuraa tai pellitystä, joka varustetaan tippanokalla (kuva 6.12.).

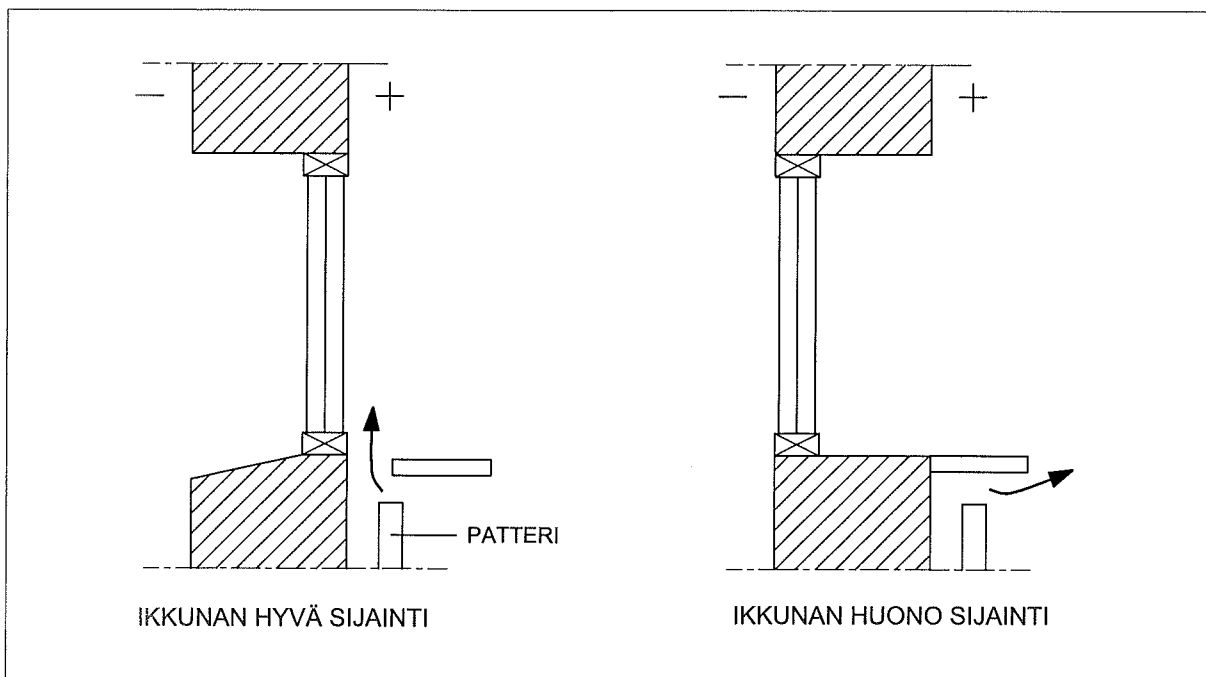


Kuva 6.12. Aukon yläpuolisen seinän alareuna /37/.

Varsinkin tiilirakenteisissa ulkoseinissä, joissa vesivuodot kuorimuurin läpi ovat mahdollisia, ikkunan yläpuolelle on hyvä laittaa **vuotoveden ulos johtava kerros**, joka ulottuu eristekerroksen sisäpintaan asti vinon apukarmin päällä (kuva 6.13.). Vedenohjaus voidaan tehdä bitumikermiä tai vesipeltiä käyttäen.



Kuva 6.13. Ikkunan liittyminen tiilirakenteiseen ulkoseinään.



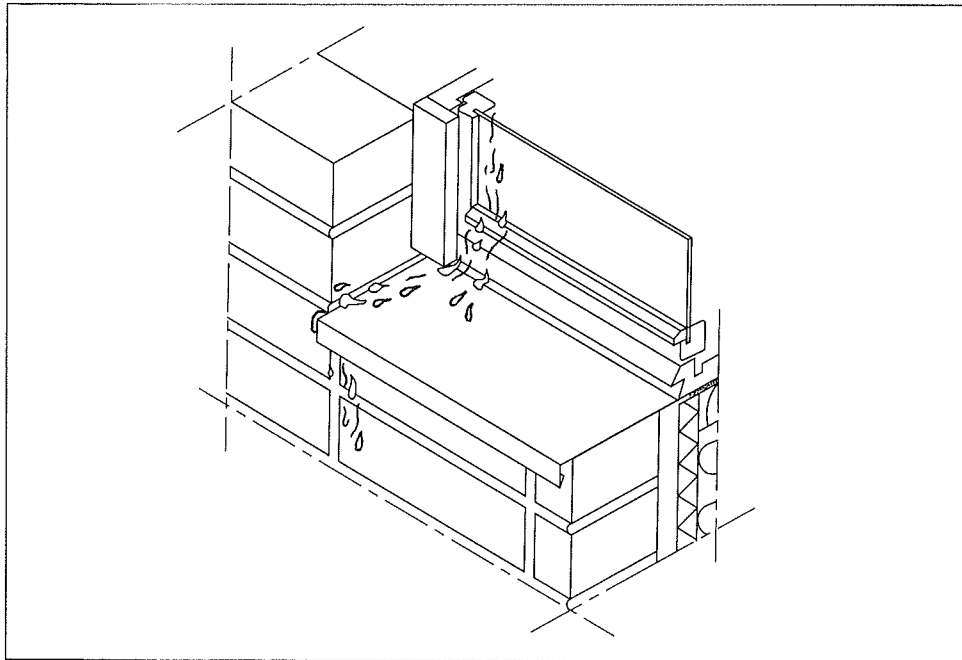
Kuva 6.14. Ikkunan sijoittaminen seinän syvyyssuunnassa (periaate).



Myös **ikkunan sijainti seinän syvyysuunnassa** vaikuttaa siihen kohdistuviin rasituksiin (kuva 6.14.). Mitä lähempänä seinän sisäpintaa ikkuna sijaitsee, sitä vähemmän viistosade kastelee puitteita ja karmia. Sijoittamalla ikkuna mahdollisimman lähelle seinän sisäpintaa voidaan ehkäistä myös ikkunoiden huurtumista ja jäätymistä. Tällöin ikkunan alapuolella olevasta lämpöpatterista nouseva lämmin ilmavirta lämmittää lasin pinnan, eikä kosteus tiivisty siihen. Lämpöpatterista nousevan ilman kulkua ei saa estää sen yläpuolella olevalla ikkunapenkillä. Jos ikkunapenkkiä käytetään, on siinä oltava riittävä rako ilmavirtaa varten.

### 6.2.2 Ikkunan vesipellitys /39/

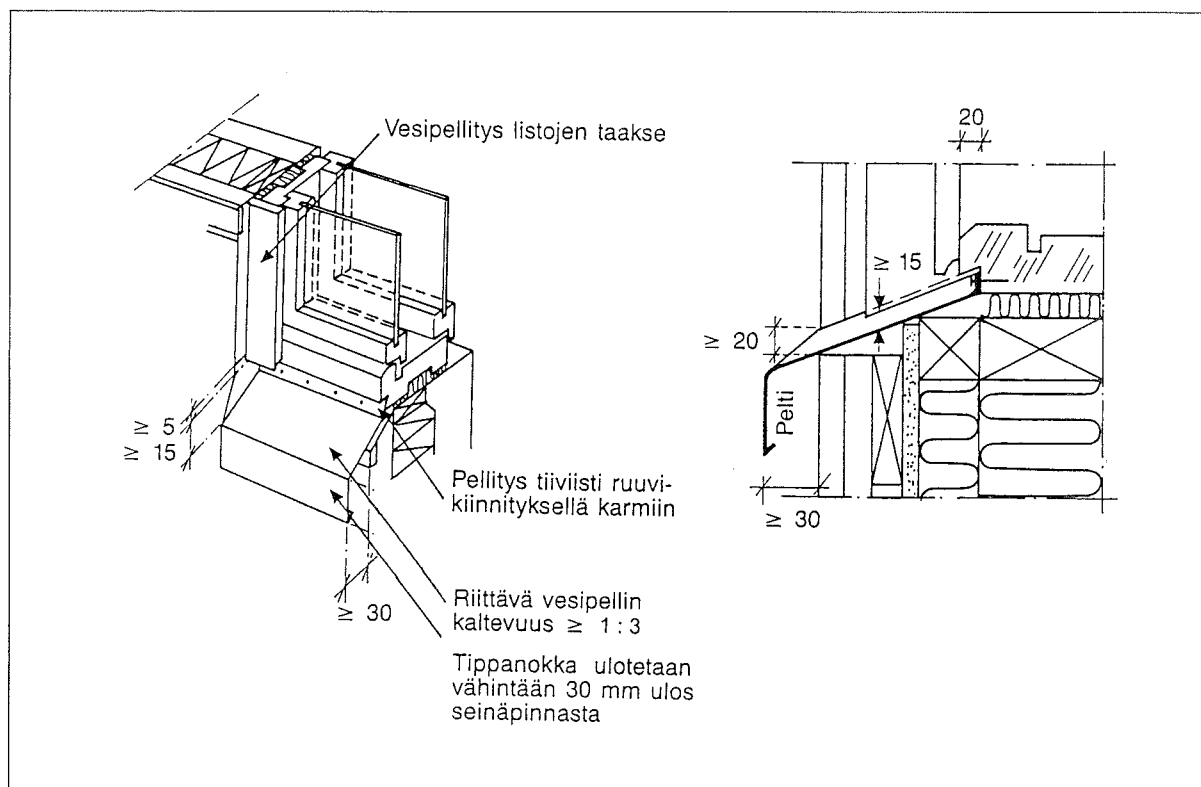
Väärin toteutetut ikkunapellitykset saattavat aiheuttaa sadevesien tunkeutumista seinärakenteeseen ja runsaita paikallisia kosteuskertymiä. Kuvassa 6.15. on esitetty ikkunapellitys, joka on liitetty huonosti seinärakenteeseen ja jonka kallistus on liian pieni.



**Kuva 6.15.** Pellitys on liitetty huonosti seinärakenteeseen ja kallistus on liian pieni /14/.

Ikkunapellitys on **liitettävä tiiviisti karmiin ja päistään seinärakenteeseen**. Ikkunapelti on kiinnitettävä karmiin ruuveilla eikä nauloilla, koska naulat voivat löystyä, ja pellin ja karmien väliin muodostuu tällöin rako. Ikkunapelti tulee nostaa ikkuna-aukon päissä ylös. Pellityksen ja seinän päätyliitos suunnitellaan julkisivumateriaalin mukaan. Vesipelti on tehtävä siten, että kaikki ikkuna- ja karmipintoja pitkin valuva vesi sekä ikkunan sisään päässyt vuotovesi kulkeutuu pellitykselle. **Pellitysten lämpöliike** on otettava huomioon. Mikäli vesipeltejä on tarvetta jatkaa, jatkokset on suositeltavaa tehdä pystysaumoilla, jotka joustavina toimivat myös liikuntasaumoina.

Ikkunapellitys on tehtävä **kaltevuudeltaan** riittäväksi. Tällöin sadeveden roiskuminen ikkunalle vähenee ja lumen sulamisvedet ja sadevedet virtaavat nopeasti pois pelliltä. Pellin vähimmäiskaltevuus on 1:3. Vesipellin alustan tulee olla samassa kaltevuudessa kuin peltikin. Vesipelti on ulotettava vähintään 30 mm ulos seinäpinnasta ja varustettava toimivalla tippanokalla. Tarvittava **tuuletus** voidaan hoitaa tekemällä pellin alustana olevaan puuhun tai laastikerrokseen tuuletusrakoja. Vesipellin riittävä kaltevuus vähentää myös tuulen seinäpintaa ylöspäin kuljettaman sadeveden pääsyä vesipellin alta seinärakenteeseen. Tuulisilla paikoilla sijaitsevissa korkeissa rakennuksissa tulee erikseen arvioida vastapellin tarve ikkunan vesipellin alla. Kuvassa 6.16. on esitetty ikkunan vesipellititys.



Kuva 6.16. Ikkunan vesipellititys /14/.

### 6.2.3 Ikkunakarmin ja seinärakenteen liitos /37/

Ikkunan ja seinärakenteen välinen liitos tulee suunnitella siten, että liitos on sekä **sadevesi-** että **ilmatiivis**. Karmi liitetään ilmatiiviisti seinärakenteen ilmatiiviiseen kerrokseen, kuten höyrynsulkuun. **Vuotovesien poistaminen** seinän tuuletusraosta ikkunan päältä tulee järjestää. Lisäksi liitoksen suunnittelussa on otettava huomioon seinärakenteen **tuuletus** ikkunan ylä- ja alapuolella sekä mahdollisesti ikkunarakenteeseen kertyneen kondenssi- ja vuotoveden poistaminen. Liitos ei saa aiheuttaa lahovaaraa karmirakenteelle.

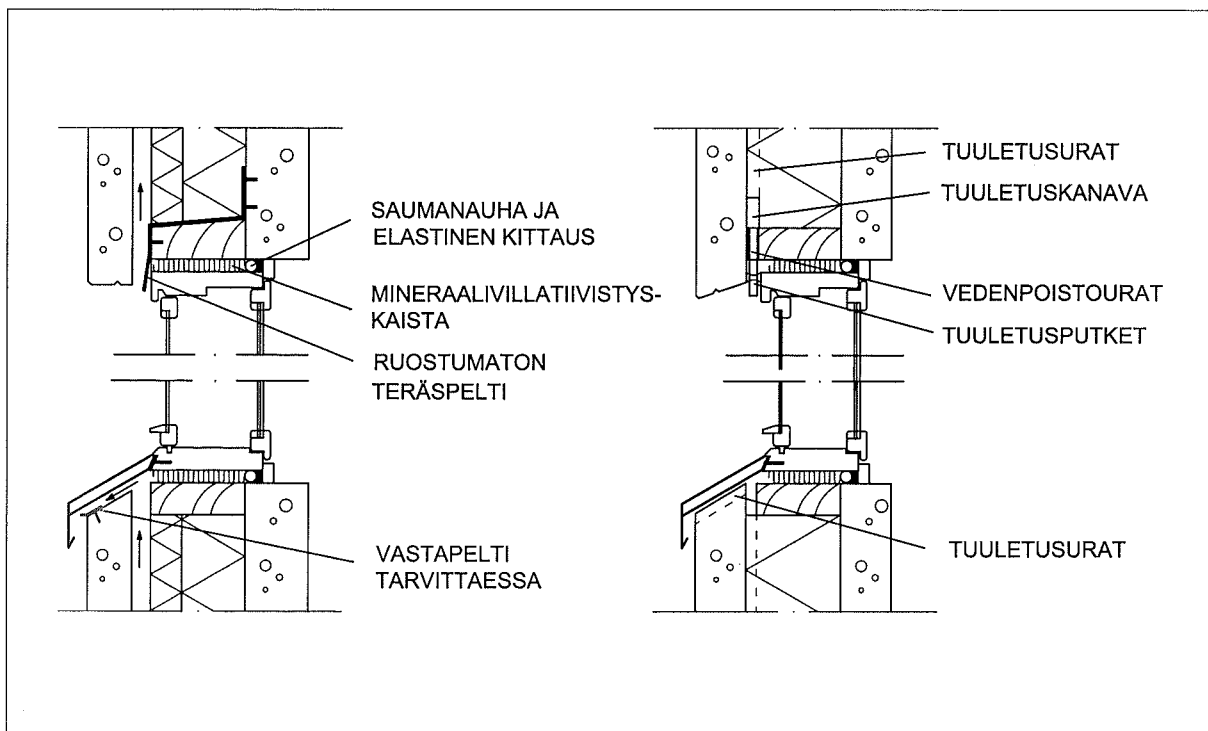
Ikkunan karmen ja apukarmen tai seinärakenteen väli tulee tiivistää siten, että sauman ilma- ja höyrytiivien kerros on lähellä sisäpintaa, jolloin tilkeväli voi kuivua ulospäin. Seuraavia tiivistysvaihtoehtoja voidaan pitää riskittöminä lähes kaikissa olosuhteissa:

- Polyuretaania käytetään lämmöneristeenä sauman sisäosassa ja mineraalivillaa ulko-osassa, puulistan lisäksi sisäpintaan ulotetaan mahdollinen seinän höyrynsulku.
- Polyuretaania käytetään lämmöneristeenä sauman sisäosassa ja mineraalivillaa ulko-osassa, sisäpinnassa on elastinen kittaus ja puulista.
- Lämmöneristeenä käytetään koko sauman leveydeltä mineraalivillaa, puulistan lisäksi sisäpintaan ulotetaan mahdollinen seinän höyrynsulku.
- Lämmöneristeenä käytetään koko sauman leveydeltä mineraalivillaa, sisäpinnassa on elastinen kittaus ja puulista.

Elastisen kittauksen käyttöön liittyy seuraavia etuja /37/:

- Puurakenteen muodonmuutokset saattavat aiheuttaa ilmavuotoja muuhun tiivistykseen, esim. saumausvaahtoon, elastinen massan tiiviys säilyy muodonmuutoksista huolimatta.
- Sauman sisäpinnan tulisi olla mahdollisimman höyrytiivis, jottei sauman uloimpiin osiin tiivisty kosteutta.

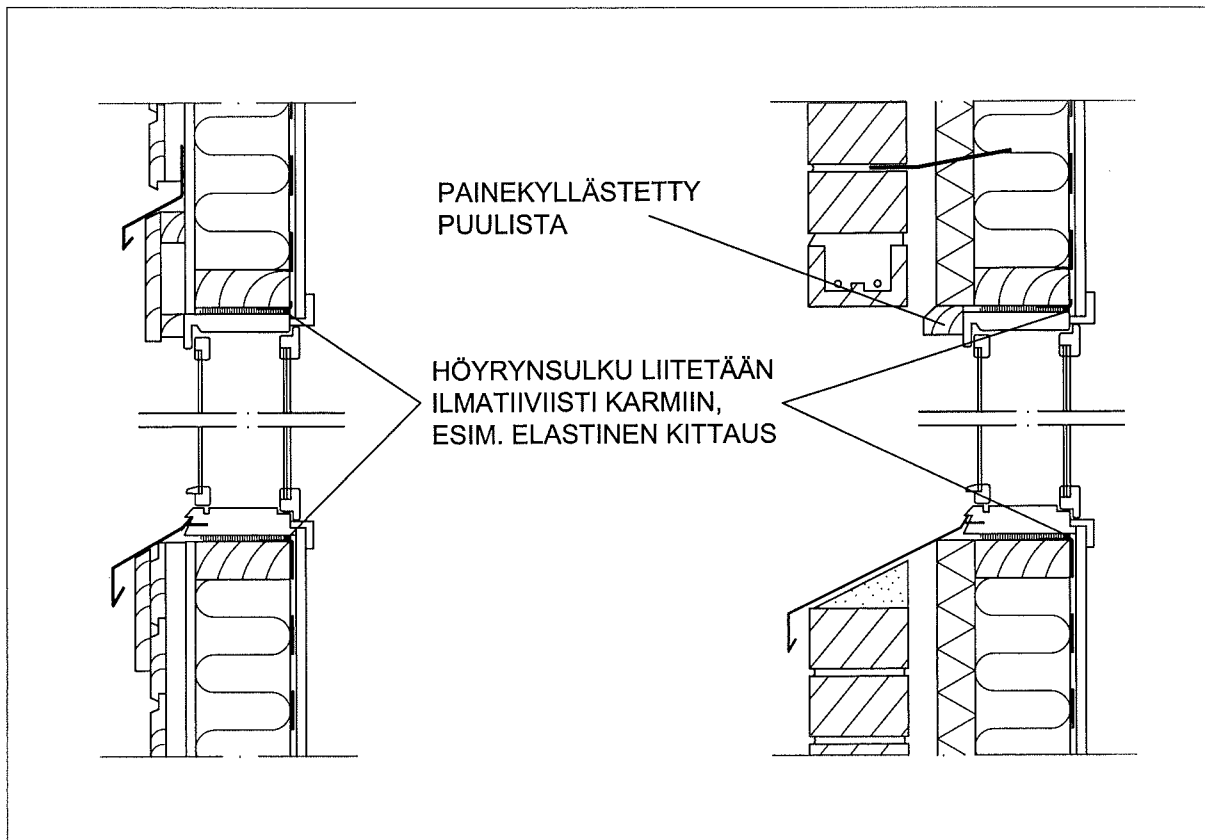
Sauman ulkopintaan tulee asentaa **sadesuoja** esim. puulista, metallilista tai elastinen saumausmassa. Jos ikkunan karmin ulkopinnassa käytetään elastista saumausmassaa, on liitoksen tuuletus hoidettava saumaan asennettujen tuuletusputkien kautta. Tilkkeen ja peitelistan väliin jätettävä ilmarako helpottaa tarvittaessa karmin kuivumista.



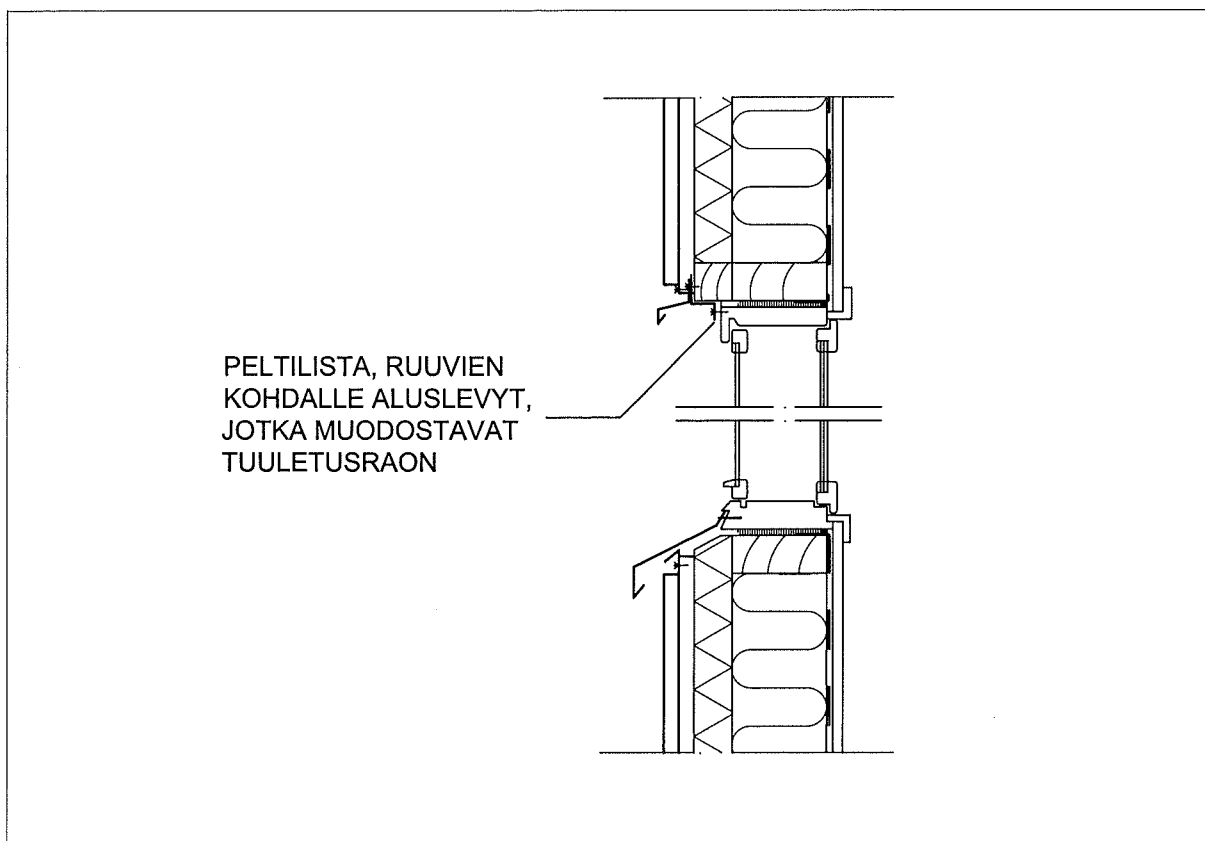
Kuva 6.17. Tuuletus ja vedenpoisto betoniulkoseinän ikkunaliittymästä /11, 37/.

Ikkuna- ja oviliitoksissa on käytettävä tähän tarkoitukseen soveltuvia tiivistys- ja saumausmateriaaleja. Rakenteiden liikkuminen tulee ottaa huomioon.

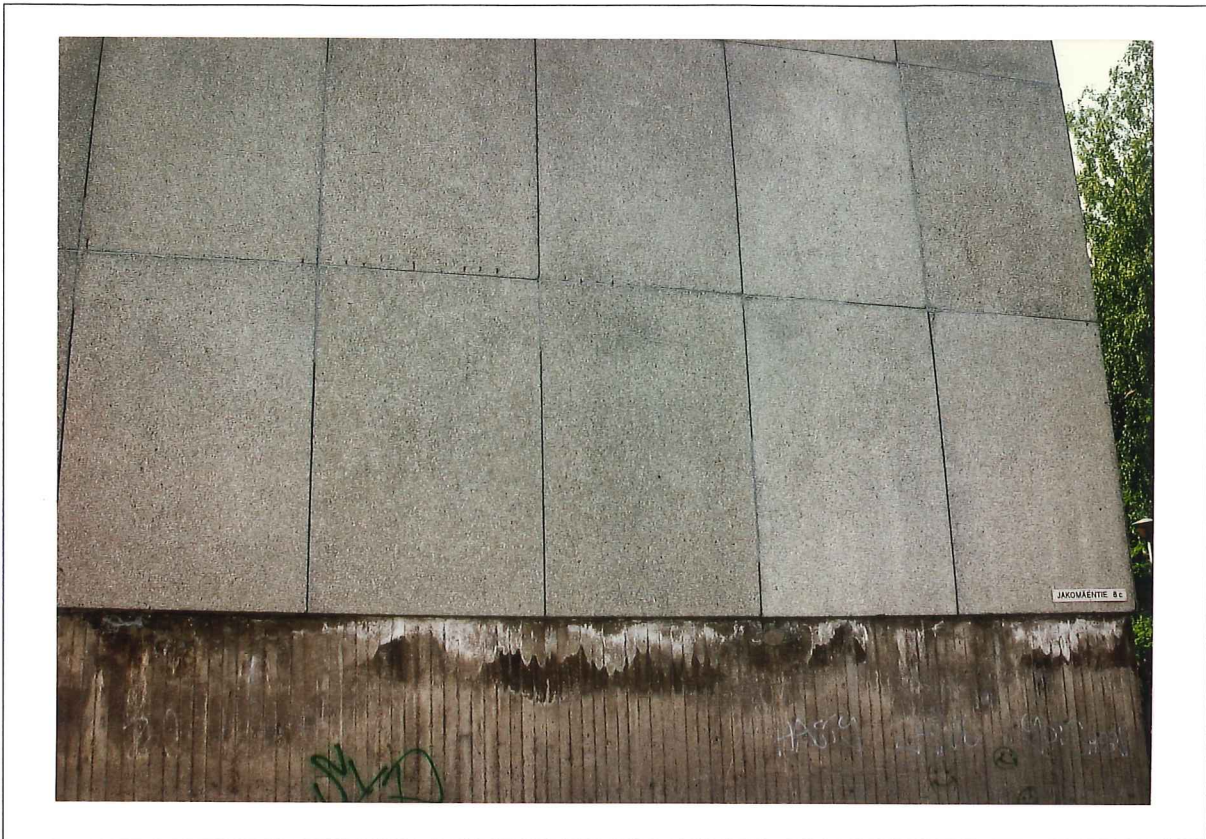
Kuvissa 6.18. – 6.19. on esitetty ikkunarakenteiden liittymistä erilaisiin ulkoseiniin.



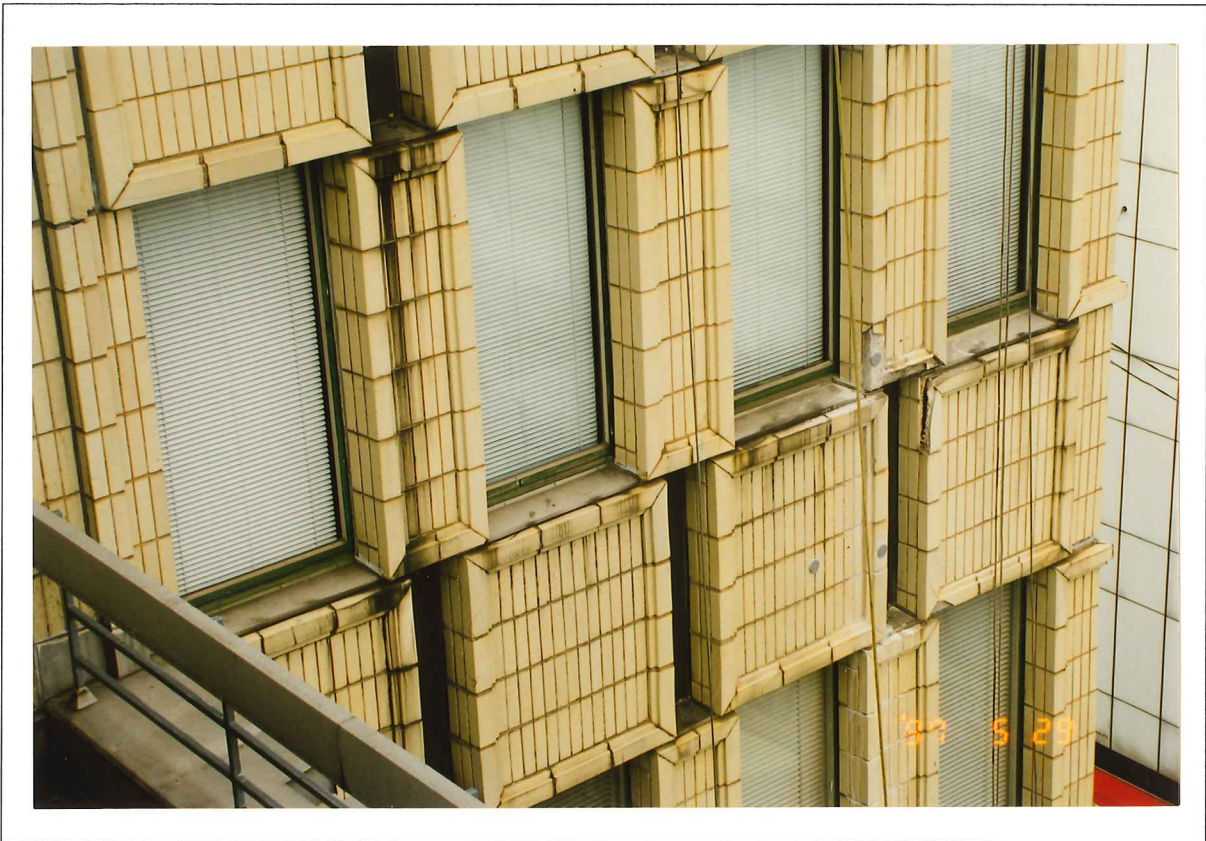
Kuva 6.18. Ikkunarakenteiden liittyminen puu-ulkoseinään ja tiiliverhottuun puuseinään.



Kuva 6.19. Metalliverhotun ulkoseinän ikkunaliitos.



**Kuva 6.20.** Sandwich-elementtien eristetilassa alaspäin valuvien vesien kerääntyminen alimpien elementtien ja betoniseinän väliseen liitokseen on aiheuttanut betoniseinän kastumista ja kalkkihärmeen kulkeutumista rakenteen pintaan. (Kuva: TTKK, Talonrakennustekniikan laboratorio)



**Kuva 6.21.** Ikkunan vesipellin ulottuma on liian pieni. Pelliltä valuva sadevesi rasittaa ulkoseinäelementtejä ja aiheuttaa epätasaista julkisivupinnan likaantumista. (Kuva: TTKK, Talonrakennustekniikan laboratorio)

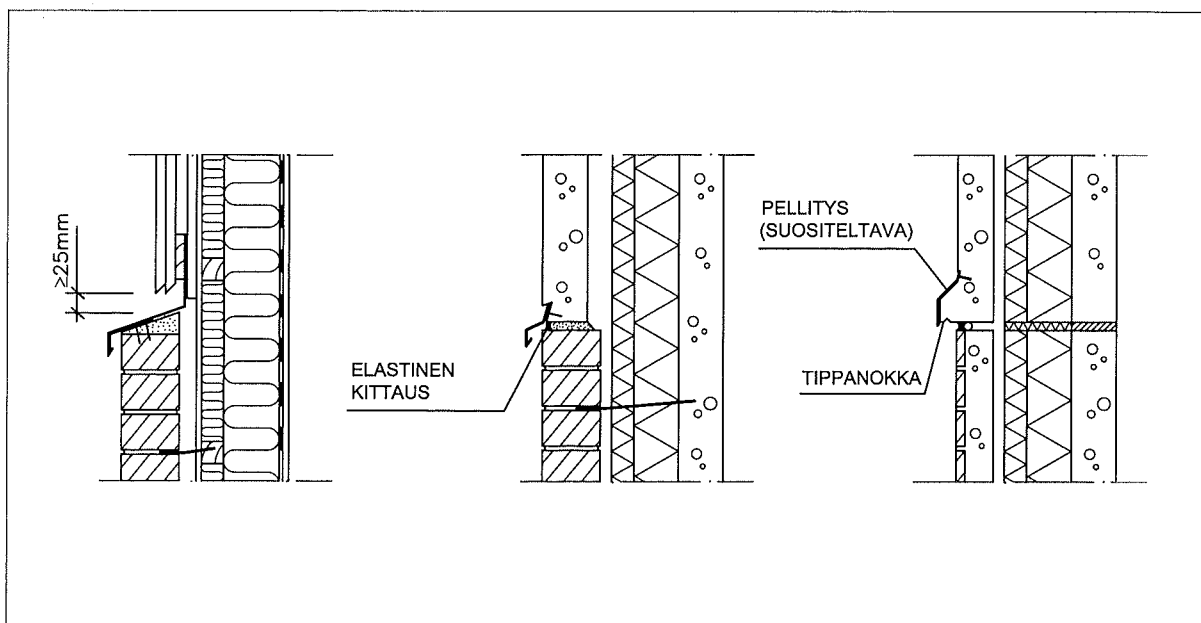


### 6.3 Julkisivupinnan saumat, liitokset, pellitykset ja muut yksityiskohdat

Julkisivupinnan saumojen, liitosten, pellitysten ja muiden yksityiskohtien suunnittelussa tulee ottaa huomioon mm. viistosaderasituksen voimakkuus, pinnan imukyvyn vaikutus vesikalvon muodostumisnopeuteen, mahdollisten vuotovesien aiheuttamat haitat sekä vuotovesien poistumismahdollisuus rakenteesta.

**Ulkoseinän saumojen ja liitosten on oltava sellaisia, että niiden kautta pääsee mahdollisimman vähän vettä rakenteeseen.** Jos rakenteessa käytetään esim. avosaumaratkaisuja, on rakenne suunniteltava siten, ettei mahdollisista vuotovesistä ole haittaa rakenteelle. Ulkoseinän saumojen ja liitosten suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös saumojen liikkeet. **Ulkoverhouksen taakse mahdollisesti joutuneen veden on päästävä poistumaan rakenteesta haittaa aiheuttamatta.**

Julkisivun pellitykset ja muut yksityiskohdat tulee tehdä siten, ettei niiltä valuva vesi aiheuta **keskittynyttä sadevesirasitusta**. Vaakapinnat sekä viistot pinnat tulee yleensä suojata pellityksillä tai muilla vesitiiviillä rakenteilla. Julkisivun pellitysten ja muiden vastaavien pintojen vähimmäiskaltevuus on 1:3. Pellitysten on ulotuttava vähintään 30 mm ulos seinäpinnasta ja ne on varustettava tippanokalla. Pellitysten liitokset pystypintoihin on varustettava ylösnostoin. Ylösnostokorkeus valitaan pellityksen kaltevuuden ja sen päälle kertyvän veden tai lumen määrän mukaan. Kapeissa ja hyvin kallistetuissa pelleissä riittää matala, esim. 50 – 100 mm ylösnosto, kun taas katosten yms. tapauksessa tarvitaan 300 mm ylösnosto.



**Kuva 6.22.** Sadeveden ohjaaminen ulos julkisivupinnalta kahden eri julkisivumateriaalin liitokseen asennettuna vesipellin tai tippanokan avulla.

Jos **kahden eri julkisivumateriaalin vaihtumiskohdassa** yläpuolinen materiaali on hitaasti vettä imevää (esim. betoni, metalli tai puu) ja alapuolinen materiaali imukykyistä (esim. tiili), aiheuttaa liitoksen yläpuolista julkisivupintaa pitkin valuva sadevesi voimak-

kaan kosteusrasituksen alapuoliselle julkisivumateriaalille. Yläpuolisen julkisivuverhouksen sisäpintaan tiivistynyt sisäilman kosteus valuu myös alaspäin ja imeytyy alapuoliseen imukykyiseen julkisivumateriaaliin. Valuvan veden haitat on estettävä ohjaamalla sadevesi liitokseen asennettavan **vesipellin** tai **tippanokan** avulla ulos seinäpinnalta siten, ettei se rasita alapuolista julkisivua. Kuvassa 6.22. on esitetty erilaisia tapoja sadeveden ohjaamiseksi ulos julkisivupinnalta kahden eri julkisivumateriaalin liitoksessa.

Vesipeltiä käytettäessä tulee sen olla riittävän kalteva ( $\geq 1 : 3$ ), hyvin kiinnitetty ja jatkokset tiiviisti, mieluiten haka- tai pystysaumalla saumattu. Vesipelti ulotetaan riittävästi ulos seinäpinnasta ja alareuna varustetaan tippanokalla. Kun liitos tehdään yläpuoliseen puu- tai metalliverhoukseen tulee vesipellin yläreuna viedä aluskoolauksen, mieluummin tuulensuojalevyn taakse. Puuverhouksen alapään minimietäisyys vesipelistä tai muusta vaakapinnasta on 25 mm. Mikäli liitokseen vaikuttaa voimakas roiskevesirasitus, on etäisyyttä suositeltavaa lisätä.

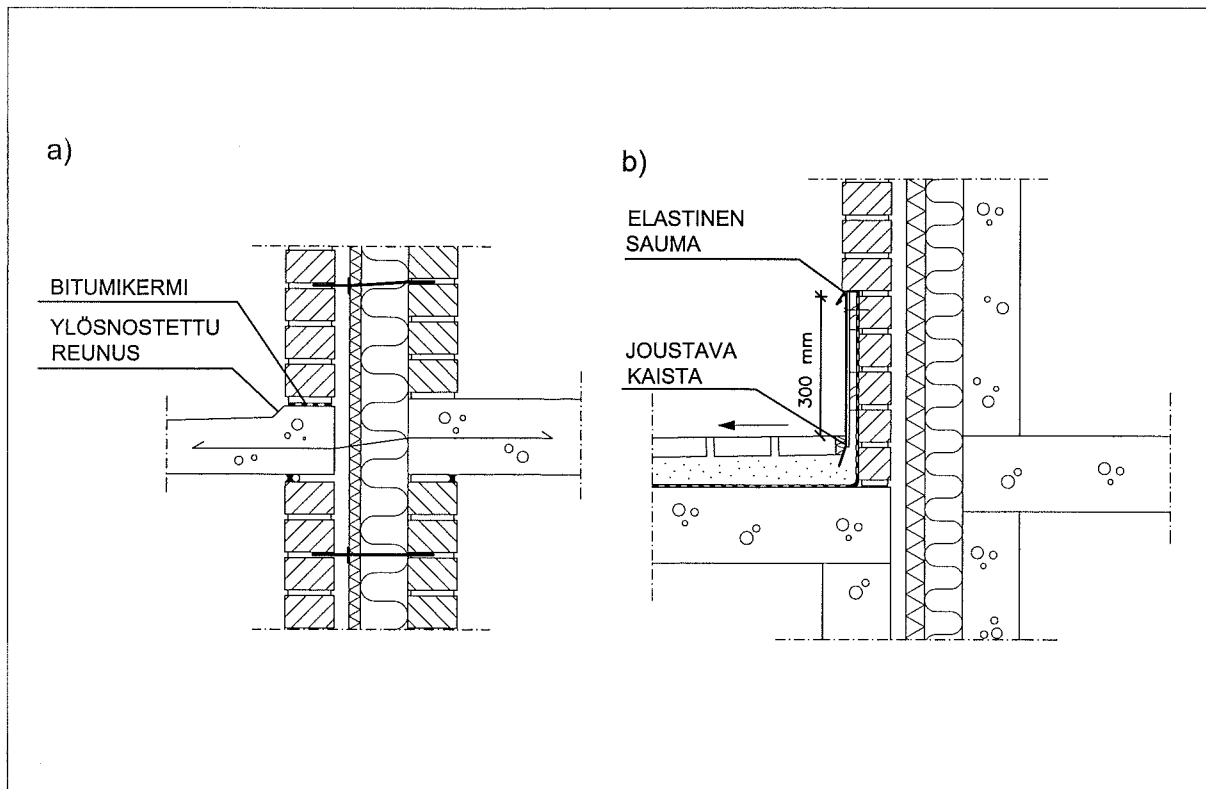
Muita erilaisten seinärakenteiden liitoksen suunnittelussa huomioon otettavia asioita ovat seinärakenteen tuulettumisen varmistaminen sekä rakenteiden erilaiset liikkeet, jotka voivat johtua esimerkiksi erilaisista kannatustavoista.

#### 6.4 Ulkoseinän ja parvekkeen, kattopinnan tai muiden vaakarakenteiden liitokset

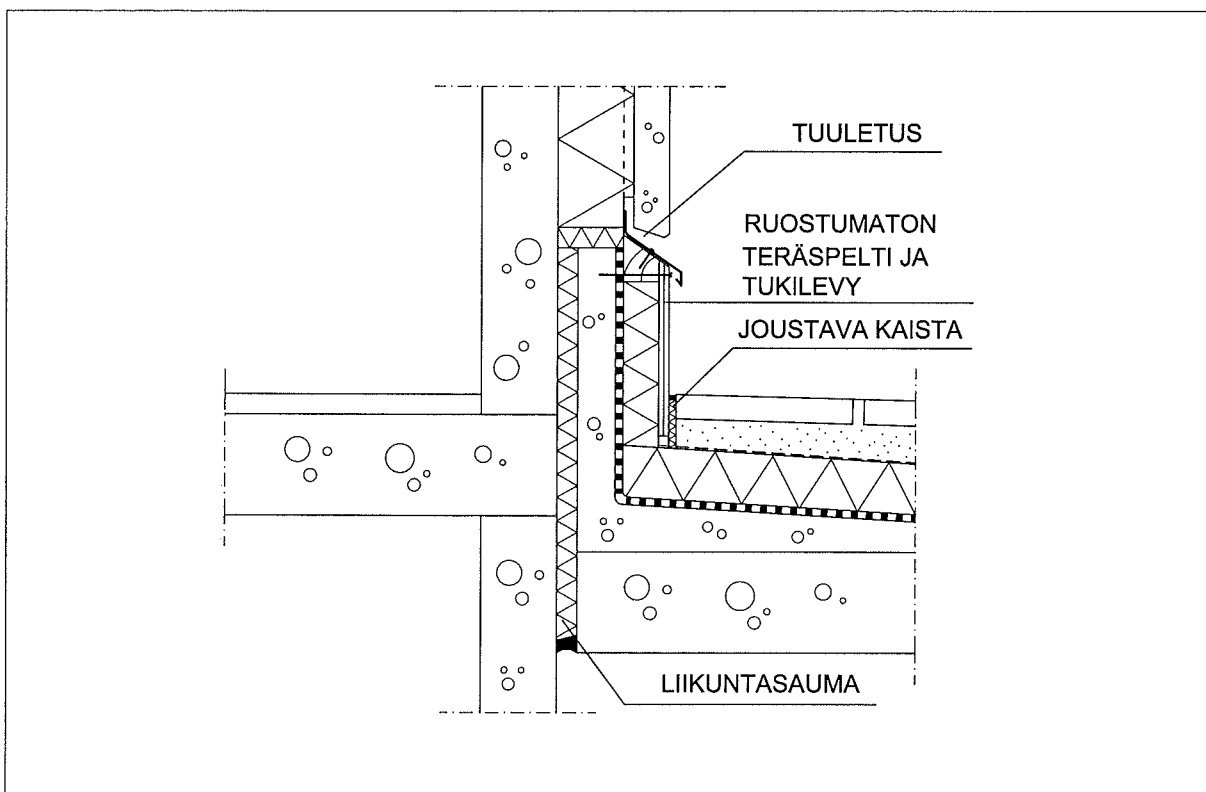
Kattotasoon tai parvekkeen lattiapintaan liittyvän seinän yhteydessä on varmistettava, ettei vesi pääse seinän kautta tason vedeneristykseen alle eikä tason kautta seinärakenteeseen. **Tason vedeneristys on ulotettava riittävän ylös seinälle ja tarvittaessa seinäverhouksen taakse.** Vedeneristykseen ylönostokorkeuteen vaikuttaa ensinnäkin se, onko kysymyksessä kattopinta vai parveke tai mahdollisesti jokin muu vaakapinta. Lisäksi siihen vaikuttavat tasolle kertyvän veden ja lumen määrä sekä tason kaltevuus. Esimerkiksi ulkoseinän ja kattopinnan välisessä liitoksessa vedeneristys tulee ulottaa vähintään 300 mm ylös seinälle. Ovi- ja muissa aukkoliitoksissa tason vedeneristys on kiinnitettävä vesitiiviisti karmirakenteeseen. Liitosten suunnittelussa on otettava huomioon myös rakenteiden liikkeet. **Tasopintojen kallistukset tulisi aina tehdä ulospäin seinästä.**

Julkisivuverhouksen alapään etäisyys vaakapinnasta tulee olla sellainen, etteivät mahdolliset roiskevedet tai lumi vaurioita rakenteita. Rapatuilla ja puu-ulkooverhouksilla alapään etäisyys vaakapinnasta tulee olla vähintään 300 mm.

Kuvassa 6.23. on esitetty muuratun rakoseinän liitos vedeneristämättömään parvekkeeseen (6.23.a) ja tiiliverhotun betoniulkoseinän liitos vedeneristettyyn tasoon (6.23.b). Kuvassa 6.24. on esitetty betoniulkoseinän liitos käännettyyn rakenteeseen. Betonisen ulkoseinän liittyminen vesikattopintaan on esitetty myöhemmin kuvassa 6.31.



**Kuva 6.23.** Muuratun rakoseinän liitos vedeneristämättömään parvekkeeseen (a) ja tiiliverhotun betoniulkoseinän liitos vedeneristettyyn tasoon (b).



**Kuva 6.24.** Betoniulkoseinän liitos käännettyyn rakenteeseen.



## 6.5 Ulkoseinän ja perusmuurin liitos /20, 37/

Ulkoseinän ja perusmuurin liitoksessa huomioon otettavia **kosteuslähteitä** ovat:

- viistosade ja seinäpintaa pitkin valuva vesi
- maaperän kosteus
- pinta- ja roiskevedet sekä lumi
- ulkoverhouksen taakse päässeet vuotovedet
- käyttö-, vuoto- ja roiskevedet sekä ilman kosteus sisätiloista.

Eri kosteuslähteiden lisäksi suunnittelussa tulee ottaa huomioon mm. rakenteen routaeristys, lattioiden reuna-alueiden pintalämpötila kylminä vuodenaikoina sekä ilmapuotojen ja likaantumisen estäminen.

Ulkoseinän ja perusmuurin välisen liitoksen suunnittelussa on pyrittävä hyvään höyry- ja ilmatiiviyteen. Liitokseen ei saa syntyä haitallisia kylmäsiltoja. Maakosteuden kapillaarinen nousu perustuksista seinärakenteeseen tulee estää tai rajoittaa niin pieneksi, ettei se aiheuta haittaa (betoni). Ulkoverhouksen taakse mahdollisesti joutuneen veden pitää päästä poistumaan ulos liitoksesta haittaa aiheuttamatta ja rakenteen tuuletuksen toimivuus tulee varmistaa. Lumen ja sulamisvesien haittavaikutukset on estettävä. Käyttö-, vuoto- ja roiskevesien pääsy rakenteeseen tulee myös estää. Esimerkiksi putket on sijoitettava näkyviin tai suojaputkiin siten, että mahdolliset vuodot on helppo havaita. Seinärakenteiden ja perusmuurin liitoksista on esitetty kuvia eri ulkoseinärakenteita käsittelevissä luvuissa 6.7 – 6.9.

Rakennuspohja on yleensä **salaojitettava** maahan valuvien vesien johtamiseksi pois perustusten vierestä ja rakennuksen alta. Peruskaivannon täyttömateriaalin on oltava vettä hyvin läpäisevää. Salaojitustason tulisi olla perustusten tason alapuolella siten, että rakenteet eivät voi olla pitkäaikaisesti vesikosketuksessa.

Pintavesien ja vajovesien määrän vähentämiseksi **maanpinta** tulee **kallistaa** rakennuksesta ulospäin vähintään kaltevuudella 1:20 noin kolmen metrin etäisyydelle perusmuurista. Rinteeseen rakennettaessa huolehditaan siitä, että yläpuolelta tulevat sade- ja sulamisvedet ohjautuvat rakennuksen sivuitse.

Maan pintakerroksen alle tulee tehdä **vettä pidättävä seinästä poispäin kalteva kerros**. Kattovedet tulee johtaa kauemmaksi esimerkiksi betonikouruja käyttäen. Rakennuksen salaojaverkostoon ei saa johtaa pintavesiä tai katoilta valuvia vesiä. Maan pintakerros tulee tehdä sellaisesta materiaalista, että roiskevedet eivät likaa seinäpintaa.

Kellarittoman rakennuksen lattian ja maanpinnan korkeusero on oltava vähintään 300 mm. Tätä korkeutta olisi suositeltavaa kasvattaa mm. seuraavissa tilanteissa:

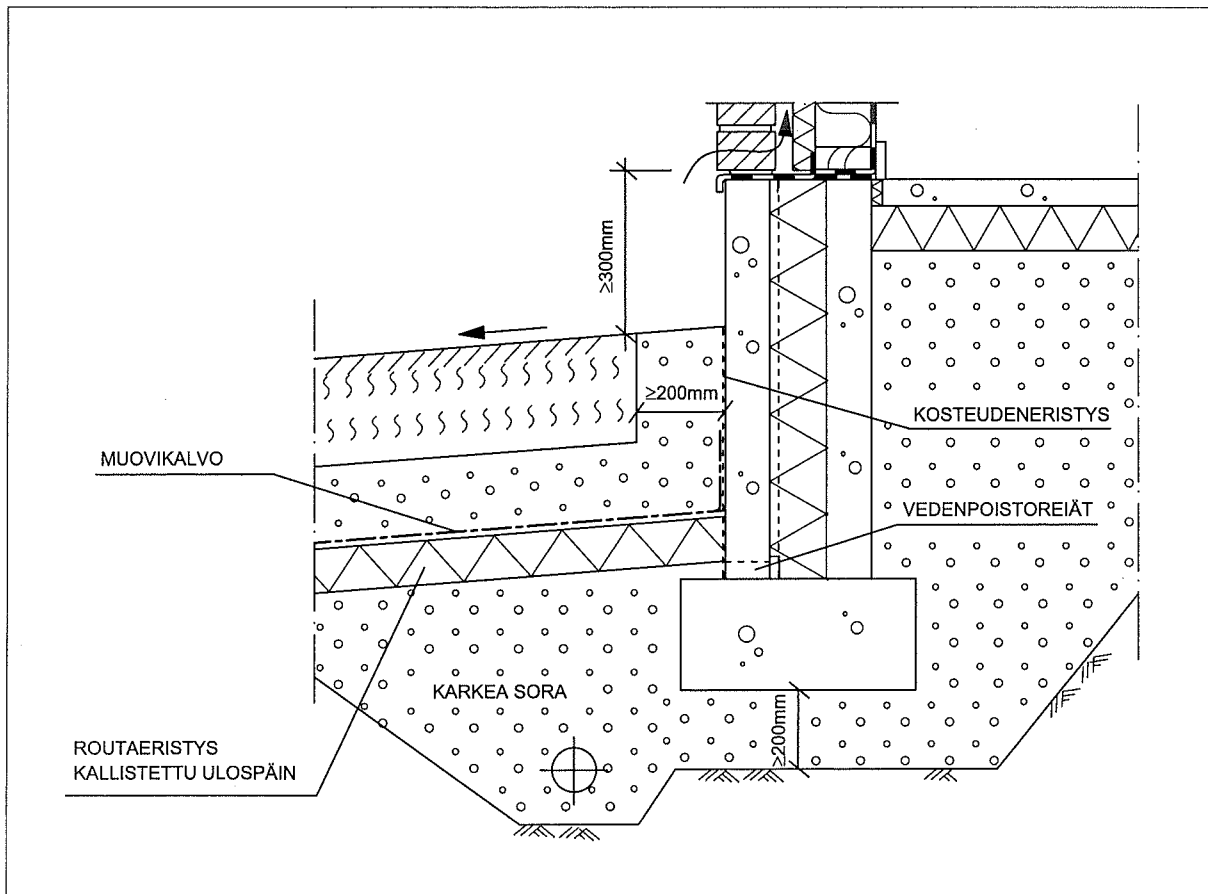
- 1) rakennuksen vastarinteesen päin olevilla seinillä
- 2) mikäli lunta ja jäätä kertyy runsaasti rakennuksen seinustoille
- 3) vaurioherkän julkisivurakenteen tai julkisivumateriaalin yhteydessä.

Mikäli maanpinta joudutaan esimerkiksi sisäänkäyntien kohdilla nostamaan lähelle lattia-pintaa, näillä alueilla on syytä käyttää katoksia, jotka vähentävät sadevesi- ja lumirasitusta. Roiskevedelle aran julkisivupinnan sopiva etäisyys maasta on vähintään 400 mm.

Maakosteuden nousu perustuksista muuraukseen tai puurunkoon on estettävä käyttämällä kestävää ja joustavaa **kosteudeneristystä**, esim. bitumikermiä, perusmuurin ja muurauksen tai puurungon välissä. Ulkoseinän puurunko ei saa jäädä maanvaraisen laatan yläpintaa alemmas. Puurungon alapään tehokas kuivuminen on varmistettava. Puurungon aluspuu on syytä tehdä painekyllästetystä puusta.

## 6.6 Perusmuuri

Perusmuurin lämmöneriste tulee asentaa siten, ettei rakenteeseen synny haitallisia **kylmäsiltoja**. Yleensä toimiva ratkaisu saadaan käyttämällä eristehalkaistua perusmuuria. Eristys on pystysuunnassa vietävä vaakasuoran ulkopuolisen routaeristelevyn tason alapuolelle. Halkaisu on tehtävä huolellisesti siten, että eristeen yläpinta jää ehjäksi ja että betonipurseet eivät katkaise eristyskerrosta. Lämmöneristeen ulkopinnassa voidaan käyttää myös tuuletusuria. Lämmöneristeen materiaalivalinnassa on otettava huomioon, että materiaaliin voi mahdollisesti vaikuttaa voimakas kosteusrasitus. Lämmöneristemateriaalina on suositeltavaa käyttää solumuovia. **Halkaistun sokkelin pohjaan** tulee tehdä sinne joutuneen **veden ulospääsyn mahdollistavat reiät**.



Kuva 6.25. Perusmuuri.

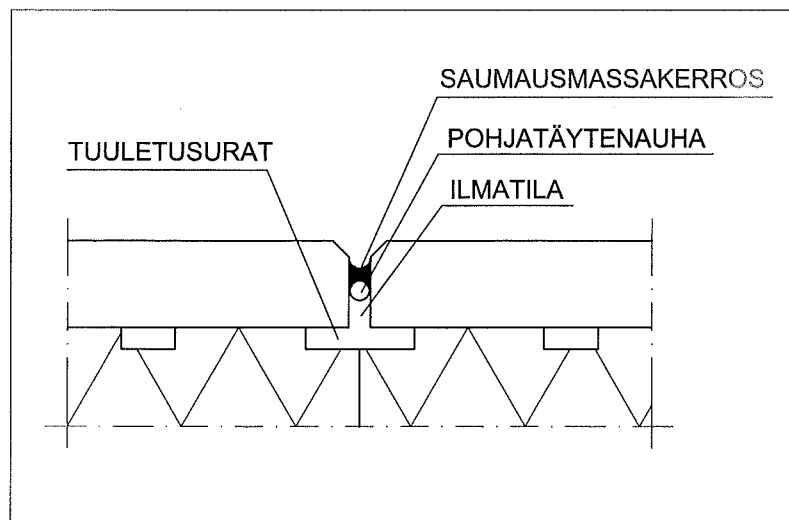
Maanpinnan alapuoliselle osalle sokkelin ulkopintaan tehty **kosteudeneristys**, esimerkiksi bitumisively, vähentää maakosteuden kapillaarista imeytymistä rakenteeseen. Mikäli maanpinta on ylempänä kuin lattia, on perusmuuri syytä tehdä kosteuseristettynä ja koko seinä alaosaltaan kivrakenteisena.

## 6.7 Betonirakenteiset ulkoseinät

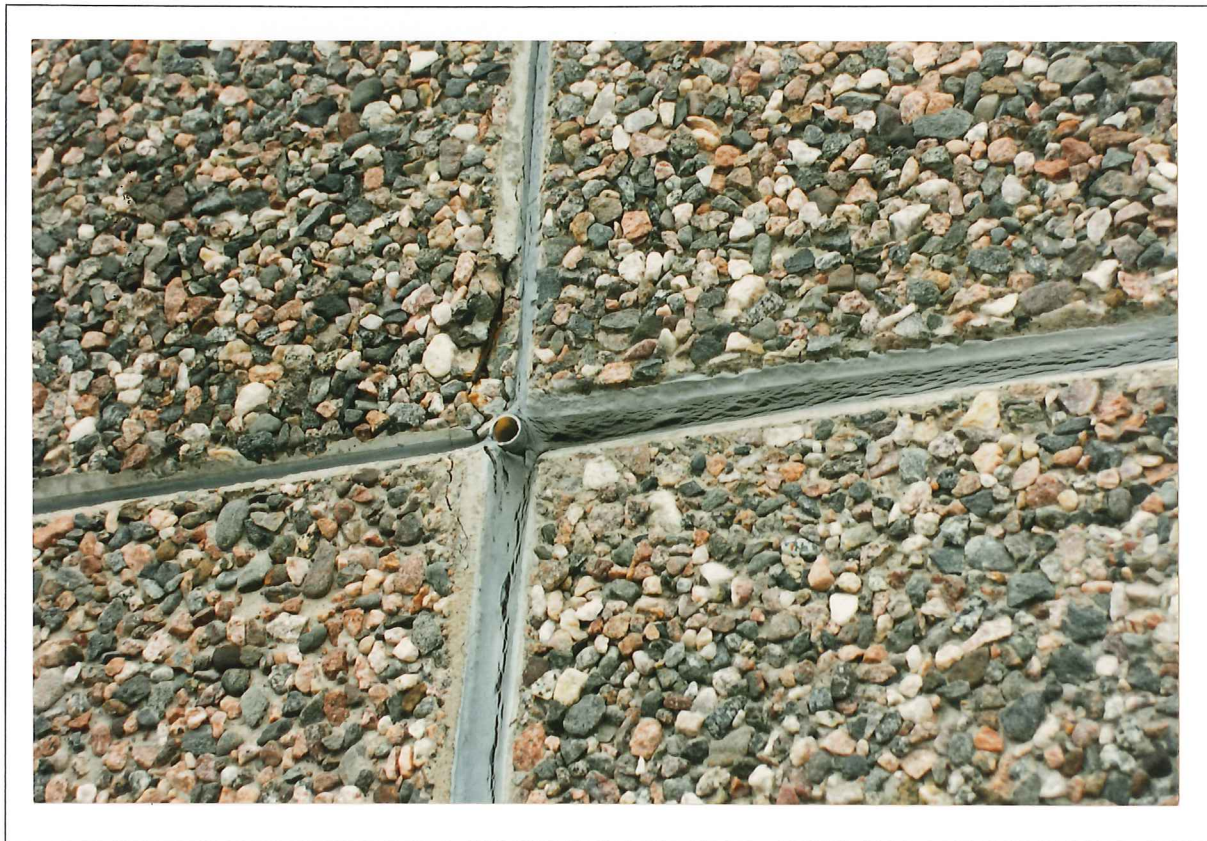
### 6.7.1 Sadevesirasituksen ja –vuotojen vähentäminen /11, 37/

Betonisten ulkoseinäelementtien **saumojen** tulee yleensä estää veden pääsy rakenteeseen. Saumojen suunnittelussa ja saumaustarvikkeiden valinnassa tulee ottaa huomioon rakennuksen rungon liikkeet sekä rakenteen kosteuden ja lämpötilan vaihteluista aiheutuvat liikkeet. Sauma on myös keskeinen ulkonäkötekijä ja sillä tasataan elementtien ja niiden asennuksen mittapoikkeamat. Saumojen kautta järjestetään myös rakenteen tuulettuminen esimerkiksi tuuletusputkien tai –koteloiden avulla tai käyttämällä avosaumaratkaisuja.

Betonijulkisivujen saumavaihtoehtoja ovat suljetut saumat eli ilma- ja sadetiiviit saumat, osittain suljetut saumat, joissa tiiviiseen massakerrokseen on sijoitettu tuuletusputkia sekä avosaumat. Suomessa yleisin betonielementtien ulkokuorien saumaustapa on **yksivaihetii- vistetty kittisauma**, jossa sekä rakenteen ilma- että sadetiiviys hoidetaan yhden tiivistekerroksen, ulkopinnassa olevan saumaussmassan, avulla (kuva 6.26.). Tämä saumaratkaisu on osoittautunut riskialttiiksi, sillä pienetkin halkeamat ja raot saumassa aiheuttavat sadeveden tunkeutumista seinärakenteeseen. Lisäksi sauma on altis työvirheille. Saumaustyö edellyttää systemaattista laadunvarmistusta. Sauman sadevesitiiviyyden pysyvyyden edellytyksenä on massan ja betonielementin välisen tartunnan syntyminen ja säilyminen sekä massan elastisuuden riittävä säilyminen ympäristöstä ja rakenteista massaan kohdistuvien rasitusten alaisena.



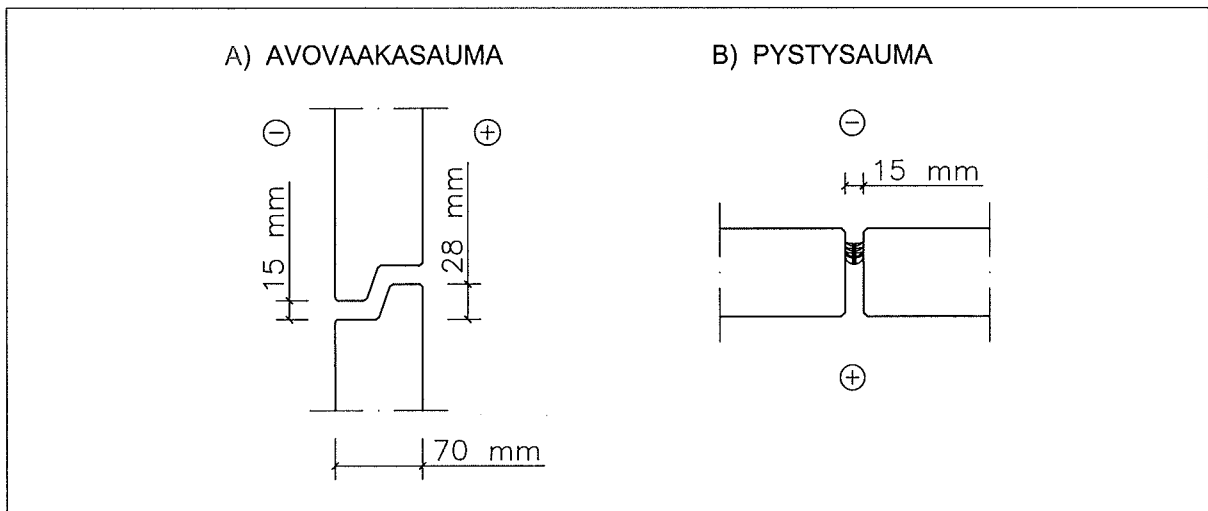
Kuva 6.26. Elastinen kittisauma /37/.



**Kuva 6.27.** Huonokuntoinen julkisivun kittisauma. (Kuva: TTKK, Talonrakennustekniikan laboratorio)

Mikäli julkisivupintaan kohdistuu voimakas viistosaderasitus eikä seinärakenne pääse tuulettumaan, aiheuttavat vuotavat yksivaihetiivistetyt saumat seinärakenteen toiminnalle suuren kosteusteknisen riskin. Myös kohtalaiselle viistosaderasitukselle altistuvassa julkisivussa voivat saumojen vuodot aiheuttaa ongelmia, etenkin jos rakenteen tuulettuminen on epävarmaa ja julkisivupinnan vedenimukyky on lisäksi heikko. Järjestämällä ulkokuoren taakse yhtenäinen tuuletusrako ja huolehtimalla saumavuotovesien poisjohtamisesta rakenteesta voidaan betonisen ulkoseinärakenteen kosteusteknistä toimintavarmuutta parantaa huomattavasti.

Tuulettuvissa kuorijulkisivurakenteissa voidaan käyttää porrastettua tiivistämätöntä saumaa eli ns. **avosaumaa** saumaussmassalla ja/tai -nauhalla tiivistetyn sauman sijaan silloin, kun julkisivuverhouksen ja lämmöneristeen välissä on tuuletusrako. Julkisivu voidaan toteuttaa siten, että sekä vaaka- että pystysaumamat ovat avosaumoja tai siten, että vain vaakasaumat ovat avosaumoja ja pystysaumamat tiivistettyjä. Jos julkisivu altistuu voimakkaalle viistosaderasitukselle tai julkisivumateriaali on huonosti vettä imevää, on pystysauman lisäksi porrastetussa vaakasaumassa syytä käyttää saumaussmassaa ja/tai saumanauhaa rakenteeseen pääsevän sadeveden määrän vähentämiseksi. Rakenteen tuulettumisreitit tulee myös tällöin varmistaa. Avosauumaratkaisujen toimivuudesta on toistaiseksi vähän kokemuksia. Kuvassa 6.28. on esitetty kuorielementtien avovaakasauama ja nauhalla tiivistetty pystysauama.



**Kuva 6.28.** Kuorielementtien avovaakasauma (a) ja nauhalla tiivistetty pystysauma (b) /11/.

Avosaumaratkaisut tulee suunnitella siten, että sadevesivuotoja ulkokuoren taakse syntyy mahdollisimman vähän ja että ulkokuoren taakse päässyt vuotovesi voi kuivua helposti. Avosaumassa tarvitaan vähintään porrastus. Avosauma on muotoiltava siten, että pääosa saumoista kulkeutuvasta vedestä valuu julkisivuelementin taustapintaa vasten eikä roiskussa kastele lämmöneristettä haitallisessa määrin. Lämmöneristeen ulkopinnassa on suositeltavaa käyttää vettä hylkivää tuulensuojapintaa. Elementin takapinnalla valuvaa vettä varten on aina järjestettävä poistumistie julkisivun alaosiin ja aukkojen yläreunoihin. On myös varmistettava, ettei saumaraoista kulkeutuva lumi täytä elementin ja eristeen välistä tuuletusrakoa umpeen. Alimman vaakasauman tulee olla riittävän korkealla maan pinnasta, ettei lumi kinostuessaan tuki saumoja. /9/

Kuorielementtien saumojen muotoilu, saumarakojen leveys, elementtien taustan tuuletusraon leveys sekä edellisistä ja ympäristöolosuhteista riippuva tuuletusraon ja ulkoilman välinen paine-ero vaikuttavat siihen, miten paljon vettä tai lunta elementtien taakse sateiden aikana kulkeutuu. Elementtien taustan ilmatilan ja ulkoilman väliseen paine-eroon vaikuttaa avosaumojen ja elementin pinta-alojen suhde. Mitä pienempiä elementit ovat, sitä enemmän julkisivussa on saumoja ja sitä vähäisempi on paine-ero elementtien taustan ilmatilan ja ulkopuolen välillä. Paine-eroon vaikuttavat myös tuuletusraon leveys sekä rakennuksen sijainti, muoto ja korkeus, jotka vaikuttavat rakennukseen kohdistuviin tuulenpaineisiin ja niiden jakautumiseen seinärakenteessa.

Saumanauhoja voidaan käyttää kuorielementtiseiniä pystysaumoissa tai pysty- ja vaakasaumoissa. Saumanauha estää pääosan sateen ja lumen kulkeutumisesta sauman taakse. Osa saumanauhoista soveltuu käytettäväksi myös porrastetuissa vaakasaumoissa.

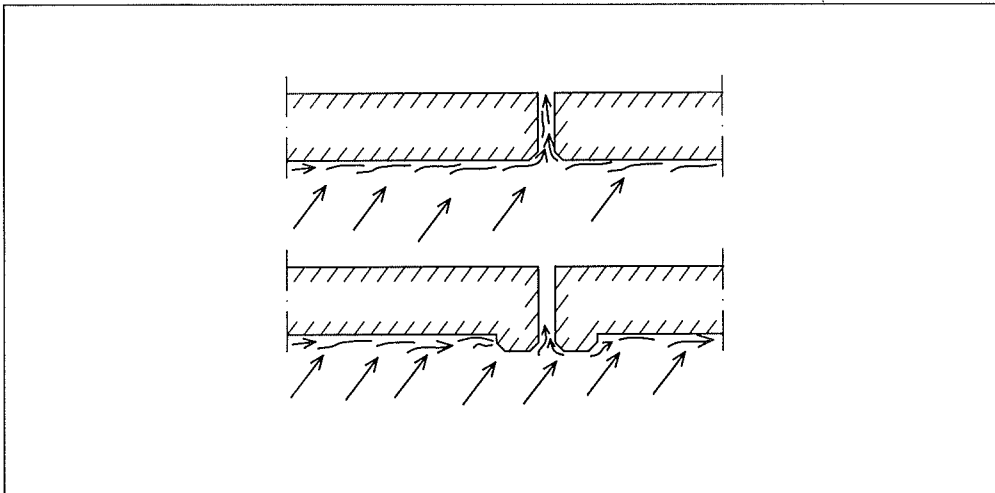
**Sadevesivuotoja** ulkokuoren taakse voi päästä saumoista, liittymäkohdista ja myös mahdollisten elementtien pintahalkeamien kautta. **Saumojen laadun varmistamiseksi** on käytettävissä mm. seuraavia keinoja:

- 1) Suunnitellaan saumojen rakenne ja muoto sellaiseksi, että sauman tiiviyskerroksen vuotamisesta huolimatta vesi ei heti pääse rakenteeseen (porrastettu sauma). Yksivaihe-tiivistettyjä saumoja käytettäessä voidaan saumavuotoja pyrkiä vähentämään muo-



toilemalla julkisivun pinta sauman tai ikkunan ympärillä siten, ettei vesi pääse saumaussmassakerrokseen saakka. Pystysuuntaiset kohoumat tai syvennykset ja julkisivun karkea pintarakenne estävät vettä kulkemasta sivusuunnassa (kuva 6.29.). Kohoutumista tai syvennyksistä valuva vesi saattaa kuitenkin aiheuttaa julkisivupinnan epätaisaista likaantumista. /17/ Saumaraon leveys tulee valita oikein elementtien kokoon ja liikkeisiin nähden.

- 2) Valitaan saumaussmassamateriaalit huolellisesti (käytetään testattuja ja hyväksytyjä massoja) ja tehdään saumaustyö ohjeiden mukaan, hyväksyttävissä olosuhteissa ja kuiville, puhtaille pinnoille käyttäen oikeaa massakerroksen muotoa.
- 3) Sijoitetaan tuuletusputket tai tuuletuskotelot riittävään kaltevuuteen ja riittävästi ulos seinäpinnasta, jolloin sadevesi ei pääse tunkeutumaan niiden kautta seinärakenteeseen. Saumaussmassan ja tuuletusputkien tai tuuletuskoteloiden välisen tartunnan tulee olla hyvä.
- 4) Tehdään saumojen kunnon tarkastus ja tarvittavat korjaus- ja uusimistyöt riittävän usein.

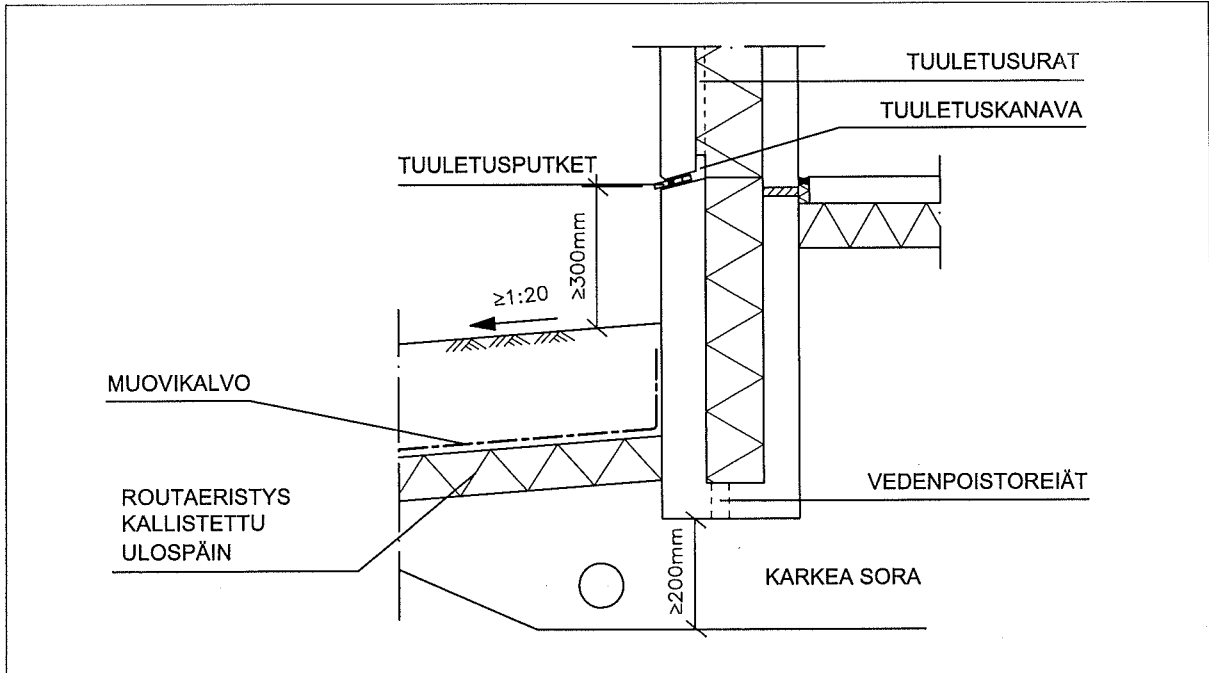


Kuva 6.29. Julkisivun pystysauman reunojen muotoilun vaikutus sauman toimintaan /17/.

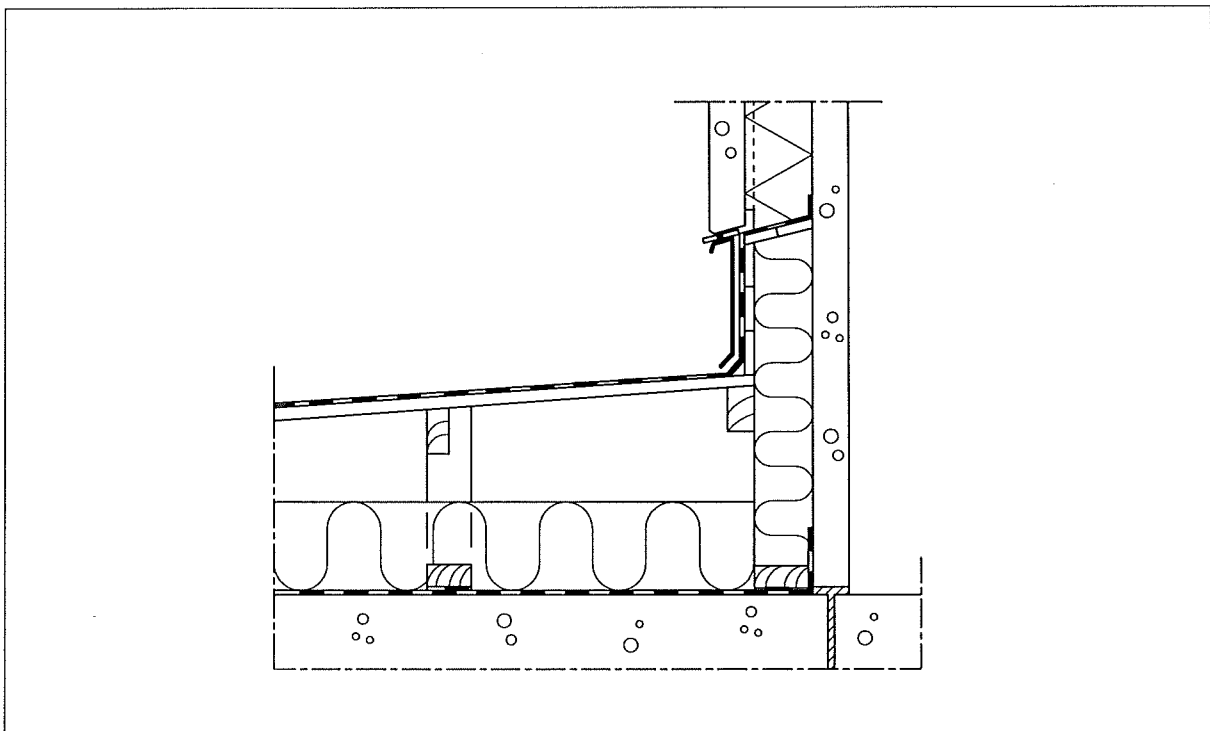
## 6.7.2 Vuotovesien poistaminen rakenteesta

Saumojen ja liitoskohtien kautta seinärakenteeseen päässyt vuotovesi valuu ulkokuoren sisäpintaa pitkin alaspäin ja tavanomaisilla sandwich-rakenteilla kulkeutuu myös elementin eristetilaan huonontaan rakenteen eristyskykyä. Vuotovesi liikkuu elementtien pystysaumojen takana painovoimaisesti alaspäin ja kapeissa raoissa sekä halkeamissa kapillaarisesti sisäpintaa kohden. Tuulettuvissa betonijulkisivurakenteissa voidaan lämmöneristeen ulkopinnassa käyttää vettä hylkivää tuulensuojapintaa estämään vuotovesien pääsy lämmöneristeeseen. Rakenteessa alaspäin valuva vesi rasittaa mm. ikkuna-, ovi- ja perusmuurirakenteita. Seurauksena voi olla mm. maalikerrosten hilseilyä, tasoitekerrosten lohkeilua ja ikkunakarmien lahovaurioita. Pitkäaikainen runsas kosteus voi aiheuttaa myös mikrobikasvustojen syntymistä.

Ulkokuoren taakse mahdollisesti joutunut vuotovesi on johdettava pois rakenteesta mahdollisuuksien mukaan kaikista vaakasuuntaisista liitoksista, kuten ikkuna- ja ovi-liitoksista, seinärakenteen ja perusmuurin liitoksesta, kahden julkisivumateriaalin liitoksesta sekä ulkoseinän ja siihen liittyvän vaakarakenteen liitoksesta. Lisäksi sokkelin pohjaan tulee tehdä sinne joutuneen veden ulospääsyn mahdollistavat reiät. Kuvassa 6.30. on esitetty betonisandwich-ulkoseinän ja perusmuurin liitos. Kuvassa 6.31. on esitetty vuotovesien poistaminen betoniulkoseinän ja vesikaton liitoksesta.



Kuva 6.30. Betonisandwich-ulkoseinän ja perusmuurin liitos.



Kuva 6.31. Betoniulkoseinän vuotovesien poistaminen vesikattoliitoksesta.

### 6.7.3 Tuuletuksen järjestäminen

Betoniulkoseinissä rakenteen tuulettuminen on järjestettävä. Rakenteen tuuletustarvetta arvioitaessa tulee ottaa huomioon viistosaderasituksen voimakkuus, julkisivupinnan imu-kyky, rakennuksen korkeus sekä ulkokuoren ja sen saumojen sadevesitiiviys. **Betonisandwich-rakenteessa on käytettävä vähintään tuuletusuritetua eristettä, tuuletusraolliset ratkaisut ovat kuitenkin kosteusteknisesti uritusta selvästi toimivampia.** Tuuletusurien ja -rakojen tukkeutuminen valmistus- tai asennusvaiheessa on estettävä. Tuuletusuritetut betonisandwich-rakenteet on tehtävä siten, että ilman on mahdollista kulkea kaikissa urissa. Eristelevyjen ja elementtien jatkoskohtiin tarvitaan vaakaurat. Mikäli betoniulkoseinän ulkopinnassa käytetään tiivistä pintamateriaalia (esim. metalli, kivi, klinkkeri, luja/tiivis betoni), rakennus altistuu voimakkaalle viistosaderasitukselle tai jollekin muulle kosteusrasitukselle (esim. korkea sisäilman kosteus), on seinässä suositeltavaa käyttää yhtenäistä tuuletusrakoa tuuletuksen ja kosteuden poisjohtamisen varmistamiseksi.

Saumaan sijoitettavien **tuuletusputkien** tai **-koteloiden** tarkoituksena on toisaalta tasoittaa paine-ero, joka vallitsee ulkokuoren ja ulkoilman välillä, ja vähentää näin vesivuotoja ja toisaalta mahdollistaa ilman kierto sauman takana olevassa saumatilassa tai villaurituksessa. Tuuletusputkia asennetaan aina vähintään jokaiseen elementin risteyskohtaan. Niitä tulee asentaa myös karmin ja elementin välisiin saumoihin sekä elementtien välisiin vaakasaumoihin, noin 1-2 m välein.

Tutkimustulosten /8/ perusteella tuuletus tehostaa kiistatta sandwich-ulkoseinien kuivumista. Tuuletuksen tehokkuuteen vaikuttavat kosteuden siirtyminen tuuletusilmaan, tulo- ja poistoilma-aukkojen sekä tuuletuskanaviston dimensiot ja sijoitus. Suurin kosteudenpoistokyky saavutetaan yhtenäisellä tuuletusraolla. Esimerkiksi 40 mm yhtenäisen tuuletusraon tapauksessa saavutetaan uritetun lämmöneristeen urajakoon k200 (urat 15x30 mm<sup>2</sup>) verrattuna noin 18-kertainen kosteudenpoistokyky. Harvaan sijoitetut 10 mm tuuletusputket kuristavat liikaa tuuletuskanaviston ilmavirtauksia. Laskentatulosten mukaan yhtenäisellä 5 mm tuuletusaukolla on tuuletusraon ilmanvaihtuvuus 15-20-kertainen verrattuna eri tuuletusputkiratkaisuihin 5 Pa ilmanpaine-erolla.

**Tuuletusurien** tihentäminen kasvattaa lähes lineaarisesti kosteudenpoistokykyä urien sijaitessa ulkokuorta vasten. Sijoittamalla tuuletusurat lämmöneristeen sisään voidaan tuuletuksen tehokkuutta edelleen parantaa. Urien 10 mm:n sisäänvedolla saavutetaan jo 25%:n ilmanvaihtuvuudella vastaava kosteudenpoisto kuin tuuletusuran sijaitessa ulkokuorta vasten. Toisaalta kosteutta kertyy tällöin enemmän urien ulkopuoliseen eristekerrokseen. Laboratoriomittausten mukaan voi tuuletusurien hydraulisen halkaisijan pienentyminen valupurseiden tai mineraalivillahahtuvien johdosta olla yli 50%. Tästä aiheutuu tilavuusvirtojen pienentymistä ja siten julkisivuelementtien epätasaista tuulettumista. Lämmöneristeiden asennus tulee tehdä erittäin huolellisesti. /8/

Kun elementtien saumat ovat umpinaisia, tapahtuu tuuletus pelkästään julkisivun ylä- ja alareunassa olevien tulo- ja poistoilma-aukkojen kautta, jolloin näiden aukkojen mitoituksella on ratkaiseva merkitys rakenteen toiminnan kannalta. Yhtenäisen julkisivupinnan tu-



lo- ja poistoilma-aukkojen leveyden tulee olla vähintään 10 mm. Kun julkisivuverhouksessa ei ole avosaumoja, suositeltava minimileveys sekä tuuletusraolle että tulo- ja poistoilma-aukolle on 20 mm. /10/

Rakennuskosteuden poistumisvaiheessa (ensimmäisen vuoden aikana) tulisi esimerkiksi perusmuuriliitoksen vaakasauma jättää avoimeksi kuivumisen helpottamiseksi. Tällöin avoimeksi jätetty sauma tulee saumata myöhemmin.

Käytettäessä avosaumoja, on ulkokuoren takana käytettävä aina yhtenäistä, vähintään 30 mm leveää tuuletusrakoa. Koska rakenteen tuulettavuus paranee, on lämmöneristeen tuulensuojaus myös otettava huomioon. Erityisesti korkeiden seinien yhteydessä tulee nopea ilman liike tuuletusraossa ottaa huomioon.

#### **6.7.4 Betonirakenteinen ulkoseinä märkätilan kohdalla**

Märkätilojen vesitiivis lattianpäällyste tai lattiapinnoitteen alla oleva vedeneristys on nostettava vähintään 150 mm korkeudelle seinälle estämään lattiapinnalla liikkuvan veden pääsy seinä- ja lattiarakenteiden sisään. Vedeneristys on päätettävä siten, ettei seinältä valuva vesi pääse eristyksen taakse.

Kivirakenteisissa seinissä sisäkuoren saumojen ja liitosten tulee olla ilmatiiviitä ja sisäpintaan tulee tehdä kosteudeneristys. Suihkutilan kohdalla olevaan tai muuhun roiskevedelle alttiiseen ulkoseinään tehdään vedeneristys, joka liittyy vedenpitävästi lattian vedeneristykseen ja seinän muuhun kosteudeneristykseen.

Lisäksi tulee kiinnittää huomiota elementtien saumojen, erityisesti pystysaumojen, liikkeisiin. On varmistettava, etteivät lämpötilanvaihteluiden aiheuttamat pituuden ja leveyden muutokset sekä elementtien taipumat ja kaareutumiset riko valmista vedeneristystä. /46/

Märkätiloja on käsitelty tarkemmin puu- ja teräsrunkoisten ulkoseinien yhteydessä kohdassa 6.9.5.

#### **6.7.5 Betonirakenteen pintavaihtoehtojen vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan /37/**

Betonisen julkisivupinnan erilaiset pintavaihtoehdot ja pintatarvikkeet vaikuttavat viistosateella julkisivupinnalle syntyvän vesikalvon muodostumiseen ja kosteuden kulkuun, rakenteen pakkovoimiin sekä julkisivun likaantumisoimaisuuksiin. Esimerkiksi valkobetonipinnat ovat arkoja likaantumiselle ja ruoste- ym. tahroille. Pintatarvikkeet ja pintakäsittelyt vaikuttavat toisaalta sadeveden imeytymiseen rakenteen ulkopinnalta betoniin ja toisaalta kosteuden haihtumiseen ja rakenteen kuivumisnopeuteen. Lisäksi pintatarvikkeiden ja betonin toisistaan poikkeavat muodonmuutosominaisuudet rasittavat tartuntavyöhykettä ja ulkokuorta mekaanisesti.

**Tiililaattapintainen betonielementti** toimii kosteusteknisesti likimain samoin kuin pinnoittamaton betonielementti, ainoastaan viistosade imeytyy tiilipintaan nopeammin kuin betonipintaan. Imeytyminen tiililaatasta ulkokuoren betoniin on hidasta. Ulkokuoren kosteus tiililaattapintaissa elementissä ei ole korkeampi kuin betonipintaissa elementissä, koska tiililaatan läpi kosteuden diffuusio ja haihtuminen on nopeaa. Tiili- ja kalkkihiekka-tiililaattapinnoitus ei lisää kosteuden kerääntymistä rakenteeseen. Laattojen ajoittain korkea kosteuspitoisuus on otettava huomioon asetettaessa niiden pakkasenkestävyydelle vaatimuksia.

**Klinkkerilaatat, lasitetut laatat ja luonnonkivilaatat** ovat hyvin tiiviitä ja niiden vesihöyryn läpäisevyys ja vedenimukyky ovat hyvin pieniä. Sateella niiden pintaan syntyy nopeasti alaspäin valuva vesikalvo. Ulkokuoren taakse tiivistynyt tai ulkoa tunkeutunut kosteus ei pääse kuivumaan elementin pinnan kautta laattasaumoja lukuunottamatta. Ulkopinnan laattasaumaosuuksien ja betonireunusten haihdutuskyky ei riitä poistamaan rakenteeseen kerääntyvää kosteutta, joten tällaisessa rakenteessa tulee käyttää yhtenäistä tuuletusrakoa ulkoverhouksen takana rakenteen kuivumisen varmistamiseksi.

**Betonipinnalla olevaa maalikalvoa tai rappausta** rasittavat mm. alustan pitkäaikainen korkea kosteuspitoisuus ja alkalisuus sekä säärasitukset, kuten auringon säteily, saderasitus, lämpötilojen vaihtelut ja pakkasrasitus. Pinnoitteen kosteustekniset ominaisuudet vaikuttavat seinärakenteen ohella myös itse pinnoitteeseen kohdistuvaan rasitukseen. Toisaalta pinnoitteet kärsivät usein nopeammin rakenteen kosteusteknisistä puutteista. Kosteusteknisesti parhaita ovat sellaiset pinnoitteet, jotka ovat hyvin vesihöyryä läpäiseviä. Edullinen ominaisuus on myös vettähylykyvyys. Betonijulkisivu on suunniteltava ja tehtävä sellaiseksi, että se kestää ilman pintakäsittelyjen suojavaikutustakin. Näin ollen pintakäsittelyn valinnan tärkeimmät kriteerit ovat pinnoitteen odotettavissa oleva kestoikä ja pinnan ulkonäkö. Betonirakenteiden mahdollista pintakäsittelyn ajankohtaa arvioitaessa on otettava huomioon betonin suuri, hitaasti poistuva rakennuskosteusmäärä.

## 6.8 Muuratut ulkoseinät ja puurunkoiset tiiliverhotut ulkoseinät

### 6.8.1 Sadevesirasituksen ja –vuotojen sekä niiden haittavaikutusten vähentäminen */22, 37, 73/*

**Sadeveden kerääntyminen kuorimuuriin ja sadevesivuodot** muurin läpi ovat merkittävimmät kosteuslähteet muurattujen ulkoseinien kosteusteknisessä tarkastelussa. Tärkein seinärakenteen läpi vettä siirtävä voima on tuulen aiheuttama paine-ero kuorimuurin sisä- ja ulkopinnan välillä. Kuorimuurin takana olevan tuuletusraon leveys, sen avoimuus sekä ulkoilmaan yhteydessä olevien tuuletusaukkojen pinta-alan suuruus ja avoimuus vaikuttavat siihen, miten hyvin tuulen aiheuttamat paine-erot kuorimuurin yli pääsevät tasaantumaan ja miten hyvin ilma pääsee vaihtumaan tuuletusraossa.

Sadevesi imeytyy huokosiin materiaaleihin kapillaarisesti, mutta ei siirry kuorimuurin taakse tiilen tai täysinäisen laastisauman läpi, vaan kulkureitteinä ovat erilaiset **epätiivit**

**kohdat.** Näitä ovat halkeamat, raot, ontelot ja huonosti täyttyneet saumat. Halkeamia syntyy muodonmuutosten aiheuttamien pakkovoimien, alustan liikkeiden ja rakenteen kuormituksen vaikutuksesta. Muuraussaumojen tiiviyteen vaikuttavat laastin tiiviys ja tartunta muurauskiviin sekä työn huolellisuus. Lisäksi kuorimuurin sadevesitiiviyteen vaikuttavat materiaalivalinta, rakenteen paksuus ja limitys. Rapatuissa muureissa vuodot ovat vähäisempiä. Sadevesivuotoja saattaa päästä seinärakenteeseen myös **liikuntasaumojen** ja huonosti toimivien **ulkoseinän liitosrakenteiden** kautta. Liitosrakenteita on tarkasteltu luvuissa 6.1 – 6.6.

Kuorimuurin liikuntasaumajako on suunniteltava siten, ettei kuorimuurin liikkeistä aiheudu halkeilua, joka merkittävästi heikentää muurin sadevesitiiviyttä. Ulkona olevan aukottoman muurin liikuntasaumojen enimmäisvälit on esitetty taulukossa 6.1.

**Taulukko 6.1.** Ulkona olevan aukottoman muurin liikuntasaumojen enimmäisvälit /65/.

Muurityyppi	Rakenteen korkeus (m)					
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Tiilimuuri	8	12	15	18	21	24
Kalkkikiiekkatiilimuuri	5	8	10	12	14	16

Jos seinärakenteessa on aukkoja, on suositeltavaa, ettei liikuntasaumojen väli ylitä 12 m:ä tiilirakenteella ja 8 m:ä kalkkikiiekkatiilirakenteella /65/.

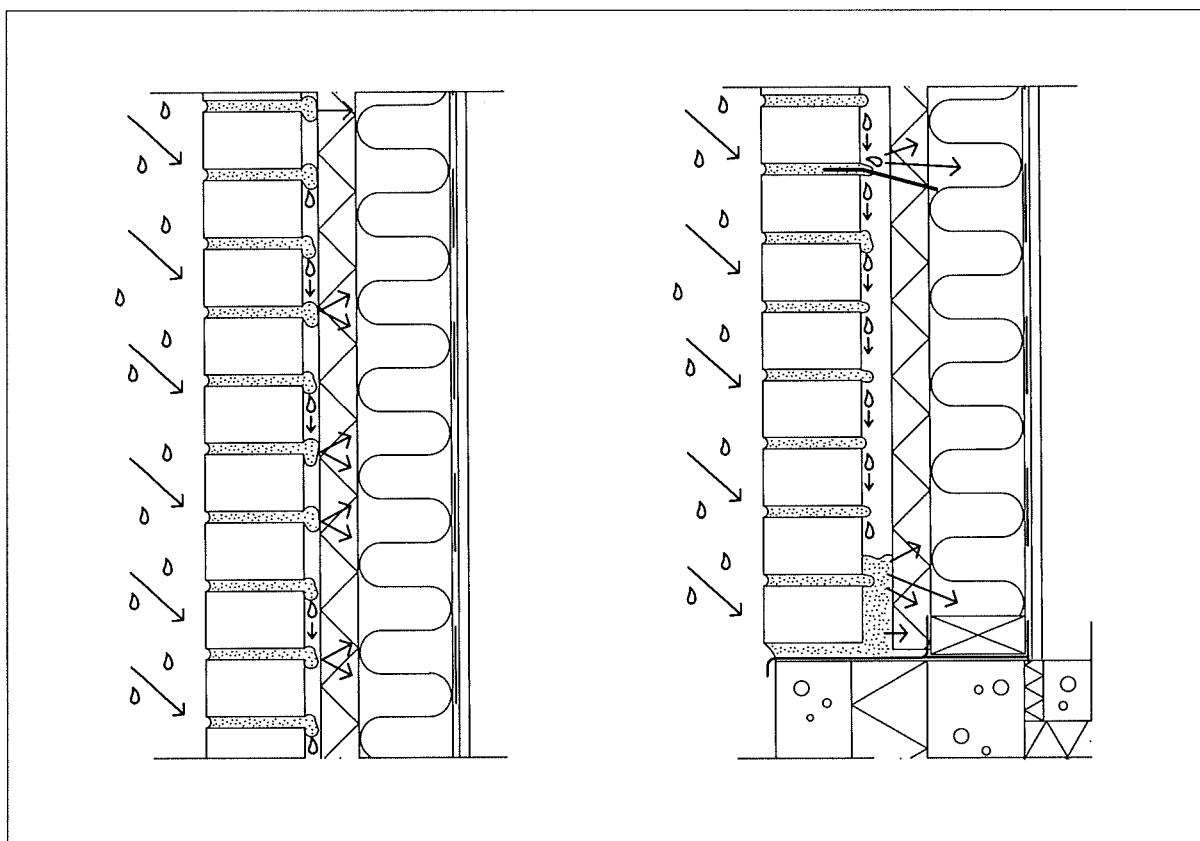
Kuorimuurin tiiviyden kannalta tärkein materiaalien ominaisuus on **tiilen ja laastin yhteensopivuus**. Koska pääasiallisia vuotokohtia ovat tiilen ja laastin rajapinnassa olevat raot, on sadevesitiiviyden saavuttamiseksi ratkaisevaa, kuinka hyvin tuore laasti tarttuu muurauksessa tiiliin.

Muuratun ulkoseinän ulkokuoren vähimmäispaksuus on 85 mm. Seinän tiiviyden kannalta kriittisiä kohtia ovat pystysaumojen yläosat. Moduulikiven (85 mm) käyttö puolen kiven muurien (130 mm) sijaan lisää rakenteen riskialttiutta varsinkin pystysaumojen sadevesitiiviyden kannalta. **Ulkokuoren paksuuden tulee olla 130 mm**, varsinkin jos rakennuksessa on enemmän kuin kaksi kerrosta, siihen kohdistuu runsas viistosaderasitus, rakennus sijaitsee tuulisella paikalla tai rakennuksessa on kapeat räystäät.

**Muuraustyön laadulla** on suuri vaikutus muuratun seinän tiiviyteen. Muuraus tulee tehdä täysin saumoin ja pystysaumoissa tulee käyttää nokkalaastia. Muurauskiveä ei saa siirtää tartunnan alettua eikä muuria saa tärisyttää. Saumat tulee viimeistellä muuraustyön yhteydessä. Työsaumat tehdään porrastaen ja/tai liikuntasaumoin. Muuraustarvikkeet ja valmis muuri on suojattava työn aikana ja sen jälkeen sateelta ja liian nopealta kuivumiselta. Kalkkikiiekkatiilet eivät saa muurattaessa olla kosteita.

**Muurattuihin ulkoseinärakenteisiin on tehtävä aina yhtenäinen tuuletusrako, jonka avoimuus ja toimivuus on varmistettava.** Muuraustyön huolellisuuteen tulee kiinnittää huomiota. **Laastipurseet** eivät saa pudota tuuletusrakoon ja tukkia sitä, eivätkä ne saa

ulottua tuulensuojamateriaaliin. Puurunkoisessa ulkoseinässä, jossa on muurattu ulkoverhous, voivat laastipurseet ja sisäänpäin viettävät muuraussiteet johtaa vuotovettä seinärakenteeseen (kuva 6.32.). Vesi voi imeytyä kapillaarisesti tuulensuojalevyyn ja siitä edelleen puurunkoon. Tästä on seurauksena puurakenteiden korkea kosteuspitoisuus ja mahdollisesti home- ja laho-vaurioita. Erityisen riskialttiita ovat seinän alaosan puurakenteet, kuten puurungon aluspuu, sekä ikkunarakenteisiin liittyvät kappaleet, koska ulkokuoren sisäpintaa pitkin valuva vuotovesi kerääntyy juuri seinän alaosaan sekä ikkunoiden ja oven päälle. /60/ Nämä puuosat onkin suositeltavaa tehdä painekyllästetystä puusta.



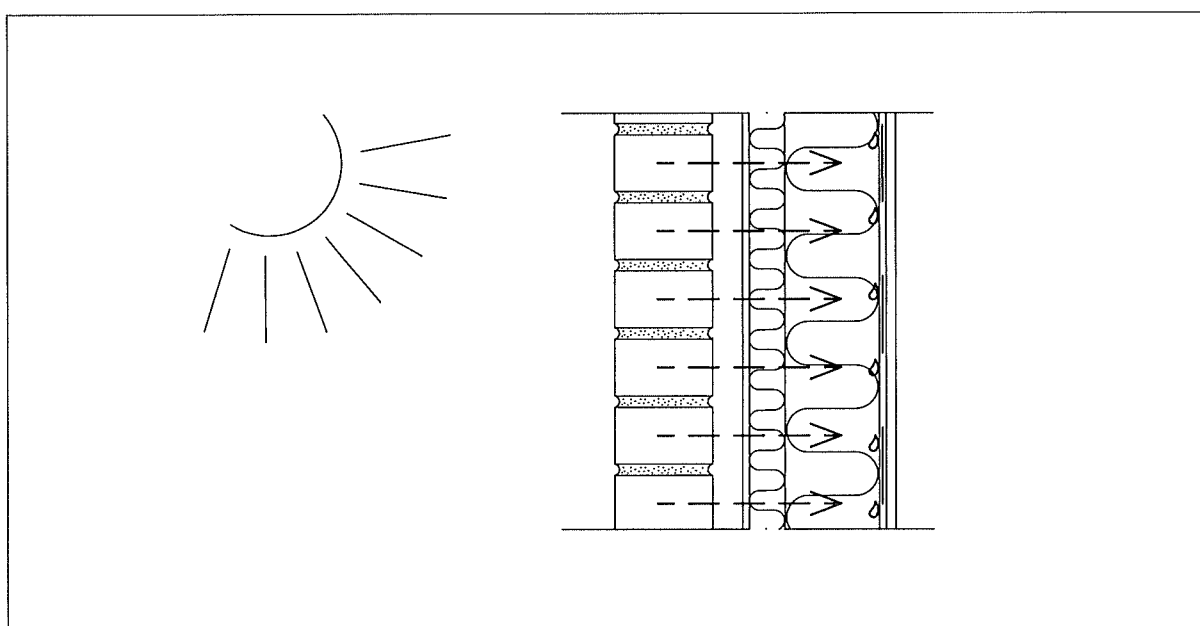
**Kuva 6.32.** Laastipurseet aiheuttavat vuotoveden kulkeutumisen puurunkoon ja estävät puurungon alapään kuivumisen ulospäin /60/.

Kuorimuurauksella verhoiltua puurakenteista ulkoseinää voidaan käyttää matalissa rakennuksissa tavanomaiselle viistosaderasitukselle altistuvilla alueilla, kun lisäksi tuuletuksen toimivuus varmistetaan. Tällaisissa rakennuksissa tulisi käyttää leveitä räystäitä, koska ne suojaavat rakennetta merkittävästi viistosateelta.

Muuratuissa ulkoseinissä esiintyviin **pakkasvaurioihin** ovat syynä joko heikosti pakkasta kestävien materiaalien käyttö muurauksessa tai rakenteen virheellisestä suunnittelusta tai toteutuksesta johtuva runsas kosteuden kertyminen rakenteisiin. Pakkasvaurioiden estämiseksi muurauksessa tulee käyttää ainoastaan pakkasenkestäviä (testattuja) ja keskenään yhteensopivia materiaaleja. Muuraustyön laadusta on huolehdittava sekä saumojen että rakenteen tuuletuksen osalta. **Runsas paikallinen veden imeytyminen tiilimuriin on estettävä.** /14/

Kuorimuurauksessa käytettävät raudoitusteräkset yms. kiinnitykset on tehtävä ruostumaton tai kuumasinkittyä terästä korroosiovaurioiden estämiseksi. Eristeen läpi menevät osat tulee olla ruostumatonta terästä ja ulkokuoren näkyvät kannatusmuototeräkset tulee olla vähintään kuumasinkittyjä.

Voimakkaasti saderasitetuilla rakenteilla saattaa esiintyä **kesäkondenssia** (kuva 6.33). Jos aurinko paistaa märkään kuorimuriin, sen nousee lämpötila ja kosteuden kulku sisään seinärakenteeseen voi olla huomattavaa ja aiheuttaa kondenssia puurunkoisessa seinässä höyrönsulun ulkopintaan. Vaikka kesäkondenssia ei syntyisikään aiheuttaa märkä kuorimuri korkean suhteellisen kosteuden puuseinään. Kesäkondenssin haittavaikutuksia voidaan vähentää esimerkiksi käyttämällä leveää tuuletusrakoa (n. 50 mm) kuorimuurin takana ja varmistamalla tuuletuksen toimivuus rakenteen ylä- ja alapäässä. /60/

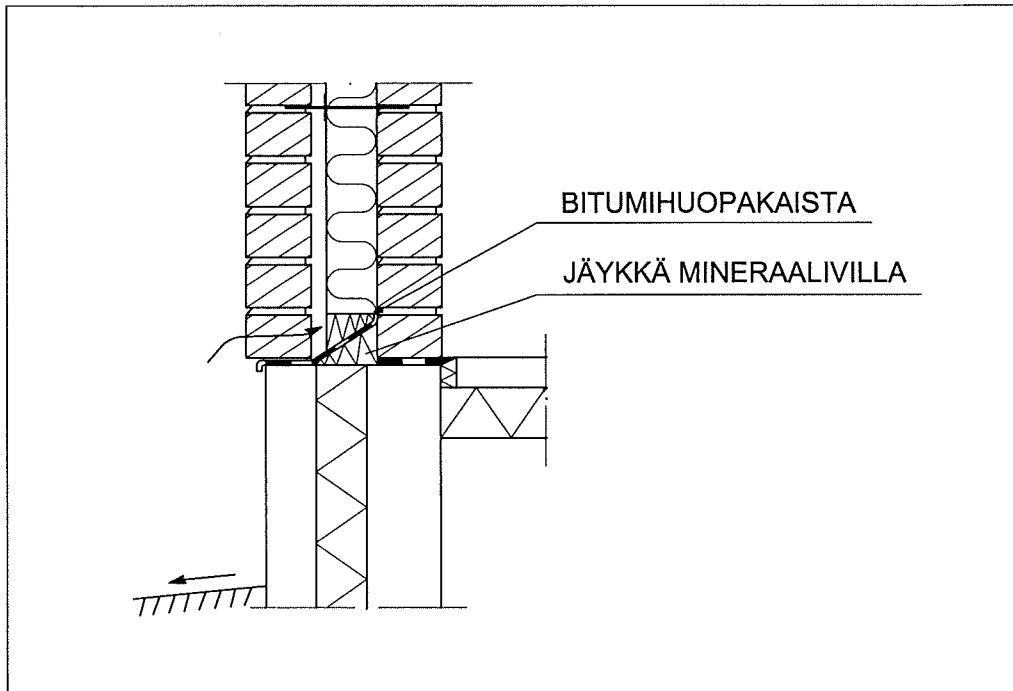


Kuva 6.33. Voimakkaasti saderasitetulla alueella saattaa esiintyä kesäkondenssia /60/.

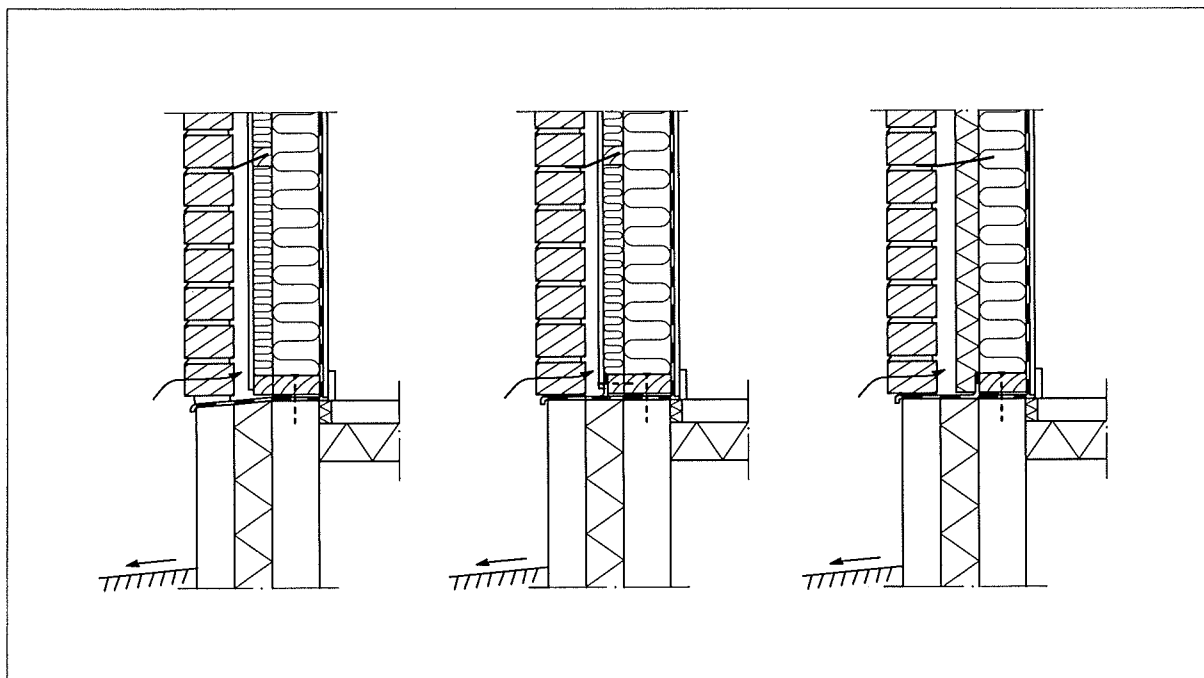
### 6.8.2 Vuotovesien poistaminen rakenteesta /14/

**Alimmasta tiilikerroksesta tulee jättää joka 3. pystysauma auki** rakenteen tuulettumisen ja rakenteeseen joutuneiden vuotovesien poistamisen varmistamiseksi. Muuraussiteet on asennettava siten, etteivät ne johda vettä sisään seinärakenteeseen. Vuotovesien poistuminen rakenteesta tulee järjestää myös **liikuntasauman kohdalla** ja **vaakasuorasta rakenneliitoksesta**, kuten ikkunan päältä ja eri materiaalien liitoskohdista.

Seinärakenteen alapäähän tulee asentaa vettä rakenteesta poisjohtava kerros, kuten bitumi-  
huopa. Jos viistosaderasitus on runsas, on rakoseinässä bitumi-  
huopa syytä asentaa ulospäin viettäväksi (kuva 6.34.).



Kuva 6.34. Rakoseinän liittyminen perusmuuriin /37/.

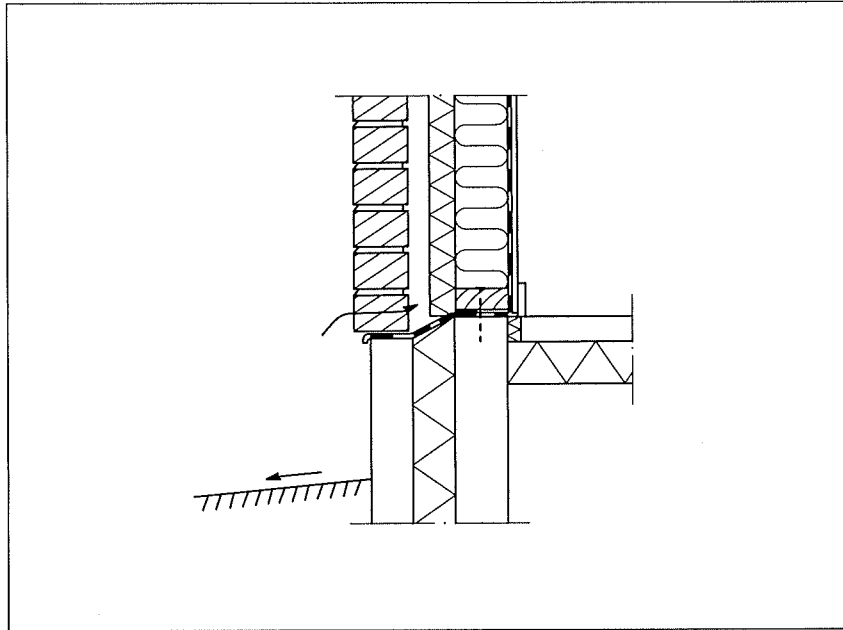


Kuva 6.35. Verhomuuratun puurunkoseinän liittyminen perusmuuriin.

Puurunkoisessa seinässä vuotovesien pääsy eristyskerrokseen on estettävä tehokkaammin kuin rakoseinässä, koska seinän kuivuminen muuratun ulkokuoren läpi on melko hidasta ja puurakenne on herkempi kosteusvaurioille kuin tiilirakenne. Lisäksi kuorimuurin takana olevan puurungon tarkastaminen tai korjaaminen on vaikeaa. **Vettä seinärakenteesta pois johtava kerros** (kuva 6.35.) voidaan puurakenteisessa ulkoseinässä viedä sokkelin yläpinnassa koko seinärakenteen paksuudella. Tällöin puurungon alapään kuivuminen ei vaikeudu, mutta kerros saattaa johtaa kosteutta puurunkoon. Jos sokkelin yläpinta tässä tapauk-

sessä kallistetaan tai porrastetaan ulospäin, vesi valuu helpommin pois. Kerros voidaan nostaa tuuletusraossa korkeintaan 50 mm ylös tuulensuojan sisäpuolelle. Turvallisempi tapa on nostaa kerros tuuletusraossa korkeintaan 50 mm ylös siten, että ylösnoston ulkopuolelle asennetaan 50 mm lämmöneriste. Tällöin lämpötila rakenteessa puurungon kohdalla on korkeampi ja kosteuden tiivistymisriski pienenee.

Kuorimuuri voidaan porrastaa muuta seinärakennetta ja puurungon aluspuuta alemmalle tasolle, jolloin vuotovedet poistuvat alemmalla tasolta (kuva 6.36.).

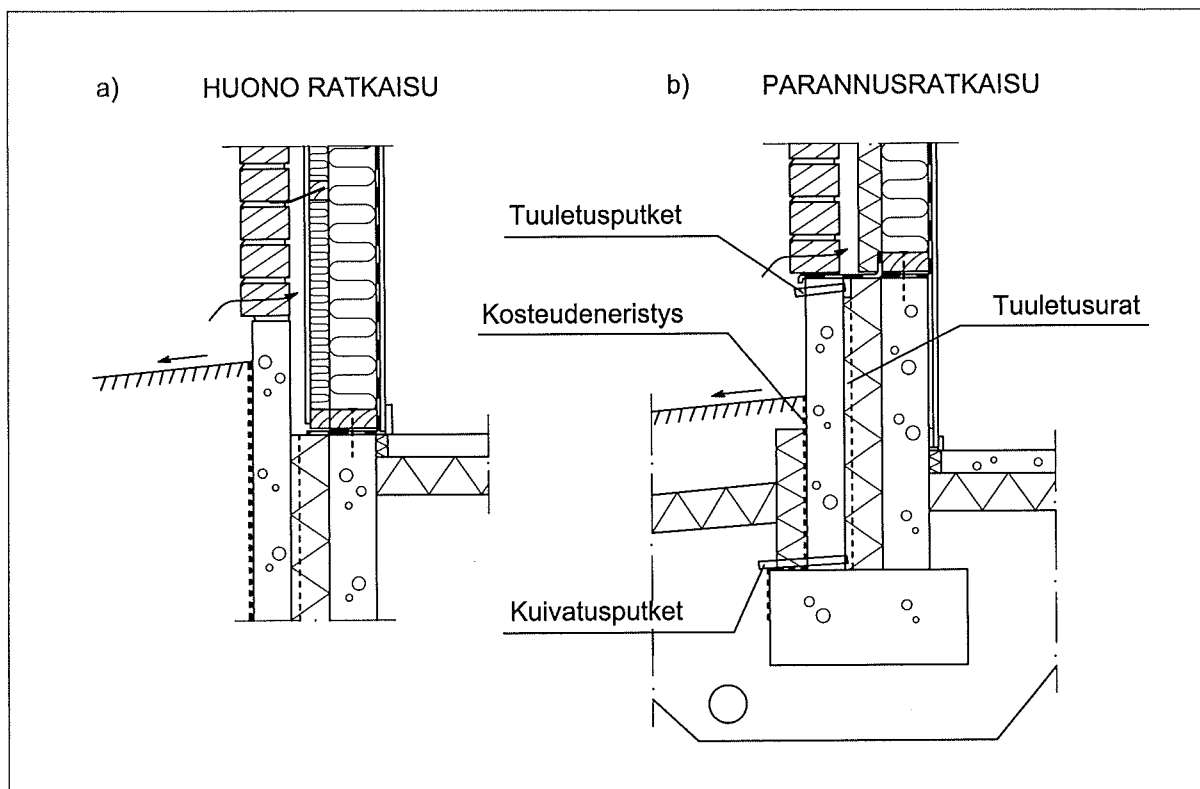


**Kuva 6.36.** Verhomuuratun puurunkoseinän liittyminen perusmuuriin, kun verhomuuraus ulottuu rungon alapään alapuolelle.

Puurungon alapään tehokas kuivuminen on varmistettava. Ulkoseinän puurungon ulottaminen maanvaraisen laatan yläpintaa alemmaksi aiheuttaa lahovaurioriskin, koska erilaiset kosteusrasitukset saattavat nostaa aluspuun kosteuspitoisuutta ja kuivuminen on hitaampaa alhaisemman lämpötilan ja huonomman tuuletusmahdollisuuden vuoksi. **Puurungon aluspuuta ei saa jättää maanvaraisen laatan yläpintaa alemmas ja se on erotettava bitumikermillä kivirakenteista.** Puurungon kuivumista ei saa vaikeuttaa myöskään jättämällä sitä kahden tiiviin pinnan väliin. Kosteudelle alttiit levyrakenteet, esimerkiksi tuulensuojalevy, on jätettävä irti perusmuurista tai muista vaakapinnoista.

Perusmuurin ulkokuoren nostaminen puurungon alapäästä ylemmäs (ns.valesokkeli) vaikeuttaa vuotovesien poistamista seinärakenteesta sekä puurungon alapään kuivumista (kuva 6.37. a). Valesokkeliä käytettäessä maanpinta voi helposti nousta puurungon alaosaan nähden liian korkealle. Rakenne on erittäin herkkä työvirheille ja sitä on vaikea tarkastaa tai korjata. Mikäli tällaista rakennetta halutaan käyttää, tulee perusmuurin ja ulkoverhouksen liitoskohta toteuttaa siten, että tuuletusraosta ylhäältä tulevat mahdolliset vuotovedet poistuvat ulos valesokkelin yläpuolelta ja raon alaosa pääsee myös tuulettumaan. Maanpinta tulee jättää selvästi puurungon alapään alapuolelle. Rakenne voidaan toteuttaa myös siten, että myös seinän sisäosa tehdään kivirakenteisena valesokkelin yläpinnan tasoon saakka ja

puurunkoisen seinä aloitetaan vasta tästä (kuva 6.37. b). Jos maanpinta on ylempänä kuin lattia, on perusmuuri tehtävä kosteuseristettynä ja seinä alaosaltaan kivrakenteisena.



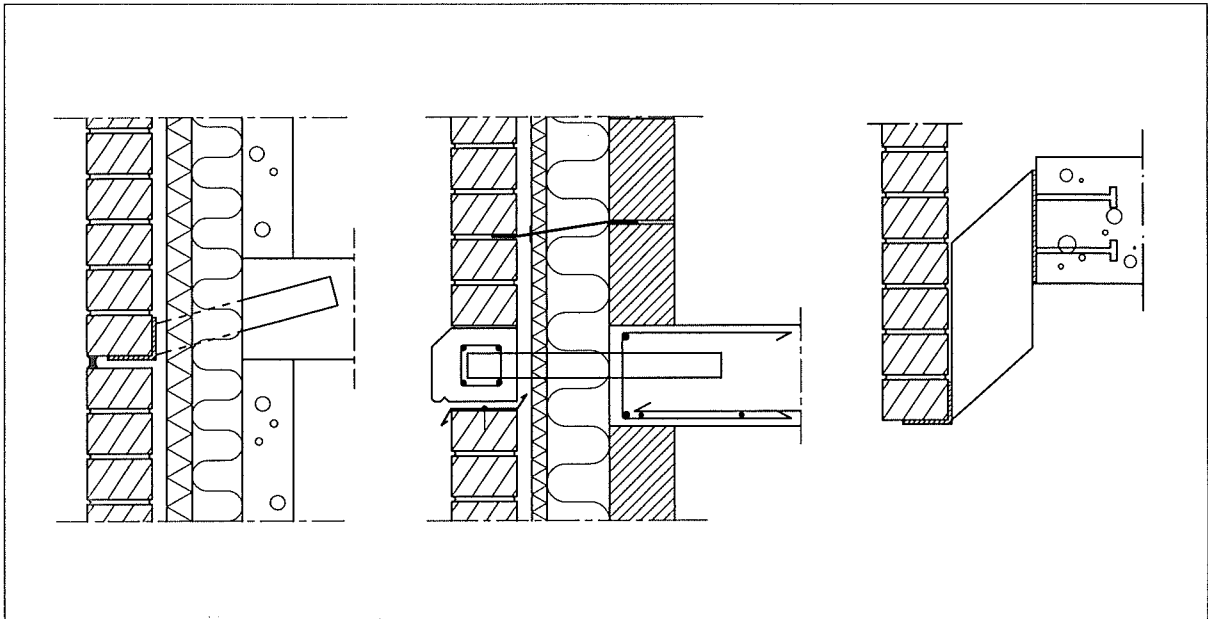
**Kuva 6.37.** Verhomuuratun puurunkoseinän liittyminen perusmuuriin: Perusmuurin ulkokuori on nostettu puurungon alapäättä ylemmäksi (a) ja parannusratkaisu, jossa myös seinän sisäosa on tehty kivrakenteisena perusmuurin yläpinnan tasoon saakka (b).

### 6.8.3 Tuuletuksen järjestäminen

Muuratuissa ulkoseinissä tulisi käyttää tuuletusrakoa kuorimuurin takana sekä kosteudenkestävää, vesihöyryä läpäisevää tuulensuojamateriaalia lämmöneristeen ulkopuolella tai tuulensuojapintaista lämmöneristelevyä. Tuuletusraon tulee olla vähintään 30 mm leveä. **Puurunkoisen ulkoseinän yhteydessä tuuletusrakoa on aina käytettävä.** Puurunko erotetaan tuuletusraosta kosteudenkestävällä ja vesihöyryä läpäisevällä tuulensuojamateriaalilla. Raon leveys puurakenteisessa seinässä tulee olla vähintään 40 mm. Tuulensuojamateriaalin ulkopinnan tulisi olla vettähylyvä, jotta sen kanssa mahdollisesti kosketuksessa oleva vesi ei imeytyisi kapillaarisesti siihen vaan valuisi pintaa pitkin alaspäin ja edelleen vedenpoistoreittejä pitkin ulos rakenteesta.

**Tuuletusraon tulee olla yhtenäinen ja yhteydessä ulkoilmaan ylä- ja alareunastaan ja sen toimivuus tulee varmistaa.** Tuuletusaukkojen toteutuksessa on varottava, etteivät tuuletusaukoiksi tarkoitetut raot lisää sadeveden pääsyä rakenteeseen. Ilmaraon yläpään tuuletukselta ei siksi saa järjestää jättämällä saumoja avoimiksi vaan on käytettävä tuuletusrakoa räystäspellin alla tai seinäpinnasta ulos tulevia, ulospäin kaltevia putkia. Tuuletuksen toimivuus liikuntasauaman kohdalla sekä ikkunan yläpuolella tulee varmistaa. Liikuntasauama on tehtävä siten, ettei tuuletus katkea sauman kohdalla (kuva 6.38.).





Kuva 6.38. Kuorimuurin kerroksittainen kannatus.

Laastipurseet eivät saa tukkia tuuletusraon alapäätä. Sen avoimuus voidaan varmistaa, kun jätetään alimmasta tiilikerroksesta esim. joka neljäs tiili pois muuraustyön ajaksi ja muurataan ne paikoilleen vasta viimeiseksi sen jälkeen kun tuuletusraon avoimuus on ensin tarkistettu.

#### 6.8.4 Rakenteen pinnoittaminen /2, 14, 34, 37, 51/

Muurattujen ulkoseinien pintakäsittelyjä ovat mm. **rappaus** ja **maalaus**. Kosteusteknisen toimivuuden kannalta rappaukset voidaan jakaa kahteen tyyppiin: varsinaiset rappaukset ja ohuet rappaukset. Rappauksista **perinteinen kolmikerrosrappaus** koostuu tartuntarappauksesta, täyttörappauksesta ja pintarappauksesta, ja se on täysin peittävä. Julkisivurappauksissa käytetään epäorgaanisia laasteja, useimmiten kalkkisementtilaasteja. **Ohutrappausseksi** sanotaan ohutta, hienoa runkoainetta sisältävää rappauskerrosta tai -käsittelyä. Maalauksittelyn alustana voi olla muurattu pinta tai rappaus. Muuratuissa julkisivuissa käytettävien pinnoitteiden sideaineiden tulisi olla epäorgaanisia.

Eräs muurattujen ulkoseinien pintakäsittely on **impregnointi**. Sen käyttöä Suomessa ei suositella, koska siitä voi aiheutua muurattuun tiilijulkisivuun **pakkasvaurioita**. Impregnointi tarkoittaa käsittelyä, joka ei muodosta kalvoa tai kerrosta rakenteen pintaan, vaan käytettävä aine imeytyy alustaan. Impregnoinnissa rakenteen pinta voidaan käsitellä vettä hylkivällä aineella (hydrofobiointiaineella). Hydrofobiointiaineet ovat värittömiä tuotteita, kuten esimerkiksi silikoneja, siloksaaneja, silikonaatteja tai akrylaatteja. Käsittelyn pyrkimyksenä on alentaa pinnan vedenimuneutta ja siten alentaa rakenteen kosteusrasitusta. Käsittelyn seurauksena muurattuun julkisivupintaan muodostuu sateella nopeasti vesikalvo, jolloin halkeamista ja rakojen kautta pääsee vettä muuraukseen. Tiivistävä käsittely lisää siten rakenteeseen kohdistuvia paikallisia kosteusrasituksia. Kosteuskertymät voivat johtaa pakkasvaurioihin, kun rakenteen kuivuminen on käsittelyn johdosta hidastunut.

Ruotsissa on tehty useita tutkimuksia muurattujen rakenteiden hydrofobioinnista esim. /61, 62/.

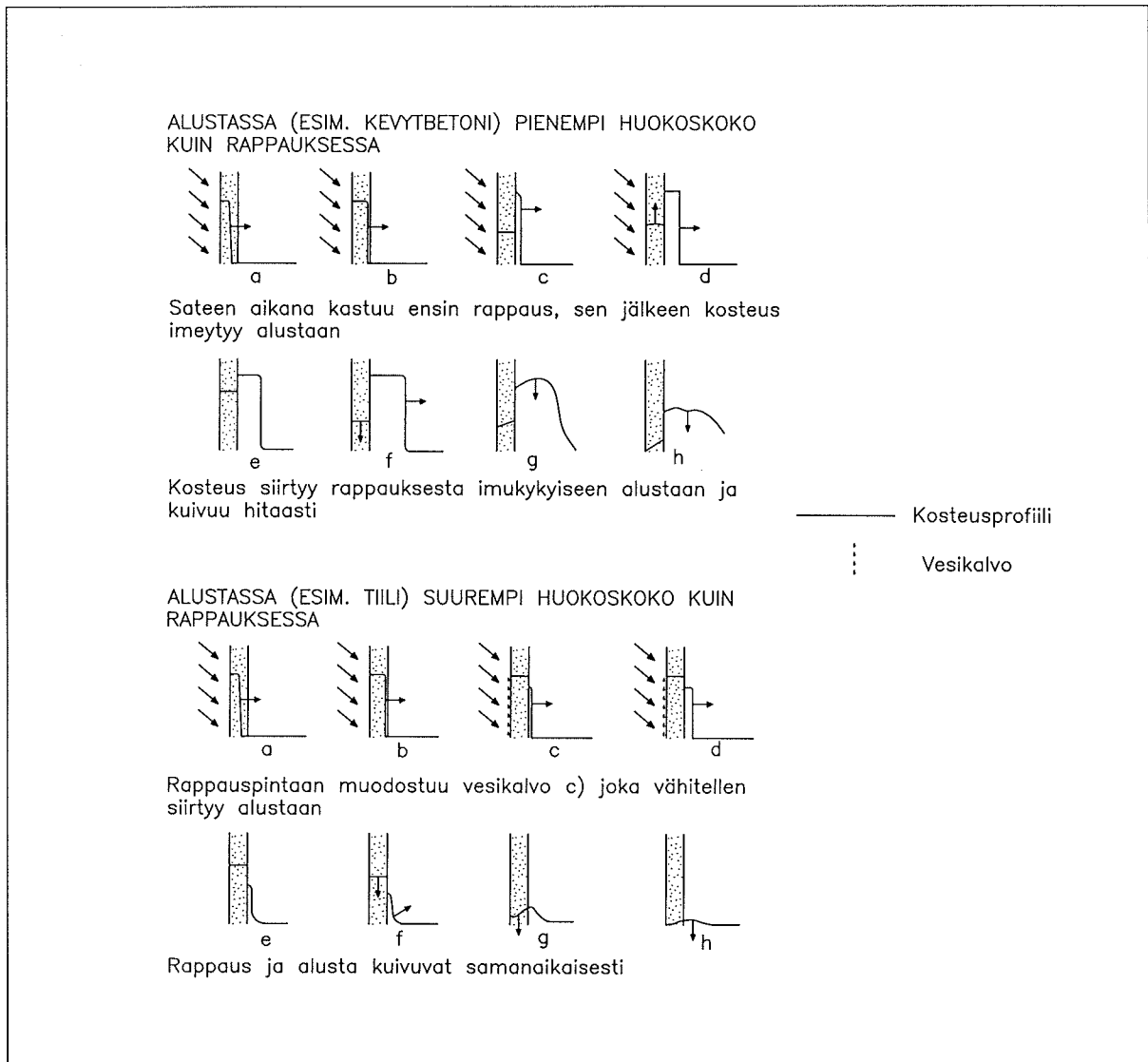
Muurattujen rakenteiden suunnittelun pääsääntönä on se, että **materiaalien pakkasenkestävyys on varmistettava ja rakenne suunniteltava siten, että suojaavia pinnoitteita ei tarvita**. Materiaalien valinnassa on toisaalta oletettava, että pintakäsittelyyn alustaan voi kohdistua vähintäänkin yhtä ankara rasitus kuin pinnoittamattomaankin. Pinnoitteita käytetäänkin lähinnä **ulkonäkösyistä**. Mikäli rakenteeseen halutaan tasainen pinta, voidaan käyttää rappausta. Perinteisestä kolmikerrosrappauksesta varsinkin tiilialustalla on pitkäaikaisia hyviä kokemuksia.

Merkittävin pinnoitekerrosta rasittava kosteuslähde on seinäpintaan kohdistuva viistosade. Sisäilman kosteus voi olla merkittävä kosteuslähde, etenkin jos vesihöyryn osapaine on seinän sisäpuolella korkea tai rakennekerrokset ovat sellaiset, että ulkokuoreen ja pintakerroksen alle tiivistyy kosteutta. Pintakäsittely estää rakenteeseen imeytyneen kosteuden haihtumista, jolloin esimerkiksi maakosteus voi nousta korkeammalle. Tällöin maakosteus, pintavedet ja perusmuurissa oleva kapillaarinen vesi tulee ottaa kosteuslähteinä huomioon. Muutkin puutteellisesti suunnitellut tai toteutetut ulkoseinän liitosrakenteet saattavat aiheuttaa runsasta paikallista kosteuden imeytymistä rakenteeseen. **Pintakäsittely hidastaa aina rakenteeseen päässeän kosteuden poistumista**. Yleensä alustan rakennuskosteuden tulisi olla pääosin poistunut ennen pintakäsittelyä.

**Pinnoitteen ja sen alusmateriaalin huokoisuudet** vaikuttavat rakenteeseen imeytyneeseen vesimäärään. Suuret huokokset imevät vettä nopeammin kuin pienet eli materiaali kastuu nopeasti. Pienissä huokosissa on imuvoima suurempi. Tilannetta on kuvattu periaatetasolla kuvassa 6.39.

Jos alustan huokokset ovat pieniä kuten kevytbetonissa, pystyy se imemään kosteutta suuremman huokoskoon omaavasta rappauksesta, vaikka sade on lakannutkin. Rappauksen huokostilan tulee kuitenkin olla ensin täyttynyt vedellä sateen seurauksena. Rakenteen kuivuminen on tällöin myös hidasta. Tämä johtuu alustan suuremmasta kapillaarisesta imuvoimasta, jolloin imeytynyt kosteus tasaantuu ensin alustaan ja kuivuu sitten diffuusion muodossa.

Jos alustan huokokset ovat suurempia kuin rappauksen, kuten poltetulla tiilellä on, kosteutta voi imeytyä alustaan ainoastaan sateen jatkuessa, kun rappauksen huokostila on ensin täyttynyt vedellä ja rappauspintaan on muodostunut vesikalvo. Sateen lakattua hieno- huokoisempi rappaus pyrkii imemään kosteutta alustasta. Kosteuden siirtyminen haihduttavaan ulkopintaan tapahtuu aluksi veden muodossa kapillaarisesti pintakerroksen suuremmasta imuvoimasta johtuen, jolloin kuivuminen on nopeaa. Kun kosteuspitoisuus pintakerroksessa alenee kapillaarisen siirtymisen kannalta kriittisen tason alapuolelle, kuivuminen hidastuu.



Kuva 6.39. Rapattujen seinien kosteuden muutokset voimakkaan sateen aikana /59/.

Kastumista ja kuivumista sääteleviä pintakerroksen ominaisuuksia ovat huokosrakenteen ja aineen kapillaaristen ominaisuuksien lisäksi pinnan karheus ja väri sekä pintakerroksen paksuus ja yhtenäisyys. Rakenne- ja materiaaliominaisuuksien lisäksi seinän kuivumiseen vaikuttavat luonnollisesti ilmasto-olosuhteet. Huokoinen ja imukykyinen pintakerroskin, kun se on riittävän paksu ja yhtenäinen, voi alentaa alustan kosteusrasitusta, mikäli se pystyy sitomaan suuren osan sadevesirasituksesta itseensä ja haihduttamaan sen sateen jälkeen ulos. Näin toimii perinteinen kolmikerrosrappaus tiilialustalla.

Seinään imeytyvän sadeveden määrään vaikuttavat myös **seinäpinnan halkeamat**, joita on muuratuissa rakenteissa aina. Pinnoitekerrokseen syntyviä halkeamia aiheuttavat mm. kosteus- ja lämpöliikkeet ja muodonmuutoksista johtuvat jännitykset rakenteen eri kerrosten välillä sekä alustarakenteen taipumat ja siirtymät. Vaurioita rappauksessa ja alustassa on odotettavissa, jos diffuusio- ja sadevesitiiviin pinnoitekerroksen alle pääsee halkeamien kautta runsaasti vettä. Tällöin rakenteen kosteuspitoisuus saattaa pysyä kauemmin korkeammalla tasolla kuin vastaavan käsittelemättömän julkisivun. Tämä johtuu siitä, että halkeamat lisäävät huomattavasti veden imeytymistä, mutta diffuusion avulla tapahtuvaan kuivumiseen niillä ei ole juuri vaikutusta.

Periaatteena tiilipinnan ohutrappaus- ja maalaus käsittelyssä on se, että pinta ei saa oleellisesti tiivistyä. Poltetuista tiilistä muuratun julkisivun ohutrappaus- tai maalaus käsittely voi lisätä rakenteen kosteusrasitusta, jos ohut pintakerros ei hidasta tarpeeksi kosteuden imeytymistä alustaan, mutta pienentää ratkaisevasti kuivumisnopeutta. Maalikerrokseen syntyvät halkeamat pahentavat rasitusta paikallisesti. Ainakin poltetuista tiilistä tehdyn alustan maalausta tulisi välttää. Maalaus käsittely voi lisätä myös kalkkiahiekkatiilistä muuratun julkisivun kosteusrasitusta.

Massiivisilla kevytbetonijulkisivulla sekä kevytsoraharkkoseinillä tarvitaan pinnoitus, esimerkiksi rappaus, riittävän sadevesi- ja ilmatiiviuden saavuttamiseksi. Kevytbetonialustalle tulevan pintakerroksen tehtävä on rajoittaa sadeveden imeytymistä alustaan, joten sen on oltava yhtenäinen ja hyvin peittävä. Kevytsoraharkkopinnalle soveltuvat parhaiten useampikerroksiset rappaukset. Massiivisia kevytbetoniseiniä pinnoitettaessa on otettava huomioon, että rakenteeseen voi olla sitoutuneena suuri rakennuskosteusmäärä, joka poistuu seinärakenteesta hitaasti.

Sadeveden aiheuttamia vaurioita voidaan välttää valitsemalla pinnoitteen ja alustan kosteudenläpäisyominaisuudet siten, ettei pintakerroksen alle synny kasvavaa kosteuskeräytymää ja että kastumisen jälkeen rakenne voi kuivua helposti. Puhtaaksimuurattua tiilipintaa ei ole suositeltavaa käsitellä kosteuden kulkua hidastavilla pinnoitteilla eikä tuotteilla, jotka eivät kestä pieniä muodonmuutoksia. Mikäli rapattu pinta halutaan vielä pinnoittaa, on pinnoitteen valinnassa otettava huomioon, että se ei saa olla rappausta lujempi eikä oleellisesti tiiviimpi kuin rappaus. Pinnoitteen emäksen- ja säänkestävyydestä sekä uudelleenpinnoitettavuudesta tulee myös varmistua. Pitkäaikaisten kokemusten mukaan kalkkimentti-, kalkki- ja silikaattimaalit ovat suositeltavimpia käsittelyjä rappauspinoille, aiemmin maalatuille kalkkimaalipinoille tulee käyttää ainoastaan kalkkimaalia.

Kuorimuurin liikuntasaumoissa käytetään yleensä elastista saumausmassaa. Peitelistaa, joka toimii sadesuojana, voidaan myös käyttää. Muurauksen hyvä imukyky vähentää yleensä saumasta rakenteeseen pääsevän veden määrää esimerkiksi betoniseinään verrattuna. **Rakenteen liikuntasaumat on aina ulotettava myös pintakerrokseen.** Myös materiaalien vaihtumiskohtiin, joihin voi syntyä halkeamia, on suositeltavaa tehdä liikuntasauma. Rapatussa muurissa massakerros on sijoitettava alustamuurauksen ulko-osaan, ei rappauserrokseen.

## 6.9 Puu- ja teräsrakenteiset ulkoseinät, kevyt verhous

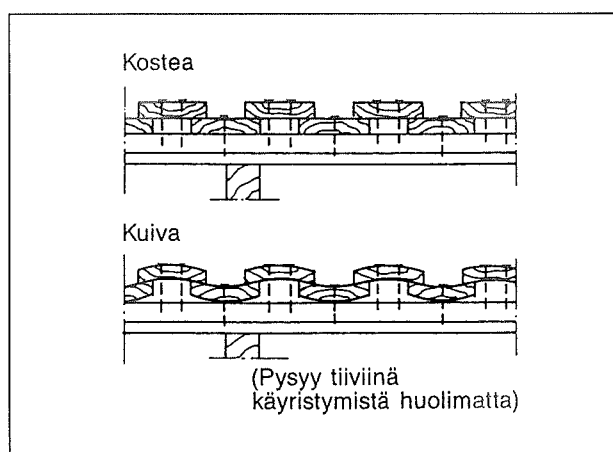
### 6.9.1 Sadevesirasituksen ja –vuotojen vähentäminen /2, 14, 37, 69/

Viistosateille altis ja tuulinen ympäristö tai poikkeuksellisen korkea sisäilman kosteus voivat heikentää puuverhoillun puurunkoisen ulkoseinän kosteusteknistä toimintavarmuutta. Puu- ja teräsrunkoisen ulkoseinän viistosaderasitusta voidaan pienentää käyttämällä riittävän **leveitä räystäitä.** Rakennuksissa, joissa on puurunkoiset ulkoseinät, tulisi aina käyttää vähintään 400 mm leveitä räystäitä.

Sadevesivuotojen vähentämiseksi **liitokset ja saumat** tulee tehdä mahdollisimman **vedenpitäviksi** ja niiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon rakenteiden liikkeet, erityisesti puurakenteiden suuret kosteusliikkeet ja teräsrakenteiden lämpöliikkeet. Verhous, liitokset, listoitukset ja muut yksityiskohdat tulee tehdä siten, että rakenteeseen ei jää vettä kerääviä vaakapintoja vaan sateelle alttiit vaakapinnat ovat ulospäin kaltevia.

### Puu-ulkoverhous

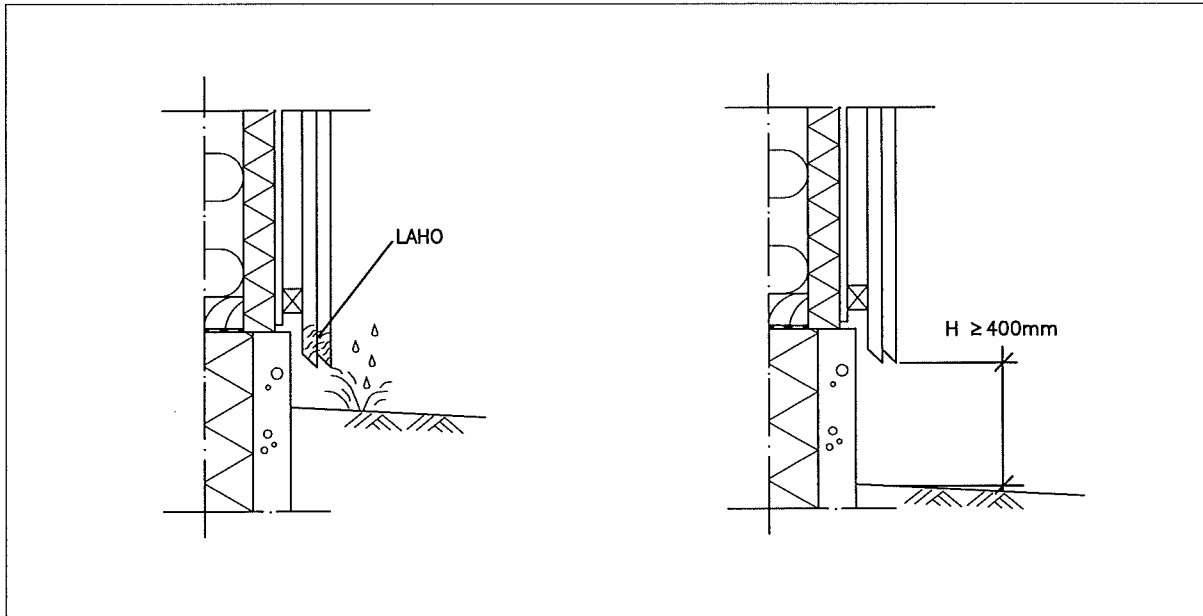
Puu-ulkoverhouksen minimipaksuus on 21 mm, yli 150 mm leveissä laudoissa 28 mm. Puuverhouksen kestävyys paranee, kun laudan paksuutta lisätään. Pontatut verhouslaudat kiinnitetään siten, että niille jää turpoamisvara. Verhouslaudat asennetaan yleensä sydänpuoli ulospäin. Lomalaudoituksessa tulee sisempi lauta asentaa pinnanpuoleinen puu ulospäin ja ulompi lauta sydänpuoli ulospäin, jolloin laudoitus pysyy tiiviinä käyristymisestä huolimatta (kuva 6.40.). Lisäksi verhouslautojen asennuksessa tulee lautojen syysuunta ottaa huomioon siten, että pystylaudan pinnassa olevat katkenneet syyt ovat ikään kuin ”suomut” alaspäin. Verhouslaudat on syytä pintakäsittellä kertaalleen ennen seinään kiinnitystä, jotta lautojen kutistuminen ei toisi esiin käsittelemättömiä raitoja limityskohtiin. Ulkoverhous tulee tehdä riittävän kuivasta puutavarasta. Puutavaran kosteuspitoisuus saa olla korkeintaan 18 % eikä siinä saa olla laho- tai homekasvustoja. Verhouksen kiinnikkeiden valinnassa tulee ottaa huomioon kosteusliikkeistä kiinnikkeisiin aiheutuvat voimat ja kiinnikkeiden riittävä korroosiosuojaus (vähintään kuumasinkittyjä). Lomalaudoituksen ulompaa lautaa kiinnitettäessä naula ei saa mennä alemman laudan läpi halkeamisvaaran takia. Puulistat yms. vaakapinnat tulee kallistaa ulospäin ja yleensä suojata esim. vesipellein.



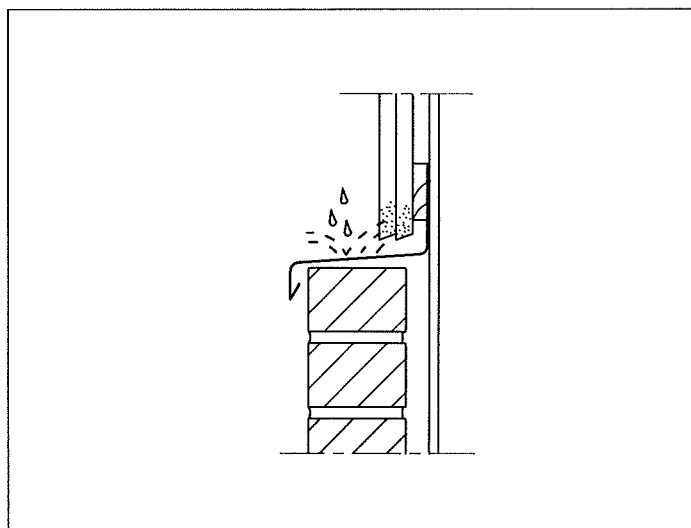
Kuva 6.40. Lomalaudoituksen oikea syysuunta /37/.

Puuverhouksen laho- ja homevauriot ovat usein saaneet alkunsa kohdista, joissa vesi pääsee imeytymään lautojen poikkipinnoista tai syiden katkeamiskohdista sisään (kuvat 6.41. ja 6.42.). Tällaisia kohtia ovat mm. lautojen päät, jatkokset, oksapaikat, puun vauriokohdat ja kiinnikkeiden kohdat. **Veden imeytyminen** vaakapinnoilta ja muista materiaaleista verhouslautojen päittäispintoihin on estettävä. Puuverhous on nostettava vähintään 400 mm etäisyydelle maanpinnasta, vähintään 300 mm etäisyydelle ulkotasosta tai muusta vaaka-

pinnasta ja vähintään 25 mm etäisyydelle vesipelistä. Pystyverhouksessa on syytä välttää päittäisjatkoksia. Verhouslautojen ja listojen alapääät tulee viistota, jotta seinäpintaa pitkin valuva vesi tippuu ulkopinnasta pois eikä imeydy syrjästä tai päästä lautoihin. Lautojen ja listojen poikkipinnat tulee myös suojata veden nopealta imeytymiseltä esim. tiiviillä maalauksella.

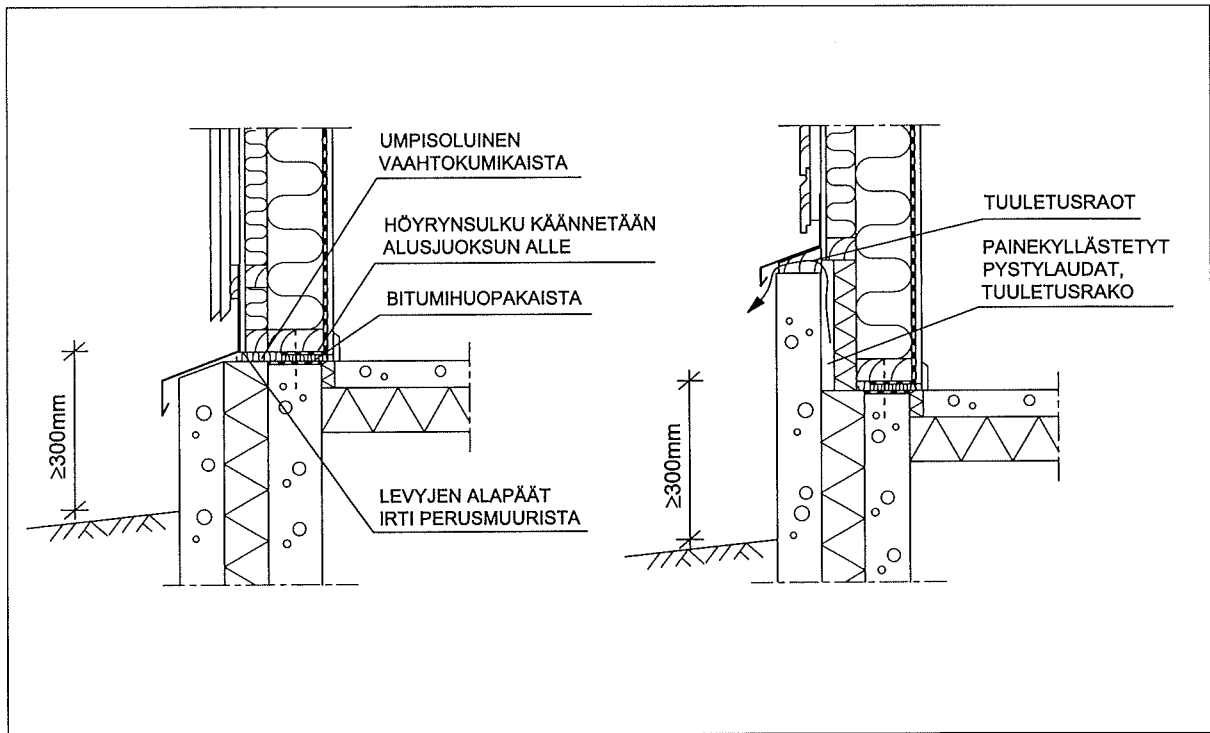


**Kuva 6.41.** Ulkoverhouksen alapään lahoaminen.



**Kuva 6.42.** Ulkoverhouksen alapää on liian lähellä vesipeltiä ja pelti on liian vaakasuora.

Ulkoverhouksen taakse joutuneiden **vuotovesien poistaminen** rakenteesta tulee järjestää vaakasuuntaisista rakenneliitoksista, kuten ikkuna- ja oviliitoksista, eri materiaalien liitokohdilta sekä seinärakenteen ja perusmuurin liitoksesta. Puurakenteisessa seinässä ei valesokkeliratkaisu ole suositeltava, mutta jos sitä käytetään, on sen taakse järjestettävä tuuletusrako, joka on avoin ulkoilmaan. Kuvassa 6.43. on esitetty puurunkoisen ulkoseinän ja perusmuurin liitoksia.

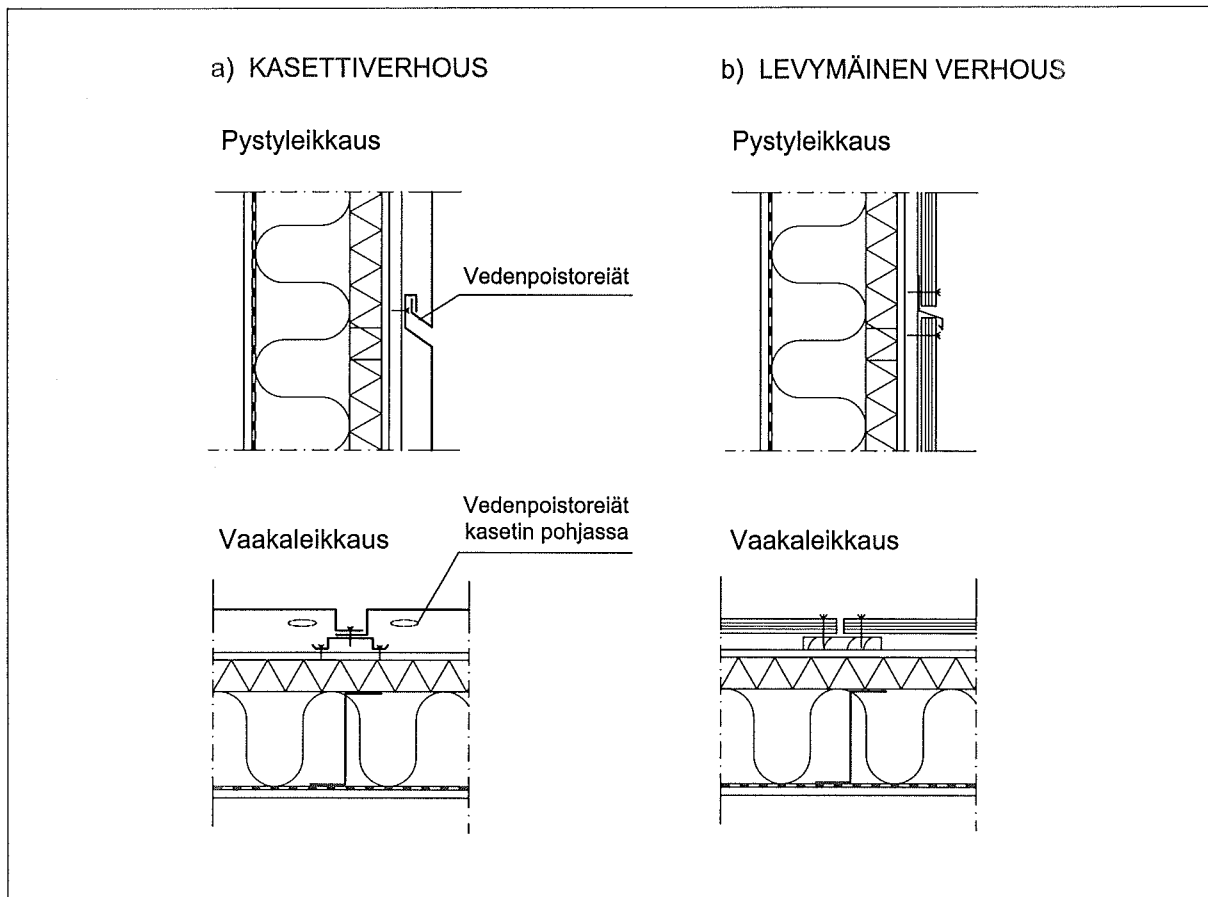


Kuva 6.43. Puurunkoisen ulkoseinän ja perusmuurin liitos.

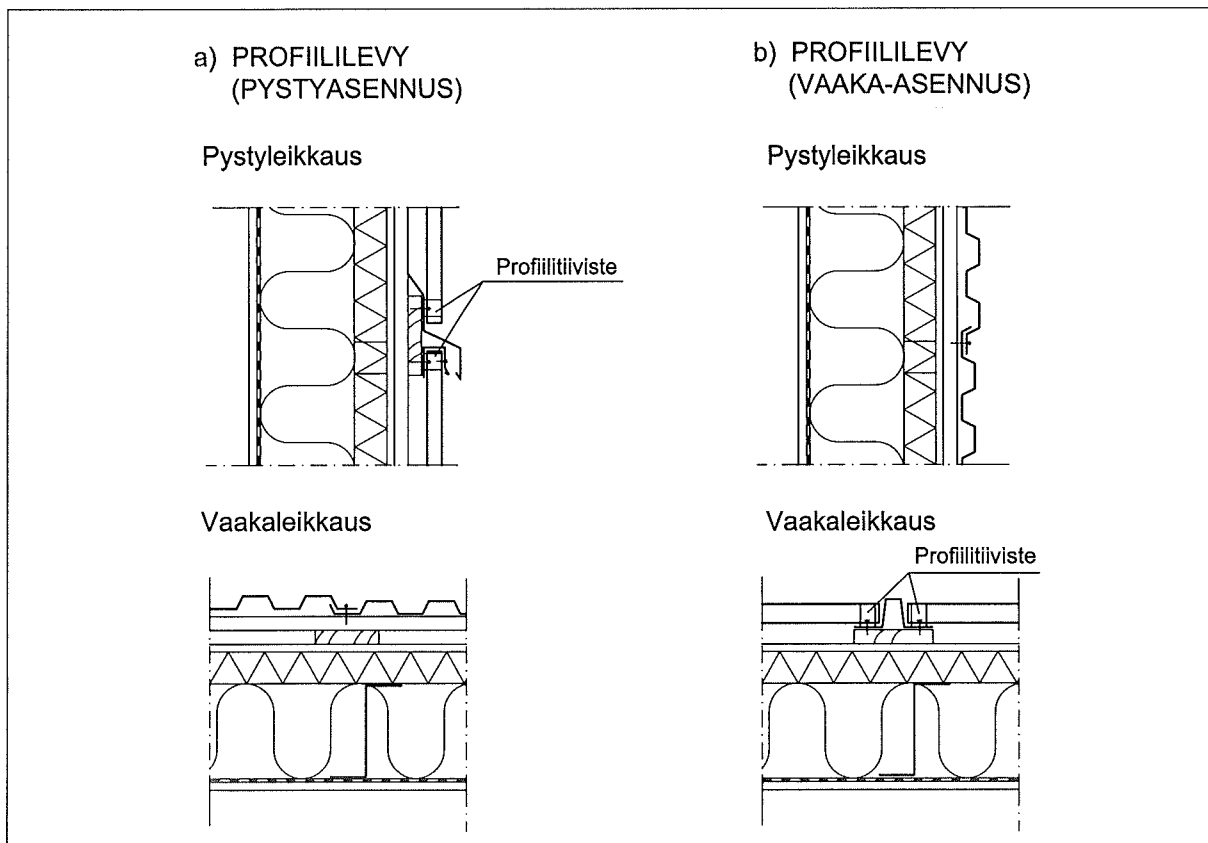
## Metalliverhous

Metallilevyverhouksen pitkittäissaumat tulisi yleensä tehdä **sadevesitiiviiksi**. Ongelmakohtiksi saattavat muodostua erisuuntaisten profiilien, ikkunoiden tai ovien liitokset, joista vettä voi tunkeutua sisään. Liitokset on tehtävä siten, että verhouksen sisäpuolelle päässyt vesi voidaan johtaa pois. Metallilevyverhouksen **kiinnikkeet** ja **kiinnitystapa** tulee valita siten, että korrosio ei pääse turmelemaan rakennetta. Galvaanisen korroosion estämiseksi kiinnikkeet eivät saa olla kiinnitettäviä osia epäjalompia. Ulkoverhouksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon rakenteiden liikkeitä. Etenkin muovilla ja alumiinilla on huomattavan suuri pituuden lämpötilakerroin. Tästä aiheutuvat suuret lämpöliikkeet tulee ottaa huomioon kiinnitysten suunnittelussa ja toteutuksessa. Tummien verhoukslevyjen lämpöliikkeet ovat voimakkaampia, koska niiden lämpötila nousee auringonpaisteessa korkeammaksi.

Kuvissa 6.44. – 6.45. on esitetty teräsrunkoisen ulkoseinän erilaisia metalliverhouksia: kasettiverhous, levymäinen verhous ja profiililevyverhous. Kuvassa 6.46. on esitetty julkisivupinnan kahden erisuuntaisen profiililevyverhouksen vaakaliitos ja kuvassa 6.47. profiililevyllä verhotun teräsrakenteisen ulkoseinän perusmuuriliitos.

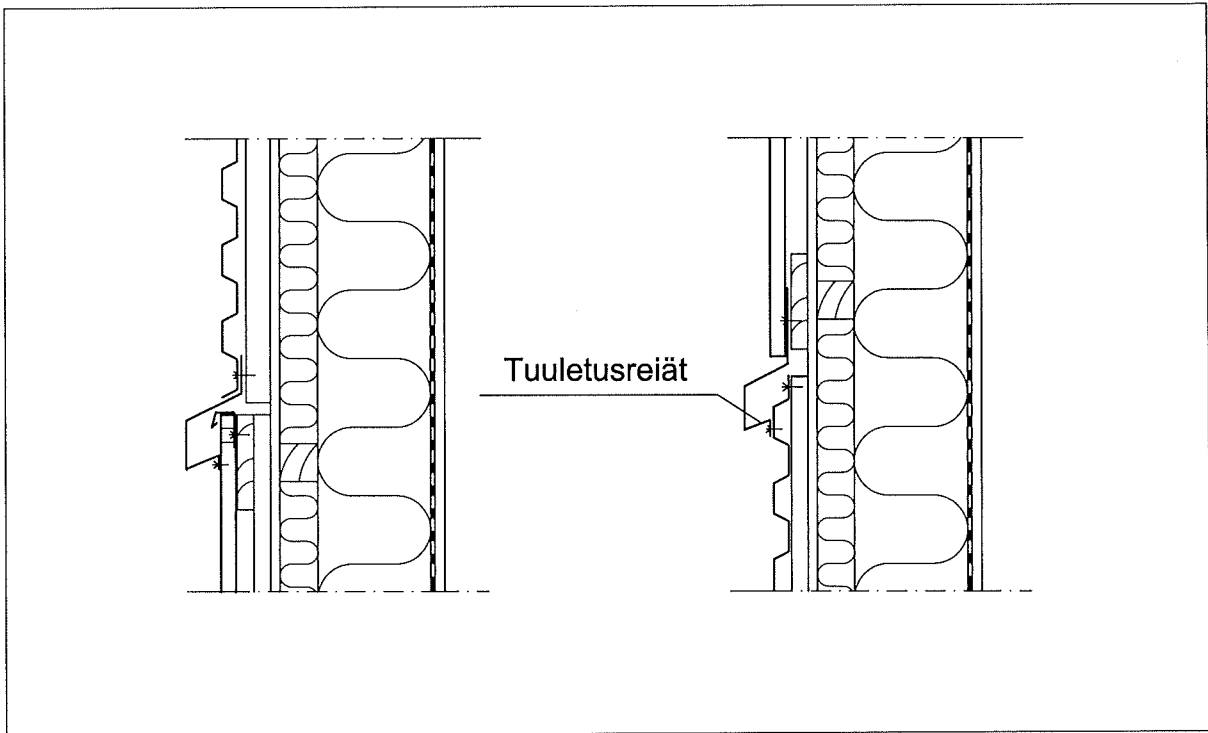


Kuva 6.44. Teräsrunkoisen ulkoseinän metalliverho: (a) kasettiverho ja (b) levyäinen verho.

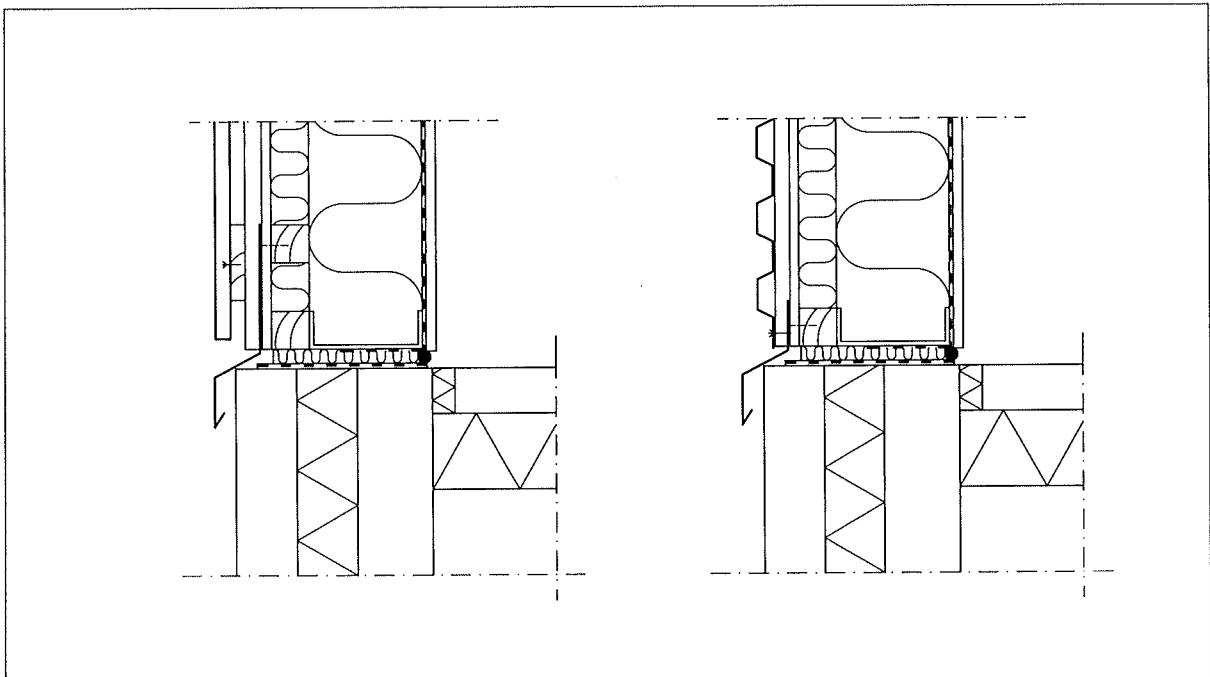


Kuva 6.45. Teräsrunkoisen ulkoseinän profiililevyverho: (a) pystyasennus ja (b) vaaka-asennus.





Kuva 6.46. Julkisivupinnan kahden erisuuntaisen profiililevyverhouksen vaakaliitos.



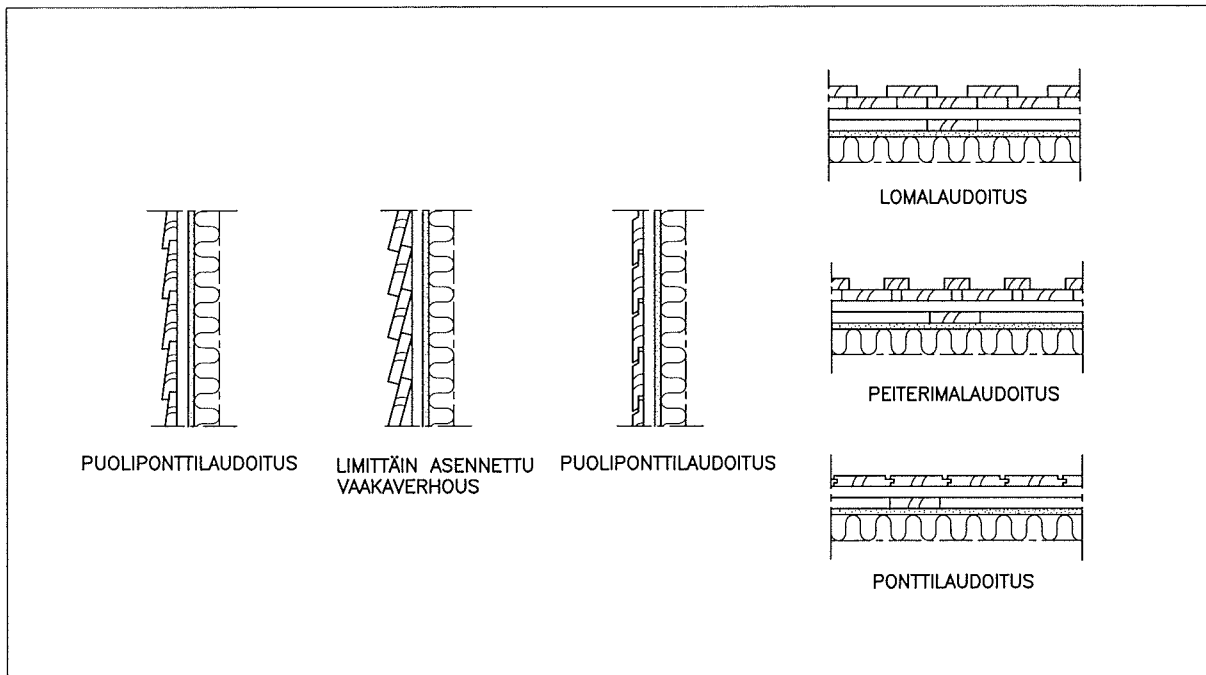
Kuva 6.47. Profiililevyllä verhotun teräsrakenteisen ulkoseinän perusmuuriliitos.

## 6.9.2 Tuuletuksen järjestäminen /69/

**Puu- tai teräsrakenteisessa ulkoseinässä, jossa on puu-, teräs- tai jokin muu verhous, on käytettävä tuuletusrakoa.** Sen tulee yleensä olla yhtenäinen alhaalta ylös asti ja avoinna ala- ja yläpäästään sekä ikkuna- ja oviaukkojen kohdilla. Suositeltavaa on, että tuuletusraosta on yhteys ulkoilmaan joka kerroskorkeudelta. Tuuletusraon tulee olla vä-

hintään 20 mm leveä. Puurungon ja lämmöneristeen ulkopinta suojataan kosteudenkestävällä, vesihöyryä läpäisevällä tuulensuojamateriaalilla.

Verhouslaudat kiinnitetään alusrimojen välityksellä runkoon. Vaakasuoran laudoituksen taakse saadaan toimiva tuuletusväli kun käytetään pystysuoria alusrimoja. Pontattua pystysuoraa puuverhousta käytettäessä tulisi käyttää ristikkäistä alusrimoitusta. Pystysuoraa lomalaudoitusta käytettäessä rakenne tuulettuu ulomman laudan taakse jäävien rakojen kautta. Jos ulomman laudan taakse jäävät raot ovat kapeita (peiterimalaudoitus), on suositeltavaa käyttää myös tällöin ristikkäistä alusrimoitusta tuuletuksen toimivuuden varmistamiseksi. Kuvassa 6.48. on esitetty erilaisia pysty- ja vaakalaudoituksia.



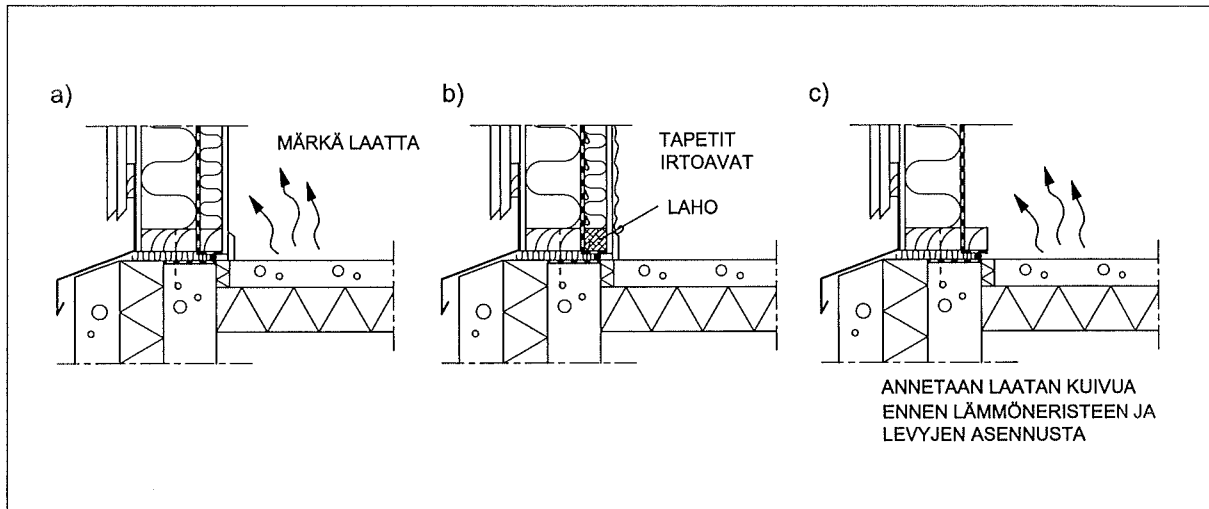
Kuva 6.48. Pysty- ja vaakalaudoituksia /69/.

Tuuletusrako metallilevyverhouksen taakse muodostuu erilaisin ratkaisuin riippuen siitä, onko verhoitus sileä vai profiloitu.

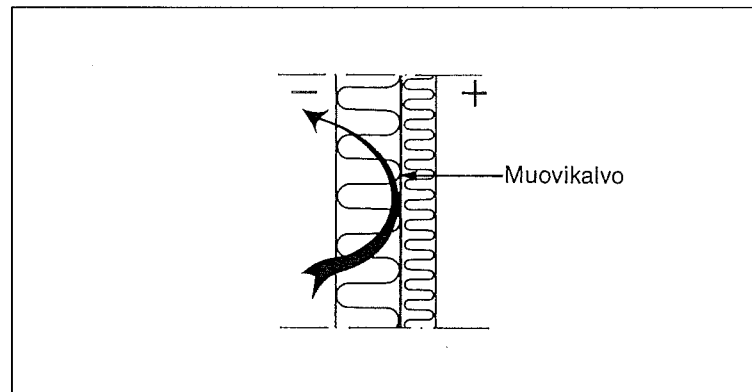
### 6.9.3 Rakenteen ilma- ja höyrytiiviyys /14/

**Höyryn- ja ilmansulku** voidaan sijoittaa korkeintaan lämmöneristepaksuuden kolmanneksen etäisyydelle sisäverhouksesta, jolloin esim. sähköasennukset voidaan tehdä höyrynsulkua rikkomatta. Tällöin tulee ottaa huomioon rakennuskosteuden vaikutus sekä mahdollinen kondenssiriski. Rakennusaikainen kosteus, jonka lähteinä ovat betonirakenteet ja muuratut rakenteet, saattaa tiivistyä rakenteeseen, jos kuivatuksen aikana ei ole huolehdittu riittävästä ilmanvaihdosta (kuvat 6.49. a ja b). Kosteusongelmia saattaa syntyä myös silloin kun ulkopuolisen lämmöneristykseen asennus tai tuulensuojaus on toteutettu puutteellisesti (kuva 6.50.). Mikäli kosteutta kertyy höyrynsulun sisäpuolelle, saattaa tästä seurata mm. seinän alaosan laho- tai homevaurioita. Kosteusvaurioiden välttämiseksi on rakennuksen

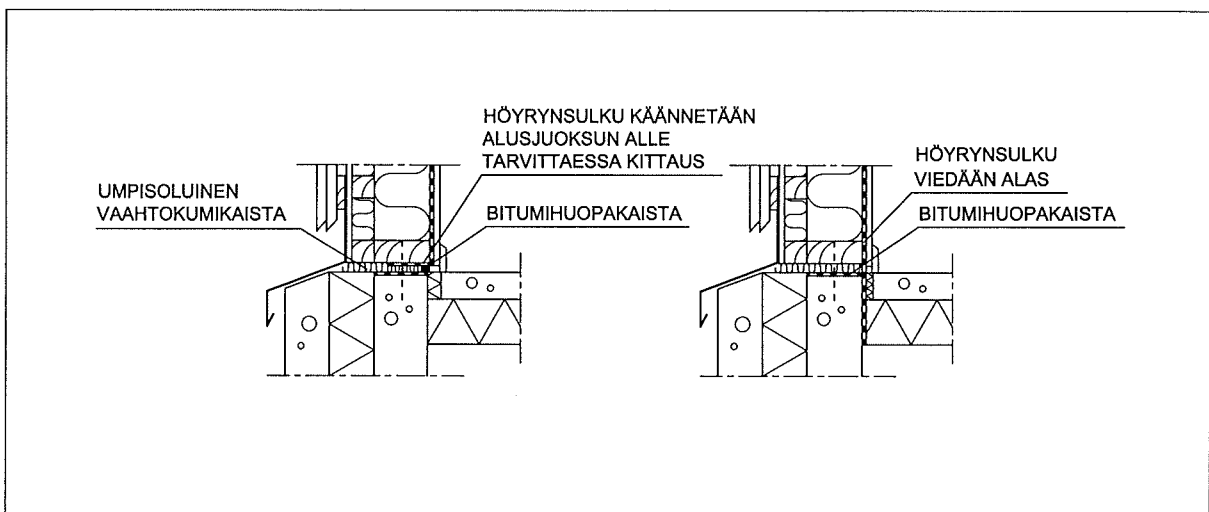
oltava riittävän kuiva ennen sisäpuolisen lämmöneristekerroksen asentamista (kuva 6.49).  
c). Kuvassa 6.51 on esitetty höyrynsulun liitos perusmuuriin.



Kuva 6.49. Sisäänvedetty höyrynsulku voi aiheuttaa kosteusongelmia (a ja b) /14/.



Kuva 6.50. Sisäänvedetyn höyrynsulun ulkopuolinen lämmöneristys ja tiivistys on toteutettava huolellisesti kosteusongelmien välttämiseksi /14/.



Kuva 6.51. Höyrynsulun liitos perusmuuriin.

Kosteutta voi tiivistyä tuulensuojaan, jos rakenteen ilmanpitävyys on puutteellinen tai höyrynsulun ja tuulensuojan vesihöyryn läpäisyjen suhde on väärä. Seurauksena kosteuden tiivistymisestä tuulensuojan pintaan ja sen yläosiin saattaa olla kosteuden tai veden valuminen rakenteen alaosaan, josta se ei pääse riittävän nopeasti kuivumaan. Kosteuden tiivistymistä tuulensuojan pintaan ja yläosiin voidaan välttää kiinnittämällä huomiota rakenteiden ilmanpitävyyteen ja lämmöneristystyön huolelliseen toteutukseen. **Lämmöneristuksen lämpimämmällä puolella olevien kerrosten** (maali, rakennuslevy, höyrynsulku) yhteenlasketun vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen tuulensuojan vastukseen verrattuna.

Lämmöneristyksessä tapahtuvat **ilmavirtaukset** vaikuttavat puurakenteisen ulkoseinän lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Konvektio ulkoseinärakenteessa on lämpötilaeroista aiheutuvaa **luonnollista konvektiota** sekä rakenteen painesuhteiden ja ympäristön ilmavirta- ja painekentän aiheuttamaa **pakotettua konvektiota** ilmaa läpäisevässä lämmöneristekerroksessa ja ilmaraoissa. Varsinkin tuulisella säällä paine-erot pyrkivät tasaantumaan myös vaakasuunnassa rakennuksen nurkan yli. Jos julkisivuverhouksen alusrakenne katkaisee tuuletusraon vaakasuunnassa, pyrkii paine-ero tasaantumaan lämmöneristeen läpi kulkevien ilmavirtausten avulla. Ulkoilman virtaus lämmöneristekerroksessa (rakennevirtaus) voi aiheuttaa paikallisia kylmäsiltoja, jotka voivat johtaa pintakondenssiin. Tutkimustulosten /33/ perusteella pintakondenssin esiintyminen esim. nurkkien alueella on mahdollista ainoastaan selvien rakennevirheiden tapauksissa. Rakennevirtaukset tulee estää huolellisella tuulensuojauksella. Tuulensuojalevyjen saumat tulee sijoittaa aina runkopuiden kohdalle. Läpiviennit ja liitoskohdat tiivistetään esimerkiksi saumausmassalla.

Ilmavirtaus sisätilasta ulkoseinärakenteeseen (läpivirtaus) voi puolestaan aiheuttaa huomattavia kosteuskertymiä rakenteeseen. Läpivirtaus estetään käyttämällä rakenteessa ilman- ja höyrynsulkua. Käytännössä rakenteiden läpi tapahtuvan ilmavirtauksen suunta vaihtelee pääasiassa tuuliolosuhteiden perusteella, ja ulkoa sisälle tapahtuva virtaus kuivattaa rakenteeseen kertynyttä kosteutta. Myös lämpötilaerot talvella rakenteen sisä- ja ulkopuolen välillä synnyttävät paine-eroja, joista aiheutuu ilmavirtauksia rakenteiden läpi. Tutkimuksessa /33/ kokeellisten ja ideaalirakenteelle laskettujen tulosten perusteella voidaan rakenteen työn laatua pitää eräänä merkittävimmistä kevyen ulkoseinärakenteen ilmavirtauksiin ja siten myös sen kosteustekniseen toimintaan vaikuttavista tekijöistä.

Ulkoseinärakenteen tiivistämistä eri liitosten yhteydessä höyrynsulkuna käytettävän muovikalvon avulla sekä ilman muovikalvoa on käsitelty mm. lähteissä /43/ ja /64/.

#### **6.9.4 Höyrynsuluton puurunkoinen ulkoseinärakenne /16, 29, 31/**

Höyrynsulun poisjättäminen ulkoseinärakenteesta merkitsee kosteusteknistä riskiä, koska se lisää aina sisäilman kosteuden kulkua seinärakenteeseen. Höyrynsuluttomassa puurunkoisessa ulkoseinärakenteessa tulee muovikalvo korvata muilla rakenteellisilla keinoilla. Höyrynsuluton seinärakenne on tavanomaista herkempi rakennusvirheille. Sen käyttö on

mahdollista sellaisten huonetilojen kohdalla, joissa on alhainen kosteuden tuotto (normaalit huonetilat) ja joissa on lisäksi huolehdittu riittävän tehokkaasta ilmanvaihdosta. Kosteat tilat on syytä aina tehdä kosteussulkua käyttäen. Höyrynsulutonta puuseinää voidaan riskittömästi käyttää talvella pois käytöstä olevissa kesäasunnoissa.

Höyrynsuluttoman kevyen puuseinärakenteen keskeisimmät ongelmat ovat rakennuksen **ilmanpitävyyden saavuttaminen ja sen pysyvyys** sekä rakenteen tavallista suuremman kosteusrasituksen aiheuttamien **haitallisten kosteuskeräytymien estäminen**. Puuseinärakenteen kosteusteknisen toimivuuden ehtona on, että puun kosteus ei nouse puun turmeltumisen tai mikrobikasvustojen synnyn kannalta suurinta sallittua kosteutta suuremmaksi pitkällä tarkasteluvälillä.

Höyrynsulun jättäminen pois seinärakenteesta lisää seinän **kosteusrasitusta** ja kasvattaa samalla rakenteen **vuotuisia kosteusvaihteluita**. Rakenteeseen kylmänä kautena mahdollisesti syntyvälle kosteuskeräytymälle on oltava rakenteelliset mahdollisuudet kuivua siten, että pitkällä tarkasteluvälillä rakenteen kosteus ei lisääny. Tällöin on selvitettävä, ovatko rakennetyypin tiiviit kerrokset kriittisiä rakenteen kosteuskeräytymiin nähden. Mikäli rakenteeseen tiivistyy kylmänä kautena kosteutta, rakenteen on pystyttävä varastoimaan tiivistynyt kosteus siten, että esimerkiksi pystypintoja alaspäin valuva vesi ei kerääny seinärakenteen alaosaan paikkoihin, joista kosteuden kuivuminen on hidasta. Vaikka kumuloituvaa kosteuskeräytymää ei pitkällä aikavälillä rakenteeseen syntyisikään, aiheuttaa höyrynsuluttoman puuseinän lisääntynyt kosteusrasitus kuitenkin riskin, että rakenteen suhteellinen kosteus on liian kauan korkea. Näin saattaa käydä etenkin silloin, jos tuulensuojan vesihöyrynvastus on liian suuri tai rakenteen tuulettuminen on puutteellista. Tästä voi olla seurauksena puurakenteiden turmeltumista tai mikrobikasvustojen syntymistä.

Ilmavirtaukset ovat höyrynsuluttoman rakenteen suuri riskitekijä. Höyrynsuluttoman seinärakenteen ilmanpitävyys on erilaisten liitos- ja saumakohtien varassa. Vaarallinen tilanne on ilmavuodon keskittyminen tiettyyn rakennekohtaan. Ilmavuoto voi syntyä rakenteen **kosteusvaihteluiden aiheuttamista muodonmuutoksista**. Esimerkiksi kosteuden aiheuttamat rakennuslevyjen muodonmuutokset voivat synnyttää rakoja ilmasulkuina ja tuulensuojina toimiviin rakennekerrokseen. Rakenteen ilmanpitävyyttä voidaan parantaa esimerkiksi rakennuspaperien ja –pahvien avulla. Höyrynsuluttomassa seinässä tulee kiinnittää erityistä huomiota erilaisiin **saumadetaljeihin**, kuten sisäverhouslevyjen saumoihin, lattia-, katto- ja nurkkaliitoksiin sekä läpivientien, ikkunoiden ja ovien tiivistykseen. Seinän sisäverhouksen läpivientejä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää. Ilmavuotojen vaikutus on suurin rakennuksissa ja rakenteen kohdissa, joissa on pitkäaikainen ylipaine ulkoilmaan nähden kuten ulkoseinien yläosissa ja yläpohjissa. Riskejä voidaan vähentää järjestämällä rakennukseen alipaine koneellista ilmanvaihtojärjestelmää käyttäen.

Ilmavirtausten estämiseksi on kiinnitettävä huomiota rakenteen ilmansulun lisäksi tuulensuojaukseen. Tämä on erityisen tärkeää siksi, että höyrynsuluttomien rakenteiden suuri kosteusrasitus edellyttää rakenteen kuivumisen varmistamista **avoimella, toimivalla tuuletusraolla**. Tuuletusraon avoimen, yhtenäisen osan tulisi olla vähintään 25 – 30 mm leveä, kun rakennuksessa on puinen ulkoverhous. Muuratun ulkoverhouksen yhteydessä tuuletus-

raon leveyden tulisi olla vähintään 50 mm. Rakenteen tuulensuojauksen kannalta tuulen painevaikutusten vähentämiseksi olisi seinän ja katon tuuletusvälien liityttävä vapaasti kurrastamattomina toisiinsa. Lisäksi tuulen painevaikutuksia voidaan vähentää tekemällä tuuletusrako leveyssuunnassa mahdollisimman yhtenäiseksi, myös nurkkien kohdilla. Paras ratkaisu on käyttää ristikkäistä koolausta.

**Konvektiovirtaukset** vaikuttavat rakenteen pystysuuntaisiin lämpötilajakaumiin, jolloin rakenteen alaosan lämpötilat voivat olla huomattavasti matalampia kuin yläosan lämpötilat. Luonnollisen konvektion vaikutuksesta kosteus pyrkii kertymään rakenteen uloimpien kerrosten yläosiin. Rakenteisiin syntyviä konvektiovirtauksia aiheuttavat ilmatiiviiden ja tuulensuojauksen puutteiden lisäksi myös sellaiset ulkoseinien lämmöneristysvirheet, joista seuraa ilmarakoja rakenteisiin.

Tutkimuksissa /16, 29, 31/ höyrinsuluttomien puuseinärakenteiden toimivuuden perusedellytykseksi asetettiin puru- ja hirsitalojen periaate eli rakenteiden **kosteudenvarastoint ominaisuuksien** parantaminen. Tämä voidaan tehdä joko käyttämällä kosteutta sitovaa lämmöneristettä tai sijoittamalla rakenteeseen muita huokoisia ainekerroksia. Huokoisia ainekerroksia käytettäessä ongelmana on se, onko rakennekerrosten kosteuskapasiteetti riittävän suuri. Höyrinsuluttoman rakenteen toimivuuteen voidaan vaikuttaa myös **rakenteen tiiviyssuhteilla**. Sisäilman kosteuden kulkeutumista diffuusiolla rakenteeseen voidaan vähentää, kun lämmöneristeen sisäpuolisten rakennekerrosten vesihöyrinvastus on 5 – 7-kertainen tuulensuojan vesihöyrinvastukseen verrattuna. Rakenteeseen kulkeutuvaa diffuusiokosteuden määrää voidaan edelleen vähentää rakenteen sisäpinnan maalauksella.

Tutkimuksessa /31/ saatujen tulosten mukaan höyrinsulun poisjättämisellä seinärakenteesta ei voida vaikuttaa pientalon sisäilman kuivuuteen talvella. Kosteus varastoitui tutkittuihin rakenteisiin siten, ettei se talvella voinut siirtyä rakenteesta takaisin sisäilmaan. Höyrinsuluttomien rakenteiden ilmanvuotokohtat ovat käytännössä samoja kuin muovikalvon avulla tehdyissä rakenteissa. Ilmanvaihdon korvausilman kulkeutuminen rakenteen läpi tapahtuu juuri ilmanvuotokohtien kautta, joten höyrinsuluttomien rakenteiden ”hengittävyys” on samankaltaista kuin muovikalvon avulla tehtyjen rakenteiden.

Artikkelin /4/ mukaan huoneen sisäverhousrakenne voi varastoida kosteutta lyhyeksi aikaa (vuorokausivaihtelu), mikäli sen pinnalla ei ole tiivistä pinnoitetta, kuten maalia. Sisäverhouslevyn takana olevalla muovikalvolla ei ole tässä tapauksessa merkitystä rakenteen kosteudenvarastointikykyyn.

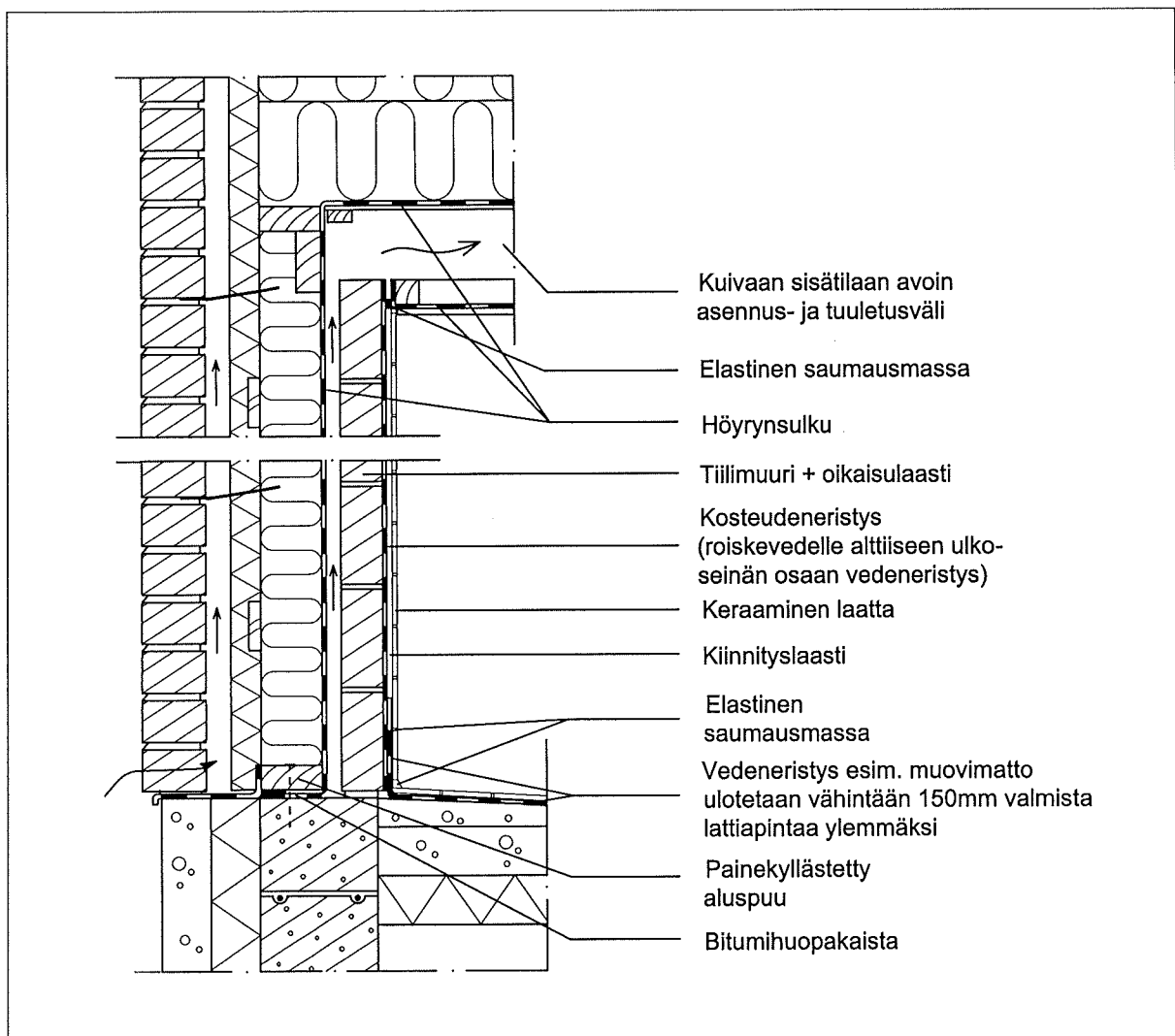
Höyrinsuluttomassa ulkoseinärakenteessa **pitkällä aikavälillä tapahtuvista muutoksista** ei ole toistaiseksi riittävästi tutkimustuloksia. Myöskään rakenteessa käytettävien kosteutta varastoivien **materiaalien kosteusteknisiä ominaisuuksia ja pitkäaikaistoimivuutta** ei tunneta eri olosuhteissa riittävän tarkasti niin, että höyrinsulutonta rakennetta voitaisiin suosittelulla yleiseen käyttöön.

### 6.9.5 Puurunkoinen märkätilaan rajoittuva ulkoseinä /13, 20, 39/

Märkätiloissa ja niiden rakenteissa kosteus voi aiheuttaa haju-, home- ja laho-ongelmia. Levyseinien taipumat ja pinnoitteiden irtoaminen ovat myös tyypillisiä ongelmia.

Märkätilojen vesitiivis lattianpäällyste tai lattiapinnoitteen alla oleva vedeneristys ulotetaan siihen korkeuteen, mihin veden vaikutus ulottuu, kuitenkin vähintään 150 mm valmista lattiapintaa ylemmäksi siten, ettei seinää pitkin valuva vesi pääse eristyksen taakse.

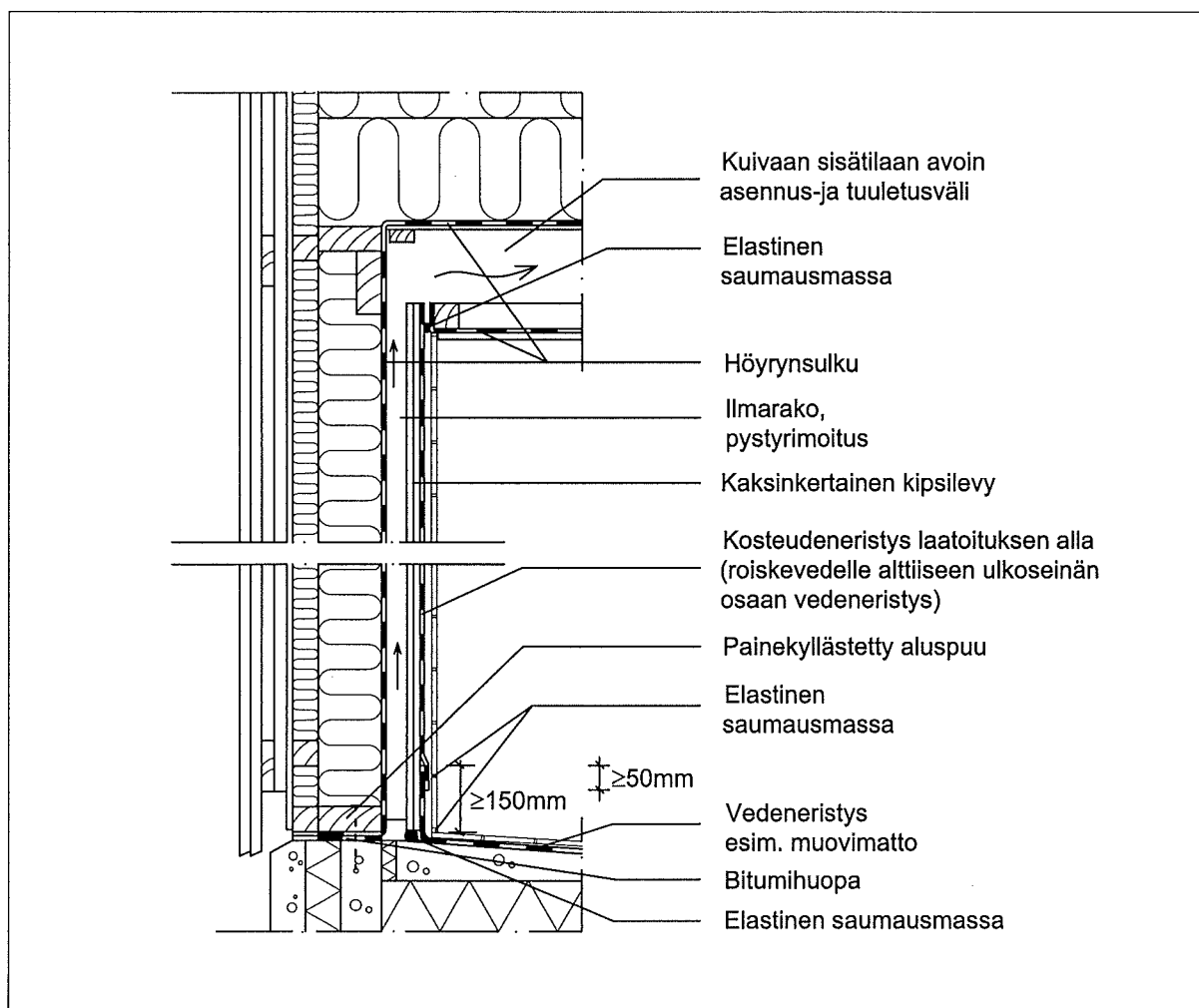
Suihkutilan kohdalla olevaan tai muuhun roiskevedelle alttiiseen ulkoseinään (ja väliseinään) tehdään vedeneristys, joka liitetään vedenpitävästi lattian vedeneristykseen ja seinän kosteudeneristykseen.



**Kuva 6.52.** Puurunkoisen ulkoseinän yhteydessä märkätilan sisäpuoli on suositeltavaa tehdä kivirakenteisena.

Kivirakenteiset märkätilojen seinät ovat ongelmattomampia kuin levyrakenteiset seinät. Niissä ei tapahdu kosteuden vaikutuksesta suuria muodonmuutoksia eikä yhtä helposti kosteusvaurioitakaan. Suositeltavin tapa puurunkoisessakin talossa on tehdä märkätilojen

kohdilla olevat ulkoseinät **kivirakenteisina** siten, että puurunko jätetään pois ja yläpohja tuetaan muuratun sisäkuoren varaan. Tällaisessa rakenteessa seinään kulkeutuva kosteus pääsee helposti kuivumaan ulospäin, eikä rakenteessa ole kosteudelle arkoja materiaaleja. Puurunkoisen ulkoseinän tapauksessakin rakenteen sisäpuoli on suositeltavaa tehdä kivirakenteisena siten, että seinän höyrynsulun ja kivirakenteisen sisäkuoren väliin jätetään yläosastaan avoin ilmarako (kuva 6.52.). Kivirakenteisen sisäkuoren saumojen ja liitosten tulee olla ilmatiiviitä ja sisäpintaan tulee tehdä veden- tai kosteudeneristys. Ainakin suihkupiste on suositeltavaa sijoittaa kivirakenteisen seinän kohdalle.



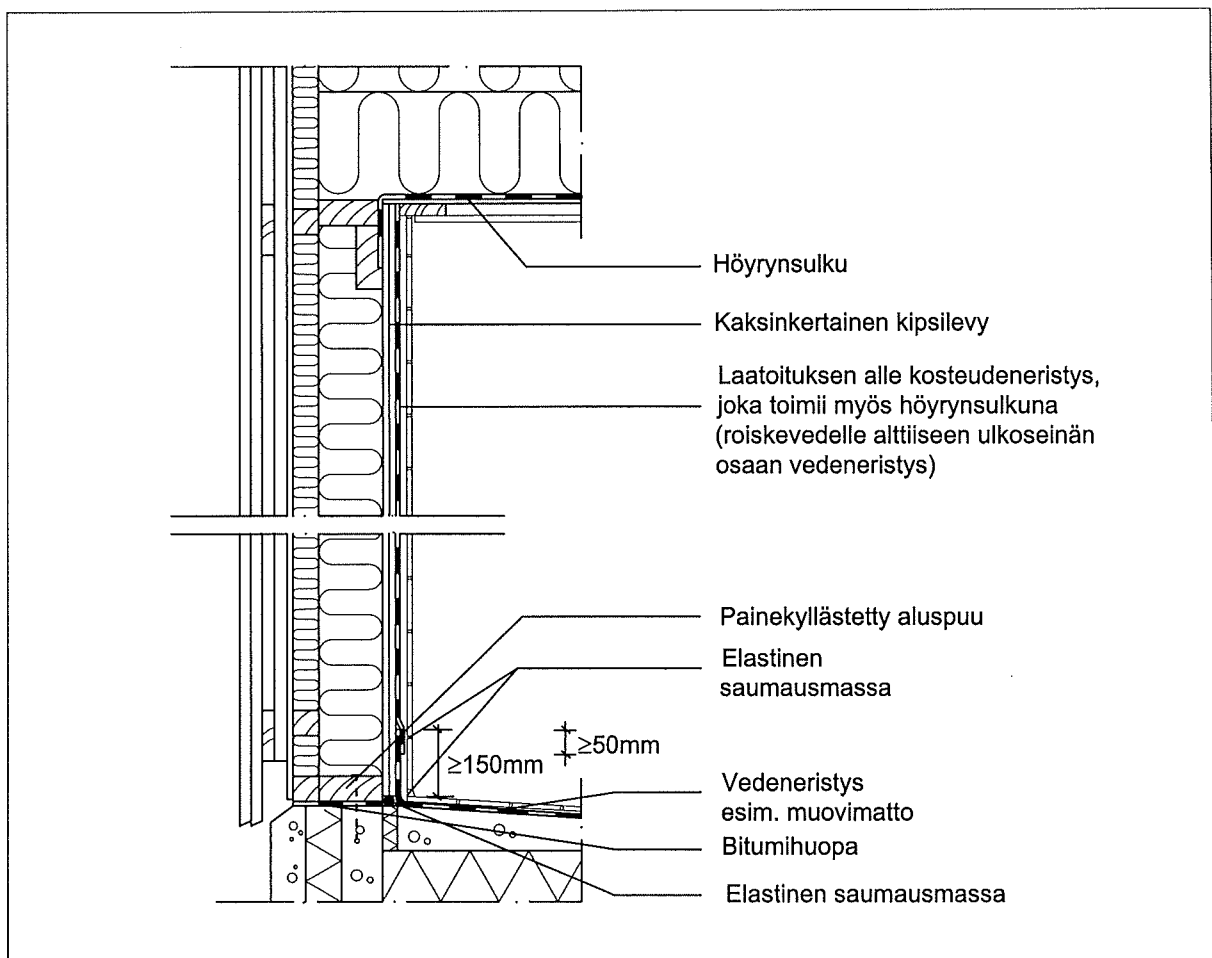
**Kuva 6.53.** Levyrakenteinen märkätilan ulkoseinä: sisäilmaan tuulettuva sisäverhous.

Ulkoseinärakenne tulee tehdä siten, etteivät lämpö- ja kosteusliikkeet vaurioita kosteuden- tai vedeneristystä tai pintarakenteita. Levyrakenteiden on oltava sellaisia, että niiden kosteusliikkeet ovat mahdollisimman pienet (esim. kipsilevy). Jos märkätiloissa käytetään levyrakenteisia seiniä, verhouslevyn sisäpinnassa tulee käyttää kosteudeneristystä ja roiskevedelle alttiissa rakenteissa vedeneristystä. Puurakenteisissa ulkoseinissä on tavallisesti sisäverhouslevyn ulkopuolella höyrynsulku. Jos tällaisen seinän sisäverhouslevyn sisäpuolelle asennetaan tiivis kosteudeneristys, jää verhouslevy kahden tiiviin pinnan väliin. Mikäli kosteudeneristys ei ole täysin tiivis, levyyn päässyt kosteus ei pääse kuivumaan ja rakenne vaurioituu. Tässä tapauksessa tulee joko käyttää **sisäilmaan tuulettuvaa sisäverhous**



(kuva 6.53) eli yläosastaan avointa ilmarakoa höyrynsulun ja verhouslevyn välissä tai asentaa **seinään vain yksi kosteussulku verhouslevyn sisäpintaan** (kuva 6.54).

Sisäilmaan tuulettuvaa sisäverhoususta käytettäessä on varmistettava, että ilmarako on avoin yläosastaan ja ilmarakoon mahdollisesti päässeen kosteuden on mahdollista tuulettua ympäröiviin lämpimiin huonetiloihin. Mikäli ilmarakoon pääsee kylmää ilmaa, saattaa ilmarakoon päässyt kosteus tiivistyä eikä seinän lämmöneristys toimi. Tästä syystä ilmaraolli- sessa rakenteessa tarvitaan yhtenäinen ja tiivis ilman- ja höyrynsulku lämmöneristeen sisä- pinnassa. Mikäli ulkoseinän ilma- ja höyrytiiviyys hoidetaan yksinomaan verhouslevyn si- säpintaan asennettavan kosteussulun avulla, on varmistuttava siitä, etteivät levyrakenteiden kosteuden vaihteluista aiheutuvat muodonmuutokset ja liikkeet riko kosteussulkukerrosta. Tällaiseen seinään ei saa tehdä ilmarakoa lämmöneristeen sisäpintaan.



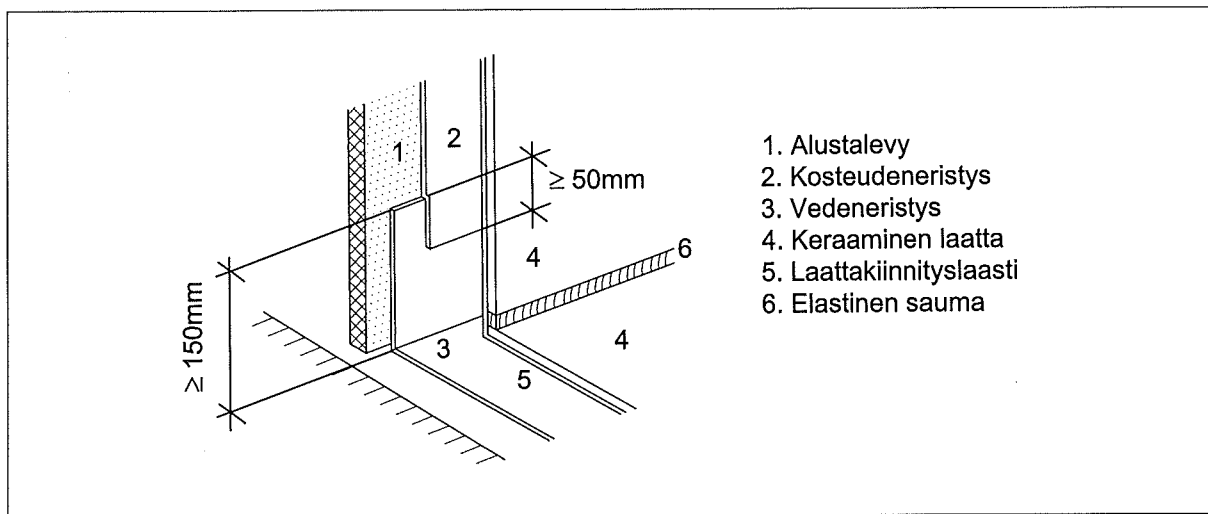
**Kuva 6.54.** Levyrakenteinen märkätilan ulkoseinä: höyrynsulku verhouslevyn sisäpinnassa.

Märkätilojen höyrynsulkua asennettaessa on sauma- ja taitekohdat sekä läpiviennit tehtävä ilma- ja höyrytiiviksi. Muovikalvot liitetään toisiinsa helpoimmin leveällä muoviteipillä. Muovikalvojen limitys on oltava riittävä (100 – 150 mm) ja se tehdään kovaa alustaa vas- ten.

Märkätilojen vedeneristystarvikkeiden tulee estää veden tunkeutuminen ja imeytyminen ympäröiviin rakenteisiin. Niiden tulee kestää jatkuva kosteusrasitus sekä emäksisen veden

ja muut rakenteen rasitukset rakenteen käyttöön tai huolto- ja korjausvälin ajan. Vedeneristystarvikkeilla tulee olla riittävä muodonmuutoskyky alustaan mahdollisesti syntyvien halkeamien varalta.

Muovimattojen ja -tapettien on saumoineen kestettävä vähintään 100 mm vedenpaineen vaikutus vuotamatta. Paksummat muovitapetit hitsataan puskusaumoin ja ohuemmat tehdään limisaumoin. Muovimaton saumat tiivistetään tavallisesti lankahitsauksella. Lattianrajassa seinäpäällysteenä käytetty muovimatto tai -tapetti liimataan vähintään 50 mm matkalta seinälle vähintään 150 mm nostetun muovimaton päälle (kuva 6.55.). Seinäpäällysteiden saumat pyritään sijoittamaan vähiten rasitetuille kohdille. Päällysteen saumoja ei saa sijoittaa alustan saumakohtiin tai niiden välittömään läheisyyteen. Puskusaumoja ei saa tehdä nurkkiin. Liimojen on oltava vedenkestäviä.

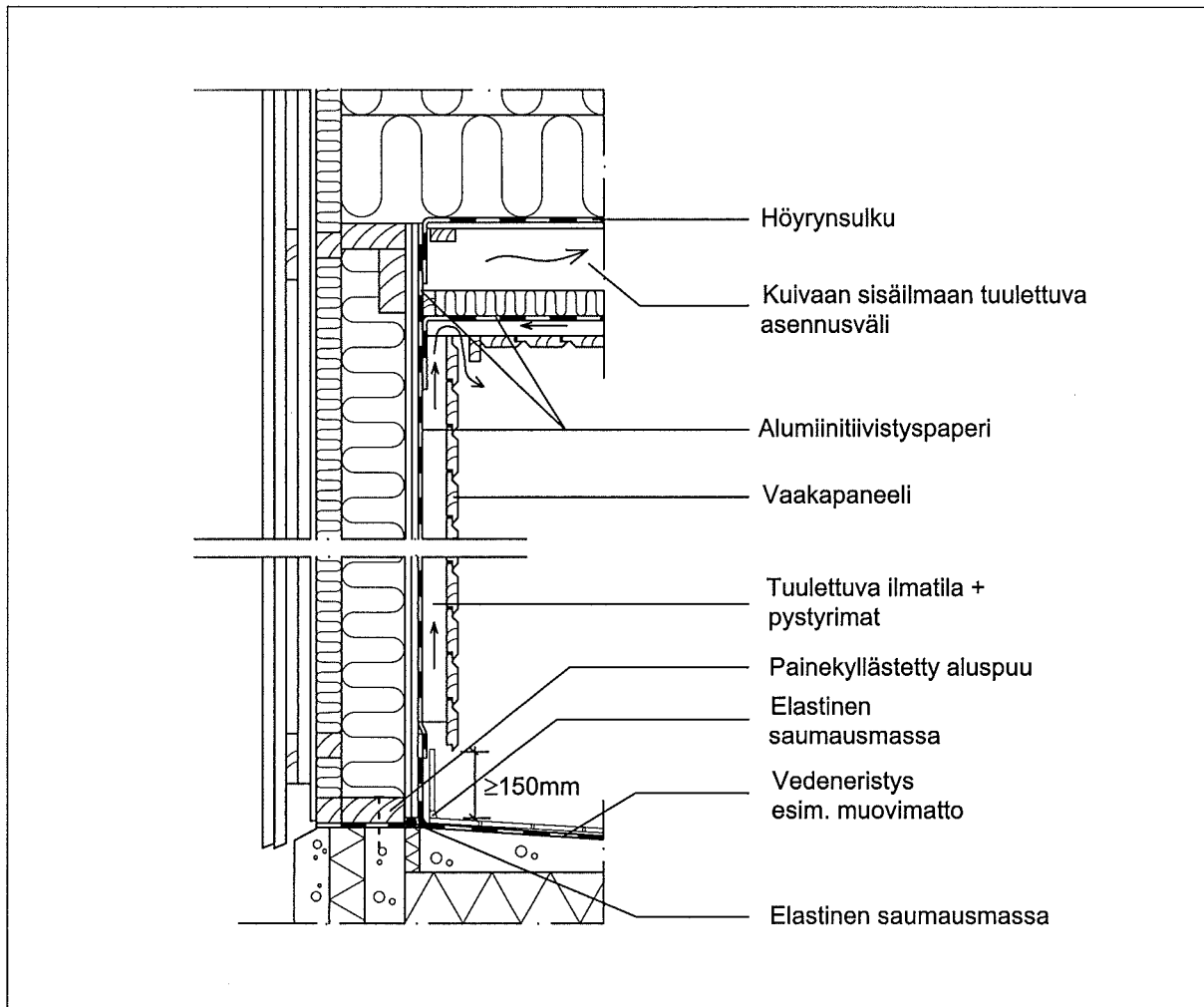


Kuva 6.55. Märkätiloissa on keraamisten laattojen alla oltava veden- tai kosteudeneristys /14/.

**Keraaminen laattapinta**, joka on saumattu tavallisella sementtipohjaisella saumalaastilla, ei ole vesitiivis, sillä laastisaumat läpäisevät vettä. **Laattojen taakse on tehtävä alla olevien rakennekerrosten suojaksi veden- tai kosteudeneristys** (kuva 6.55.). Keraamisten laattojen alustaksi sopivat parhaiten kivirakenteet. Käytettäessä rakennuslevyjä keraamisten laattojen alustana on rakenteen suunnittelussa otettava huomioon alustan mahdolliset muodonmuutokset. Roiskevedelle alttiissa kohdissa on hyvä asentaa laatoituksen alle muovimatto, paksu muovitapetti tai muu yhtenäinen ja joustava vedeneristys. Seinän alinta laattariviä ei liimata lattian muovipäällysteeseen eikä lattialaattaa tapettiin näiden yhtymäkohdassa. Laatan ja muovimaton tai -tapetin välinen sauma tiivistetään elastisella saumasmassalla. Laattojen kiinnitykseen ja saumaukseen sekä seinien tasoitukseen on käytettävä vedenkestäviä tarvikkeita, kuten sementtilaasteja.

**Saunan puuverhouksen taakse jätetään ilmarako**, joka on yhteydessä sisäilmaan katon ja lattianrajassa. Vaakasuoraan asennettu paneeliverhous on parempi kuin pystypaneeli, koska pystyrimat mahdollistavat ilman kulun pystysuunnassa ilmaraossa ja laskevat paneelin taakse joutuneen veden lattialle. Seinäverhouksen alapää tulee nostaa vähintään 150 mm irti lattiasta ja alaosa tulee muotoilla tippanokaksi. Löylyhuoneen alusrakenteena oleva

ulkoseinä varustetaan höyrynsululla, joka löylyhuoneessa on kuumuutta kestävää alumiini-  
niitiivistyspaperia (kuva 6.56.). Alumiinipaperin saumat teipataan lämmönkestävällä teipil-  
lä.



Kuva 6.56. Löylyhuoneen puurakenteinen ulkoseinä.

Märkätiloihin liittyvien **putkien** sijoittamista ulkoseinärakenteisiin ja yleensäkin rakenteiden sisään on syytä välttää. Suositeltavaa on, että putket sijoitetaan paikkaan, jossa ne ovat huollettavissa ja jossa mahdollisesti putkien pintaan tiivistyvä kondenssivesi ei aiheuta haittaa. Kun putket ovat näkyvissä, vuodot huomataan nopeammin ja vahingot jäävät pienemmiksi. Jos putkia sijoitetaan ulkoseinällä puuverhouksen tai kalusteiden taakse, voi lämpötila siellä olla niin alhainen, että putket jäätyvät. Tämän vuoksi putket on parempi sijoittaa pinta-asennuksena tai koteloihin sisäseiniin. Jos näin ei voida tehdä, on ulkoseinän lämmöneristystä parannettava ja putkien ollessa kotelossa kotelon on oltava yhteydessä sisäilmaan. Putkien on aina oltava tarkastettavissa. Putki- ym. läpiviennit on tiivistettävä vedeneristyskerroksessa huolellisesti.

Puurakenteisia märkätiloja on käsitelty tarkemmin mm. lähteissä /13, 52/.

### 6.9.6 Kylmäsiljat teräsrakenteisessa ulkoseinässä /47, 67/

Teräksen lämmönjohtavuus on suuri, yli tuhatkertainen tavallisiin lämmöneristeisiin verrattuna. Tämä vaikeuttaa lämmönläpäisykertoimen laskennallista arviointia. **Kylmäsilta-vaikutusten** laskenta edellyttää sivusuuntaisen lämmönsiirron vuoksi yleensä 2- tai 3-ulotteisen lämmönsiirtymistapahtuman käsittelyä sopivalla numeerisella menetelmällä. Teräsorsien kylmäsilta-vaikutusta arvioitaessa tulee ottaa huomioon mm. ulkoverhouksen kiinnitysmenetelmä (esim. ruuvit), orren uuman ja kylmäsiljan katkaisevan kerroksen, kuten kovan mineraalivillakerroksen tai ristikkäisen puukoolauksen, vaikutukset sekä lämmön siirtyminen ulko- ja sisäverhouslevyissä sekä eri materiaalikerrosten välillä. Kylmäsiltojen vaikutus on haitallisin silloin, kun rakenteen pintalämpötila on rungon kohdalla selvästi muuta rakennetta alhaisempi. Alhaiset pintalämpötilat lisäävät kosteuden kondenssiriskiä sekä vaikuttavat myös asumisviihtyvyyteen. Vaikka kylmäsiljat eivät aina aiheuta kosteuden suoranaista tiivistymistä, likaantuu ympäristöään selvästi kylmempi pinta muusta pinnasta erottuvaksi alueeksi.

Kylmäsilta-vaikutuksen ja kondenssiriskin pienentämiseksi tulee teräsrakenteisessa ulkoseinässä yleensä käyttää **lämpökatkkoa**. Tämä saadaan aikaan mm. käyttämällä ristikkäistä puu- tai metallikoolausta ja lämmöneristettä teräsorren sisäpuolella tai ulkopuolella. Ulkopuolinen eristys on suositeltavampi, sillä tällöin metalliorren lämpötila on korkeampi ja vähemmän vaihteleva. Käytettäessä lämpökatkkoa kylmäsiljan sisäpuolella saattaa pienikin vuoto sisäverhouskassa tai höyrynsulussa aiheuttaa vesihöyryn tiivistymisen kylmän teräsorren pinnalle. Kylmäsilta-vaikutusta voidaan vähentää myös käyttämällä uumastaan rei'itettyjä rankoja.

Kylmäsiltojen katkaisuun on kiinnitettävä huomiota myös ulkoseinän läpi menevien rakenteiden, kuten ulokepalkkien, tai seinän sisään sijoitettujen runkorakenteiden tapauksissa.

## 7 Asiantuntijakyselyt

### 7.1 Kysely suomalaisille asiantuntijoille

Tutkimuksessa selvitettiin haastattelemalla rakennusalan keskeisten asiantuntijoiden käsitys eri ulkoseinärakenteiden kosteusteknisestä toimivuudesta. Asiantuntijat valittiin siten, että he mahdollisimman hyvin edustivat rakentamisen eri osa-alueita. Kyselylomakkeet lähetettiin 52 asiantuntijalle. Vastauksia palautettiin 22 kappaletta. Haastateltavina oli mm. tutkijoita, suunnittelijoita sekä kiinteistön omistajien, rakennuttamisen, rakennus- ja rakennustuoteteollisuuden sekä rakennusvalvonnan edustajia. Vastaukset jakautuivat em. ryhmien kesken seuraavasti:

tutkijat	5 vastaajaa
suunnittelijat	5 vastaajaa
kiinteistön omistajat / rakennuttajat	2 vastaajaa
urakoitsijat	3 vastaajaa
rakennustuoteteollisuuden edustajat	3 vastaajaa
rakennusvalvonnan edustajat	2 vastaajaa
muut ( Ympäristöministeriö, 1 nimetön vastaus)	2 vastaajaa.

#### 7.1.1 Kyselyn lähtökohdat ja tavoitteet

Kyselyn tarkoituksena oli selvittää keskeisten suomalaisten ulkoseinätyyppien ja niiden liitosrakenteiden kosteusteknistä toimivuutta, niihin liittyviä riskejä, ongelmien syitä ja niiden vähentämismahdollisuuksia. Kyselylomakkeella pyrittiin myös selvittämään rakenteiden kosteustekniseen tarkasteluun ja erityisesti ulkoseiniin liittyen erilaisten ohjeiden tarpeellisuutta ja ohjeissa esitettäviä asioita. Lomakkeiden vastauksia hyödynnettiin tutkimusaikana myös uuden RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeen ulkoseinäosuuden ohjetekstin laadinnassa.

#### 7.1.2 Kyselylomakkeen sisältö ja vastausten käsittely

Kyselylomake oli jaettu asiasisällön mukaan kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa oli rakenteiden kosteusteknisen tarkastelun yleiseen sisältöön liittyviä kysymyksiä ja toisessa osassa tarkasteltiin lähemmin keskeisiä ulkoseinätyyppejä ja niiden liitosrakenteita. Pääosa kyselylomakkeen kysymyksistä laadittiin väittämän muotoon, jotta vastausten määrällinen jakauma voitiin selvittää. Väittämäkohtiin liittyi yleensä myös sanallisesti vastattavia kysymyksiä, jotka joko tarkensivat väittämäkohtaan liittyvää asiaa tai johon haastateltava saattoi esittää perusteluja vastauksiensa pohjaksi.

Väittämäkohtiin vastattiin laittamalla rasti oikean vaihtoehdon kohdalle. Vastausvaihtoehdot 1 – 5 olivat seuraavat: 1 = täysin eri mieltä, 2 = enimmäkseen eri mieltä, 3 = en ota kantaa, 4 = enimmäkseen samaa mieltä ja 5 = täysin samaa mieltä. Joidenkin väittämäkohtien yhteydessä oli vastausvaihtoehdot 1 – 5 määritelty erikseen paremmin kohtaan sopiviksi.

Tulosten tarkastelussa oletettiin väittämän pitävän paikkansa, mikäli vähintään 2/3 väittämäkohtaan vastanneista oli täysin samaa mieltä tai enimmäkseen samaa mieltä väittämän kanssa. Vastaavasti väittämän oletettiin olevan täysin väärä, jos vähintään 2/3 väittämäkohtaan vastanneista oli täysin eri mieltä tai enimmäkseen eri mieltä väittämän kanssa.

Ensimmäisessä osassa olevat väittämät ja kysymykset koskivat rakenteiden kosteusteknisen tarkastelun sisältöä. Käsiteltäviä asioita olivat mm. eri kosteuslähteiden esiintyminen ja suuruus, kosteuden sitoutuminen ja siirtyminen, sitoutuneen ja rakenteeseen päässeeseen kosteusmäärän vaikutukset rakennusaineisiin ja haitallisuus rakenteelle sekä rakenteiden kuivumismahdollisuudet. Väittämien ja kysymysten avulla pyrittiin selvittämään mm. sitä, millaisia ohjeita em. asioista on syytä antaa rakenteiden kosteusteknistä tarkastelua käsittelevässä ohjeessa sekä missä muodossa ja millä tarkkuudella em. asioita tulee siinä käsitellä. Lisäksi kyselyn ensimmäisessä osassa tarkasteltiin lyhyesti valmiiden rakenteiden kosteusteknisen tutkimuksen tarpeellisuutta ja sen mahdollista sisältöä.

Toisessa osassa tarkasteltiin keskeisiä liitosrakenteita ja ulkoseinätyyppejä. Liitosrakenteista käsiteltiin omana kohtanaan räystäsrakenteet, perusmuurin ja seinärakenteen liitos sekä ikkunan ja seinärakenteen liitos. Eri ulkoseinätyypeistä kyselyssä käsiteltiin betonielementtirakenteita, muurattuja, puu- ja teräsrunkoisia sekä eristerapattuja ulkoseiniä. Kaikissa kohdissa pyrittiin väittämien ja kysymysten avulla selvittämään myös yksityiskohtaisia asioita eri rakenneratkaisuista, niihin liittyvistä riskeistä ja parannusratkaisujen periaatteista liitosrakenteiden ja ulkoseinätyyppien rakenteellisia ohjeita varten.

Räystäiden yhteydessä tarkasteltiin mm. räystäspellityksiä, räystäskorotusta, myrskypellin tarvetta, räystäskouruja ja syöksytorvia. Lisäksi käsiteltiin mm. räystään leveyttä ja katon tuuletusta räystään kautta. Perusmuurin ja seinärakenteen liitoksen yhteydessä tarkasteltiin mm. kellarittoman rakennuksen lattiapinnan ja maanpinnan sekä julkisivuverhouksen alapään ja maanpinnan vähimmäisetäisyyksiä eri tilanteissa, perusmuurin lämmön- ja kosteudeneristystä, vuotovesien poistamista tiiliverhotun puurunkoisen ulkoseinän ja perusmuurin liitoksesta ja sokkelihalkaisun pohjasta, valesokkelirakennetta sekä puurungon alapään kuivumista. Ikkunan ja seinärakenteen liitoksen yhteydessä käsiteltiin mm. ikkunan karmin ja seinän välisen liitoksen tiivistämisvaihtoehtoja ja niiden toimintavarmuutta eri tilanteissa, niihin liittyviä riskejä, ikkunan vesipellitystä sekä kosteuden poisjohtamista seinärakenteesta ikkunan päältä.

Betonielementtirakenteita käsittelevä kohta oli jaettu kolmeen osaan: saumat, tavanomainen betonisandwich-rakenne ja tuuletusraallinen betonijulkisivu. Saumoihin liittyen tarkasteltiin mm. yksivaihetiiivistettyjen saumojen toimintavarmuutta erilaisilla rasitus- ja rakenneyhdistelmillä, saumojen kosteusteknistä toimintavarmuutta lisääviä rakenteellisia pa-

rannuskeinoja ja rakenteen tuulettumista tuuletusputkien avulla. Perinteisen betonisandwich-rakenteen yhteydessä tarkasteltiin rakenteen yleistä kosteusteknistä toimivuutta, eri osatekijöiden vaikutusta siihen sekä parannusratkaisujen periaatteita, kuten uritetun lämmöneristeen tai tuuletusraon käyttöä. Lisäksi tarkasteltiin tuuletusraollisen betonijulkisivun kosteusteknistä toimintaa voimakkaalle viistosateelle altistuvissa rakennuksissa sekä tiiviillä laatoilla pinnoitetuissa julkisivuissa.

Muurattuja ulkoseinärakenteita käsittelevässä kohdassa tarkasteltiin rakenteen yleisen kosteusteknisen toimivuuden ohella mm. kuorimuurin paksuuden vaikutusta muurin sadevedenpitävyyteen, muuraustyön laatua, tuuletusraon tarvetta ja sen vähimmäismittoja, rakenteen pinnoittamista ja sen vaikutusta rakenteeseen kohdistuviin kosteusrasituksiin sekä rakenteen kerroksittaista kannatusta ja liikuntasauvoja.

Puurakenteisia ulkoseinärakenteita käsittelevä kohta oli jaettu kahteen osaa: tiiliverhottuun ja puuverhottuun puuseinään. Tiiliverhotun puuseinän yhteydessä tarkasteltiin rakenteen toimivuutta erilaisissa rasitusoloissa, tuuletusraon vähimmäismittoja sekä mahdollisen kesäkondenssi-ilmiön merkitystä ja keinoja sen haittavaikutusten ehkäisemiseksi. Puuverhotun puurankaseinän yhteydessä käsiteltiin mm. tuuletusrakoa, puu-ulkoverhousta, lämmöneristemateriaalin vaikutusta rakenteen kosteustekniseen toimintaan, rakenteen höyry- ja ilmatiiviyttä, höyrynsulun sijaintia rakenteessa, ulkoseinärakennetta märkätilan kohdalla sekä höyrynsulutonta puuseinärakennetta, sen toimintaedellytyksiä ja siihen liittyviä riskejä.

Teräsrakenteisista ulkoseinistä käsiteltiin teräsorsirakenteista ulkoseinää ja ohutlevysandwich-rakennetta. Tarkasteltavia asioita olivat mm. rakenteen höyry- ja ilmatiiviyys, tuuletusraon tarve, kylmäsillat ja niiden katkaiseminen sekä metalliulkoverhous ja sen liitokset. Eristerapattua ulkoseinää käsiteltiin kyselylomakkeessa muita seinärakenteita suppeammin. Kysymyksillä pyrittiin lähinnä selvittämään niitä eristerappaukseen liittyviä kosteusteknisesti huomioon otettavia asioita, joista on syytä antaa ohjeita.

Jokaista ulkoseinätyyppiä, paitsi eristerappausta, koskevan osion viimeisessä kohdassa pyydettiin vastaajaa listaamaan mielestään kymmenen tärkeintä kyseisen ulkoseinän kosteusteknisessä tarkastelussa huomioon otettavaa asiaa tärkeysjärjestyksessä. Vastausten tarkastelussa nämä vastaukset pisteytettiin siten, että tärkeimmäksi kirjattu asia sai 10 pistettä, toiseksi tärkein 9 pistettä jne. Lopuksi kaikkien vastaajien vastaukset kerättiin yhteen, samat vastaukset yhdistettiin ja eri asioille annetut pisteet laskettiin yhteen. Haastateltavien vastauksissa esiintyneet asiat ja niiden saamat pisteet on esitetty kyselylomakkeen yhteenvedossa, joka on julkaisun liitteenä.

Liitteenä oleva kyselyn vastausten yhteenveto on tehty kyselylomakkeen pohjalle, joten siinä näkyvät sekä väittämät ja kysymykset että väittämäkohtiin tulleiden vastausten määrällinen jakauma ja haastateltavien kirjalliset vastaukset, perustelut ja kommentit. Kyselyn tuloksia on hyödynnetty lukujen 2 – 6 asiasisällön laadinnassa.

### 7.1.3 Kyselyn tulosten tarkastelua

Noin puolessa kaikista väittämäkohdista asiantuntijoiden vastaukset osoittivat heidän olevan melko yksimielisiä kyseisistä asioista. Lopuissa väittämäkohdissa asiantuntijoiden vastaukset joko jakautuivat siten, että väittämän kanssa samaa mieltä olleita vastauksia oli suunnilleen yhtä paljon kuin täysin vastakkaista mieltä olleita, tai sitten asiantuntijat eivät olleet ottaneet kantaa väittämäkohdan asiaan.

Lähes yksimielisiä asiantuntijat olivat mm. siitä, että rakenteiden kosteusteknistä tarkastelua varten tarvitaan parempia ja kattavampia ohjeita. Kyselyn ensimmäisen osan vastausten perusteella tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa tietoa toivottiin mm. seuraavista asioista:

- eri kosteuslähteitä, niiden merkityksestä eri tilanteissa sekä myös eri kosteuslähteiden määrätietoja
- erikoistilojen, kuten kosteiden ja hyvin kosteiden tilojen, kosteusteknisestä erityistarkastelusta
- materiaalien rakennuskosteusmääristä, kosteuskapasiteeteista, haitallisista kosteuspitoisuuksista sekä kosteuden haitallisista vaikutuksista eri materiaaleille
- eri materiaalien rakennuskosteuksien kuivumisajoista, sopivista kuivatusmenetelmistä, pinnoittamisesta ja pinnoitusajankohdista
- putkien turvallisesta sijoittelusta
- kosteuden mittaustavoista ja siitä, miten eri tilanteissa aineen kosteustila tulee yksikäsitteisesti esittää.

Lisäksi toivottiin lyhyttä ohjetta valmiiden rakennusten kosteusteknisestä tutkimuksesta. Luvussa 2 on käsitelty ulkoseinärakenteen kosteusteknisestä tarkastelun sisältöä osittain kyselyn ensimmäisen osan vastausten pohjalta.

Kyselyn toisessa osassa käsiteltiin eri ulkoseinärakenteita ja niiden liitosrakenteita. Kysymysten ja vastausten suuren lukumäärän vuoksi niitä ei ole käsitelty erikseen tässä yhteydessä vaan kyselyn tuloksia on käytetty näitä aiheita käsittelevien lukujen tekstien ja teksteissä esiintyvien rakenteellisten ohjeiden laadinnan perustana. Lisäksi kaikkien kyselyyn vastanneiden asiantuntijoiden vastaukset löytyvät liitteenä olevasta kyselyvastausten yhteenvedosta.

## 7.2 Kysely ruotsalaisille asiantuntijoille

### 7.2.1 Kyselyn lähtökohdat ja tavoitteet

Tutkimuksen yhteydessä lähetettiin lisäksi kyselylomake neljälle ruotsalaiselle rakenteiden kosteustekniikan perehtyneelle tutkijalle. Kaikki haastateltavat palauttivat joko yksin tai toisen tutkijan kanssa yhdessä laatimansa vastaukset. Kyselyn tarkoituksena oli selvittää millainen käsitys ruotsalaisilla asiantuntijoilla on eri ulkoseinätyyppien kosteusteknisistä



riskeistä ja niiden vähentämismahdollisuuksista sekä poikkeavatko suomalaisten ja ruotsalaisten asiantuntijoiden käsitykset merkittävästi toisistaan.

### 7.2.2 Kyselylomakkeiden sisältö

Kyselylomake koottiin suomalaisille asiantuntijoille lähetetyn lomakkeen pohjalta. Kysymykset keskitettiin sellaisiin osa-alueisiin, jotka Suomessa tehdyn kyselyn perusteella olivat jääneet hieman epäselviksi tai joista tiedettiin Ruotsissa tehdyn korkeatasoista tutkimusta. Kysymykset käsittelevät muurattuja ulkoseiniä ja puurunkoisia ulkoseiniä, joissa on joko muurattu ulkoverhous tai puu-ulkoverhous.

Muurattuja ulkoseiniä käsittelevässä osassa oli kysymyksiä mm. kuorimuurin paksuudesta, tuuletusraosta ja sen leveydestä sekä muuratun rakenteen eri pintakäsittelyistä. Tiiliverhotun puuseinän yhteydessä tarkasteltiin erilaisten olosuhteiden vaikutusta rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen, kesäkondenssiongelmaa ja keinoja sen haittavaikutusten ehkäisemiseksi, tuuletusrakoa, vuotovesien poistamista seinärakenteen ja perusmuurin liitoksesta, valesokkelirakennetta sekä puurungon alapään kuivumisesta. Puuverhotun puuseinän yhteydessä käsiteltiin mm. rakenteen höyry- ja ilmatiiviyyttä, muovikalvon käyttämistä höyrünsulkuna sekä höyrünsulutonta puuseinärakennetta, sen toimintaedellytyksiä, käyttöolosuhteita ja siihen liittyviä riskejä.

Kysymyslomakkeen pohjalle tehty yhteenveto haastatteluvastauksista on esitetty liitteenä. Myös tämän haastattelun tuloksia on hyödynnetty lukujen 2 – 6 tekstien laadinnassa.

### 7.2.3 Kyselyn tulosten tarkastelua

Ruotsalaisille asiantuntijoille lähetetyssä kyselyssä esille tulleet asiat puuverhotuista puurunkoisista ulkoseinistä olivat pääosin samoja kuin suomalaistenkin asiantuntijoiden kyselyssä esille tulleet asiat. Muurattujen ulkoseinien ja tiiliverhottujen puu-ulkoseinien osalta ruotsalaisten ja suomalaisten asiantuntijoiden vastauksissa oli kuitenkin eroja. Lisäksi ruotsalaisten tutkijoiden haastatteluvastauksissa korostettiin rakenteiden kosteusteknisten laskelemien ja tarkastelujen tärkeyttä.

Tärkeimpiä muurattujen ulkoseinien kosteusteknisessä tarkastelussa huomioon otettavia asioita oli ruotsalaisten tutkijoiden mukaan mm. materiaalien pakkasenkestävyys, ulkokuoren sadevesitiiviys, vuotovesien poisjohtaminen rakenteesta ja muuratun rakenteen pinnoittaminen siten, ettei rakenteeseen synny kasvavaa kosteuskertymää.

Kuorimuuratun puurankaseinän kosteusteknisessä tarkastelussa tärkeänä pidettiin mm. seuraavia asioita:

- kuorimuurin läpi tunkeutuneen veden poisjohtaminen
- materiaalien pakkasenkestävyys
- kapillaarikontaktin välttäminen muurauksen ja puurunkoisien seinän välillä

- puurungon aluspuuhun liittyvät detaljit, kapillaarikontaktin välttäminen perusmuurin ja aluspuun välillä käyttämällä kosteussulkua aluspuun alla
- huolellinen työsuoritus
- tuuletusraon merkitys (paineen tasaaminen, vuotovesien poisjohtaminen, kapillaarikatko)
- kesäkondenssiriskin välttäminen
- tuulensuoja, joka suojaa seinän puurunkoa tuuletusraon kostealta ilmastolta.

Sellaisiin rakennuksiin, joissa saattaa esiintyä merkittävää kesäkondensssia, ruotsalaiset tutkijat suosittelivat mm. seuraavia rakenneratkaisuja:

- ulkopinnan impregnointi vettä hylkivällä aineella
- höyrynsulkuna käytettävän muovikalvon poistaminen
- solumuovieristys puurungon ulkopuolella
- leveä ja hyvin tuulettuva tuuletusrako.

Tässä asiassa suomalaisten asiantuntijoiden ja ruotsalaisten tutkijoiden käsitykset poikkesivat huomattavasti toisistaan. Suomalaisten asiantuntijoiden haastatteluvastausten perusteella höyrynsulkua ei tule jättää pois rakenteesta, vaan kesäkondenssiongelman poistamiseksi riittää leveä ja hyvin toimiva tuuletusrako.

Tärkeimpiä puuverhotun puurankaseinän kosteusteknisessä tarkastelussa huomioon otettavia asioita olivat vastausten mukaan mm. seuraavat asiat:

- rakenteen kuivumisen varmistaminen
- tuuletusrako ulkoverhouksen takana
- rakenteen ilma- ja höyrytiivisyys
- vuotovesien poisjohtaminen
- seinän sisä- ja ulkopinnan vesihöyryn läpäisevyyksien oikea suhde
- puuverhouksen oikea pintakäsittely
- seinärakenteen rungon erottaminen kosteussululla perusmuurirakenteista
- ulkopuolisen kosteuden kulun estäminen rakenteeseen, oikeat liitosdetaljit.

Ruotsalaisten tutkijoiden kyselyvastausten perusteella ei voida tehdä mitään laajamittaisia päätelmiä siitä, mitkä ovat Ruotsissa yleisesti vallitsevat mielipiteet muurattujen ja puurunkoisten ulkoseinien kosteusteknisestä toimivuudesta ja niihin liittyvistä riskeistä, koska haastateltavia tutkijoita oli hyvin pieni määrä ja jokainen tutkija vastasi lähinnä vain oman asiantuntemusalueensa kysymyksiin.

### 7.3 Täydentävä kysely

Näiden haastattelujen lisäksi muutamaa lisäselvitystä tarvitsevaa asiaa tarkennettiin lyhyellä kyselyllä, joka lähetettiin viidelle suomalaiselle asiantuntijalle. Vastaus tuli kolmelta asiantuntijalta. Täydentävän kyselyn tarkoituksena oli lähinnä saada vahvistuksia niihin uuden RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeen ulkoseinäosuuden ohjetekstin kohtiin, joissa vaatimustasoa oli tarkoitus muuttaa huomattavasti aikaisemmista ohjeis-

ta. Lisäselvitystä tarvitsevia asioita olivat mm. betonirakenteisten ulkoseinien tuuletusjärjestelyt, höyrynsulun tarpeellisuus rankarakenteisissa ulkoseinissä, märkätilaan rajoittuva kivi- ja puurakenteinen ulkoseinä, leveiden räystäiden käyttösuositukset sekä kellarittoman rakennuksen perusmuurin lämmön- ja kosteudeneristys.

## 8 Ulkoseinien kosteustekniseen suunnitteluun liittyviä ohjeistoja

### 8.1 Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C2, Kosteus /20/

Suomen rakentamismääräyskokoelman kosteutta käsittelevä osa C2 on juuri uudistettu. Uudet määräykset ja ohjeet tulivat voimaan vuoden 1999 alussa. Edelliset vuodelta 1976 olevat määräykset ovat olleet hyvin suppeat. Niissä on lähinnä todettu periaatteellisesti ja tavoitteellisesti vain, että rakennus ja sen eri rakennusosat on tehtävä siten, ettei synny vaurioita. Määräysten lisäksi vanhassa rakentamismääräyskokoelmassa ei ole ollut minkäänlaisia ohjeita siitä, miten olisi rakennettava, jotta määräysten vaatimukset täytyisivät.

Uudessa C2:ssa on esitetty määräysten lisäksi ohjeita ja selostuksia. Määräykset ovat sitovia. Ohjeet esittävät ratkaisuja määräysten soveltamisesta. Muitakin ratkaisuja voidaan käyttää, mikäli ne täyttävät määräysten vaatimukset. Selostavat tekstit sisältävät viittauksia Rakennustuotedirektiiviin ja Suomen rakentamismääräyskokoelman muihin osiin. Määräykset koskevat uudisrakennusten rakentamista. Korjausrakentamisessa niitä voidaan soveltaa joustavasti. Uudet määräykset ja ohjeet eivät juuri sisällä sellaisia vaatimuksia, joita ei olisi jo täytetty, jos noudatetaan hyvää rakennustapaa ja pyritään estämään vesi- ja kosteusvaurioiden synty.

Ulkoseinien, ikkunoiden ja ovien kosteustekniseen suunnitteluun liittyvistä määräyksistä ja ohjeista on uudessa C2:ssa erillinen luku. Siinä on käsitelty mm. seinärakenteen höyry- ja ilmatiiviyyttä, vuotovesien poistamista rakenteesta ja rakenteen tuulettumista. Uudesta C2:sta löytyy myös luku, jossa on esitetty määräyksiä ja ohjeita maata vasten olevien seinärakenteiden sekä seinien ja maanvastaisten rakenteiden liitosten suunnitteluun. Myös muista C2:n luvuista löytyy määräyksiä ja ohjeita, jotka koskevat ulkoseinärakenteen kosteusteknistä suunnittelua. Räystäisiin liittyviä määräyksiä ja ohjeita on esitetty vesikattoa ja yläpohjaa käsittelevässä luvussa, ja märkätilaan rajoittuvan ulkoseinän suunnitteluun liittyvät määräykset löytyvät märkätiloja käsittelevästä luvusta.

### 8.2 RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet /38, 41, 52/

Myös RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeista on ilmestymässä uudistettu painos. Uusissa ohjeissa on ulkoseiniä käsittelevä ohjeteksti huomattavasti laajempi kuin edellisissä, vuoden 1989, ohjeissa. Uusi ulkoseiniä käsittelevä ohjeteksti on laadittu tässä tutkimuksessa kerätyn aineiston pohjalta. Siinä on esitetty ulkoseinärakenteen yleiset suunnitteluperiaatteet. Eri ulkoseinärakenteille, kuten betonirakenteisille, muuratuille sekä puu- ja teräsrunkoisille ulkoseinille, on ohjeessa annettu lisäksi tarkempia rakenteellisia ohjeita esim. sadevesirasituksen ja -vuotojen vähentämisestä, vuotovesien poistamisesta rakenteesta, rakenteen tuuletusjärjestelyistä sekä ilma- ja höyrytiiviydestä.

Ulkoseinän liitosrakenteita on käsitelty ulkoseiniä käsittelevässä ohjetekstissä omana kapaleenaan. Siinä on esitetty mm. räystääiden, ikkunaliitosten, ulkoseinän ja perusmuuriliitoksen sekä perusmuurin suunnitteluohjeet. Lisäksi on esitetty rakenteellisia ohjeita julkisivupinnan saumojen, liitosten, pellitysten, eri julkisivumateriaalien vaihtumiskohtien sekä ulkoseinän ja parvekkeen, kattopinnan tai muiden vaakarakenteiden liitosten suunnitteluun.

Uudistetuissa RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeissa on käsitelty myös yleisesti rakenteiden kosteustekniseen tarkasteluun liittyviä asioita, kuten rakenteiden yleisiä kosteusteknisiä vaatimuksia, eri kosteuslähteitä ja muita rasisitustekijöitä, kosteuden siirtymismuotoja, kosteuden aiheuttamia haittoja sekä rakenteiden kosteusteknistä mitoitusta ja riskien arviointia. Märkätilaan rajoittuvan ulkoseinän suunnitteluohjeita on esitetty märkätiloja käsittelevässä luvussa. Lisäksi uusissa ohjeissa on käsitelty vanhan rakenteen kosteusteknisen kunnan tutkimista, vedeneristystarvikkeiden ominaisuuksia, veden- ja kosteudeneristysten tarkastusta ja kunnossapitoa sekä veden- ja kosteudeneristettyjen tilojen ja rakenteiden korjaamista. Lisäksi on esitetty ohjeita veden- ja kosteudeneristystyötä varten.

### 8.3 RT -kortisto

RT –kortisto on jatkuvasti uusiutuva ja täydentyvä eri rakentamisen osa-alueet käsittävä tiedosto. Siihen on koottu rakennushankkeen eri osapuolten tarvitsemat tiedot rakennuttamista, rakennussuunnittelua, rakentamista, rakennusten kunnossapitoa ja rakennustarviketeollisuutta varten. RT –kortisto sisältää hakemisto-osan, ohjetiedoston, säännöstiedoston sekä tarviketiedoston.

Ulkoseinien ja niiden liitosrakenteiden kosteustekniseen suunnitteluun löytyy tietoa mm. RT –ohjetiedostosta ja RT -säännöstiedostosta. Säännöstiedostossa on Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C2, Kosteus, jota on käsitelty tämän julkaisun luvussa 8.1. RT–tarviketiedosta löytyy valmistajien antamia teknisiä tietoja rakennusalan tarvikkeista tuotekohtaisesti. Ulkoseinien ja niiden liitosrakenteiden suunnitteluun liittyviä ohjeita on esitetty mm. seuraavissa ohjetiedoston RT –korteissa:

- RT 30-10314 Luonnonkivet, suomalaiset rakennuskivet
- RT 33-10386 Rappaus, laastit ja niiden valinta
- RT 39-10422 Rakennuksen peltityöt, yleisiä ohjeita
- RT 41-10644 Puuikkunat
- RT 42-10122 Osastoiva puuovi, kiinnitys
- RT 80-10126 Muotolevyverhoukset metallista, yleisiä ohjeita
- RT 80-10632 Rakennuksen suojapellitykset
- RT 81-10524 Pientalon perustukset ja alapohjien liittymät
- RT 81-10590 Routasuojusrakenteet
- RT 82-10415 Hirsitalon suunnitteluperusteet
- RT 82-10429 Metallikasetit julkisivuissa

- RT 82-10438 Ulkoseinärakenteita
- RT 82-10452 Seinien liittymät
- RT 82-10510 Tiilirakenteet
- RT 82-10527 Kivirakenteisten elementtijulkisivujen saumat
- RT 82-10560 Pientalon puurakenteet
- RT 82-10571 Puujulkisivut
- RT 82-10586 Pientalon kivirakenteet
- RT 82-10588 Harkkorakenteiden suunnittelu
- RT 82-10605 Puutalon ikkuna- ja ulko-oviliittymät
- RT 82-10657 Julkisivun betonipinnat
- RT 82-10659 Pientalon teräsrakenteet
- RT 83-10153 Kosteuden- ja vedeneristys bitumista, bitumi- ja kumibitumikermeistä
- RT 83-10455 Yläpohjien liittymät
- RT 84-10558 Asunnon kosteiden tilojen rakenteet
- RT 85-10383 (SFS 5474) Sadevesijärjestelmät, räystäskourut. Osien määritelmät ja kokomerkinnot
- RT 85-10459 Bitumikermikatteet jyrkillä katoilla
- RT 85-10562 Kate sileästä ohutlevystä
- RT 85-10596 Metalliset sadevesijärjestelmät

#### **8.4 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, RYL /55, 56/**

Rakennustöiden yleisten laatuvaatimukset, RYL, on rakennusalalla yleisesti hyväksytyn hyvän rakennustavan kuvaus. Jatkuvasti uusiutuvasta RYL –julkaisusarjasta on tullut neljäs laitos. Uusin RYL julkaistaan kolmena kirjana: MaaRYL 2000, RunkoRYL 2000 ja SisäRYL 2000, joista MaaRYL 2000 ilmestyi vuonna 1997. Toinen osa RunkoRYL 2000 ja kolmas osa SisäRYL 2000 ovat ilmestyneet vuonna 1998. RYL 2000 kuuluu osana RT -kortistoon kuten edeltäjänsäkin. Aikaisemmin ovat ilmestyneet RYL 1960, RYL 81 ja RYL 90.

RYL 90:n sisältö on jäsenelty siten, että sitä voidaan käyttää Talo 80 – nimikkeistön mukaan järjestetyn rakennusselityksen, määrälaskennan ja työsuunnittelun apuneuvona. Se on laadittu uudisrakennustöitä varten. Sitä ei tule käyttää korjausrakentamiskohteissa lukuun ottamatta sellaisia rakenneosia, jotka täysin uusitaan. Näissäkin sitä tulee käyttää huolellisesti ja harkiten. RYL 90 sisältää kolmentyyppistä tekstiä: vaatimus-, ohje- ja selostustekstiä. Vaatimustekstissä määrätään urakoitsijaa ja valmistajaa velvoittavat seikat. Ohjetekstissä annetaan suunnittelijalle ohjeet hankkeen asiakirjoissa määrättävistä asioista. Selostusteksti ei ole velvoittava. Siinä käsitellään kirjallisuutta, selvennetään vaatimus- tai ohjetekstin sisältöä ja annetaan muuta taustatietoa RYL 90:n käyttäjälle.

RYL 2000:n sisältö on jaettu Talo 90 –nimikkeistön mukaan käyttäen rakennusosa- ja työosanimikkeitä. Rakennusosaluvut toimivat tukena, ohjeena ja muistilistana suunnittelussa sekä sisällysluettelona rakennusselostuksen laadinnassa, työosaluvuissa asetetaan vaatimukset rakennustarvikkeille ja työn suoritukselle. RunkoRYL käsittelee talonraken-

nuksen runkotöitä. Siinä työosaluvut sisältävät hyvän rakennustavan vaatimuksia urakoitsijalle. Tämän lisäksi niissä annetaan vaatimuksen soveltamisohjeita ja vaatimustekstissä mainittujen viitejulkaisujen bibliografiset tiedot.

RunkoRYL 2000:ssa on julkisivuja käsittelevä luku F3, joka on jaettu neljään osaan: ulkoseinät, ikkunat, ulko-ovet ja julkisivun täydennysosat. Ulkoseinäosuuden loppuun on listattu kaikki mahdolliset ulkoseinässä esiintyvät rakennekerrokset ja jokaiseen rakennekerrokseen liittyvät asiat, jotka tulee esittää suunnitelmissa. Tästä listasta voidaan valita rakennusselostukseen ko. ulkoseinärakenteeseen sopivat kohdat. Ikkunoita käsittelevän osan loppuun on listattu puu-, metalli- ja muovi-ikkunoista suunnitelmissa esitettävät asiat. Ulko-ovista vastaavat listat on tehty puu-, metalli- ja erityisulko-ovista sekä ikkunaovista. Julkisivun täydennysosien yhteydessä on käsitelty parvekkeita, katoksia, kuormauslaitureita, tikkaita jne. Räystäitä, räystäskouruja ja syöksytorvia on käsitelty luvussa F4 Yläpohjarakenteet ja perusmuurirakenteita luvussa F1 Perustukset. Ulkoseinän sisäpintoja on käsitelty tarkemmin SisäRYL 2000:ssa luvussa F6.

Työosaluvuissa on esitetty vaatimuksia työsuoritukselle. Ulkoseiniin liittyen vaatimuksia on annettu esim. muuraus- ja rappaustyölle, puurungon asennukselle, puujulkisivutöille, ovien ja ikkunoiden asennustyölle, erilaisille pellitys- ja levytystöille (tuulensuoja-, sisäverhous- ja ulkoverhouslevytys), lämmöneristys-, tiivistys-, ääneneristys-, vedeneristys- ja saumaustyölle jne.

## 8.5 Muita rakenteiden kosteustekniikkaan liittyviä käsikirjoja

Seuraavassa luettelossa on esitetty muutamia muita rakenteiden kosteustekniikkaan liittyviä hyödyllisiä käsikirjoja sekä lyhyet kuvaukset niiden sisällöstä.

- Björkholz, D., Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. /2/

Kirja sisältää rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen tarkasteluun liittyvät keskeisimmät laskentakaavat sekä laskentaesimerkkejä erilaisista rakenteista ja tilanteista. Lisäksi kirjassa on käsitelty lyhyesti eri rakenteiden, kuten yläpohjien, ulkoseinien, alapohjien sekä kellarin seinien ja perusmuurien rakennusfysikaalista toimintaa. Kirjassa on käsitelty myös erikoistiloja ja –ratkaisuja, kuten märkätiloja, uimahallitiloja, kylmä- ja pakkasvarastoja sekä ylipaineratkaisuja.

- Nevander, L. E., Elmarsson B., Fukthandbok. Praktik och teori. /28/

Kirja on jaettu kahteen osaan: käytäntö- ja teoriaosaan. Käytäntöosassa on käsitelty kattavasti rakenteiden suojaamista kosteudelta, rakennusmateriaalien kosteusteknistä käyttäytymistä sekä eri rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Teoriaosassa on käsitelty laajasti kosteustekniseen tarkasteluun liittyviä asioita, kuten kosteusfysikaalisia perusteita, kosteuslähteitä, laskennallista tarkastelua laskentakaavoineen ja laskentaesimerk-

keineen sekä kosteusvaurioita. Kirjan loppuun on kerätty lukuarvoja mm. eri materiaalien kosteusteknisistä ominaisuuksista sekä säätiedoista.

- Lämmön- ja kosteudeneristys. Käsikirja RIL 155. /24/

Kirjassa on käsitelty lämpö- ja kosteusteknisen tarkastelun perusteita. Siinä on esitetty laskentakaavoja molempia tarkasteluja varten. Kirjassa on käsitelty myös erilaisia rakennusaineita ja –tarvikkeita, erilaisia rakenne-esimerkkejä sekä rakennusvirheitä ja vaurioita.



## Lähdeluettelo

- /1/ Ahlgren, L., 1972. Fuktfixering i porösa byggnadsmaterial. Tekniska Högskolan i Lund. Lund. 200 s.
- /2/ Björkholtz, D., 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. Dick Björkholtz ja Rakennustieto Oy. Helsinki. 150 s.
- /3/ Elmarsson, B., 1984. Puts på tilläggsisolering. Samordning av mätprogram och utvärdering vid experimentbyggande. Byggeforskningsrådet Rapport R120:1984. Stockholm. 197 s.
- /4/ Elmroth, A., Hagentoft, C.-E., Sandin, K., 1996. Plastfolie – behövs den i väggar och tak? Byggeforskning 2/1996, s. 15 – 17.
- /5/ Elmroth, A., Harderup, E., Sandberg, P.I., 1996. Räkna med fukt. Byggeforskning 2/1996, s.9-12.
- /6/ Hankkija Teollisuuspalvelu –kansio, Munters.
- /7/ Harderup, E., Sandberg, P. I., 1991. Fuksäkerhet i byggnader. Fukt i byggnader och material. Forskning 1987-1990, Fuktgruppen vid LTH. Byggeforskningsrådet Rapport R7:1991. Stockholm. s.13-18.
- /8/ Julkisivu 2000. 1997. Osaraportti C 1a. Betonisandwich-ulkoseinien kosteustekninen käyttötyminen. RTT Rakennustuoteteollisuus. Teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikan laboratorio. 65 s.
- /9/ Julkisivu 2000. 1997. Osaraportti. Eriytetyt julkisivut. Suunnitteluohje. RTT Rakennustuoteteollisuus. Finnmap Consulting Oy. Arkkitehtitoimisto Helin & Siitonen Oy. Teknillinen korkeakoulu. 116 s.
- /10/ Julkisivu 2000. 1997. Osaraportti. Yhdistelmäjulkisivut. Suunnitteluohje 12.12.1997. RTT Rakennustuoteteollisuus. Finnmap Consulting Oy. Arkkitehtitoimisto Helin & Siitonen Oy. Teknillinen korkeakoulu. 165 s.
- /11/ Julkisivu 2000. Uudet betonijulkisivurakenteet. 1998. Rakennustuoteteollisuus RTT ry. Suomen Betonitieto Oy. Jyväskylä. 171 s.
- /12/ Karkaistut kevytbetoniharkot, Muuraustarvikkeet. 1994. RT –ohjetiedosto RT 35-10550, 4 s.
- /13/ Kauppi, A., Paajanen, L., Rautiainen, L., 1984. Puurakenteiset määrit ja kosteat tilat. Suunnitteluperiaatteita ja rakenneratkaisuja. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 364, Espoo. 71 s.
- /14/ Kauppi, A., Rautiainen, L., Saarimaa, J., 1990. Tiili- ja puuseinät; ongelmat, syyt, ratkaisut. Rakentajain kustannus Oy. Jyväskylä. 47 s.
- /15/ Kevytsoraharkot, Muuraustarvikkeet. 1994. RT –ohjetiedosto RT 35-10548, 4 s.

- /16/ Kohonen, R. et al, 1985. Höyrynsuluton puurunkoinen seinärakenne Enso-koetalossa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 441, Espoo. 54 s.
- /17/ Kokki, P., Krankka, J., 1983. Asuinkerrostalojen julkisivujen lämmöneristeiden kosteus ja sen vaikutukset rakenteen toimintaan. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennetekniikan laboratorio, tiedotteita 181, Espoo. 98 s.
- /18/ Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. 1997. Ympäristöministeriö, Ympäristöopas 28. Rakennustieto Oy. Helsinki. 143 s.
- /19/ Kosteus rakennusteknisenä ongelmana. Rakenteiden kosteustekniset suunnitteluperiaatteet. Kosteustekniset suunnitteluratkaisut. 1987. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL K76-1987. 240 s.
- /20/ Kosteus. Määräykset ja ohjeet, 1998. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C2 (RT –säännöstiedosto RT RakMK-21099), 11 s.
- /21/ Lastulevyt, Rakennuslevyt. 1993. RT –ohjetiedosto RT 22-10517, 4s.
- /22/ Lehtinen, T., Viljanen, M., 1989. Tiilijulkisivuisen seinärakenteen toiminnan varmistaminen viistosadetta vastaan. Teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikan laboratorio, julkaisu 16. Espoo. 52 s.
- /23/ Lumme, P., Merikallio, T., 1997. Betonin kosteuden hallinta. Kestävä-Kivitalo-projekti. Suomen Betonitieto Oy. Helsinki. 29 s.
- /24/ Lämmön- ja kosteudeneristys. 1984. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Käsikirja RIL 155. Helsinki. 389 s.
- /25/ Lämmöneristys. Ohjeet, 1979. Sisäasiainministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C4 (RT –säännöstiedosto RT RakMK-20183), 9 s.
- /26/ Metalliset sadevesijärjestelmät. 1996. RT –ohjetiedosto RT 85-10596
- /27/ Muuratut rakenteet. 1975. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. RIL 99. Helsinki. 238 s.
- /28/ Nevander, L. E., Elmarsson, B., 1994. Fukthandbok. Praktik och teori. AB Svensk Byggtjänst. Stockholm. 526 s.
- /29/ Nieminen, J., 1987. Höyrynsuluton puuseinärakenne. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennetekniikan laboratorio, tiedotteita 735, Espoo. 140 s.
- /30/ Nieminen, J., 1988. Rakennusta ympäröivä mikroilmasto. Mittauksia koetalosta. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennetekniikan laboratorio, tiedotteita 880, Espoo. 65 s.
- /31/ Nieminen, J., 1989. Höyrynsulun tarve puuseinässä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennetekniikan laboratorio, tiedotteita 1050, Espoo. 60 s.
- /32/ Nilsson, L.-O., 1980. Hygroscopic moisture in concrete – drying, measurements & related material properties. Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, Report TVBM – 1003. Lund Sweden. 170 s.

- /33/ Ojanen, T., Kohonen, R., 1989. Ilmavirtausten vaikutus rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio, tutkimuksia 590, Espoo.106 s.
- /34/ Optiroc Oy Ab:ltä saadut rakenne- ja materiaalikohtaiset tiedot
- /35/ Paajanen, L., Ritschkoff, A.-C., Viitanen, H., 1994. Lämmöneristeiden merkitys rakennusten biologisissa vaurioissa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennustekniikka, julkaisuja 791, Espoo. 64 s.
- /36/ Pentti M., 1994. Rakenteiden ja rakennusmateriaalien käyttöikä. Korjausrakentaminen I. Korjausrakentamisen perusteet. Kuntoarviointi. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL K166-1994. 17 s.
- /37/ Pentti, M., 1988. Ulkoseinärakenteiden pitkäaikaiskestävyys. Betonirakenteiset, muuratut ja puujulkisivut. Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto, talonrakennustekniikka, raportti 33. Tampere. 253 s.
- /38/ Pentti, M., Hyypöläinen, T., Ulkoseinät. Tekstiluonnos 11.12.1998 uusiin RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeisiin. Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto, talonrakennustekniikka. 13 s.
- /39/ Pentti, M., Mäkinen-Vekkelä, T., 1987. Asuinrakennusten kosteusvauriot. Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto, talonrakennustekniikka, raportti 29. Tampere. 94 s.
- /40/ Pentti, M., Tuuliniemi, V., 1989. Julkisivupinnoitteiden kosteudensiirt ominaisuudet. Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto, talonrakennustekniikka, raportti 36. Tampere. 73 + 37 s.
- /41/ Pentti, M., Vanhan rakenteen kosteusteknisen kunnan tutkiminen. Tekstiluonnos 11.5.1998 uusiin RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeisiin. Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto, talonrakennustekniikka. 4 s.
- /42/ Pientalon kosteustekniikka. 1989. Asuntohallitus, opasjulkaisu 1:1989. Valtion painatuskeskus, Helsinki. 60 s.
- /43/ Polvinen, M. et al, 1983. Rakennusten ulkovaipan ilmanpitävyys. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennustekniikan laboratorio, tutkimuksia 215, Espoo. 143 s.
- /44/ PU-suunnittelukansio. 1987. Rakennuspolyuretaaniteollisuus.
- /45/ Puukuitueristeet, Lämmöneristystarvikkeet. 1998. RT -ohjekortisto RT 36-10661. 4s.
- /46/ Puukuitulevyt, Rakennuslevyt. 1993. RT -ohjetiedosto RT 22-10518, 4s.
- /47/ Pynnönen, J., Kärkäs, K., 1989. Teräsrunkoisen talon kevyet ulkoseinät. Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto, talonrakennustekniikka, raportti 48. Tampere. 89 s.

- /48/ Pöljö, T., 1979. Puisten ikkunoiden ja ulko-ovien säänkeston parantaminen. Rakennuspuusepänteollisuus ry. Helsinki. 190 s.
- /49/ Rain penetration investigations. A summary of findings of CIB Working Commission of rain penetration. 1963. Norges Byggeforskningsinstitut, Rapport 36. Oslo. 27 s.
- /50/ Rakennusmateriaalien ja -osien kestävyys RIL 184, 1991. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Helsinki.
- /51/ Rakennusten ulkoseinä- ja kattorakenteet. 1988. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL K91-1988. 308 s.
- /52/ Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Luonnos 2.6.1998. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL 107.
- /53/ Rakenteiden kosteustekninen suunnittelu. 1985. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL K49-1985. 182 s.
- /54/ Rautiainen, L., Nousiainen, M., 1984. Rakennusten tiivistämistarvikkeiden käyttöominaisuudet. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 342, Espoo. 187 s.
- /55/ RunkoRYL2000 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 2000, Talonrakennuksen runkotyöt. 1998. RT14-10652. Rakennustietosäätiö. Rakennustieto Oy. 434 s.
- /56/ RYL90 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 1990. 1989. RT14-10380. Rakennustietosäätiö. Rakennuskirja Oy. Helsinki. 482 s.
- /57/ Saarimaa, J. et al, Kosteuden vaikutus rakenteisiin. Rakentajain Kalenteri 1984. Rakentajain Kustannus Oy. Helsinki. s. 391-516.
- /58/ Sandin, K., 1980. Putsens inverkan på fasadens fuktbalans. Delrapport I – VIII. Tekniska Högskolan i Lund. Lund.
- /59/ Sandin, K., 1980. Putsens inverkan på fasadens fuktbalans. Huvudrapport. Tekniska Högskolan i Lund. Lund.
- /60/ Sandin, K., 1993, Fuktsäkerhet I byggnader. Skalmur med träregelstomme. Byggeforskningsrådet. T10. Stockholm. 36 s.
- /61/ Sandin, K., 1995, Vattenavvisande fasadimpregnering, Laboratorieundersökningar. Tekniska Högskolan i Lund. Rapport TVBM-3065. Lund.
- /62/ Sandin, K., 1996, Vattenavvisande fasadimpregnering, inverkan av sprickor. Tekniska Högskolan i Lund. Rapport TVBM-3073. Lund.
- /63/ Serporoc –eristerappaus, työselitys.1997. Optiroc.10 s.
- /64/ Sikander, E., Olsson-Jonsson, A., 1997. Lufttäthet i hus med träregelstomme och utan plasfolie. SP Sveriges Provnings-och Forskningsinstitut, Energiteknik, Rapport 1997:34. 85 s.

- /65/ Sipari, P., Laine, M., 1984. Muurattujen rakenteiden liikuntasaumat. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio, tiedotteita 304, Espoo. 44 s.
- /66/ Suvanto, T., 1993. EPS –ohutrappausjärjestelmän soveltuvuus suomalaisille julkisivuille. Diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto, 115 s.
- /67/ Teräsjulkisivut. Ulkoseinät, vesikatot, parvekkeet. 1995. Toimittanut Saarni R., Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustieto Oy, Helsinki. 148 s.
- /68/ Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990. 1991. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan, nide 90, osa 1-1990. Ilmatieteen laitos. Helsinki. 125 s.
- /69/ Träbyggnadshandbok, 3 Väggar. 1992. Träinformation och Trätek – Institutet för träteknisk forskning. Malmö. 151 s.
- /70/ Vanerilevyt, Rakennuslevyt. 1994. RT –ohjetiedosto RT 22-10545, 4 s.
- /71/ Water Vapor Transmission Through Building Materials and Systems: Mechanisms and Measurement. 1989. Ed. Trechsel, H. R. and Bomberg, M., ASTM, STP 1039. Baltimore. 175 s.
- /72/ Viitanen, H., Ritschkoff, A-C., 1989. Ruskolahon kehittyminen ja leviäminen puurakenteissa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, puulaboratorio, tutkimuksia 637. Espoo.
- /73/ Vähäkallio, P., Laine, M., 1983. Toimiva tiilijulkisivu, Osat I – II. Rakennustaito 6-7/1983.

## SUOMALAISTEN ULKOSEINÄTYYPPIEN KOSTEUSTEKNISET RISKIT JA NIIDEN VÄHENTÄMINEN

Tämän kyselykaavakkeen tarkoituksena on selvittää keskeisten suomalaisten ulkoseinätyyppien ja liitosrakenteiden kosteusteknisiä riskejä ja niiden vähentämismahdollisuuksia sekä näihin liittyen erilaisten ohjeiden tarpeellisuutta.

Väittämiin, joissa on laatikko väittämän perässä, vastataan laittamalla rasti oikean vaihtoehdon kohdalle. Vaihtoehdot 1-5 tarkoittavat seuraavaa, ellei toisin väittämän tai kysymyksen yhteydessä mainita:

- 1 = täysin eri mieltä
- 2 = enimmäkseen eri mieltä
- 3 = en ota kantaa
- 4 = enimmäkseen samaa mieltä
- 5 = täysin samaa mieltä

### OSA I RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNISEN TARKASTELUN SISÄLTÖ

Ulkoseinärakenteen kosteusteknisen suunnittelun yleisenä päämääränä on suojata sisätiloja kosteuden haitallisilta vaikutuksilta, tehdä vaaditun sisäilmaston ylläpitäminen mahdolliseksi ja toimia siten, ettei kosteudesta ole haittaa seinärakenteen itsensä toimivuudelle tai kestävyydelle.

1. Rakenteiden kosteusteknistä tarkastelua varten tarvitaan ohje.

1	2	3	4	5
	1		5	16

/22

2. Mitä pääkohtia tässä ohjeessa olisi hyvä käsitellä?

- kosteuslähteet/kosteusrasitukset **4 vastaajaa**
- kosteuden siirtymismuodot (periaatteet) **2 vastaajaa**
- kosteuden kerääntymis- ja kuivumistarkastelut (periaatteet)
- kosteuden kerääntymiselle asetettavat yleiset rajat ja vaatimukset (haittarajat)
- kosteusteknisen tarkastelun yleinen ohje
- erityisohje eri rakenne/materiaalityypeille
- luotettavat ja monipuoliset sää- ja ilmastotiedot maan eri osista
- materiaalien kosteustekniset ominaisuudet **3 vastaajaa**
- eri rakennusmateriaaleista monipuoliset tiedot niiden lämpö- ja kosteusteknisistä ominaisuuksista ja niiden lukuarvoista laskelmia varten
- keskeiset ulkoseinätyypit/ kosteustekniset näkökohdat suunnittelun perusteiksi
- höyrynsulku ja sen sijainti
- liitosrakenteita varten suunnitteluohjeet **3 vastaajaa**

- ulkovaipan tuuletus
- pinnan tiiveys
- saumojen rakenne
- lämmöneristeen tuulettuminen

*Ohjekirja ei ole välttämättä yksin riittävä, kysymys on koko prosessin kattavasta laatuohjelmasta.*

- määräykset
- suunnitteluohjeet → kosteustekninen mitoitus
- materiaali-kohtaiset oppaat (teollisuus)
- rakentaminen
- valvontakäytäntö
- käyttö
  
- periaatteet
- laskentaohje
- esimerkkejä hyvistä ratkaisuista, ongelmista **2 vastaajaa**
- kuten Fukthandbok
- Jotta perusasiat eivät unohtuisi ja karkeat virheet voitaisiin välttää, ohjeen tulisi olla varsin perusteellinen. Vankan teorian lisäksi tarvitaan käytännön esimerkkejä ja laskennallista tarkastelua.

- kosteustekninen arviointi edellyttää laskennallisia tai kokeellisia menetelmiä
- ohjeen tulee perustua tunnettuihin ja varmennettuihin ratkaisuihin:
  - sateenpitävyys → verhouksen tuuletus
  - julkisivun tiiviisyys
  - detaljit ja läpiviennit
  - ilmanpitävyys
  - vesihöyrytiiviisyys → tarvittavan höyrynsulun määrittely eri rakennetyypeille

- kosteustekninen suojaus suunnittelussa
- rakennusaikaiset kosteuden lähteet
- rakennusaikainen kosteuden hallinta
- käyttäjän vastuu
- tyyppiratkaisut seinärakenteelle eri materiaaleilla
- eri materiaalien erityispiirteet ja ominaisuudet seinärakenteen osana
- eri ratkaisujen herkkyytys ilmastorasituksille
- kosteuden mittaus

**1 Eri kosteuslähteiden esiintyminen ja suuruus**

1. Missä muodossa ja millä tarkkuudella eri kosteuslähteitä tulee ohjeessa käsitellä?

- ohjeessa tulee käsitellä vain tärkeimpiä kosteuslähteitä
- muistilista kosteuslähteistä **2 vastaajaa**
- eri lähteiden yleinen merkitys
- ohjeessa tulisi olla malliseinät (esim. 10 kpl): tavallinen ulkoseinä, ulkoseinä pesuhuoneen/saunan kohdalla, maanpaineseinät, eri materiaalivaihtoehdot yms.
- karkeat suuruustiedot, viittaus ilmastotietoihin
- niin tarkasti kuin pystytään, tilastot ja muut faktat **2 vastaajaa**
- tarvitaan myös tietoja lämpötilaeroista, tuulista, auringonsäteilystä yms.
- ymmärrettävästi, kansantajuisesti
- huipputarkkuuteen ei kannata pyrkiä, suuruusluokkien ymmärtäminen on kuitenkin tärkeää
- sade, lumi, maaperän vesi = yleiset periaatteet
- kosteuden kulku (vesihöyry yms.) = laskentaesimerkit
- laitevauriot = käyttö- ja huolto-ohjeet
- varmaankin sillä tarkkuudella, kun tietoa on olemassa, sitä ei varmaankaan ole paljon
- rakenteiden jaottelu käyttötarkoituksen ja sijainnin perusteella riittää, ohjeesta ei saa tulla liian työlästä jokapäiväiseen suunnitteluun
- eri kosteuslähteiden suhteellinen osuus koko kosteuskuormituksesta
- veden olomuoto eri tilanteissa
- yleismainintana

1	2	3	4	5
1	1	1	3	15

/21

3. Ohjeessa tulee esittää myös eri kosteuslähteiden määrätietoja.

	1	4	6	10
--	---	---	---	----

/21

- tavallisimmat mitoitustilanteet
- tärkeimpien

**1.1 Sade**

Ulkoseinän mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. seinälle osuvat viistosademäärät, viistosateen intensiteetti, eri sateiden kestoajat ja sateen jakautuminen seinäpinnalle. Rakennuksen sijainnilla, ympäristöllä, muodolla ja koolla sekä tarkasteltavalla ilmansuunnalla on suuri merkitys viistosaderasituksen voimakkuuteen. Eniten rasittuvat korkeiden rakennusten yläosat ja nurkat. Viistosateen aikana rakenteen pinnalle saattaa muodostua vesikalvo, jota tuuli voi sadepisaroiden ohella liikuttaa seinärakenteen pintaa pitkin myös ylöspäin. Tämä tulee huomioida liitosten ja saumojen suunnittelussa.

1	2	3	4	5
3	8	3	4	2

/20

1. Viistosateen ja pystysuoran sateen välinen yhteys on hyvin paikkakuntakohtainen eikä mitään yleispätevää yhteyttä ko. suureiden välille voida ilmoittaa.

2. Onko mahdollista esittää minkäänlaisia ohjeita siitä, miten paikkakuntakohtaisia sademäärien numerotietoja voitaisiin soveltaa käytännön suunnitteluun ja jos voidaan niin millaisia ohjeita?

- paikkakunnan merkitys on ratkaiseva (rannikkoseutu/sisämaa)
- esim. kaksijakoinen malli: rasitusluokat/ periaatteet yksilölliselle mitoitukselle
- on mahdollista **2 vastaajaa**
- rannikoilla etelä-länsisivuille varmat detaljit ja kunnan räystäät
- yleispätevät koskien koko maata rakennustyypeittäin rannikko- ja saaristoseutua lukuun ottamatta, jolle on annettava erityisohjeet
- sademäärät, intensiteetit ja niiden vaihtelut riittävät
- karkeita suuruusluokkatiejoja jakautuen rannikko, sisämaa / avoin / korkea rakennus, sisämaa / suojainen / matala rakennus
- tuuliset paikkakunnat / niiden alueet erilleen
- korkeat tai avoimet paikat
- vallitseva tuulensuunta pitäisi kehottaa ottamaan huomioon
- käytännön suunnittelussa riittää yllä olevassa tekstissä oleva tieto
- kyllä, kuten lumikuorman tapauksessa
- Sade kastelee on oletusarvo. Sademäärillä on mitoitettu viemäreitä, ei käytännön rakenteita.
- Ei tarvitse soveltaa. Sateen osalta voitaisiin ajatella kuten lumikuormien osalta: annetaan määrät, toisaalta: rakenteen tulee olla aina sateenpitävä.
- ohjeiden tulee olla riittävän yksinkertaisia käytännön suunnittelua ajatellen esim. riittävästi varmalla puolella olevia kertoimia
- paikkakuntakohtaiset sademäärät
- rakennuspaikasta johtuvat tuuliolosuhteet olisi hyvä kuvata joillakin peukalosäännöillä

3. Ohjeessa on syytä antaa seinän yläosaan kohdistuville viistosademäärille lukuarvoja.

2	2	3	8	4
---	---	---	---	---

/19

- huomioidaan kohteen tai tuulen suunta ja muut olosuhteet, materiaali pohja

4. Miten esimerkiksi räystäiden tai ympäristön vaikutus tulee ottaa huomioon viistosaderasitusta arvioitaessa?

- tavoitteena tulee olla VARMA RAKENTAMINEN
- vaikutus julkisivun rakennetekniikkaan, rakennusmateriaaliin
- puuseinille suositeltava aina räystäiden suojaavaa vaikutusta
- räystäiden pituus
- ainakin pitää olla määräys että räystäät tehdään **3 vastaajaa**

- (meren) rannat, aukeat paikat
- maksimirasitus riittää, eli ei pienennyksiä
- pitäisi olla käyrästä, jossa esitettäisiin viistosateen intensiteetti julkisivun yläosan geometrian mukaan
- ei mitenkään
- räystäiden ja päätykatosten vaikutus tulisi ilmoittaa jollakin sopivalla tavalla (räystään pituus/vaikutus ulkoseinälle)

5. Räystäiden ja ympäristön vaikutusten huomioon ottamiseen tarvitaan sademäärien pienennyskertoimia.

1	2	3	4	5
4	4	4	7	2

/21

- räystäistä ei ole mitään haittaa eli kunnon räystäät joka puolelle taloa
- ei ole tarpeen, kun kertoimia ei löydy

## 1.2 Sisäilman kosteus

Sisäilman kosteuspitoisuus on riippuvainen mm. ulkoilman kosteuspitoisuudesta, huoneen tai huoneiston käyttötarkoituksesta, sisällä kehitetyn kosteuden määrästä, ilmanvaihdon suuruudesta sekä rakenteiden kosteutta sitovista ominaisuuksista.

Sisäilman kosteuden mukaan voidaan rakennukset jakaa kahteen ryhmään:

1. Rakennukset, joissa ilmaa ei kostuteta keinotekoisesti
2. Rakennukset, joissa on keinotekoinen ilman kostutus

Kosteiden tilojen, kuten asuntojen pesuhuoneiden, saunojen, pyykinpesutilojen sekä uima-allastilojen, yhteydessä tarvitaan erityistarkastelua.

Samoin hyvin kosteiden tilojen, kuten uimahallien, kostutettujen tai vettä käyttävien prosessien tilojen, yhteydessä tarvitaan erityistarkastelua.

Sisäilman kosteuslisä ulkoilman kosteuspitoisuuteen nähden vaihtelee suuresti etenkin asuinrakennuksissa käyttäjistä riippuen, sekä ajallisesti, huonekohtaisesti että ilmanvaihdon tehokkuuden mukaan.

1. Kosteiden sekä hyvin kosteiden tilojen kosteusteknisestä erityistarkastelusta on syytä antaa ohjeita.

			7	15
--	--	--	---	----

/22

2. Millaisia ohjeita tulisi antaa?

- jonkinlainen käyttöluokitus ja niille ohjeet
- riittää, kun tilat jaetaan esimerkiksi 3 luokkaan ja tarkastelu suoritetaan joka luokassa rasiuimman vaihtoehdon mukaan
- erityisesti ilmatiiviyys kosteiden tilojen rakenteille
- tärkeimpiä keinoja ilmatiiviyden varmistamiseksi

2 vastaajaa

- mm. keveisiin puurakenteisiin yläpohjiin aina levy kantamaan lämmöneristettä (nykyisin pusseilla roikkuva, kireä vuotava muovi)
- hyvät yksinkertaiset ohjeet, joista ajattelutapa / rakenteen toiminta kaikessa yksinkertaisuudessaan selviää
- IV-laitoksen tärkeys / toimintaperiaatteet
- esim. että kosteuden kertymislaskelmat on aina tehtävä
- mahdollisesti rakenteellisia ohjeita (kosteusteknistä varmuutta lisäävä)
- ilman suhteellisen kosteuden tavoitearvoja ja keinoja sen säätelyyn
- käyttötapa ohjeita
- hyväksi koettuja ratkaisumalleja, mallirakenteita
- luettelo yleisimmistä virheistä
- kaksijakoinen malli; rasiuoluokat, periaatteet yksilölliselle mitoitukselle
- tuuletus
- ohjeita, millä edellytyksin rakenne toimii märkänäkin, ohjeita rakenteellisista suojausperiaatteista
- jos käytetään rasiuoluokkia, täytyy tietää mihin suunniteltava tila kuuluu
- kosteussuluille/vedeneristeille vaatimukset
- toteutus
- ohjeita rakennerratkaisuista sekä ko. tilojen ääriolosuhteista (todelliset olosuhteet usein arvioitava tapauskohtaisesti)
- erityisohjeet tilojen käyttötarkoituksen ja kuormituksen mukaan esim. yleisen uimahallin pesu- ja saunatilojen kosteusrasitus on moninkertainen rivitalon tai omakotitalon sauna- ja pesutiloihin nähden

2 vastaajaa

2 vastaajaa

4 vastaajaa

## 1.3 Pintavedet ja maaperän kosteus

Pintavedet, roiskevedet ja maaperän kosteus rasittavat lähinnä rakennusten perustusrakenteita, seinien alaosa ja alapohjarakenteita. Pintavesinä rakenteita rasittavat maaperää pitkin tai katolta maaperään valuvat vedet. Maaperän kosteusrasituksia ovat pohjavesi, vajovesi, kapillaarivesi ja maahuokosissa oleva vesihöyry.

Pintavesien haittavaikutusten estämiseksi seinänvastainen maanpinta tehdään kaltevaksi ulospäin. Lisäksi katoilta tulevat sade- ja sulamisvedet tulee johtaa rakennuksesta kauemmaksi esimerkiksi betonikouruja käyttäen. Maan pintakerroksen alle tulee tehdä vettä pidättävä kerros.

1. Millaisia ohjeita tulisi antaa maaperän kosteusrasituksista ja kosteuden siirtymismuodoista?

- em. asiat pitää muuttaa määräyksiksi
- kaksijakoinen malli; rasiuoluokat, periaatteet yksilölliselle mitoitukselle
- mallirakenteita toimiviksi todetuista ratkaisuista
- Riippumatta maaperästä rakennuspohja ja perustukset tulee suojata vedeltä riittävän laajalla ja paksulla salaojituserroksella (sepeli), josta vesi ohjataan salaojaputkia myöden pois.



- ohjeita siitä, kuinka kosteusrasitukset rakenteisiin estetään tai niitä vähennetään **2 vastaajaa**
- RIL:ä soveltaen, salaojat
- C2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 1998
- miten kosteus pidetään erillään perustusrakenteista
- suhteellisen suppeita ohjeita, muistilista
- ohjeet erikoistilanteista (esim. maanpinta ylempänä kuin lattia tms.)
- rakenteiden korkeusasema ( myös kellarin lattia, anturoiden korkeudellinen sijoitus jne.)
- suositus kattovesien viemäröinnistä ( kuten Ruotsissa tapana tehdä) tai erittäin luotettava kuljetus niin kauas ja sellaiseen paikkaan, ettei vesi palaa rasittamaan rakenteita
- kansantajuinen selostus, mitä pinta- ja maaperän vesiä on, niiden pääpiirteittäinen kulku, vaikutukset ja torjuntakeinot **2 vastaajaa**
- yleiset hyvän rakentamistavan mukaiset periaatteet, jotka ovat yleispäteviä!
- suunnittelun lähtökohdaksi tieto, että rakennuksen ympäristystä on jonkin aikaa vuodesta veden vaivaama, sadevesijärjestelmät tulvivat ja tukkeentuvat
- vajovesien vaakasuuntainen liike
- maapohjan lämpeneminen ja sen vaikutus
- kosteustieteiden liittämisen ohjeisiin johtaa helposti kaavakokoelmiin, joita kukaan ei käytä
- kosteuden nousu, katkot, maanvaraiset lattiat

#### 1.4 Rakennuskosteus

Rakennuskosteus on rakennusaineiden valmistuksen, varastoinnin, kuljetuksen sekä rakennustyön aikana rakenteisiin päässyttä kosteutta. Rakennuskosteutta poistuu niin paljon, että rakennusaineet saavuttavat ympäristöolosuhteita vastaavan tasapainokosteuden.

Rakennuskosteuksien määriin vaikuttavat huomattavasti rakennusaineiden valmistusmenetelmä sekä rakennustyön aikainen suojaus.

1. Rakennuskosteuksien kuivumisajoista, sopivista kuivatusmenetelmistä ja pinnoitusajankohdista on syytä antaa yksityiskohtaisia ohjeita eri materiaaleille erikseen.

1	2	3	4	5
	1	1	8	11

/21

#### 1.5 Muut kosteuslähteet

Muita kosteuslähteitä ovat rakenteisiin tiivistyvä kosteus ja sen kulkeutuminen painovoimaisesti, käyttövedet, vuotovedet, jätevedet ja erilaiset prosessivedet. Käyttövedestä aiheutuu ulkoseinään rasituksia lähinnä märkätiloissa ja joissakin erikoistiloissa. Se rasittaa ulkoseinää joko vetenä tai ilmaan haihduttuaan vesihöyrynä ja rasittaa eniten sisäpinnan rakenteita ja runkorakenteita, harvemmin ulkopinnan rakenteita.

7

1. Putkien turvallisesta sijoittelusta on syytä antaa ohjeita.

1	2	3	4	5
	1	2	3	15

/21

- periaatteita
- lähinnä pesutiloissa, joihin pulket tuotava yläkautta
- märkätiloista erikseen ohjeet ( saunan yhteydessä märkätilat muiden rakenteiden kanssa)
- alue, joka on syytä käsitellä kokonaan lähtien puhtaalta pöydältä

#### 2 Muut kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttavat rasitukset

Muita kosteustekniseen toimintaan vaikuttavia rasituksia ovat mm. tuuli, lämpötila, auringon säteily, paine-ero rakenteen yli sekä painovoima.

- aika = vanheneminen → käyttöikä

#### 3 Kosteuden sitoutuminen materiaaliin

Kosteutta sitoutuu huokoiseen materiaaliin pääasiassa vesimolekyylien kiinnittyessä pinta-voimilla huokosten seinämiin (adsorptio), koheesion, adheesion ja pintajännitysten vaikutuksesta (kapillaarinen sitoutuminen) ja vesihöyrynä huokosten ilmatilaan. Graviatiovoimien vaikutuksesta voi rakenteen vaakasuorille pinnoille, suuriin huokosiin ja onteloihin kertyä vettä. Aineessa voi lisäksi olla kemiallisesti sitoutunutta vettä, joka on osa aineen rakennetta. Aineeseen sitoutunut kosteus voi olla kaasuna, nesteinä tai kiinteässä muodossa.

Aineen kosteutta voidaan esittää aineen sisältämänä kosteutena (kg/kg, kg/m<sup>3</sup>, tilavuusprosentteina, painoprosentteina) tai aineen huokosilman suhteellisena kosteutena.

1. Yksityiskohtaisia ohjeita on syytä antaa kosteuden mittaustavoista sekä siitä, miten eri tilanteissa aineen kosteutta tulee yksikäsitteisesti esittää.

	1	3	7	10
--	---	---	---	----

/21

2. Millaisia ohjeita?

- ei tieteellistä tutkielmaa, vaan käytännön tietoa mittaustavoista, kosteuden vaihteluista ja sen vaikutuksesta, selvät periaatteet!
- kentän käyttöön yleistajuisia pääpiirteittäisiä ohjeita
- tieteellisen tarkastelun kestäviä, mutta liiaksi tieteelliseen esitystapaan sortumatta
- käsitteitä selventävät ohjeet
- mittaustapoihin sisältyvät epävarmuudet
- kosteuden ajallinen muuttuminen
- milloin mitataan ja mihin verrataan, olosuhteet vaihtelevat
- pitää osata selittää kosteutta oikein = suhteellisena kosteutena! Ei p-% tai t-%

8

- sellaisia, että mittaustuloksia voidaan riittävällä tarkkuudella arvioida ja käyttää hyväksi mm. korjausratkaisuja suunniteltaessa
- menetelmät, niiden rajoitukset ja virhemahdollisuudet, tulosten tulkintaohjeet
- ohjeilla tulisi pystyä tarkastelemaan mittaustuloksia ja niiden merkitystä
- mittaus/mittalaitteet: kalibrointi, käyttö, kuljetus, varastointi, tarkkuus, käyttötarkoitus
- kosteustila: kriittinen suure (esim. pinnoitteet RH), kriittinen raja-arvo, kriittinen vaiku-  
tusaika (homeet yms.)
- eri tilanteisiin soveltuvia kosteuden mittaustapoja sekä niiden luotettavuusrajat **3 vas-  
taajaa**
- yksiköt, mittausstandardi
- sallitut rakenteelliset kosteudet
- ohjeet mittausolosuhteista

#### 4 Kosteuden siirtyminen

Rakenteen läpi tapahtuva diffuusio aiheutuu rakenteen eri puolilla vallitsevista vesihöyryn osapaineiden eroista. Kosteutta voi kulkeutua seinärakenteiden läpi myös ilmavirtausten mukana. Konvektiovirtausten mukana siirtyvät kosteusmäärät voivat olla huomattavasti suuremmat kuin muilla tavoilla siirtyvät kosteusmäärät.

Vesi voi siirtyä kapillaarisesti, ulkoisen veden- tai ilmanpaineen sekä painovoiman vaikutuksesta. Kosteuden siirtyminen huokosverkostossa on kapillaarisen liikkeen ja diffuusion yhdistelmä.

1. Diffuusio suuntautuu lähes aina sisältä ulospäin, jolloin diffuusiolla ulkoa sisälle päin ei ole ulkoseinärakenteen suunnittelussa merkitystä.

1	2	3	4	5
2	5	2	10	1

/20

- kenttä uskoo täysin kosteuden kulkevan lämmön mukana, lämmön edellä, hyvä valaista että toisinkin voi olla, siis diffuusion suunta käytännössä pienempää pitoisuutta kohti
- erikoistilat, kylmätilat yms.

2. Milloin ulkoa sisälle päin suuntautuvalla diffuusiolla on merkitystä?

- erikoistilat
- kylmävarastot / pakkasvarastot **13 vastaajaa**
- maanpaineisiin **3 vastaajaa**
- lämmittämätön rakennus **3 vastaajaa**
- tietyissä rakenteissa, jotka varastoivat sadevettä ulkopinnoilleen (tiiliseinä) **3 vastaajaa**
- lämpimiksi suunnitellut tilat jätetään lämmittämättä
- lämmennyt maaperä
- käsittääkseni ei Suomen ilmastossa
- kesäaika, jolloin ulkona lämpimämpää kuin sisällä

3. Millaisissa olosuhteissa diffuusio on merkittävin rakenteen kosteuskäyttäytymistä säätelevä siirtymismuoto?

- jos esimerkiksi lattian alla oleva kostea täyteosa lämpimää (eristevuodon yms. takia) **2 vastaajaa**
- epätiivuut rakenteet, homogeeniset rakenteet (siporex yms. harkot, hirsi jne.)
- höyrynsuluttomat rakenteet **2 vastaajaa**
- diffuusio on merkityksellinen siksi, että se tapahtuu lähes jatkuvasti, joten rakenne ei saa olla sellainen, että siihen voi syntyä kasvava kosteuskertymä diffuusion vuoksi
- erikoisrakenteissa, kuten kylmävarastoissa
- kun sisäilman kosteus on korkea kylmänä vuodenaikana
- on syytä korostaa, että tiivistymisen edellytys on lämpötilaero (kylmempi kohta), tämä on aika huonosti esillä nykyisissä ohjeissa
- yleensä vain kylmänä vuodenaikana merkityksellinen
- tiiliverhottu puuseinä
- kosteusteknisesti väärin suunnitelluissa rakenteissa
- sisä- ja ulkolämpötilaeron ollessa merkittävä pitkiä ajanjaksoja
- suuri lämpötilaero

4. Ohjeisiin on syytä laittaa laskentaohjeet ja laskuesimerkkejä sekä diffuusio- että konvektiokosteuden tarkasteluista.

1	2	3	4	5
2	2	2	8	7

/21

- mitoitusmenetelmä

5. Tarvitaanko joidenkin rakenteiden kosteuden siirtymistarkasteluissa erityisohjeita ja jos tarvitaan niin millaisilla rakenteilla?

- tarvitaan normaaleista asuinrakennuksista poikkeavissa tapauksissa **2 vastaajaa**
- esim. pesuhuone/sauna maanpaineisella
- herkillä erikoisrakenteilla
- höyrynsuluttomat rakenteet
- ylipainerakenteet
- tuskin tarvitaan
- sellaisilla rakenteilla, joilla on kosteuden sitomiskyky: osittain tuulettuvat rakenteet, massiivisissa rakenteissa tiiviin ulkopinnan pinnoittamisen ajankohta
- umpirakenteet vuototapauksissa
- kosteuskertymä ei voi ohjeistaa: riski virhetulkintoihin on suuri
- kylmä- ja pakkasvarastoissa
- vapaa-ajan asunnoissa
- kyllä

6. Missä muodossa ohjeet kosteuden siirtymisestä on syytä antaa?

- mallirakenteena + perustelut
- kaksiosaisesti: tieteellisesti asiantuntijoille, ja kansanomaisesti kaikille muille
- sopivat laskukaavat, yksinkertainen laskentaperiaate **2 vastaajaa**
- ilmiöiden kuvaus
- mistä lähtötiedot saa
- muutama laskuesimerkki
- laskentaan liittyvän epävarmuuden / karkeuden selvitys
- kansantajuisesti, tähän asti ovat olleet liian vaikeaselkoisia, kannattaa verrata ruotsalaisten ohjeisiin
- parempi kertoa vain hyvän suunnittelun ja toteutuksen periaatteet
- sanallinen kuvaus tapauksesta + laskentaesimerkki
- kosteustekniset riskit, laskentaan ei ole riittäviä ohjelmistoja kaupallisesti saatavilla, diffuusiolaskelmat eivät ole riittäviä
- ohjeita olemassa riittävästi

**5 Sitoutuneen ja rakenteeseen päässeen kosteusmäärän vaikutukset rakennusaineisiin ja haitallisuus rakenteelle**

Rakennusmateriaalien rakenteissa sisältämä tai rakenteisiin siirtyvä kosteus voi aiheuttaa useita erityyppisiä ilmiöitä, joista useimmat ovat rakenteiden kestävyyskannalta epäedullisia.

Kosteus vaikuttaa materiaalien kestävyyskannan, lujuusominaisuuksiin, kuorituksen kestävyyskannan, lämmönjohtavuuteen, muodonmuutoksiin, ulkonäköön ja materiaaliominaisuuksiin.

1. Ohjeissa on syytä olla materiaalikohtaisia tietoja rakennuskosteusmääristä, materiaalien kosteuskapasiteeteista sekä haitallisista kosteuspitoisuuksista.

1	2	3	4	5
	1		9	12

/22

2. Kosteuden haitalliset vaikutukset eri materiaaleihin on syytä esittää materiaalikohtaisesti.

	1		6	15
--	---	--	---	----

/22

- yleisiin ohjeisiin
- käyttöolosuhteissa
- mitoitusarvot, riskirajat

**6 Rakenteiden kuivumismahdollisuudet**

Rakenteiden kuivumismahdollisuuksiin vaikuttavat mm. rakenteiden materiaaliominaisuudet, tuuletus, lämmitys, pinnoitus, oikea pinnoitusajankohta, työnaikainen suojaus, riittävä kuivumisaika ja ilman kuivatus.

1. Eri materiaalien pinnoituksesta on syytä antaa ohjeita.

1	2	3	4	5
	3	1	4	14

/22

2. Mistä muista rakenteiden kuivumiseen liittyvistä asioista on syytä antaa ohjeita?

- uudenlainen tyyppihyväksyntä; materiaalikohtaisesta tuotehyväksynnästä tulee siirtyä rakennusosakohtaiseen toiminnalliseen tarkasteluun
- kuivumisajoista; mm. betonien kuivumisajat on ohjeissa annettu liian optimistisesti **5 vastaajaa**
- kuinka hitaasti ja vaikeasti kastumaan päässeet rakenteet kuivuvat **2 vastaajaa**
- pintakuivuus / tiiviin pinnan asentamisen jälkeen tasaantuvan kosteuden vaikutukset
- tuuletusjärjestelyt rakenteittain; yleiset ohjeet, tuuletusraot, tuuletusurat, tuuletusraon pysyminen avoimena, veden sisäänpääsyn estäminen tuuletusrakoon
- kuivuminen = sekä rakennuskosteuden kuivuminen että yleinen helppo kosteuden poistuminen
- kuivatusmenetelmät
- sallitut kosteusrajat
- sallitut asennusolosuhteet
- kuivumisen nopeutumiseen vaikuttavat asiat
- lämmityksen / tuuletuksen merkityksen korostaminen
- rakenteen kuivumiskyvyn toteaminen
  - a) normaalissa käyttötilanteessa
  - b) kertaluontoinen tai toistuva tilanne
    - rakennusaikainen kosteus, sulamisvedet, vaurionsietokyky
- riittävä kuivumisaika on oltava perusteltavissa esim. rakennuttajalle
- kosteusmittaus ja luotettavuus **2 vastaajaa**
- lisäeristys
  - sisäpinnoille, vrt. massiivinen tiili tai siporex-seinä
  - ulkopuolelle
- eri materiaalien suhteellinen kosteus ennen pinnoitusta
- eri pinnoitteiden vaatimat suhteelliset kosteudet alusmateriaaleilta (betoni, puu, jne.)

## 7 Valmiiden rakenteiden kosteustekninen tutkimus

1. Valmiiden rakenteiden kosteusteknisestä tutkimuksesta tarvitaan lyhyt ohje.

1	2	3	4	5
	2	2	5	11

/20

- niin että asiakas tietää mitä tuloksia saa ja että ne on myös tulkittavissa

2. Mitä asioita tulee käsitellä valmiiden rakenteiden kosteusteknisessä tutkimuksessa ja misä järjestyksessä?

- 1) rakenteen kosteustekniset mittaukset
- 2) kosteuden vaikutukset
- 3) arviointi rakenteen terveysvaikutuksista
- 4) arviointi odotettavissa olevasta käytöstä
- 5) korjaustavat

- Mielestäni uusien ohjeiden laatiminen nyt ei ole perusteltua. Parempi on kehittää Ympäristö-ministeriön kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimusohjetta, joka on juuri ilmestynyt. Ohje on vuoden koekäytössä, jonka jälkeen sitä toivon mukaan kehitetään eteenpäin. Parempi on yksi yleisesti hyväksyty ohje, kuin joukko eri tahojen laatimia kevyitä vihkosia.

- Lyhyt luettelomainen ohje kosteusteknisestä kuntotutkimuksesta

- 1) rakennetietojen selvitys
- 2) rasiustietojen selvitys
- 3) vauriotietojen selvitys
- 4) kosteus- ja lämpötilamittaukset (olot tutkimushetkellä)
- 5) näytteenotto, avaukset, kosteustekniset materiaalitutkimukset → tarkat materiaalitiedot
- 6) kosteustekninen analyysi (ongelmien syyt, vallitsevat ilmiöt)
- 7) korjausehdotus (vaihtoehdot)

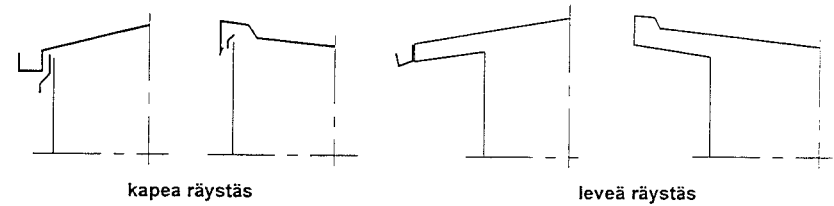
- ei ole tarpeen tutkia kuin vauriotapauksissa
- kuinka suuri kosteus eri materiaaleissa on haitallista, miten kosteutta voi tehokkaasti tarvittaessa vähentää vai voiko ollenkaan
- mittaustavat ja -kohteet 2 vastaajaa
- johtopäätökset
- Mikä on tavoite? Kuntotutkimusohje pitäisi olla olemassa 2 vastaajaa
- Mitä voidaan mitata? Mitä mitataan? Miten voidaan arvioida tuloksia?
- ongelmat, ilmeneminen, paikat/alueet: kartoitus, mittaus, näytteenotto: kosteus-, home-, lahonäytteet
- kosteuslähteen kartoitus

## OSA II KESKEISET LIITOSRAKENTEET JA ULKOSEINÄTYYPIT

### 1 RÄYSTÄÄT

#### 1.1 Kosteusteknisen toimivuuden yleinen arviointi ja parantamistarpeet

Räystäsrakenteista voi seinärakenteeseen kulkeutua huomattavasti suurempia vesimääriä kuin muista liittymistä, jos räystääs ei pysty estämään sekä seinäpintaa ylöspäin nousevan vesikalvon että katoilta tuulen kuljettaman veden ja lumen pääsyä seinärakenteeseen. Räystääs vaikuttaa myös seinään kohdistuvan sadevesirasituksen suuruuteen.

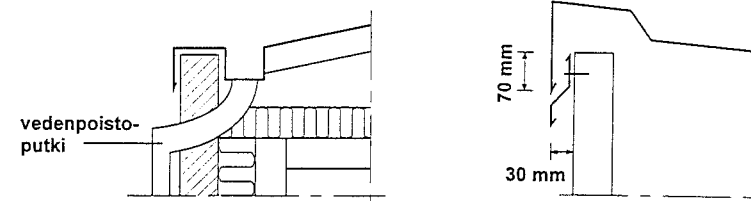


1. Harjakatoilla, joissa on kapeat räystäät, tarvitaan räystäskourun takana vastapelti suojaamaan seinää kourun vuotovesiltä ja estämään lumen ja veden tunkeutuminen yläpohjaan ja sitä kautta seinärakenteeseen.

1	2	3	4	5
	2	2	5	12

/21

- mikäli katto on tuuletettu räystään kautta



2. Ulkopuolisella vedenpoistolla varustetuilla katoilla julkisivupinnan sisäpuolella olevaa räystäskourua tulee välttää.

1	2	3	4	5
1		2	2	17

/22

- pitäisi kieltää! 2 vastaajaa

- ehdottomasti
- surkeita tapauksia, jotka eivät kerta kaikkiaan sovellu Suomen olosuhteisiin

3. Kapearäystäisten harjakattojen yhteydessä tarvitaan räystäskourulle ja sen liitokselle kattorakenteisiin yksityiskohtaisia ohjeita, jotta lumi ja jää eivät kertyisi niihin ja seinää rasittavilta vuotovesiltä vältyttäisiin.

1	2	3	4	5
	1	1	6	13

/21

- kunnan räystäät kaikkiin taloihin
- vrt. RT-kortit
- kapearäystäisiä harjakattoja ei pidä rakentaa

Millaisia ohjeita tulisi esittää?

- ei tule esittää
- RT-korttien ohjeet ovat jo aika hyviä, lisäksi niiden parannustyö on aloitettu
- selkeitä, periaatteet näytettäviä
- minimimitat (jään putoaminen, kourun koko)
- vuotovesien ohjaus ulos seinäpinnalta
- liitos katteeseen, kiinnitykset 4 vastaajaa
- rakenneleikkauspiirroksia 4 vastaajaa
- aluskatteen merkitystä korostettava erityisesti epäjatkuvia katteita käytettäessä (tiili, pelti)
- suunnitteluperiaatteet, hyväksyttävistä ratkaisuja on useita
- kourun mitat, muoto ja oikea sijoitus kattopinnan sekä räystäään reunan suhteen, oikeat kallistukset ja pituudet
- materiaali- ja lujuusvaatimukset
- lämmityskaapelisuositus
- korkeussuhteet vedeneristyksen nähden
- maininta kourun asentaminen laskevaksi kohti syöksyjä

4. Jotta syöksytorvien vuotovedet eivät rasittaisi seinärakennetta, tulee myös syöksytorville ja niiden liitoksille seinärakenteeseen esittää yksityiskohtaisia ohjeita.

2	1	2	8	7
---	---	---	---	---

/20

Millaisia ohjeita?

- tässä oikea ratkaisu olisi oikeanlainen tuotevalvonta esim. VTT: Tuotesertifikaatti
- periaatteet, toiminnallisuus 2 vastaajaa
- asennusohjeet
- RT-kortit 2 vastaajaa
- torvien mitat ja muodot
- materiaali- ja lujuusvaatimukset, alaosat potkunkestäviksi 2 vastaajaa

- kiinnitysohjeet, jatkosten ja saumojen rakenne 6 vastaajaa
- veden purkaus niin, ettei seinä kastu 2 vastaajaa
- milloin käytetään sähkölämmitystä 3 vastaajaa
- esimerkkejä periaatteista
- veden poisjohtaminen
- syöksytorvien sijoitus, etäisyys maasta
- suojapelti
- liitosten teko 2 vastaajaa
- saumojen sijoitus

5. Sisäpuolisella vedenpoistolla varustetuissa katoissa, joissa on kapeat räystäät, räystäspeltti pitää ulottaa pystysuunnassa vähintään 70 mm seinän ulkokuoren yläreunaa alemmas ja 30 mm seinäpinnasta ulospäin.

1	2	3	4	5
		3	5	11

/19

- 70mm:n sijaan > 150mm

a) Rakennuksen korkeudesta tai viistosaderasituksen määrästä riippumatta näitä vähimmäismittoja voidaan pitää riittävinä.

4	9	3	2	2
---	---	---	---	---

/20

b) Julkisivumateriaalista riippumatta näitä vähimmäismittoja voidaan pitää riittävinä.

4	7	4	3	2
---	---	---	---	---

/20

c) Rakenteeseen tarvitaan aina vastapelti.

	4	1	7	7
--	---	---	---	---

/19

d) Millaisia ohjeita pellitysten mitoista sekä millaisia lisävaatimuksia tälle räystäsrakenteelle on syytä antaa?

- syyt esittää vain varmat ja kaikkialla toimivat yksinkertaiset ratkaisut
- toiminnallisuus
- esim. 2-koukkuinen (h ~ 40-50mm) helppotekoinen vastapelti, varsinaisen räystäspeltti voidaan jättää aika matalaksi, 70 mm:n sääntöä ei läheskään aina tarvitse noudattaa
- ankarille olosuhteille sekä aroille pinnoille suositus että mittoja lisättävä
- pellitysten jatkokset, kiinnitykset
- ullakon tuuletus ja puukerrostaloissa palon leviämisen estäminen ulkoseinästä ullakolle tulee ottaa huomioon
- vesikate tulee ulottaa 150 mm pystysuunnassa ja 50 mm vaakasuunnassa seinän ulkokuoren ulkopuolelle, verhouspellityksen mitoilla ei ole niin suurta merkitystä
- yksityiskohtaisia / paikkakohtaisia

- riippuu paikkakunnasta ja paikasta (rannikko, sisämaan metsät)
- kiviainespinnoilla ulottuman oltava suurempi
- räystäspellitys on suunniteltava tapauskohtaisesti
- aina oikea räystäs, ylöspäin nouseva räystäs ohjaa vedet ja lumet katteen alle, ullakolle
- materiaalista riippuvat rakenneratkaisut (vettä imevä/imemätön materiaali)
- rakennuksen korkeuden ja sijainnin vaikutus peltien mitoittamiseen

6. Sisäänpäin kallistetuilla katoilla tulee tehdä vähintään 100 mm korotus räystäälle estämään tuulen kattopintaa pitkin kuljettaman veden pääsy räystään yli seinäpinnalle ja seinärakenteeseen.

1	2	3	4	5
	1	4	7	8

/20

Kuinka korkea korotuksen tulee olla ja millaisia ohjeita korotuksesta tulee antaa?

- Maa on täynnä 70-80-lukujen lähiötaloja, joissa räystäskorotus on vain 20-30mm. Mataluudesta johtuvia vaurioita ei ole tainnut pahemmin tulla.
- tärkeämpää on, että vedeneristys vietään koko rakenteen yli tippanokaksi siten, että tuliva vesi valuu häittäen aiheuttamatta julkisivupinnan ulkopuolella alas
- uusien rakenteiden ohjeissa esim. 100mm korotus voi toki olla, vanhojen korjauksiin en sitä vaatisi.
- vedeneristys tulee ulottaa ulkoseinäpinnan ulkopuolelle 5 vastaajaa
- suurempi tai yhtä suuri kuin 150mm
- korotuksen tarve riippuu katon kallistuksesta ja katolla olevien kaivojen määrästä
- 200 mm
- padotustilanteen indikointi
- tulviminen tulee suunnitella
- pelti kallistettava reippaasti sisäänpäin
- tapauskohtainen suunnittelu huomioiden myös lumi
- korotustarve vaihtelee katon kallistusten, muodon, rakennuksen sijainnin jne. perusteella
- usein pitää olla suurempi
- rakennuksen korkeuden vaikutus korotukseen
- katon lappeen vaikutus korotukseen

## 1.2 Kosteustekniset riskit ja parannusratkaisujen periaatteet

1. Sekä ulkopuolisella että sisäpuolisella vedenpoistolla toimivilla katoilla leveä räystäs vähentää veden ja lumen tunkeutumista yläpohjaan.

1	3	2	6	10
---	---	---	---	----

/22

2. Räystäälle kertyvä jää ja siitä aiheutuvat vesivuodot lisäävät ulkopuolisella vedenpoistolla varustetuilla katoilla ulkoseinän yläosan pakkasvaurioriskiä seinän kastuessa ja jäätyessä toistuvasti useita kertoja. Myös viistosade rasittaa voimakkaasti seinän yläosia.

- a) Vaurioherkkiä julkisivumateriaaleja, kuten puu tai rappaus, käytettäessä tulee suosia leveämpiä räystäitä.

1	2	3	4	5
	1	3	7	10

/21

- b) Myös sisäänpäin kallistetuilla katoilla tulee suosittella leveitä räystäitä.

1	6	6	4	4
---	---	---	---	---

/21

- c) Räystään leveydelle tulee antaa suosituksia myös viistosaderasituksen mukaan.

4	3	9	4	2
---	---	---	---	---

/22

- d) Millaisia suosituksia tulisi esittää?

- suositus, että tulisi käyttää suurempia leveyksiä (yleinen suositus, ei mittoja) 2 vastaajaa
- erikoistapauksista ei pidä antaa ohjeita
- 300 mm pääty- ja 500 mm sivuräystäät ovat minimejä, mutta myös riittäviä
- suuret viistosademäärät → leveämpi räystäs
- räystäät vaikuttavat myös talon ulkonäköön, niitä ei pystytä ehkä vakioimaan ohjeilla
- suositeltava räystään pituus materiaalin ja rakennuksen korkeuden mukaan
- rakennuspaikan ilmasto vaikuttaa
- ylöspäin nousevia räystäitä tulee välttää
- rakennuspaikan ja rakennuksen mittojen vaikutus räystään mitoittamiseen
- mitoitusohjeet räystään leveydelle perusteluineen

3. Sisäpuolisella vedenpoistolla varustettujen kattojen räystäälle jätetään räystäspellin ja seinän ulkopinnan väliin rako katon tuuletusta varten.

- a) Tämä tuuletusrako on usein ongelmallinen kohta vesivuotojen kannalta.

	6	6	6	3
--	---	---	---	---

/21

- ei ole, jos vastapellit ja räystäs kunnossa

- b) Kun räystäs tehdään tiiviiksi ilman tuuletusrakoa ja käytetään seinään asennettuja, hieman seinäpinnasta ulos vedettyjä tuuletusputkia, voidaan tuuletus hoitaa tehokkaasti ja turvallisesti niin ettei lumi ja vesi pääse tunkeutumaan rakenteeseen.

3	6	6	5	2
---	---	---	---	---

/22

- vaatii aina paljon venttiileitä

c) Millaisia muita keinoja tuuletuksen hoitamiseksi niin ettei vesi ja lumi pääse rakenteeseen voidaan esittää?

- tekemällä räystääs niin korkeaksi, että tuuletusrako voi avautua räystäään sisäpinnassa, käytännössä  $h > 300$  mm
- voi käyttää alipainetuulettimia **2 vastaajaa**
- koko katto huomioitava (koko, muoto, mitat)
- tuuletusputket ovat riittämättömiä tuuletuksen järjestämiseksi olemattoman pinta-alan vuoksi
- kunnolla tiivistetyn vastapellin asettaminen seinäpintaan
- katon tuuletus kattopinna kautta (tuuletuselimillä kattopinnan läpi) **2 vastaajaa**
- tuuletus venttiileillä
- monenlaiset piippu- ja kanavajärjestelyt
- koneellinen tuuletus on mahdollinen
- raon muotoilulla ja vastapelleillä on saavutettu hyviäkin tuloksia
- vastapelti
- tuuletus voidaan hoitaa esitetyillä keinoilla, kunhan rakenteet toteutetaan huolellisesti
- Uritetut lämmöneristeet: tuuletus voidaan hoitaa alipainetuulettimilla katolta.
- pääasia, että tuuletus on hoidettu; vesikattojen ongelma usein kattovuodot, räystäältä tuleva häiritsevä yksinään aika harvinainen
- tuuletuskotelot, ilman otto alareunasta
- riittävät vastapellit viistosateen ja sulamisvesien torjumiseksi
- tuuletusraot riittäväksi jotta rakennukseen päässyt vesi poistuu

1.3 Mitä muita kosteusteknisesti huomioitavia asioita räystäistä on syytä esittää ohjeissa?

- rakenteisiin ei saa jäädä liikaa rakennuskosteutta
- miten välttää haitallista kondenssia räystäsrakenteisiin
- vesieriste räystäään ulkoreunaan asti **2 vastaajaa**
- sisäpuolisen vedenpoiston räystääs kallistettava sisäänpäin
- miten järjestää yläpohjan tuuletus harjakaton räystäästä
- Räystääspellit tulee aina kiinnittää kunnollisilla ruostumattomilla kuusiokanta ruuveilla porareikään, jonka voi kunnolla tiivistää. Huolto on myös nopeaa ja helppoa kun aukaisu ja kiinnitys voidaan tehdä ruuvikoneella. Kun käytetään porareikää ei tule painanteita pellin kiinnityskohtaan.
- seinän tuuletusraon ilmankierto on järjestettävä toimivaksi (esim. yläpohjan lämmöneristettä ei saa katkaista)
- talon suojan puolelle syntyvä imu voi imeä lunta (pulverilumi) tai vettä ullakolle
- tämä on rakennesuunnittelijan asioita
- hyväksi koetut rakennedetailit tulisi esittää kansantajuisesti
- väärät rakennedetailit jotka ovat yleisesti käytössä tulisi esittää ja perustella

## 2 PERUSMUURIN JA SEINÄRAKENTEEN LIITOS

### 2.1 Kosteusteknisen toimivuuden yleinen arviointi ja parantamistarpeet

Yleisiä vaatimuksia:

Kapillaarinen veden nousu seinärakenteeseen estetään mm. toimivalla salaojituksella, joka poistaa vajovedet nopeasti peruskaivantojen täyttökerroksista. Perusvedet pidetään riittävän alhaalla käyttäen salaojitusta aina, kun pohjavesi ei ole pysyvästi kuivatettavan tason alapuolella ja pohjamaa hyvin vettä läpäisevää maalajia, kuten soraa.

Pintavesien ja vajovesien määrän vähentämiseksi maanpinta tulee kallistaa rakennuksesta ulospäin vähintään kaltevuudella 1:20 noin kolmen metrin etäisyydelle seinäpinnasta. Maan pintakerroksen alle on syytä tehdä vettä pidättävä kerros. Kattovedet on syytä johtaa kauemaksi esimerkiksi betonikouruja käyttäen. Maan pintakerros on syytä tehdä sellaisesta materiaalista, etteivät roiskevedet liikaa seinäpintaa.

- kaltevuus 1:20 ei ole riittävä, pidemmän päälle

1. Mikä on riittävä minimiarvo sokkelin yläpinnan ja maanpinnan väliseksi korkeuseroksi?

$< 200$ mm	
200 - 300 mm	<b>1 vastaajaa</b>
300 - 400 mm	<b>7 vastaajaa</b>
400 - 500 mm	<b>4 vastaajaa</b>
500 - 600 mm	<b>7 vastaajaa</b>
$> 600$ mm	

- tulee puhua lattian ja ympäröivän maanpinnan korkeuserosta
- puu + tiili 500 mm, muut 300 mm
- 500 - 1000mm - 1500mm

2. Millaisissa olosuhteissa tarvitaan suurempi korkeusero ja mikä olisi tällöin suositeltavampi korkeusero?

- iso rinne vettä tuomassa
- pohjoisen puoli, tiivis jääkuori, lumien sulaminen **3 vastaajaa**
- rinneratkaisujen periaatteet tulee esittää
- tuulettuvat alapohjat
- vastarinteeseen päin olevat sokkelit **2 vastaajaa**
- $> 500$  mm sellaisissa paikoissa joihin lumi kinostuu **2 vastaajaa**
- ei tarvita, jos maanpinta on 1:20 kaltevuudessa pois päin eikä seinänvieressä ole vettä kerääviä painanteita tai istutuksia
- vastarinne 500 mm
- riippuu sokkelileikkauksesta
- lattia nostettava riittävän ylös maanpinnasta, meillä tehdään talot aivan liian alas

- kun maanpinta on tiivis, esim. asfaltti 1000mm
- maanpinnan korkeuden vaihdellessa, jotta minimi säilyisi
- herkkä seinämateriaali
- vahva lumipeite 2 vastaajaa
- mitä kosteampi rakennuspaikka sen suurempi tasoero
- alustatilan maanpinnan tulisi olla ylempänä kuin maanpinta ulkopuolella
- Itä- ja Pohjois-Suomessa kaikkialla suositeltava mitta >500mm

3. Mikä olisi sopiva vähimmäisarvo julkisivun alapään etäisyydelle maanpinnasta seuraavilla julkisivumateriaaleilla?

	<300	300	400	500	>500
a) puu-ulkoverhous		5	6	6	3
b) kuorimuuraus		8	4	7	1
c) rapattu pinta		8	4	6	2
d) teräsulkoverhous		9	5	5	1

4. Betonisen ulkoseinäelementin (betonisandwich tai kuorielementti) ja sokkelin liitos on kosteusteknisesti toimiva ja melko riskitön mikäli ulkokuoren sisäpintaan kertyneen kosteuden poisto hoidetaan sekä sokkelihalkaisun yläpuolelta että pohjasta.

	1	2	3	4	5
	4	3		11	4

/22

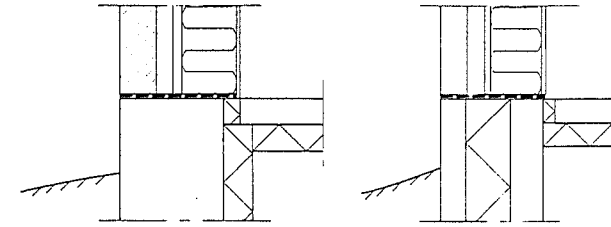
Perustelut/parannustarpeet:

- veden pysäyttäminen lattiatasoon saattaa aiheuttaa ongelmia lattianrajassa
- saumojen tiiviys vaikuttaa oleellisesti asiaan 2 vastaajaa
- tuuletus huomioitava 2 vastaajaa
- vedenpoisto/ tuuletusurat sokkelin lämmöneristeen ulkopintaan
- betonisandwich -elementti on riskialtis rakenne itsessään
- ulkokuoren sisäpintaan ei ole syytä päästää kosteutta
- eristeeseen kertynyt kosteus haihtuu seinän osalta, eikä valu sokkelihalkaisuun
- sokkelihalkaisuun kosteus pääsee myös halkaisun pohjasta
- sokkelihalkaisun kosteudenpoisto ulospäin on teknisesti vaikea toteuttaa

5. Sokkelihalkaisussa on suositeltavaa käyttää lämmöneristemateriaalina solumuovia.

	1	1	2	11	5

/20



Perustelut:

- solumuovi on käytännössä osoittautunut tähän sopivaksi ja kosteusteknisesti toimivaksi
- pyritään johtamaan vesi jo ylempää ulos, sokkelin eriste voi olla tiiviimpi
- veden pysäyttäminen lattiatasoon saattaa aiheuttaa ongelmia lattianrajassa
- solumuovi ei ime kosteutta
- oikein suunnitellussa ratkaisussa kaikki lämmöneristeet toimivat hyvin
- saadaan lämmön- ja kosteudeneriste samalla materiaalilla
- veden vaikutus lämmöneristyskykyyn pienempi kuin mineraalivillalla 2 vastaajaa
- aika tunteeton kosteudelle
- ei käytännössä homehdu
- riittävän lujilla levyillä onnistumismahdollisuus hyvä
- ei pääse keräämään vettä rakennusaikanaan
- huokein materiaali, joka kestää valupaineet 2 vastaajaa

6. Perusmuurin lämmöneristys on syytä sijoittaa aina sokkelihalkaisuun.

	1	2	3	4	5
	4	4	4	5	4

/21

7. Millaisia ohjeita perusmuurin lämmöneristeen paikasta ja materiaalista tulee antaa?

- lämpötekisesti ulkopinta on paras paikka, toki julkisivumateriaali on syytä huomioida!
- tärkeintä on kylmäsiltojen välttäminen ja riittävä lämmöneriste 2 vastaajaa
- suhteellisen yleisiä, rakennuskohtaiset erityisratkaisut mahdollisia, kun kosteustekniset tarkastelut tehdään huolella
- sokkelihalkaisu on selkeä yleisratkaisu, yleensä vähän riskejä
- muovilevyä
- sokkelihalkaisussa liittyy parhaiten seinän eristeisiin



- toimiviksi todettuja rakennemalleja
- routasuojaus, (vrt. uudet ohjeet) materiaalista riippuvainen

8. Maanpinnan alapuoliselle osalle sokkelin ulkopintaan on syytä tehdä kosteudeneristys, esimerkiksi bitumisively, vähentämään maakosteuden kapillaarista imeytymistä rakenteeseen.

1	2	3	4	5
1	1		11	8

/21

9. Mitä muita tapoja perusmuurin ulkopinnan kosteuden eristämiseksi voidaan esittää?

- perusmuurilevy oikein asennettuna on jopa parempi kuin bitumointi **6 vastaajaa**
- riippuu kosteusrasituksesta + maanpinnan/lattian korkeussuhteista
- riippuu sokkelin rakenteesta, onko ulkokuoren kastumisesta haittaa
- myös tuuletusraallinen kosteudensulkulevy mahdollinen **5 vastaajaa**
- katkaistaan kosteuden kapillaarinen nousu alhaalta ylös anturan ja sokkelin liitoksesta
- vaativissa kohteissa kermieristys
- perusmuurilevyn viereen kunnolla vettä läpäisevä täyttö
- täyttösoran laatu huomioitava
- salaojitus
- kosteussuojan täydennyksenä voi käyttää erilaisia sokkelilevyjä, kunhan muistaa että bitumisively muodostaa varsinaisen kosteudeneristyksen
- kermieristys tai oikaisurappaus ja patolevy, betonissa ei välttämätön
- muovilevyt **2 vastaajaa**
- vedeneristyskermillä **3 vastaajaa**
- kumimatto, jossa kuviointi sisäänpäin
- karkea sora
- paikka voi olla pystysuunnassa routaeristeen ulkopinnassakin riippuu tapauksesta

10. Sokkelihalkaisuun lämmöneristeen ulkopuolelle on syytä järjestää tuuletusrako.

5	6	6	3	1
---	---	---	---	---

/21

11. Sokkelihalkaisun pohjaan on aina tehtävä sinne johtuneen veden ulospääsyn mahdollistavat reiät.

2	2	1	5	11
---	---	---	---	----

/21

- materiaalin huomiointi, mineraalivilla
- veden pääsy pitää estää
- solumuovi ei ime kosteutta

## 2.2 Kosteustekniset riskit ja parannusratkaisujen periaatteet

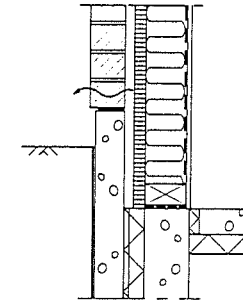
1. Sokkelin ulkopuolisissa pystysaumoissa saattavat muodonmuutokset aiheuttaa halkeamia, jolloin kosteutta pääsee sokkelihalkaisuun.

Laastisauman päälle on syytä liimata joustava kumibitumimattokaista.

1	2	3	4	5
	3	6	7	5

/21

- perusmuurilevy
- kunnan kittisauma ja patolevy



2. a) Jos puurunkoisella seinällä perusmuurin ulkokuori joudutaan nostamaan sisäkuorta ylemmäksi (ns. valesokkeli), vaikeutuu puurungon alapään kuivuminen huomattavasti.

1	3	4	4	9
---	---	---	---	---

/21

- riippuu maanpinnan korkeudesta

b) Kun käytetään valesokkeliä ja maanpinta on samalla tasolla tai ylempänä kuin lattia, saattaa alussoiroon kerääntyä merkittävästi kosteutta.

		2	7	12
--	--	---	---	----

/21

c) Rakenne on erittäin herkkä työvirheille.

		2	6	13
--	--	---	---	----

/21

d) Rakennetta on vaikea tarkastaa tai korjata.

		2	5	14
--	--	---	---	----

/21

- e) Käyttämällä riittävän leveää tuuletusrakoa valesokkelin ja puurungon välissä, varmistamalla seinän tuuletusraosta tulevien vesien pois pääsy sekä järjestämällä tuuletus toimivaksi valesokkelin yläpäässä voidaan alussoiron tuuletus hoitaa niin, ettei kosteutta haitallisessa määrin keräänny alussoiroon.

1	2	3	4	5
3	5	4	7	2

/21

- erillinen tuuletusrako, jota laasti ei tuki
- räystäät ja tuuletus tärkeitä
- kermikaista soiron alla

- f) Kun maanpinta on samalla tasolla tai ylempänä kuin lattia tarvitaan maanpinnan alapuoliselle osalle sokkelin ulkopintaan aina kosteudeneristys.

		2	7	12
--	--	---	---	----

/21

- patolevy
- kermieristys suositeltava
- vedeneristys

- g) Sokkelihalkaisuun lämmöneristeen ulkopuolelle tulee tällöin järjestää tuuletusrako.

2	3	8	4	3
---	---	---	---	---

/20

- patolevy
- miten?
- mihin se alapäästään tuulettuu? 2 vastaajaa

3. Maakosteuden nousu muurukseen tai puurakenteisiin estetään käyttämällä aina kosteudeneristystä, esimerkiksi bitumikermiä, sokkelin ja muuruksen tai puurungon välissä.

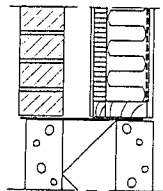
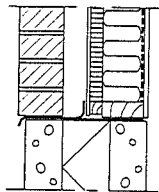
			1	19
--	--	--	---	----

/20

- a) Lisäksi on tarpeellista asentaa kerros, esimerkiksi bitumihoopa, johtamaan vettä pois seinärakenteesta.

	2	2	3	14
--	---	---	---	----

/21



- b) Pitääkö tämä vettä seinärakenteesta pois johtava kerros nostaa tuuletusraossa jonkin matkaa ylös vai viedä sokkelin yläpinnan suuntaisesti koko seinärakenteen matkalla?

Pitää nostaa ylös, tuulensuojan taakse 3 vastaajaa  
Pitää nostaa ylös 10 vastaajaa  
ei ylösnostoa 3 vastaajaa  
tarvitaanko sitä? 1 vastaajaa

Miksi?

- näin varmistetaan, että tuuletusraossa alas valuva vesi johdetaan ulos rakenteesta
- esim. muuraus ei ole koskaan tiivis, tuuletusrakoon voi tulla vettä ämpärikaupalla, vesi on johdettava ulos jotenkin
- toimii vedenohjaimena, jos tuulensuojalevyn päällä valuu vettä
- sokkelin pinnan suuntaisesti saattaa johtaa kosteutta alajuoksuun 5 vastaajaa
- tippuva laasti tukkii vedenpoiston ja tuuletuksen
- sokkelin pinnan suuntaisesti, mutta pinta kallistetaan ulospäin
- sokkelin pinnan suuntaisesti, mutta kuorimuuri pitää porrastaa alemmas 2 vastaajaa
- parempi nostaa ylös, jotta vesi ei pääse puuseinärakenteeseen 2 vastaajaa
- ei ylösnostoa, koska se estää alajuoksuun kuivumisen 2 vastaajaa
- Jos on hoidettu niin, että vuotovesi valuu vain julkisivun takapintaa pitkin pikku nostosta on hyötyä. Ellei, voi olla haittaakin.
- ylösnostoa ei tarvita, koska välitiila on jo suunniteltava niin, että siellä ei ole vettä, vesihöyryt poistetaan tuuletuksella, maakosteus poistetaan kaistalla
- mahdollisuus veden keräytymiseen rakenteeseen pienenee ilman merkittäviä lisäkustannuksia

- c) Kuinka korkealle bitumihoopa voidaan nostaa tuuletusraossa niin, ettei alussoiron kuivuminen vaikeudu?

- ~ 100 mm 3 vastaajaa
- pitäisi olla kuivumismahdollisuus
- 50 mm 3 vastaajaa
- alussoiron kohdalle ei saisi ulottua
- soiron korkeuden verran
- ei yhtään
- vain vähän, muutama sentti 2 vastaajaa
- 100 - 150mm
- voi myös limittää tuulensuojapinnan alle
- 25 mm

4. Maanvaraista betonilattiaa käytettäessä puurungon alussoiron on aina oltava lattiatason yläpuolella.

1	2	3	4	5
1	1	2	5	12

/21

5. Puurungon alussoiro voi olla muutakin kuin painekyllästettyä puuta.

1	2	3	4	5
1	1	2	10	7

/21

Jos voi niin mitä muuta?

- normaalia kuusisahatavaraa käsiteltynä puunsuoja-aineella
- puuta, kun kuivumiskyky riittää
- terästankoa
- **kyllästämätönkin puu käy jos rakenteet ovat muutoin asialliset ja bitumikermi alla 8 vastaajaa**
- pieni käyttöiän varmistus esim. uudella lämpökäsittelyllä saattaisi olla riittävä
- tavallista rakennesahatavaraa
- hinnanero huomioiden ei kannata säästää
- painekyllästys ei auta homeongelmaan, kyllästyksellä ajatellaan hoidettavan ongelma

6. Kuorimuuri pitää porrastaa alusjuoksua alemmalle tasolle.

3	3	5	5	4
---	---	---	---	---

/20

7. Kosteudelle alttiiden levyrakenteiden alapää tulee aina jättää irti perusmuurista tai muista vaakapinoista.

1	1	2	8	9
---	---	---	---	---

/21

- *kosteutta kestävämmiä materiaaleja ei tule käyttää*

8. Tiiliverhoukseen jätetään alimpaan tiilikerrokseen joka kolmas pystysauma auki tuuletuksen ja vedenpoiston varmistamiseksi.

	1		5	13
--	---	--	---	----

/19

- *joka toinen sauma*

a) Pystysaumoja on edullista jättää avoimeksi myös hieman ylempänä rakenteessa.

6	3	7	3	2
---	---	---	---	---

/21

b) Mitä ongelmia tästä voi syntyä?

- *niistä saattaa päästä vettä sisään seinään 7 vastaajaa*
- *joka kolmas sauma ei edes riitä, muuraus ei ole koskaan tiivis, antaa tuulettua reihusti 2 vastaajaa*
- *lumi saattaa tunkeutua*
- *tuuli ja vesi tunkeutuu seinän sisälle*
- *tällöin hyväksytään, että tuuletusraon alapää saa täytyä laastista (estettävä)*
- *esteettisiä ja sadevesireikiä 2 vastaajaa*
- *riittävän leveä tuuletusrako ja varmistus, että sitä ei laastilla tukita, sekä ylä- ja alapää auki kierron varmistamiseksi*

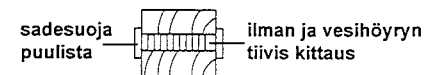
- *hormivaikutus menee sekaisin*

### 2.3 Mitä muita kosteusteknisesti huomioitavia asioita perusmuurin ja seinärakenteen liitoksesta on syytä esittää ohjeissa?

- *vesi, jota kuitenkin tulee, tulee johtaa ulos*
- *patolevy tulee nostaa aina maanpinnan yläpuolelle ja verhota esimerkiksi sepelillä*
- *riittävä tuuletus huomioitava aina*
- *märkätilojen kohdilla ja maanpinnan ollessa lattiaa ylempänä on puurunko syytä nostaa lattiatasosta esim. 200-400mm ylempäs*
- *ei saa täyttää muurauslaastilla ilma-alaosaa*
- *harkot on aina käsiteltävä, käsittelemättömät imevät vettä ja rapautuvat*
- *kosteuden nousu perustuksista, katkot salaojitustasot liian ylhäällä RIL:n normeissa*
- *hyvät perusdetaljit perusteluineen*

## 3 IKKUNAN JA SEINÄRAKENTEEN LIITOS

### 3.1 Kosteusteknisen toimivuuden yleinen arviointi ja parantamistarpeet



1. Ikkunan karmin ja seinän välisessä liitoksessa on kosteusteknisesti turvallista käyttää kaksivaihettiivistyksen periaatetta.

1	2	3	4	5
		2	5	13

/20

2. Mikä on mielestänne seuraavien ikkunan karmin ja seinän välisten tiivistysvaihtoehtojen toimintavarmuus arvoasteikolla 1-5?  
 (1 = riskialtis kaikissa olosuhteissa  
 2 = riskialtis ainoastaan voimakkaissa rasitusoloissa  
 3 = en ota kantaa  
 4 = riskitön vaihtoehto lähes kaikissa olosuhteissa  
 5 = riskitön vaihtoehto kaikissa rasitusoloissa)

- a) Lämmöneristeenä käytetään koko sauman leveydeltä polyuretaania ja sisäpinnassa on pelkkä puulista.

1	2	3	4	5
8	5	2	5	1

/21

- b) Lämmöneristeenä käytetään koko sauman leveydeltä polyuretaania, puulistan lisäksi sisäpintaan ulotetaan seinän höyrynsulku.

5	6	3	5	2
---	---	---	---	---

/21

– tuskin saadaan kovin tiiviisti

- c) Lämmöneristeenä käytetään koko sauman leveydeltä polyuretaania, sisäpinnassa on elastinen kittaus ja puulista.

3	7	3	5	3
---	---	---	---	---

/21

- d) Polyuretaania käytetään lämmöneristeenä sauman sisäosassa ja mineraalivillaa ulko-osassa, sisäpinnassa on pelkkä puulista.

1	5	4	9	2
---	---	---	---	---

/21

- e) Polyuretaania käytetään lämmöneristeenä sauman sisäosassa ja mineraalivillaa ulko-osassa, puulistan lisäksi sisäpintaan ulotetaan seinän höyrynsulku.

1	1	5	9	5
---	---	---	---	---

/21

- f) Polyuretaania käytetään lämmöneristeenä sauman sisäosassa ja mineraalivillaa ulko-osassa, sisäpinnassa on elastinen kittaus ja puulista.

1	1	3	8	8
---	---	---	---	---

/21

- g) Lämmöneristeenä käytetään koko sauman leveydeltä mineraalivillaa, puulistan lisäksi sisäpintaan ulotetaan seinän höyrynsulku.

	1	5	9	6
--	---	---	---	---

/21

– mineraalivillaa tai pellavaa

- h) Lämmöneristeenä käytetään koko sauman leveydeltä mineraalivillaa, sisäpinnassa on elastinen kittaus ja puulista.

1		2	11	7
---	--	---	----	---

/21

– mineraalivillaa tai pellavaa

3. Jos saumassa käytetään ulkopinnassa elastista kitasta, on se aina varustettava tuuletusputkilla.

		5	9	7
--	--	---	---	---

/21

4. Mistä seuraavista ikkunapellityksiin liittyvistä kohdista on syytä antaa yksityiskohtaisia ohjeita, jotta niistä aiheutuilta seinien kosteusriskeiltä vältyttäisiin? (Ympyröi sopivat vaihtoehdot)

- a) vesipellitusten kaltevuus 17  
 b) vesipellitusten liitos ikkunakarmiin 17  
 c) pellitysten ja seinän päätyliitos 18  
 d) pellitysten jatkoskohdat 14  
 e) vesipellin etäisyys seinäpinnasta 18  
 f) tippanokka suuruus 12  
 g) muu mikä?

– oikeat kiinnitystavat

– pellitysten ja seinän päätyliitos on tärkeämpi kuin yleensä luullaan

– ei jatkoksia pellityksiin

– vesipellin kaltevuus >1:3, vesipellitusten liitos ikkunakarmiin ruuvein tai vastaavin, pellitysten ja seinän päätyliitos sekä vesipellin etäisyys seinäpinnasta materiaaliikohtainen, pellitysten jatkoskohdat nostetut

Millaisia ohjeita näistä kohdista on syytä antaa?

– minimi 4 vastaajaa

– yllättävän paljon ongelmia aiheutuu näistä yksityiskohdista, vaikka esim. riittävä kaltevuus ja nurkkien tiivistys pitäisi olla kaikkien tiedossa → ongelmat ovat enemmän laadunvarmistuksessa

– detaljikuvat 5 vastaajaa

– detaljin tiiveyden oltava tehtäessä työmaaolosuhteissa ja riittävät kallistukset jotta vesi pääsee luonnostaan nopeasti pois pinnoilta

– minimi vesipellitusten kaltevuudesta ja vesipellin etäisyydelle seinäpinnasta

– ainakin maininnat, että näillä asioilla on merkitystä ja että ne on esitettävä suunnitelmissä

– veden valumisen ja ohjaamisen kannalta johdonmukaisia

– ks. RT-kortti

– ns. myrskypeltiä tarvitaan tietyissä tilanteissa

– esimerkkipiirros = hyvä rakennustapa

### 3.2 Kosteustekniset riskit ja parannusratkaisujen periaatteet

1. Polyuretaanisauva sopii myös sellaisiin rakenteisiin, joissa esiintyy sadevesivuotoja seinärakenteen sisään esimerkiksi betonielementtirakenteiden saumoista.

1	2	3	4	5
9	4	6	1	

/20

2. Polyuretaanisauuma vaikeuttaa merkittävästi ympäröivien karmi- ja seinärakenteiden kuivumista.

1	2	3	4	5
1	4	4	5	7

/21

3. Ikkunan ja erilaisten seinärakennetyyppien (puuseinä, muurattu seinä, betonielementtiseinä) väliselle liitokselle on syytä antaa keskeiset ongelmakohdat huomioon ottavia ohjeita kullekin liitokselle erikseen.

	2	4	6	9
--	---	---	---	---

/21

Millaisia ohjeita tulisi antaa?

- hyviä ja jo etukäteen
- rakenneleikkaus
- suunnittelun periaatteet lyhyesti **2 vastaajaa**
- suhteutettuja kostumisvaaraan ja kuivumismahdollisuuteen. Miksi muuten polyuretaania pitäisi tunkea paikat täyteen? Purkuilanteissa on nähty, että se on mennyt miten sattuu eikä läheskään aina ollenkaan täyttänyt tehtävänsä
- vedenpoisto, kuivumisen mahdollistava rakenne, kunnossapidettävä ratkaisu
- jos on kokemuseräistä tietoa...
- saumaus, raon leveys: ikkunan dimensiot suhteessa aukon dimensioihin, liittymädetaljit
- toimivia rakennemalleja, jotka on mahdollisia toteuttaa työmaaolosuhteissa (perustelut) **2 vastaajaa**

4. Ikkunan puurakenteiden muodonmuutokset lisäävät ratkaisevasti sauman ilmanvuotoriskiä.

1	7	2	8	3
---	---	---	---	---

/21

- tämän takia pitää sisäpinnassa aina käyttää höyrynsulkua
- riippuu rakenteesta
- riippuu tiivistysratkaisusta

5. Ikkunakarmin ja seinärakenteen tiivistämisen helpottamiseksi seinärakenteeseen tarvitaan yhtenäinen apukarmi.

1	4	3	8	5
---	---	---	---	---

/21

6. Kivirakenteisilla seinillä voidaan apukarmina käyttää muutakin materiaalia kuin painekyllästettyä puuta.

1	2	6	7	4
---	---	---	---	---

/20

Mitä muita materiaaleja ?

- muovi, ehkä??
- teräs **2 vastaajaa**
- tavallinen sahatavara, jos sijoitetaan lämmöneristeen sisäosaan
- edellytys, että vuotovedet ikkunan yläpuolelta johdetaan apukarmin ja ikkunan karmin ulkopuolelle

- betonin muotoilua, metalleja
- tavallista puuta
- painekyllästämätöntä puuta voi käyttää, mikäli sen kuivuminen on varmistettu (mineraalivillaeristys)
- apukarmin ei tarvitse olla enempää kuin saumauksen ja kiinnittämisen kannalta riittävän leveä

Entä voidaan käyttää painekyllästämätöntä puuta?

- voidaan käyttää mitallistettua kuusisahatavaraa
- betonirakenteissa ei
- ei ole syytä käyttää **4 vastaajaa**
- voidaan **5 vastaajaa**
- painekyllästetystä tulisi luopua ympäristösyistä (ja imago-). Tilalle jotain muuta, esim. lämpökäsiteltyä
- riippuu tapauksesta, ikkunan sijoituksesta
- kyllä, kosteusasiat hoidettava muuten kuin painekyllästämällä

7. Teräs-, alumiini- ja muovirakenteisten ikkunoiden ja seinärakenteen väliselle liitokselle on syytä esittää puuikkunoiden ohjeiden lisäksi yksityiskohtaisia ohjeita esimerkiksi saumarakenteista, kiinnityksistä ja saumausmateriaaleista.

1	2	3	4	5
	1	7	6	7

/21

Millaisia ohjeita tulisi esittää?

- esim. yläpään detalji on usein sattumanvarainen, turhaa kitata
- vastaavia kuin puuikkunoille
- miten mm. kylmäsilat vältetään
- esim. liikkeet (erot puurakenteisiin)
- järjestelmän toimittaja tietää **2 vastaajaa**
- saumaus-, apukarmi- ja tiivistysdetaljit
- periaatteellisia

8. Tilkkeen ja peitelistan väliin jätettävä ilmarako helpottaa karmin kuivumista.

	3	3	11	4
--	---	---	----	---

/21

- ei ole tarpeen
- jos se oikeasti tuulettuu
- miksi karmi on kostea?

9. Betonisandwich –elementin sisään joutunut kosteus voidaan poistaa ikkunakarmin päältä haittava aiheuttamatta tuuletusputkia käyttäen.

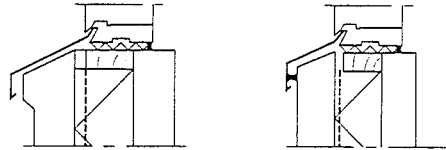
1	2	3	4	5
2	6	2	7	2

/19

- ei saa päästää karmin asti
- ei ehkä riitä

10. Mitä muita kosteusteknisesti riskittömiä ratkaisuja voidaan esittää kosteuden poisjohtamiseksi betonisandwich -elementistä ikkunakarmin päältä?

- kittaus pois yläkarmista, annetaan reilusti tuulettua
- tuuletettu eriste
- pellitykset
- runsas saderasitus: apukarmin vedeneristys ja yläpinnan kallistus ulospäin sekä tuuletusputket
- pelti + rako
- ikkunan sijoittaminen
- betonisandwich on itsessään riskialtis ratkaisu



11. Elementin ulkopinnan muotoilu ja yläpäähän riittävä kaltevuus estävät lumen ja veden pääsyn ikkunan vesipellin alta seinärakenteeseen.

2		2	12	5
---	--	---	----	---

/21

12. Voimakkaalle viistosaderasitukselle altistuvilla seinillä tarvitaan vesipellin alle kittaus.

3	7	2	9	
---	---	---	---	--

/21

- vastapelti 5 vastaajaa
- kittaus estää seinän tuuletuksen 2 vastaajaa
- leveämmät vesipellit
- tuuletus pitää huomioida 2 vastaajaa

- 3.3 Mitä muita kosteusteknisesti huomioitavia asioita ikkunan ja seinärakenteen liitoksesta on syytä esittää ohjeissa?

- miten betonisandwich -seinän eristeen tuuletus on järjestettävä ikkunan ylä- ja alapuolelle
- muiden seinärakenteiden tuuletus ikkunan ylä- ja alapuolella
- vuotovesien poisto ikkunan päältä yleisesti
- eristetilojen tuuletus
- ulkoseinärakenteen tuuletus, materiaalien liikkuminen ja vanheneminen
- oikeat detaljit perusteluineen
- listoituksen ja vesipeltien dimensiot
- hyväksyttävät tiivistys ja saumausrakenteet

#### 4 BETONIELEMENTTIRAKENTEET

##### 4.1 Saumat

##### 4.1.1 Kosteusteknisestä toimivuudesta yleinen arviointi ja parantamistarpeet

1. Betonielementtien saumauksessa käytetty yksivaiheisesti kittisauma on riskialtis ja pienetkin halkeamat ja raot saumassa aiheuttavat veden tunkeutumista seinärakenteeseen.

1	2	3	4	5
	2	3	9	7

/21

2. Sauma on altis työvirheille ja sen laatu riippuu suuresti saumaolosuhteista ja työn huolellisuudesta.

	1	1	10	9
--	---	---	----	---

/21

3. Saumojen kunto on helppo tarkistaa ja saumat on helppo korjata.

2	5	3	8	3
---	---	---	---	---

/21

- ei ole helppo tarkistaa, vaan iso työ
- jää tekemättä

4. Onko olemassa joitakin tiettyjä rasisolosuhteita, jolloin pitäisi suositella kaksivaiheisesti tai jotakin muuta tiivistystapaa ja mitkä nämä rasisolosuhteet ovat?

- korkeat rakennukset, klinkkeripinnat
- vaikeissa olosuhteissa 2-komponenttikitti?
- voimakas viistosaderasitus 2 vastaajaa
- mieluummin sauma voi olla heppoinen kunhan vesi pääsee hyvin pois: vrt. tuulettu betonisandwich -rakenteet
- en tiedä rasisolosuhteista, mutta markkinoilla tulisi olla muitakin vaihtoehtoja
- meren ja järvenselkien rannat
- aina

5. Mikä on mielestänne seuraavilla rasitus- ja rakenneyhdistelmillä yksivaiheittivistettyjen saumojen toimintavarmuus asteikolla 1-5?

- ( 1 = saumoihin liittyy suuri kosteustekninen riski  
 2 = saumoihin liittyy melko suuri kosteustekninen riski  
 3 = en ota kantaa  
 4 = saumat toimivat melko riskittömästi  
 5 = saumojen toiminta on riskitöntä)

- |  |   |    |   |    |   |     |
|--|---|----|---|----|---|-----|
|  | 1 | 2  | 3 | 4  | 5 |     |
| a) voimakas viistosaderasitus, betonipinta, tuulettumaton rakenne                            | 6 | 10 | 1 | 4  |   |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |
| b) voimakas viistosaderasitus, imukykyinen ulkopinta (tiililaatta), tuulettumaton rakenne    | 6 | 10 | 2 | 3  |   |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |
| – pakkasen kestävät tiililaatat  |   |    |   |    |   |     |
| c) voimakas viistosaderasitus, imukyvytön ulkopinta (klinkkerilaatta), tuulettumaton rakenne | 8 | 10 | 2 |    | 1 |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |
| d) voimakas viistosaderasitus, betonipinta, tuulettuva rakenne                               | 1 | 4  | 4 | 10 | 1 |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |
| e) voimakas viistosaderasitus, imukykyinen ulkopinta, tuulettuva rakenne                     | 1 | 5  | 8 | 6  | 1 |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |
| f) voimakas viistosaderasitus, imukyvytön ulkopinta, tuulettuva rakenne                      | 2 | 4  | 6 | 7  | 2 |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |
| g) tavanomainen viistosaderasitus, betonipinta, tuulettumaton rakenne                        | 2 | 8  | 4 | 7  |   |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |
| h) tavanomainen viistosaderasitus, imukykyinen ulkopinta, tuulettumaton rakenne              | 2 | 10 | 5 | 4  |   |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |
| i) tavanomainen viistosaderasitus, imukyvytön ulkopinta, tuulettumaton rakenne               | 2 | 13 | 2 | 4  |   |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |
| j) tavanomainen viistosaderasitus, betonipinta, tuulettuva rakenne                           | 1 | 2  | 3 | 13 | 2 |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |
| k) tavanomainen viistosaderasitus, imukykyinen ulkopinta, tuulettuva rakenne                 | 1 | 2  | 5 | 11 | 2 |     |
|  |   |    |   |    |   | /21 |

l) tavanomainen viistosaderasitus, imukyvytön ulkopinta, tuulettuva rakenne

1	2	3	4	5
1	3	4	11	2

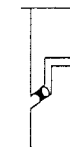
/21

6. Mihin em. rasitus- ja rakenneyhdistelmistä tarvitaan saumojen toimintavarmuuden varmistamiseksi erityisratkaisuja?

- kohta a            1 vastaaja  
 kohta b            1 vastaaja  
 kohta c            3 vastaajaa  
 kohta i            2 vastaajaa
- kaikkien elementtisaumojen tulee olla tiiviitä    2 vastaajaa
  - saumojen osalta riski on korjausten laiminlyönti
  - kaikkiin paitsi j ja k
  - a - c, g - i
  - betonielementtien saumat pitäisi kehittää kokonaan uudelleen saderasituksesta riippumatta

7. Millaisia erityisratkaisuja?

- porrastettu vaakasauma    2 vastaajaa
- elementtipinnan muotoilu
- saumavuotoveden poisjohtamisratkaisut
- miksi suunnitellaan tuulettumattomia rakenteita?
- pystysaumojen kaksivaiheittivistys



#### 4.1.2 Kosteustekniset riskit ja parannusratkaisujen periaatteet

1. Ulkokuoren vaakasaumassa käytettävä porrastettu avosauma on kosteusteknisesti riskitön ratkaisu.

2	4	5	8	2
---	---	---	---	---

/21

- riippuu saderasituksesta sekä tuuletusratkaisusta
- saattaa olla mutta ei tarpeellinen
- riskittömiä ratkaisuja ei ole

2. Tarvitaanko em. saumassa elastista saumasmassaa ja jos tarvitaan niin milloin?

- parempi on tehdä suoria 1-vaiheittivistyksiä hyvin kuin yrittää konstailla 2-vaiheysteemeillä, hammastetuilla jutuilla yms., jotka tuskin onnistuvat edes yhtiä hyvin ja siältävät kosolti muita riskejä
- kun on voimakas viistosaderasitus tai klinkkeripinta
- aina    3 vastaajaa
- tarvitaan, jos tuulettumaton rakenne    2 vastaajaa

- tarvitaan silloin, kun se on välttämätön estämään viistosadeveden nousun saumasta sisään
- tässä jokin saumaan painettava nauha voisi olla hyvä
- sauma tulee muotoilla niin ettei tarvita
- korkeat rakennukset, avoin maasto
- ei ole tuultu riittävästi, kittaus toistaiseksi syytä tehdä
- voimakkaassa saderasituksessa, mutta rakenteen tuulettumisesta on huolehdittava
- ilmanpitävyys tuulettumattomissa rakenteissa

3. Sisäkuoren ilman- ja höyrytiiviyden lisäämiseksi on sisäkuoren saumat syytä tiivistää elastisella saumaussmassalla.

1	2	3	4	5
2	6	3	2	8

/21

- jokin ponttimuoto syytä olla

4. Tuuletusputket ulkokuoren saumoissa aiheuttavat mahdollisesti veden tunkeutumista niiden kautta seinärakenteeseen.

3	11	1	6	
---	----	---	---	--

/21

5. Milloin näin voi tapahtua?

- seinän pintaan päätyvät **6 vastaajaa**
- väärin kaltevat **2 vastaajaa**
- suuri saderasitus
- virheellinen asennus (pituus, kaltevuus, koko) **6 vastaajaa**
- kiitti ei ota kiinni putkeen **2 vastaajaa**
- säännöllinen tarkastus ja huolto

6. Millaisilla rakenteellisilla parannuskeinoilla saumojen kosteusteknistä toimintavarmuutta voitaisiin parantaa?

- nyt tiedetty hyvä saumuskäytäntö riittää
- tarkastukset kuntoarvioinnin yms. yhteydessä määräväleihin
- saumojen uusiminen jonkin verran ennenaikaisesti
- ponttisauma
- saumojen rakenteellisella suunnittelulla, muotoilu (vaakasauja) **2 vastaajaa**
- 2-komponenttikiteillä ja kun saumaus suoritetaan poutasäällä lämpötilan ollessa >5°C kuivaan puhdistettuun pintaan
- tuuletusputkia tulisi lisätä, samoin niiden pinta-alaa
- Suomi taitaa koko maailmassa olla ainoa (paitsi ehkä itäblokki) maa, jossa yksivaihesaumamat ovat näin yleisessä käytössä, pitäisikö kehittyä vähäisen?
- tuuletusväli
- UV-säteilyn kestävä massat
- tiivistysmassojen tilalle nauhat

- kaksivaihetiivistys
- ulkokuoren tuuletuksen/vedenpoiston parantaminen
- erilliskuoret selvällä tuuletusraolla
- tuulettuva rakenne
- porrastettu sauma
- koko rakenteen miettiminen (tuuletus, saumaus, pintamateriaalit, eriytetyt julkisivut)

## 4.2 Tavanomainen betonisandwich -rakenne

### 4.2.1 Kosteusteknisen toimivuuden yleinen arviointi ja parantamistarpeet

1. Tuulettumatonta betonisandwich -rakennetta voidaan pitää kosteusteknisesti toimivana, sillä talvella rakenteeseen kerääntynyt kosteus pääsee kesäaikana kuivumaan.

1	2	3	4	5
3	8	6	4	

/21

- kosteat tilat + ikkunat

2. Uritettu eriste ja tuuletusputket ulkokuoren saumoissa riittävät turvaamaan betonisandwich-elementin kosteusteknisen toimivuuden kaikissa olosuhteissa.

3	7	4	6	1
---	---	---	---	---

/21

3. Millaisissa olosuhteissa ne eivät ole riittäviä turvaamaan rakenteen kosteusteknistä toimivuutta?

- paikkakohtaista, korkea talo
- työn aikainen sade
- työvirheet, tuuletusurien ja putkien tukkiminen, väärin asentaminen **2 vastaajaa**
- ne eivät ole lämpötekniisesti suositeltavia, parempi keino on lisätä sisäkuoren vesihöyryvastusta
- klinkkerilaattapinta
- maalattu julkisivupinta
- valmistus/asennusvirheet tuulettuvissa ratkaisuisissa
- voimakas viistosade / muu kosteusrasitus (esim. sisäpuolinen kosteus)
- rakennus on ylipaineinen, kostutettu sisäilma, lisäksi sisäkuoressa vuotoja (kuten aina jossakin)
- mikäli saumat eivät ole kunnossa, saumavuodot; liittymävuodot jne.
- ulkoilmassa Suomessa
- vuotovedet, suuri muunlainen kosteusrasitus, tuuletus ei pelaa



4. Betonisandwich -elementeissä käytetty uritettu lämmöneriste on asennusvirheille altis, koska tuuletusurat saattavat asennusvaiheessa helposti tukkiutua.

1	2	3	4	5
	4	7	7	3

/21

- ja valun tärytyksessä

5. Tuuletusputkien sijainti saumoissa 1-1,5 metrin välein on riittävä elementin tuuletuksen toimivuuden kannalta.

2	4	6	8	1
---	---	---	---	---

/21

- saisi olla enintään metrin välein
- riippuu tuuletusratkaisusta

6. Miten ulkokuoren betonin lujuus/tiiviys vaikuttaa rakenteen tuuletustarpeeseen?

- *lujempi, tiiviimpi ulkokuori vaikuttaa lisääntyvästi tuuletustarpeeseen eristeen ja saumojen kautta 8 vastaajaa*
- *parempi keino on lisätä sisäkuoren vesihöyrynvastusta*
- *K40/45 vaatii aina tuuletusurat, mielellään tuuletusraon*
- *toisaalta sadevettä imeytyy vähemmän*
- *varmaan K45 ulkokuori on liian tiivis muuhun rakenteeseen nähden jolloin kosteus poistuu liian hitaasti*
- *ei mitenkään*
- *ei suurta merkitystä*

#### 4.2.2 Kosteustekniset riskit ja parannusratkaisujen periaatteet

1. Sandwich -rakennetta voidaan selvästi parantaa siten, että eristekerroksen ja ulkokuoren väliin järjestetään yhtenäinen tuuletusrako.

		2	11	8
--	--	---	----	---

/21

2. Millaisissa rasisolosuoloissa ja millaisella julkisivupinnalla (imukykyinen/imukyvytön) tuuletusraollista ratkaisua olisi syytä käyttää?

- *voimakkaat viistosateet 5 vastaajaa*
- *imukyvytön julkisivupinta 4 vastaajaa*
- *molemmilla*
- *pinnoilla joiden taakse kerääntyy kosteutta*
- *aina, tuuletettava tai uritettu lämmöneriste 7 vastaajaa*
- *K40/45 ulkokuori*
- *sisäpuolinen korkea kosteus*
- *imukykyinen (sadevettä imeytyy paljon)*

39

- *tuuletusurarakaisu kuitenkin riittänee*

3. Millaisia ohjeita tästä on hyvä antaa?

- *ulkokuoren uusiminen tulee järjestää helpoksi, lämmöneristevahvuutta tulee lisäillä*
- *suositus*
- *järkeviä, yleisen tason, johdonmukaisia, ei saivartelevia, ei liian yksityiskohtaisia*
- *raon leveys ja jatkuvuus, tarvitaanko tuulensuojapinta, millaiset ansaat pitäisi olla että ne eivät ohjaa vettä sisäkuoreen*
- *tuuletusraon leveys*
- *ikkuna- ja oviliittymät*
- *räystä- ja sokkeli liittymät*

4. Mineraalivillaa huonommin läpäisevää materiaalia, kuten solumuovia, käytettäessä tarvitaan erityisiä ohjeita rakenteen tuulettamisesta ja rakennuskosteuden poistamisesta.

1	2	3	4	5
1	5	2	8	5

/21

5. Millaisia ohjeita?

- *näitä olisi syytä käyttää ainoastaan tuuletusraollisissa ratkaisuisa*
- *riippuu pinnoitemateriaalista*
- *sisäkuoren kuivuminen hitaampaa*
- *koko ajattelutavan/rakenteen toiminnan kuvaavia.*
- *solumuovi on myös hyvä jarru kosteusliikkeille, antaa paljon anteeksi kaikenlaisia virheitä*
- *vedenpoistoreiät kaikkiin niihin kohtiin, joihin voi kertyä valumavesiä*
- *solumuovi ei ole höyrynsulku, mutta estää kosteuden liikkumista*

6. Niin ulkopinnan kuin sisäpinnan maalaus- tai pinnoitusajankohdasta on syytä antaa ohjeita.

	1		9	10
--	---	--	---	----

/20

7. Millaisia ohjeita?

- *vaatimukset rakenteen riittävän kuivuuden suhteen 2 vastaajaa*
- *pinnoitusolosuhteet, lämpötila, sää 2 vastaajaa*
- *kosteus ja olosuhdeohjeita*
- *maalin kosteudensietokyvyn suhteen*
- *maalin tiiviyyden suhteen*
- *ohjeet, että kuivumisolosuhteet/aika on syytä ottaa huomioon*
- *suhteessa kokonaisuuteen/ toiminnallisuuteen*
- *jos kosteudelle arka tai kalkkeutuva pinnoite (up) riittävän pitkä kuivumisaikavaatimus (> 1v) tai osoitus riittävän laajoilla mittauksilla*
- *mitä työn onnistuminen edellyttää alustalta*

40

- kriittiset olosuhteet, kriittiset kosteudet
- kuivumisajat/pinnoitusajat eri ratkaisulla erilaisissa kuivumisolosuhteissa (3-4 luokkaa)
- maalitehtaiden ohjeet
- maali- ja pinnoitetyyppikohtainen
- käytettävät pinnoitteet

8. Kosteiden tilojen kohdalla sisäpinnassa tarvitaan höyrytiivis rakenne sekä tavanomaisilla että tuuletusraoilla rakenteilla.

1	2	3	4	5
	1	1	7	11

/20

- kyllä, jos jatkuva kosteus

9. Mitä ohjeita tästä on syytä antaa?

- kosteissa tiloissa on muutenkin laatta/muovimatto tms. höyrytiivis rakenne
- ohje tiiviin kerroksen käytön tarpeesta
- perusteltuja
- höyrytiiviyttä voi suositella koska siitä ei liene kovin paljon ainakaan haittaa
- sisäpinnan höyrünsulku tarvitaan riippumatta ulkopinnan tuuletusraoista
- vaatimukset tuotteille
- vesieristeen ja kosteussulun käyttö pakolliseksi, valvottavaksi, vastuuta parannettava

#### 4.3 Tuuletusraallinen betonijulkisivu (ns. eriytetty julkisivu tai tuuletusraallinen sandwich -elementti)

##### 4.3.1 Kosteusteknisen toimivuuden yleinen arviointi ja parantamistarpeet

1. Tuuletusraollista betonijulkisivua on syytä käyttää voimakkaalle viistosateelle altistuvissa rakennuksissa.

	1	4	3	13
--	---	---	---	----

/21

2. Tiivislaattapintaisilla julkisivuilla on syytä käyttää aina tuuletusraollista rakennetta ja tuulensuojalevyä tuuletuksen ja kosteuden poisjohtamisen turvaamiseksi.

	1		8	12
--	---	--	---	----

/21

#### 4.4 Tärkeimpiä betonielementtirakenteiden kosteusteknisessä tarkastelussa huomioon otettavia asioita

	Pisteet
tuuletusrako	83
tuuletusputket	81
vuotovesien poistoratkaisut	53
saumatyö	49
sauma-aineet	48
saumojen tiiviys	42
oikeaoppiset räystääsratkaisut	42
oikeaoppiset ikkuna- ja oviliitokset	41
ulkopinnan liitosten sadevesitiiviys/vedenohjaus	38
tuuletusurien/villaurien toimivuus	36
sisäkuoren tiiviys (saumat)	33
ilmatiiviys	27
pinnoitus/ominaisuudet, pinnoitusajankohta, menetelmät	25
materiaalikerrosten tiiviyssuhteiden oikeellisuus/riittävä sisäkuoren höyrynvastus	16
rakennekosteuden poistumisen varmistaminen	15
betonin lujuus, betoni materiaalina	13
sokkeliiliitos	13
ulkokuoren betonin pakkasenkestävyyden varmistaminen	10
ei yritetä tehdä ulkokuoresta liian tiivistä (pulloa)	10
työn aikainen suojaus	10
perinteiden sandwich kondensoi ulkokuoren sisäpintaan	10
pinnan eheys	9
lämmöneristys	7
ulkokuoren ulkopinnan tuulettavuus	6
materiaalien lämpö- ja kosteusliikkeiden huomiointi	6
rakennuksen sijainti	5
kokeiltava tuuletusraollista elementtiä	5
kosteiden tilojen höyrynsulku	4
avosaumaratkaisut	4
elementin sijainti rakennuksessa	4
valmistus	2
rakenteen korjattavuus	2
olosuhteet	1

## 5 MUURATUT RAKENTEET

## 5.1 Kosteusteknisen toimivuuden yleinen arviointi ja parantamistarpeet

	1	2	3	4	5
1. Sadeveden kerääntyminen kuorimuuriin ja sadevesivuodot muurin läpi ovat merkittävimmät asiat muurattujen rakenteiden kosteusteknisessä tarkastelussa.				10	11

/21

2. Muuratut rakenteet ovat riskialttiita työvirheille, kuten saumojen vajaalle täytymiselle tai laastin pääsylelle tuuletusrakoon.		2		8	11
--	--	---	--	---	----

/21

3. Muuratut rakenteet ja varsinkin rapatut pinnat ovat herkkiä suunnittelun ja toteutuksen virheistä aiheutuille paikallisille kosteuskertymille materiaalien voimakkaan vedenimukyvyyn vuoksi.		3	1	10	7
---	--	---	---	----	---

/21

– ei rapatut pinnat ole niin herkkiä

4. Muuratuissa rakenteissa laastipurseiden aiheuttama tuuletusraon tukkeutuminen on vaikeaa estää, tarkistaa ja korjata.	1	9		7	4
--	---	---	--	---	---

/21

– helppo estää, asennekysymys 2 vastaajaa

– jos nykyiset rakoleveydet

## 5.2 Kosteustekniset riskit ja parannusratkaisujen periaatteet

1. Moduulikiven (85 mm) käyttö puolen kiven muuriin (130 mm) sijaan lisää rakenteen riskialttiutta varsinkin pystysaumojen sadevesitiiviyyden kannalta.		3	2	8	8
---	--	---	---	---	---

/21

2. Millaisissa rasisolosuhteissa olisi syytä käyttää kuorimuurin minimipaksuutena 130 mm?

– kun rakennus on enemmän kuin 1-kerroksinen 3 vastaajaa

– tuulisilla paikoilla 2 vastaajaa

– riippuu myös takana olevan rakenteen arkuudesta

– yli 3-kerroksisissa taloissa 2 vastaajaa

– runsaalle viistosateelle altistuvissa muissakin seinissä 3 vastaajaa

– aina

– yli 2-kerroksinen 5 vastaajaa

– mikäli ei ole kunnan räystäitä (joten pitäisi olla kaikissa Suomessa rakennetuissa taloissa)

– meren ranta 2 vastaajaa

– voimakkaan viistosaderasituksen alueella kun tuuletusraon leveys on alle 40 mm

– lähes aina, 85mm kivi sopii yksikerroksisiin räystäällisiin taloihin

	1	2	3	4	5
3. Muuraustyön huolellisuudelle tarvitaan erityisvaatimuksia, etteivät laastipurseet pääse tukkimaan seinärakenteen tuuletusraon alapäättä.		2	1	8	9

/20

4. Milloin tällaisia erityisvaatimuksia on syytä antaa?

– periaatteessa aina, useimmiten kuitenkin

– aina puurunkoseinässä 2 vastaajaa

– viistosadealttiissa seinässä 3 vastaajaa

– aina 6 vastaajaa

– onko edes mahdollista, laadunvarmistus

– tuuletusrakoa on yleensä isonnettava nykykäytännöstä

– ko. asia on hoidettavissa suhteellisen yksinkertaisesti ja myös asiallisella valvonnalla seurattavissa

– korkeissa seinärakenteissa

– ei pidä suunnitella 20 mm tuuletusrakoa jonka laastipurseet tukkii, 30mm on ehdoton minimi

5. Mitä erityisvaatimuksia?

– että tuuletus toimii

– että läpi päässyt vesi valuu tiilen takapintaa pitkin eikä ohjaudu lämmöneristeeseen

– ikkunoiden päällystöt ym. vastaavat

– tarvitaan työtapoja + laadunvarmistus siten, että tuuletusväli pysyy avoimena (ei työmenetelmiä ohjeeseen) 2 vastaajaa

– pitäisi löytää keino, jolla estetään laastipurseiden valuminen tuuletusrakoon

– raot auki! Alimmaisesta rivistä joku tiili kokonaan pois muuraustyön ajan, kun työ on valmis muurataan nämä tiilet viimeiseksi

– tuuletusraon merkitys pitää ymmärtää, se ei ole pelkästään muurarin sormivara

– voi olla vaikeaa kun asia on muurarin hanskassa (muurarin ammattitaito/motivaatio olla heittävä ylimääräistä laastia rakoon) 2 vastaajaa

– ei tarvita erityisvaatimuksia jos minimituuletusraosta pidetään kiinni

– tarkastus, puhdistusmahdollisuus

– muuraustekniikka (viistetekniikka)

– tuuletusraon kontrollointi

– riittävä tuuletusrako eristeen ja kuorimuurin välissä

– riittävät tuuletusraot kuorimuurin ja perusmuurin välissä

– sormirako leveämmäksi

6. Kuorimuurinrakenteissa on aina perusteltua käyttää kuorimuurin takana reilua tuuletusrakoa ja eristeen ulkopuolella tuulensuojalevyä tai tuulensuojapintaista eristelevyä.

1	2	3	4	5
	2		5	14

/21

- *tosiasiassa tuulensuoja ei ole tarpeen*

7. Mikä on suositeltava raon leveys?

40 mm 8 vastaajaa

25-30mm

20-40mm

30-40mm 3 vastaajaa

30mm 3 vastaajaa

50mm

35mm

20-50mm, riippuu muurarista

8. Mikäli viistosaderasitus on pieni (tavallinen yksikerroksinen omakotitalo) ja sekä ulko- että sisäkuori ovat muurattuja, voidaan tuuletusrako jättää pois ja silti saavuttaa kosteusteknisesti riskitön seinärakenne.

5	4	3	5	4
---	---	---	---	---

/21

- *hyvässä lykyssä kyllä, kun ei päästetä työn aikana sadetta sisään*  
 – *jos käytetään täystiiliä*  
 – *edellyttää erittäin huolellista muurausta*  
 – *pitkät räystäät*  
 – *jos pitkät räystäät ja rapattu mutta ei tiiviisti maalattu ulkopinta*

9. Ankarissa viistosaderasitetuissa olosuhteissa kuorimuurin läpi pääsevien vuotovesien vähentämiseksi on suositeltavaa rapata ulkokuoren sisäpinta.

6	4	7	1	
---	---	---	---	--

/18

Perustelut:

- *en ymmärrä kysymystä, yleensä kun on tapana muurata ulkokuori viimeisenä*  
 – *muut konstit pitää riittää*  
 – *miten tehtävissä*  
 – *ei poistane ongelmaa*  
 – *sitä lienee vaikea rapata*  
 – *kustannuskysymys, työtekniisiä ongelmia*  
 – *rapautuminen voi irrottaa rappauksen myöhemmin, jolloin se tukkii tuuletusraon*  
 – *ensiksikin: puhtaaksi muurattu tiilikuori ei sovi ankarisiin viistosaderasituksiin toiseksi: tiedetäänkö siitä tarpeeksi, parempi olisi rapata ulkopinta*

- *rappaus on suuresti ulkonäkökysymys*  
 – *käytännössä mahdotonta ja tarpeetonta, kun tuuletusrako toimii kunnolla*  
 – *työjärjestys*

10. Koska kevytbetonirakenteissa rakennuskosteuden määrä on suuri ja sen poistuminen rakenteesta on hidasta, on tällaisten rakenteiden pinnoituksesta ja sen ajankohdasta syytä antaa ohjeita.

1	2	3	4	5
		2	6	13

/21

11. Poltetun tiilimuurin ulkopinnan rappaus lisää pääsääntöisesti tiilimuurin kosteusrasitusta.

3	8	7	2	1
---	---	---	---	---

/21

- *paikallisesti mahdollinen*  
 – *vastauksessa tarkoitan että läpi menee vähemmän*

12. Rappauspinnan maalauksella voidaan pienentää muurin kosteusrasitusta.

4	6	5	4	2
---	---	---	---	---

/21

- *riippuu maalityypistä*

13. Poltetuista tiilistä muuratun julkisivun maalaus voi lisätä rakenteen kosteusrasitusta.

	1	6	9	5
--	---	---	---	---

/21

- *pitkällä aikavälillä ja oikein maalattuna*

14. Kalkkiihiekakivistä muuratun julkisivun maalaus voi lisätä rakenteen kosteusrasitusta.

	3	4	10	4
--	---	---	----	---

/21

15. Kuorimuurin käsittely kosteutta hylkivällä aineella (hydrofobointiaineella) lisää huomattavasti kuorimuurin pakkasvaurioriskiä.

	2	12	5	2
--	---	----	---	---

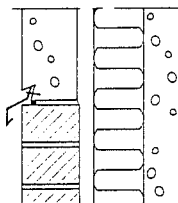
/21

- *päinvastoin, jälleen oikein tehtynä*

16. Milloin tämä käsittely lisää pakkasvaurioriskiä?

- *silloin, kun kosteus (sisältäpäin tuleva) tapaa tiiviimmän kerroksen ja tiivistyy siihen*  
 – *aina*  
 – *jos rakennuksen sisältä tai muualta pääsee kuorimuriin runsaasti kosteutta*  
 – *pinnalle syntyvä vesikalvo syöttää vettä runsaasti rakojen ja halkeamien kautta → paikallisesti korkeampi rasitus*  
 – *kuivuminen hidasta*  
 – *jos aine pienentää pinnan vesihöyrynläpäisevyyttä ja samalla saumakoikat päästävät sadeveden esteettä imeytymään eli että on täydellisesti hölmöily*

- suuret ilmavuodot kostutetuista sisätiloista lämmöneristetilaa
- huom. oikein tehty hydrofobiointi parantaa/pitää enemmän vesihöyrynläpäisevyyden
- melkein aina
- mikäli käsittely muodostaa höyrytiivin pinnan
- silokonista huonoja kokemuksia → tiilissä pakkasrapautumia
- kosteus ei poistu muurista



17. Muiden julkisivumateriaalien liittyessä muurattuun seinään tulee liitokseen sijoittaa vesipelti ohjaamaan yläpuoliselta julkisivupinnalta valuvaa vettä pois liitoksesta ja muuratusta pinnasta.

1	2	3	4	5
	2		10	9

/21

- vesialttiilla pinnoilla hyvä myös saman materiaalin katkaisu sopivilta kohdilta, jolloin kosteusrasitus katkeaa
- riippuu detaljista (mahdollisesti myös tippanokka) **2 vastaajaa**
- kun ylempi materiaali heikosti vettä imevä

18. Kerroksittain kannatetun ulkokuoren liikuntasau- moille on syytä antaa yksityiskohtaisia ohjeita esi- merkiksi saumausrakenteista ja saumarakenteis- ta.

		1	11	8
--	--	---	----	---

/20

19. Liikuntasau- ma on tehtävä niin, ettei tuuletus katkea sauman kohdalla eivätkä kuorimuurin liikkeistä ai- heutumattomat halkeamat heikennä merkittävästi kuori- muurin sadevesitiiviyttä.

		1	11	8
--	--	---	----	---

/20

- tuuletus kai voi katketakin jos tulo ja poistoaukot on

20. Vuotovesien poistamisesta liikuntasau- man kohdalla on syytä antaa ohjeita.

1	2	3	4	5
		2	10	7

/19

21. Millaisia ohjeita liikuntasau- masta tulee antaa, jotta se toimisi kosteusteknisesti riskittä- mästi?

- tuuletuksen toimiminen
- liikevara siten, että halkeilua esiinny **2 vastaajaa**
- tuuletuksen sekä vedenpoiston toimivuus **2 vastaajaa**
- yleinen ohje
- detaljit, suositukset
- 2 -vaihteluväly, alapäässä myös veden ulosohjaus
- detaljit tapauskohtaisesti

### 5.3 Tärkeimpiä muurattujen rakenteiden kosteusteknisessä tarkastelussa huomioon otettavia asioita

	Pisteet
tuuletusrako	81
vuotovesien poisjohtaminen	48
materiaalien (tiilet, laasti) oltava säänkestäviä	36
rasitusta alentavat yksityiskohdat: räystäät, ikkunaliitosten pelli- tykset	34
muuraustyön huolellisuus (täydet ja tiiviit laastisaumat, ei laasti- purseita tuuletusrakoon)	28
pinnoitteet	20
liittymät muihin rakenteisiin	18
tiilen leveys ainakin 130 mm kuorimuurissa	18
liikuntasau- mat ja halkeilun rajoittaminen	11
muurattu rakenne vuotaa aina	10
viistosaderasituksen ankaruuden huomioiminen rakennesuunnit- telussa	10
vesien ohjaus julkisivulta / julkisivulla	10
kastepisteen sijainti	10
räystäät	10
seinän alapää	9
tuuletusraot seinän alapäässä, tiivistyvän veden ohjaaminen ker- mieristettä tai peltiä myöden pois rakenteesta	9
talvimuuraus vain imukykyisellä kivellä	9
kuorimuurin sadevedenpitävyys	8
oikea sidetyyppi	8
rappaus on vain pinta, pinnoite	7
paikallinen runsas veden imeytyminen estettävä	7

eristeet ehjiä (side ei saa rikkoo asennettaessa)	7
kapillaarisen nousun estäminen perustuksista	5
sokkelikorkeus	5
sisäpinnan tiivis käsittely kosteiden tilojen kohdalla	3

**6 PUURAKENTEISET ULKOSEINÄT**

**6.1 Puurankaseinä ja kuorimuuraus**

**6.1.1 Kosteusteknisen toimivuuden yleinen arviointi ja parantamistarpeet**

1. Mikä on mielestänne seuraavissa rasisolosuissa kuorimuuratun puurankaseinän kosteustekninen toimivuus?  
( 1 = rakenne on erittäin riskialtis, 2 = rakenne on melko riskialtis, 3 = en ota kantaa, 4 = rakenne on melko riskitön, 5 = rakenne on riskitön)

a) voimakas viistosaderasitus, korkea rakennus	1	2	3	4	5	
	11	6	2	1		/20

– riskialtis, jos ei ole otettu suunnittelussa huomioon

b) voimakas viistosaderasitus, matala rakennus		11	5	5		
						/21

c) tavanomainen viistosaderasitus, korkea rakennus		15	4	2		
						/21

d) tavanomainen viistosaderasitus, matala rakennus	1	2	5	11	2	
						/21

– lukuun ottamatta ajajuoksua  
– tuuletuksen toimivuus kaikissa kohdissa (a-d)

2. Kuorimuuratun puurankaseinän rakenteille tulee asettaa vaatimuksia/rajoituksia viistosaderasituksen mukaan.		1	9	8	3	
						/21

3. Rakenne on altis työvirheille.		1	2	14	4	
						/21

4. Kuorimuurin takana olevan puurungon tarkastettavuus tai korjattavuus on huono.		3		9	9	
						/21

**6.1.2 Kosteustekniset riskit ja parannusratkaisujen periaatteet**

Voimakkaasti saderasitetuilla rakenteilla saattaa esiintyä kesäkondenssia. Jos aurinko paistaa märkään kuorimuuriin, nousee sen lämpötila ja kosteuden kulku sisään seinärakenteeseen voi olla merkittävää ja aiheuttaa kondenssia höyrinsulun ulkopintaan. Vaikka kesäkondenssia ei ilmenisikään aiheuttaa märkä kuorimuuri korkean RH:n puuseinään.

1. Kesäkondenssin merkitys on niin suuri, että se on syytä huomioida rakenteiden kosteusteknisessä suunnittelussa.	1	2	3	4	5	
		10	3	6	2	

2. Voimakkaalle viistosaderasitukselle altistuvassa rakennuksessa voidaan kesäkondenssia vähentää esimerkiksi jättämällä höyrinsulku pois ja saumamalla kipsilevyt tiiviisti ja näin saavuttaa kosteusteknisesti riskitön ratkaisu myös talvella.	10	4	6			
						/20

Perustelut:

- kosteusvirta sisälevyyn voi aiheuttaa ongelmia kesällä
- talvella kosteusvirta ulospäin suuri → koko rakenne yleisesti kosteampi
- höyrinsulkua (ja ilmansulkua) ei ole syytä jättää pois **2 vastaajaa**
- asiaa on joskus pohdittu, tiiviin tuulensuojan merkitys
- Kondenssi tulee muovista riippumatta. Voiko kondensoitua määrä olla kovin suuri. Tuskinpa riittää valuvan veden aikaansaamiseen edes muovissa, kun se on villoja vasten.
- kesäkondenssista tulee päästä eroon eikä hoitaa vaivaa poistamalla höyrinsulku
- tuuletuksirako toimii: onko ongelmia? Höyrinsulku voidaan jättää pois, mutta jotain on laitettava tilalle. Kosteat tilat: aina kosteussulut ulkoseinissä
- onko kesäkondenssia havaittu

3. Edellä mainittu ratkaisu toimii myös talvella mikäli tuulensuoja ei ole liian tiivis.	9	2	6	2		
						/19

Perustelut:

- sisälevyn maali on kohtalainen vesihöyryjarru ja sisäilman ei ole varsinaisesti kostutettua
- ilmanpitävyys voi olla heikko
- höyrinsulku tarvitaan eikä sitä voida korvata harventamalla ulkopuolta
- vesihöyry kulkeutuu lämmöneristeeseen
- koska se ei toimi

4. Kesäkondenssiongelman poistamiseksi riittää leveä tuuletusrako (50 mm) ja hyvä tuuletus niin seinän alapäässä kuin yläpäässäkin.

1	2	3	4	5
		1	13	6

/20

- kesäkondenssiin tarvitaan suuri kosteusvarasto, esim. tiiliseinä

5. Kuorimuuratulle puurankaseinälle on syytä esittää viistosaderasitusrajoja, jolloin esimerkiksi olisi parempi käyttää kokonaan muurattua rakennetta.

1	5	6	8	1
---	---	---	---	---

/21

- veden poisto

6. Millaisia nämä rajat voisivat olla?

- ensinnäkin, miettiminen asiantuntijoille. Voidaanko kaikkea ohjeistaa? Vrt. Saksan mammuttimaiset ohjeet / kuitenkin paljon virheitä.
- yli 3 kerroksiset seinät
- voimakkaalle viistosaderasitukselle altistuvat muutkin seinät
- turha rajoitus
- >2 kerrosta tai jos ei räystäitä
- rakennukset joiden korkeus yli 1 (2) kerrosta
- miten saadaan perustelut, sisäkuori voisi olla betoni tai tiili
- saman alueen eri talot voivat kastua eri tavalla → yhtenäiset vaatimukset

7. Tiiliverhoilussa puurunkoisessa seinässä tarvitaan leveämpi tuuletusrako kuin täystiiliseinässä.

2	6	4	5	3
---	---	---	---	---

/20

- kunhan on toimiva

8. Kuinka leveä tämän tuuletusraon tulisi olla?

- 40 mm 2 vastaajaa
- 40-50 mm
- 0-30 mm
- 20-40 mm
- n. 50 mm 3 vastaajaa
- 30 mm
- 25-35 mm
- 30-40 mm 2 vastaajaa
- 30-50 mm

### 6.1.3 Tärkeimpiä kuorimuuratun puurankaseinän kosteusteknisessä tarkastelussa huomioitava asioita

	Pisteet
tuuletusrako ja sen avoimuus	82
vuotovesien poisjohtaminen	33
kuorimuurin sadevedenpitävyys (muuraus, detaljit)	26
höyrönsulku	26
liittymät muihin rakenteisiin	21
tiilen ja laastin ominaisuudet, säänkestävyys	19
muuraustyön huolellisuus (täydet ja tiiviit laastisaumat, laastipurseita ei saa olla)	17
tiilen leveys vähintään 130mm kuorimuurissa	17
liitos perustuksiin	15
maanpinnan/perusmuurin aiheuttamien kosteusrasitusten minimointi	13
pinnotteet	13
puurungon alapää aina lattiatason yläpuolelle	10
muurattu rakenne vuotaa aina	10
ilmanpitävyys (ilmansulku)	10
rakennuksen sijainti	10
vesien ohjaus julkisivulla / julkisivulta	10
kastepisteen sijainti	10
tuuletusraot seinän alapäässä, tiivistyvän veden ohjaaminen ker- mieristettä tai peltiä myöden pois rakenteesta	9
tuulensulku: mineraalivilla + pinnote → puu suoja	9
leveät räystäät	9
kuorimuurin viistosaderasitusten huomiointi ja rajoittaminen	8
alipaine talossa	8
yksityiskohtien toimivuus	8
liikuntasaumat	7
paikallinen runsaan veden imeytyminen estettävä	6
muuraussiteiden vedenjohto-ominaisuudet	6
liitos alapohjaan	5
sokkelikorkeus	5
materiaalivalinnat	4

### 6.2 Puuverhoiltu puurankaseinä

#### 6.2.1 Kosteusteknisestä toimivuudesta yleinen arviointi ja parantamistarpeet

1. Puuverhoilussa puurankaseinässä tulee aina olla tuuletusrako.

1	2	3	4	5
			3	18

/21

2. Puurankaseinän lämmöneristemateriaalilla (mineeraalivillat, selluvilla) ei ole merkitystä seinärakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta.

1	2	3	4	5
1	4	2	8	6

/21

3. Seinärakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta ei ole merkitystä sillä käytetäänkö ilmatiiviiden saavuttamiseen muovikalvoa tai paperia.

6	9	1	3	2
---	---	---	---	---

/21

- aina muovikalvo

4. Millaisissa rasisolosuoloissa puuverhoiltu puurankaseinä on riskialtis ratkaisu?

- erittäin voimakas viistosade
- tuulinen ja sateinen ympäristö
- uimahallit?
- kostea sisäilmasto **2 vastaajaa**
- maan alla?
- rannikkoseutu
- eteläseinät
- voimakas ulkopuolinen kosteusrasitus
- kaksi tai useampi kerroksiset talot
- perustusliittymä
- aina, kun höyrynsulku ei ole tiivis
- räystäätön rakennus aina
- räystäätön matalaperustainen pientalo
- oikein räystäsdetaljein ja oikealla pintakäsittelyllä oikeinsuunniteltu seinä ei välttämättä ole riskialtis, vaan vaatii huoltoa tiiliverhoilua enemmän
- räystäällinen rakennus matalin sokkelein

5. Jättämällä höyrynsulku pois ja hoitamalla seinärakenteen ilma- ja höyrytiiviyys muutoin voidaan myös saavuttaa kosteusteknisesti toimiva rakenne.

2	7	3	6	3
---	---	---	---	---

/21

- miten?

6. Millainen tämän seinärakenteen tulee olla?

- läpihengittävä seinä (vanhat hirsiseinät)
- rakenteessa on oltava kalvomainen ilmantiivis kerros, muu kuin sisäpuolinen tapetti tai maali
- alhainen sisäilman kosteus
- ilmatiiviyys hoidettu myös liitoksissa
- kosteutta sitova lämmöneriste
- ei tiivistä tuulensuojaa

- hyvä tuuletus
- miksi vesihöyryjarru pitäisi jättää pois?
- yksittäistapauksissa toki voi onnistua, kun kylmänä vuodenaikana sisäilman kosteuslisä on pieni
- edesvastuutonta olisi antaa vääriä valtakunnallisia ohjeita
- ilmatiiviyys ja höyrytiiviyys tulisi hoitaa esim. kittaamalla sisäverhouslevyjen saumat
- ilmanpitävä, tuuletusraallinen, eristeen sisäpinnan kerrosten vesihöyrynvastus 5-7 kertaa suurempi kuin tuulensulun

7. Missä olosuhteissa/tiloissa tällaista seinärakennetta voidaan käyttää?

- normaaleissa, ei märissä tiloissa **2 vastaajaa**
- kun rakenne on mitoitettu käyttöolosuhteisiinsa
- normaalit asuutilat
- kylmät kesähuvilat **4 vastaajaa**
- hyvin kuivissa tiloissa
- kun rakennuskosteusrasitus hyvin pieni
- yksittäistapauksissa, kun osataan asua/ käyttää rakennusta tietäen sen sisältävän riskirakenteita
- laajassa käytössä, kun halutaan sairastuttaa kansa ja käyttää suuria summia turhiin korjauksiin
- jos kastepistettä ei muodostu
- vapaa-ajan asunnon käyttö ainoastaan kesällä lämpimänä mahdollistaa periaatteessa höyrynsulun pois jättämisen

8. Milloin muovikalvo höyrynsulkuna voi olla haitallinen ja miksi?

- kosteissa tiloissa höyrytiivis pinta tulee olla
- kylmäksi päästettävät vapaa-ajan asunnot
- muoviin luotetaan liikaa
- työvirheet, rei'itys **2 vastaajaa**
- pitkäaikaiskestävyys -laatu
- jos höyrynsulussa on reikiä
- ei koskaan **2 vastaajaa**
- väärin asennettuna jos kondenssi on mahdollinen **3 vastaajaa**
- eipä juuri koskaan tunnettujen periaatteiden mukaan käytettynä
- jos puuelementtituotannossa laitetaan muovia, lisäksi laitetaan työmaalla toinen muovi ja suljetaan rakenne kahden muovin väliin
- muovikalvo ei ole haitallinen, sen sijaan ilmanvaihto on usein puutteellinen
- jos on väärässä paikassa sekä ilmastointi puutteellinen
- kun sisäpuolen levynä on rakennuslevy (usein kipsilevy) sisäpintaan tulee lateksimaali (=ohut muovikalvo) tai (muovi)tapetti ja levyn alle höyrynsulku, niin itse levy on kahden tiiviin kerroksen välissä → mitä tapahtuu kylpyhuoneessa tilanne korostuu



9. Puuverhous suojaa seinärakennetta viistosateelta hyvin, mutta ei estä veden tunkeutumista saumojen kautta.

Riittävä puuverhouksen saumojen tiiviys voidaan saavuttaa, kun käytetään riittävän kuivaa puutavaraa, tehdään liitokset, listoitukset ja muut yksityiskohdat niin, että sateelle alttiit vaakapinnat ovat ulospäin kaltevia ja hoidetaan laudoitus niin, että se käyristymisestä huolimatta pysyy tiiviinä.

1	2	3	4	5
	2		13	6

/21

10. Vaakasوران laudoituksen taakse saadaan toimiva tuuletusväli kun käytetään pystysuoria alusrimoja.

	1		10	10
--	---	--	----	----

/21

- ristikoolaus pitää olla

11. Pontattua verhousta käytettäessä on syytä käyttää ristikkäistä alusrimoitusta.

	7	2	6	6
--	---	---	---	---

/21

- sama pätee lomalaudoitukseen, eli vaakarimoituksen päälle kertyvä kosteus tai lumi ei saa imeytyä tuulensuojaan  
– jos pystysuora tasainen verhous (ei loma) niin tarvitaan pystylautaa?  
– pystylautaa?

12. Ulkoverhouslaudoituksen paksuudelle on syytä antaa ohjeita.

			9	12
--	--	--	---	----

/21

13. Mikä voisi olla sopiva ulkoverhouslaudoituksen minimipaksuus?

- 10 mm (kapeammasta päästä)  
– 21-22 mm (ei ihan pärettä)  
– 22-25 mm  
– riippuu muodosta ja leveydestä ~ 20-25 mm  
– 22 mm 3 vastaajaa  
– 18 mm 3 vastaajaa  
– 23 yli  
– 30 mm ankarissa viistosaderasituksissa  
– 25 mm 4 vastaajaa  
– pontttilautaa jos käytetään puoliponttia on syytä tietää, että se saattaa pahastikin vuotaa  
– >19 mm  
– 18-20 mm  
– 21 - 23 mm

## 6.2.2 Kosteustekniset riskit ja parannusratkaisujen periaatteet

Lahottajasienet voivat poikkeuksellisen ankarissa olosuhteissa levitä puurakenteista lämmöneristeisiin. Kivivilla voi lisätä lahottajasienten kasvua ja lattia- ja kellarisienien lahotusaktiivisuutta sienille suotuisissa olosuhteissa. Selluvillaeristeeseen lisätyt booriyhdisteet estävät lahottajasienten kasvun eristeessä ja siihen kosketuksissa olevassa puussa.

1. Selluvillaeristeet ovat tästä syystä riskittävämpiä käyttää puurakenteisissa ulkoseinissä.

1	2	3	4	5
3	6	7	4	

/20

- lahon kannalta kyllä

Perustelut:

- riskejä pitäisi arvioida kokonaisuutena  
– näin ei ole todistettu käytännössä  
– rakenteen tulisi pysyä niin kuivana, ettei sienimyrkkyjä tarvita  
– Tähänastisella tiedolla on vain aste-ero. Toimivat lähinnä samalla tavalla. Markkinointi perustuu tältä niin kuin höyrynsuluttomuudenkin osalta osaksi harhaanjohtamiseen / eivät itsekään tiedä  
– jos vettä on, rakenne homehtuu lopulta joskus  
– sellueristeisiä hometaloja on  
– selluvillan kosteuskestävyys 15% ei riitä  
– sieni ei kasva hyvin tehdyn talon rakenteissa, booriyhdisteet ovat palonsuojakemikaaleja (päätehtävä)

2. Ne toimivat riskittömästi höyrynsuluttomassa seinärakenteessa.

12	5	2	1	
----	---	---	---	--

/20

Perustelut:

- toimiva kokonaisuus ratkaisee  
– kerää kosteutta, kuten muutkin rakenteet  
– höyrynsuluton rakenne on aina riskialtis rakenne  
– saumat  
– kosteuspitoisuus tulisi pitää mahdollisimman alhaisena  
– RF. Toisaalta, seinää on aika vaikea saada pahoin epäonnistumaan. Yläpohja onkin pahempi juttu.  
– riskit on samat kuin kaikissa puurakenteissa  
– ei ole täysin varmoja tutkimustietoja  
– höyrynsuluttomassa rakenteessa tulee kastepiste aina rakenteeseen

3. Selluvillan asennus märkänä ei lisää rakenteen kosteusteknistä riskiä.

1	2	3	4	5
9	7	2	2	

/20

- ei kesätyössä

4. Puurankaseinä on tehtävä kosteusteknisesti niin toimivaksi, ettei kosteuspitoisuus rakenteessa voi nousta niin korkeaksi, että lämmöneristeen pitäisi olla homeenestoaineilla suojattuja.

			9	11
--	--	--	---	----

/20

- kertaluonteiset vauriot - kuivumiskyky

Höyrynsulku voidaan sijoittaa lämmöneristepaksuuden kolmanneksen etäisyydelle sisäpinna. Etuna ratkaisussa on, että sähköputkitukset voidaan vetää höyrynsulkua rikkomatta. Toisaalta esimerkiksi työn aikainen rakennuskosteus voi tiivistyä höyrynsulun sisäpintaan tai tuulensuojauksen puutteellisuuden vuoksi saattaa esiintyä kondenssiriskiä.

5. Voidaanko tällaista seinärakennetta suositella ja millaisissa olosuhteissa?

- periaatteessa kyllä em. sähkösyystä
- korostettava ensimmäisen talven (sisäilma kostea kun rakenteet kuivuvat) rasitusta
- jos valmistuu sopivasti kesää vasten, on aika riskitön
- aina (15cm villa, höyrynsulku, 5 cm villa on ok)
- voi olla hyväkin ratkaisu
- 1/3 on aika paljon, ehkä paksummalla eristeellä ja lähempänä sisäpintaa
- ei suositella **6 vastaajaa**
- vain jos paljon lävistyksiä
- ulompi lämmöneristys paksumpi kuin 2/3
- rakennuskosteusrasitus minimoitu sisemmän eristyksen asennuksen jälkeen
- kyllä, kun se tehdään huolella
- kyllä, aina
- on käytetty
- voidaan, kun sisäpuolen rakenteet ovat sellaiset, että ne mahdollistavat seinän kuivumisen sisälle päin
- höyrynsulun voi sijoittaa 1/4 etäisyydelle, normaalit huonetilat

6. Käyttämällä tuuletusrakoa höyrynsulun ja sisäverhoulevyn tai muurauksen välissä saadaan kosteusteknisesti turvallinen ratkaisu, mikäli märkätila on ulkoseinän takana.

5	4	3	4	2
---	---	---	---	---

/18

7. Tulisiko tästä asettaa vaatimus ohjeisiin?

- ei vaan kosteussulku tulee tällaisissa tapauksissa asentaa rakenteen pintaan tai laatoituksen alle
- kyllä, raon pitää myös tuulettua johonkin **2 vastaajaa**
- ehkä suositus riittää **2 vastaajaa**
- saunarakenne perustuu kuivumisvaiheeseen saunomisen jälkeen
- mistä tuuletusilma jatkuvasti kosteassa tilassa?
- kyllä
- tuuletusraon toimivuus on epävarmaa, rakenteissa ei saisi olla 2 tiivistä pintaa
- ei vaatimus, mutta ohje lienee ehkä paikallaan niille jotka haluavat välttämättä tällaisen rakenteen tehdä
- betoniseinillä ei tarvitse odotella ehkä kuivumista niin kauan
- tutkituista rakenteista voisi olla ohjeita
- riippuu rakenteesta: harkko tai ohutmuuraus → ei saa tuulettaa taustaa
- mihin tuuletetaan ja kulkeeko ilma yleensäkin. Välissä oleva ilma voi kylmetä → kondenssi ja kosteusvauriot (home)
- hyvän detaljin näyttäminen ei olisi pahitteeksi

Konvektiokatko voi olla ilmanpitävä, vesihöyryä diffuusisesti hyvin läpäisevä pystysuora ainekerros, joka voidaan tarvittaessa taivuttaa yläreunastaan vaakasuuntaiseksi estämään ilmavirtaukset ylöspäin esimerkiksi yläpohjaeristykseen. (Esimerkiksi kahden mineraalivillakerroksen välissä oleva rakennuspaperi)

8. Konvektiokatkoilla voidaan vähentää huomattavasti kosteuskonvektiota ja paikata tuulensuojan ja ilmansulun puutteita.

1	2	3	4	5
3	3	9	5	

/20

- vaikutus on aika pieni tosielämässä

9. Höyrynsuluttomaan kevyeen puuseinärakenteeseen voi syntyä haitallista kosteuskertymää.

1		5	8	6
---	--	---	---	---

/20

10. Missä olosuhteissa näin tapahtuu?

- talvella kun lämpötilaerot ovat suuria
- talviolloissa jos tuulensuoja on liian tiivis/tuuletusrako ei toimi
- kostea sisäilma talvella
- suuri paine-ero (seinien yläosat)
- rakennusvaiheessa esim. lattioiden valu
- lähes aina
- jos kosteutta runsaasti ja ylipainetta (=painovoimainen ilmanvaihto)
- ei tapahdu, jos oikein valitut materiaalit
- mahdollista ja normaaliolosuhteissa

- jos rakenne on lämmitetty ympäri vuoden

11. Millaisella seinärakenteella haitallista kosteuskertymää syntyy?

- rakenteilla jos tuulensuoja on liian tiivis/tuuletusrako ei toimi
- tuulensuojan taakse (riippunee tuulensuojamateriaalista)
- jos huono tuuletus, ulkoverhouksen taakse
- kaikilla, jos ei höyrünsulkua
- sadevesi pääsee eristeisiin
- rakennuskosteus ei kuivu
- liian tiivis tuulensulku verrattuna sisäpuolen rakenteisiin

12. Höyrönsuluttoman kevyen puuseinärakenteen liisääntynyt kosteusrasitus aiheuttaa riskin, että rakenne on liian kauan kostea, vaikka kumuloituvaa kosteuskertymää ei pitkällä aikavälillä syntyisikään.

1	2	3	4	5
1	1	3	11	4

/20

Perustelut:

- homekasvustot aktivoituvat uudestaan saadessaan kosteutta
- sisäilman alhaista kosteutta on pitkällä aikavälillä vaikea varmistaa (riippuu käyttäjästä)
- riski syntyy etenkin, jos tuulensuojan vesihöyrönsulku on liian korkea
- pakkaskaudella vesi kertyy jääksi, joka sitten sulaaessaan lorahtaa rakenteisiin
- tuulensulun ominaisuudet voivat muuttua kohonneen kosteuden vaikutuksesta (kipsilevy)
- puutteellinen tuuletus
- julkisivuverhoilun virheellinen toteutus

13. Erilaiset rakennukseen vaikuttavat ilmavirtaukset, kuten tuuli, lisäävät ilmapuotoja enemmän höyrönsuluttomissa kuin höyrönsulullisissa seinärakenteissa.

	2	6	7	5
--	---	---	---	---

/20

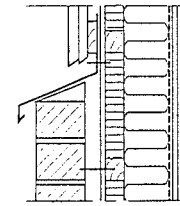
- ei eroa levyrakenteisissa seinissä

14. Rakennuslevyjen muodonmuutokset aiheuttavat höyrönsuluttomassa seinärakenteessa kosteusteknisen riskin heikentämällä rakenteen ilmanpitävyyttä tai tuulensuojausta.

	2	3	10	5
--	---	---	----	---

/20

- sisälevyn kosteus kummassakin sama
- ulkopuolella ei yleensä jäykkiä puupohjaisia levyjä
- riippuvat rakenteesta



15. Jos puuverhouksen alapää on liian lähellä vesipeltiä tai muuta vaakapintaa esimerkiksi puuverhouksen ja tiiliverhouksen liitoksessa saattaa puuverhouksen alapää vaurioitua roiskevesistä.

Puuverhouksen etäisyydestä vesipelistä on syytä antaa tarkempia ohjeita.

1	2	3	4	5
	2	2	8	8

/20

Millaisia ohjeita?

- 70 mm etäisyys vinosta vesipelistä
- minimietäisyys
- mm. määrä
- yleisellä tasolla
- minimimitat 2 vastaajaa
- detaljit
- ilmaraon jättämistä painotettava
- toimivat detaljit dimensioineen eri kosteusrasitustilanteissa

6.2.3 Tärkeimpiä puuverhoillun puurankaseinän kosteusteknisessä tarkastelussa huomiioon otettavia asioita

	Pisteet
tuuletusväli	74
seinän ylä- ja alapään liitokset	51
höyrönsulku	49
verhouksen sadevedenpitävyys/detaljit	41
tuulensuojalevy	32
ilmatiiviyys	27
maalaus	15
sokkelikorkeus	14
vesipeltidetajit	12
puuverhous vuotaa kuten tiilikin	10

ristikoolaus julkisivun takana	10
alajuoksu lattiataason yläpuolelle (betonilattia)	10
kastepisteen määrittely	10
saderasituksen minimointi (räystäät yms.)	9
vaakarakenteet viistetty ja suojattu vesipellein	8
ulkoverhouksen paksuus	8
seinärakenne märkätilan kohdalla	7
jatkokset ja alapääät viistettävä ja sahattava terävällä sahalla	7
maanpinnan /perusmuurin kosteuden vaikutusten minimointi	7
vesihöyrynpitävyuden suhteet eristyksen eri puolilla	7
materiaalivalinnat	6
rakennusaikainen kosteus ja sen kuivattaminen	5
liitos perustuksiin	4
oikeat työtavat, että eristeet ja höyrynsulut ovat oikein asennettu	4
höyrynsulun paikka	3
lämmöneristeen asennus	3
alajuoksu	1

## 7 TERÄSRAKENTEISET ULKOSEINÄT

### 7.1 Kosteusteknisen toimivuuden yleinen arviointi ja parantamistarpeet

1. Riittävä päällekkäisyys (150 mm) ulkoverhouksen teräslevyjen saumoissa estää veden tunkeutumisen saumojen kautta ulkoverhouksen läpi.	1	2	3	4	5
		7	6	5	1
					/19
- myös asennustapa vaikuttaa					
- seinässä ei näin tehdä, ainakaan enää					
2. Teräsrakenteisen seinän tiivistämisestä eri liitosten yhteydessä on syytä antaa ohjeita.			1	10	9
					/20
3. Teräsverhoilussa ulkoseinässä tulee aina käyttää tuuletusrakoa ulkopinnan teräsverhoilun takana.				2	18
					/20
- paitsi sandwich -elementissä					
4. Vaikka kylmäsillat eivät aina aiheuta kosteuden suoranaista tiivistymistä, on ympäristöään selvästi kylmemmän pinnan likaantuminen merkittävää.		2	4	9	3
					/18
- niin on nähty käytännössä					
- myös korkea RH					

- rei'itetyillä teräsorsilla eli ns. termorangoilla tehtyjen seinien lämmönläpäisykertoimet ovat yhtä hyviä tai parempia kuin puuseinien arvot

5. Ohutlevysandwich -rakenteet, joissa lämmöneristys on kahden tavallisesti sinkityn ja muovipinnoitetun ohutlevyn välissä, ovat kosteusteknisesti riskittömiä.	1	2	3	4	5
	1	7	7	2	2
					/19

Perustelut:

- Ne epäonnistuvat 100%:sti. Tarvitsevat sadetakin (ja tuuletusraon) päällensä
- saumat ovat riskikohtia 2 vastaajaa
- saumoista ja läpivientikohdista vuodot mahdollisia; ei kuitenkaan tuuletusta tai vedenpoistoa
- riskejä on aina, asennusvirheet, suunnitteluvirheet jne
- vesivuodot eristetilaan, eivät kuivu
- jos yläreuna on tehty siten, että vesi ei makaa solumuovin päällä, rakenne on todennäköisesti ok

### 7.2 Kosteustekniset riskit ja parannusratkaisujen periaatteet

1. Teräsorsien kondenssivaaran vähentämiseksi riittää, kun kylmäsillat katkaistaan esimerkiksi ristikkäisellä puukoolauksella tai lisäeristekerroksella.		3	7	9	1
					/20
2. Teräsrakenteisen seinän ilmatiiviyys hoidetaan riskittömimmän käyttämällä lämmöneristeen sisäpuolella höyrynsulkua.			2	11	7
					/20
3. Teräsrakenteisen seinän liitosrakenteille on syytä antaa yksityiskohtaisia ohjeita, koska teräsverhouksen pinnalla kulkeva sadevesi rasittaa voimakkaasti liitosrakenteita.		1	2	11	6
					/20
- yleisiä periaatteita kylläkin					
4. Poimulevyn käyttäminen ulkoverhouksessa vaakasuorassa suunnassa lisää merkittävästi ulkoverhouksen vedenpitävyysriskiä niin saumoissa kuin liitoksissakin.	1	5	5	3	5
					/19

5. Rei'ittämällä orsirangan uuma voidaan pienentää huomattavasti kylmäsiirtävaikutusta ja siten myös sisäpinnan kondenssiriskiä.

1	2	3	4	5
	1	7	8	3

/19

6. Teräsrakenteisissa ulkoseinissä höyrynsulun sijoittaminen sisäpuolella olevan vaakarungon ja kantavan pystyrungon väliin lisää rakenteen kosteusteknistä riskiä huomattavasti enemmän kuin puurunkoisessa seinärakenteessa.

	5	7	6	1
--	---	---	---	---

/19

– ei, jos pystyranka rei'itetty ja suhteet 1:4

7. Orsiseinä rakenteessa rakenteen tiivistys voidaan hoitaa myös rakennuspaperilla muovin sijaan.

3	8	7	1	
---	---	---	---	--

/19

Miten ja milloin?

- parempi olla sitkeätä materiaalia
- kun sisätilat hyvin kuivat, mutta siitä ei ole mitään hyötyä
- normaalien huonetilojen kohdalla. Ei mielestäni suositeltavaa. Miksi pitäisi? Teräsrangan kosteusriski pieni: lämpöhäviö kuivattaa. Vaikka termorangan ekvivalentti lämmönjohtavuus on noin 1/10 teräksen (sinkityn) johtavuudesta, pitää jäljelle jäävä häviö rangan kuivana.

8. Ohutlevys sandwich -elementit ovat riskialttiita työvirheille, kuten asennusaikaisille kolhuille ja kosteuden pääsyyllä elementin sisään.

	2	4	11	2
--	---	---	----	---

/19

9. Ohutlevys sandwich -rakenteissa saumat muodostavat suurimman riskin rakenteen toimivuudelle.

		5	10	4
--	--	---	----	---

/19

10. Millaisia ohjeita ohutlevys sandwich -rakenteista tulisi antaa?

- sadetakki päälle
- yleiset ohjeet veden sisään pääsyn estämisestä ja sisäpinnan höyrytiiviyttä saumauksesta sekä työnaikaisesta käsittelystä
- olisiko taustalevyn tiheä rei'ittäminen eduksi?
- nykyiset detaljit pääosin hyviä, ohjeita tarvitaan elementtien asentamisen jälkeen työmaalla tehtävien läpivientien toteuttamiseksi, ulkopuolisten liitosrakenteiden ratkaisuksi yms.

### 7.3 Tärkeimpiä teräsrakenteisen ulkoseinän kosteusteknisessä tarkastelussa huomioon otettavia asioita

	Pisteet
tuuletusrako	60
ilmatiiviyys	35
ulkoverhouksen sateenpitävyys	29
höyrynsulku	25
detaljit liitoksissa	20
kylmäsiirtojen estäminen	14
vaakapaneelin detaljit	10
eriytetty julkisivu	10
räystäät	10
vedenpoisto tuuletusraosta	8
tuulensuojaus	8
sisäpuoli höyrytiivis	7
vesihöyrynpitävyys suhteet eristyksen eri puolilla	7
sokkeliliitos	7
pintalämpötilat	6
kosteiden tilojen toteutus	5
liittyminen perustuksiin	4
lämmöneristeiden asennus	3
materiaalivalinnat	1

### 8 ERISTERAPATUT ULKOSEINÄT

1. Mitä sellaisia kosteusteknisesti huomioitavia asioita liittyy eristerappaukseen, joista on syytä antaa ohjeita?

1. Voimakkaita suosituksia käytön lisäämiseen
2. Ovat erittäin hyviä ja riskittömiä rakenteita, lisäksi vielä halpoja
3. Tarkoitan joustava ohutlaasti + luja lasikuituverkko -rappauksia. Lämmöneriste voi olla EPS tai erikoiskova mineraalivilla

- sopii mataliin taloihin, joissa on isot räystäät
- pinnoitus
- pellitykset
- liikuntasaumut
- lämmöneriste ja sen vahvuus
- tukiverkko
- rappausaine ja sen vahvuus
- asennusolosuhteet
- detaljit, käyttökelppoiset voimakkaassa rasituksessa 2 vastaajaa
- tuuletus

- läpiviennit
  - käyttökohteet
  - materiaalit, muovieristeiden käyttöedellytykset
1. jos eriste / pinta huonosti vesihöyryä läpäisevä → kosteuden kerääntyminen rakenteen sisään estettävä (tarkastelu)
    - rakennuskosteuden poistuminen ennen eristeen asentamista
    - sadevesivuotojen estäminen / taakse → detaljit
  2. jos eriste / pinta hyvin vesihöyryä läpäisevä
    - sadevesivuotojen estäminen eristeeseen
    - pinnan sadevesitiiviyys / eheys / ei halkeilua → detaljit
- rappauspinta on ohut, sillä ei ole merkittävää kosteuskapasiteettia (palomääräykset kielivät palavat lämmöneristeet ns. kivitaloissa, kolhunkestävyys heikko)
  - liittymädetaljit tapauskohtaisesti
  - sokkelin korkeus huomioitava
  - kiinnikemateriaalin ruostumattomuus ja kestävyys
  - pinnoitteen hengittävyys
  - liitosdetaljit (joista toki on olemassa hyviä toimivia ohjeita)
  - vanhasta rakenteesta aiheutuvat erityisvaatimukset
  - styroxin käyttö yleensäkin
  - ohuiden pinnoitteiden käyttö

2. Eristerapattuun pintaan liittyvistä yksityiskohdista on syytä antaa ohjeita.

1	2	3	4	5
	1	2	4	10

/17



TEKNISKA HÖGSKOLAN I TAMMERFORS  
Avdelningen för byggteknik  
Husbyggnadsteknik

## SUOMALAISTEN ULKOSEINÄTYYPPIEN KOSTEUSTEKNISET RISKIT JA NIIDEN VÄHENTÄMINEN

### FUKTTEKNISKA RISKER MED OLIKA TYPER AV YTTERVÄGGAR I FINLAND OCH HUR MAN KAN MINSKA DESSA RISKER

#### HAASTATTELULOMAKE RUOTSALAISILLE ASIAANTUNTIJOILLE FRÅGEFORMULÄR FÖR SAKKUNNIGA I SVERIGE

#### KYSELYYN VASTANNEET:

Eva Sikander, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut AB  
Lars Tobin, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut AB  
Kenneth Sandin, Lunds Tekniska Högskola, Byggnadsmaterial  
Lars-Erik Harderup, Lunds Tekniska Högskola, Byggnadsfysik  
Stefan Hjort, Chalmers Tekniska Högskola, Dept. of Building Materials

Tämä haastattelukaavake on koottu Suomessa noin 50 asiantuntijalle lähetetyn haastattelukaavakkeen perusteella. Kysymykset on keskitetty sellaisiin osa-alueisiin, jotka Suomessa tehdyn haastattelun perusteella jäivät hieman epäselviksi ja joista Ruotsissa on tehty korkeatasoista tutkimusta. Haastattelukysymykset keskittyvät muurattuihin sekä puurunkoisiin ulkoseinärakenteisiin.

Kysymysten perään on jätetty tilaa vastaukselle ja mahdollisille piirroksille. Perustelujen esittäminen vastauksen yhteydessä olisi erittäin tärkeää, vaikka niille ei aina erillistä kohtaa olekaan.

*Det här frågeformuläret bygger på ett frågeformulär som i Finland skickats ut till 50 experter. Frågorna koncentreras på sådana områden som inte blev klarlagda av den finska undersökningen och där man i Sverige har utfört högklassig forskning. Frågorna gäller främst murade ytterväggskonstruktioner och ytterväggskonstruktioner med träregelstomme.*

*Efter frågorna finns det plats för svar och eventuella ritningar. Det skulle vara mycket viktigt att få motiveringar till svaren även om det inte finns någon enkom anvisad plats för motiveringar.*

#### MURATUT ULKOSEINÄRAKENTEET MURADE YTTERVÄGGSKONSTRUKTIONER

1. Lisääntykö sadeveden tunkeutuminen pystysaumojen kautta rakenteeseen merkittävästi, jos kuorimuri muurataan ohuemmista tiilikivistä (paksuudeltaan esim. 85 mm) paksumpien kivien (120 mm) sijaan?
  1. Ökar vatteninträngningen vid regn via stötfogarna in i konstruktionen i betydande grad om skalmuren muras av tunnare tegel (tjocklek t.ex. 85 mm) i stället för med tjockare tegelstenar (120 mm)?
- todennäköisesti
- ei
2. Millaisissa rasisoloissa olisi syytä käyttää kuorimuurin minimipaksuutena 120 mm?
2. Under hurdana påfrestningsförhållanden är det skäl att ha en skalmur med en tjocklek på minst 120 mm?
  - Käyttämällä 120 mm:n paksuisia kiviä saadaan todennäköisesti stabiilimpi muuri.
  - Tiilen paksuudella (joko 120 mm tai 85 mm) ei ole mitään merkitystä.

3. Onko kuorimuurirakenteissa aina syytä käyttää kuorimuurin takana reilua tuuletusrakoa ja lämmöneristeen ulkopuolella tuulensuojalevyä tai tuulensuojapintaista eristelevyä?
3. *Är det skäl att i konstruktioner med skalmur alltid ha en rejäl luftspalt bakom skalmuren och en vindskyddsskiva utanpå värmeisoleringen eller en värmeisoleringsskiva med vindskyddad ybehandling?*
- Kuorimuurirakenteissa tulee olla tuuletusrako kosteusongelmien estämiseksi ja tuulensuojalevy energian säästämiseksi.
  - Jos käytetään lämmöneristelevyä, ei tuuletusraolla ole merkitystä. Jos käytetään tuulensuojalevyä (esim. *asfaboard*), täytyy käyttää reilua tuuletusrakoa.
4. Mikä on suositeltava tuuletusraon leveys?
4. *Vilken bredd på luftspalten bör rekommenderas?*
- Vähintään 25 mm
  - Riippuu rakenteesta. Vertaa vastaus kysymykseen 3.
5. Mikäli viistosadekuormitus on pieni (tavallinen yksikerroksinen omakotitalo) ja sekä ulkoseinän ulko- että sisäkuori ovat muurattuja rakenteita, voidaanko tuuletusrako jättää pois ja silti saavuttaa kosteusteknisesti toimiva seinärakenne?
5. *Om slagregnsbelastningen är liten (en vanlig villa i ett plan) och både det yttre och det inre skalet i ytterväggen är murade konstruktioner, kan man då lämna bort luftspalten och ändå åstadkomma en fuktsäker väggkonstruktion?*
- Ehkä, jos rakenteeseen tehdään kosteustekniset laskelmat, todetaan, että rakenteessa esiintyy kondenssia.
  - Kyllä. Homogeenista tiiliseinää ei tule käyttää. Välitila ulko- ja sisäkuorien välissä tulee täyttää kapillaarisuuden katkaisevalla materiaalilla, kuten mineraalivillalla tai solumuovilla.
6. Onko laastipurseiden putoaminen tuuletusrakoon estettävä ja millä keinoin se voidaan estää?
6. *Måste man absolut förhindra att brukspill faller ner i luftspalten och hur skall man i så fall göra det?*
- Kyllä, mahdollisissa määrin.
  - Vertaa vastaus 3.
  - Jos laastipurseiden putoamista tuuletusrakoon ei voida sallia, tulee valita 50 mm leveä tuuletusrako ja puhdistaa se muurauksen jälkeen.
  - Kuljetetaan joustavaa levyä ylöspäin muurauksen edistyessä.

7. Voidaanko rappauspinnan maalauksella pienentää tiilimuurin kosteusrasitusta?
7. *Kan man genom att måla putsytan minska fuktpåfrestningen på tegelmuren?*
- Kyllä, mutta virheellinen maalaus voi aiheuttaa ongelmia.
  - Ei maalaamalla.
  - Käsittelemällä ulkopinta vettä hylkivällä aineella (hydrofobiointi) voidaan vähentää kosteusrasitus nollaan.
8. Voiko poltetuista tiilistä muuratun julkisivun maalaus lisätä rakenteen kosteusrasitusta?
8. *Kan målning av en fasad som murats av bränt tegel öka fuktpåfrestningen på konstruktionen?*
- Kyllä. Jos rakenteessa on halkeamia tunkeutuu niistä vettä sisään rakenteeseen samanaikaisesti kun rakenteen kuivuminen estyy.
9. Entä voiko kalkkihiekkakivistä muuratun julkisivun maalaus lisätä rakenteen kosteusrasitusta?
9. *Kan målning av en fasad som murats av kalksandsten öka fuktpåfrestningen på fasaden?*
- Kyllä. Sama vastaus kuin kohdassa 8.
10. Millaisia vaatimuksia edellä mainituissa kohdissa 7, 8 ja 9 maalien ominaisuuksille tulee asettaa?
10. *Vilka krav bör man ställa på egenskaper hos målarfärgerna i de ovannämnda punkterna 7,8 och 9?*
- Varma ratkaisu on, että valitaan maaleille samat kosteudenläpäisyominaisuudet kuin alustalla on, esimerkiksi silikaattimaali.
11. Voiko kuorimuurin käsittely kosteutta hylkivällä aineella lisätä huomattavasti kuorimuurin pakkasvaurioriskiä?
11. *Kan impregnering av skalmuren med ett vattenavvisande preparat på ett väsentligt sätt öka risken för frostsador på skalmuren?*
- Riippuu materiaalivalinnasta
  - Väärin tehty impregnointi: Kyllä.
  - Oikein tehty impregnointi: Ei.



12. Milloin tämä käsittely voi lisätä pakkasvaurioriskiä?

12. När kan en sådan behandling öka risken för frostsador?

- Jos kyseessä oleva tuote aiheuttaa julkisivuun epäsuotuisan kosteustilan eli jos se sulkee kosteutta rakenteeseen.
- Jos rakenteessa on halkeamia tai muita säröjä.

13. Mitkä ovat 5-10 tärkeintä muurattujen ulkoseinärakenteiden kosteusteknisessä tarkastelussa huomioon otettavaa asiaa?

13. Vilka är de 5 – 10 viktigaste faktorerna som bör beaktas vid fuktteknisk dimensionering av murade ytterväggskonstruktioner?

- Tiilten on oltava pakkasenkestäviä.
- Tiilen kosteustila tulee pitää mahdollisimman alhaisena.
- Kosteuden tunkeutuminen sisäpintaan tulee estää.
- Homogeenisessa seinässä ei sisäpinta saa olla ”tiivis”
- Pakkasenkestävät materiaalit
- Ulkopinnassa ei saa olla ”tiivistä” maalia tai muuta pintakäsittelyä.
- Orgaaniset materiaalit eivät saa olla kosketuksessa muuraukseen.
- Vettä poisjohtava kerros, pelti yms.

**PUURAKENTEISET ULKOSEINÄT  
YTTERVÄGGAR MED TRÄREGELSTOMME**

**Puurankaseinä ja kuorimuuraus  
Skalmur med träregelstomme**

1. Millaisissa olosuhteissa (esim. viistosaderasituksen voimakkuus, rakennuksen korkeus) kuorimuurattu puurankaseinä on kosteusteknisesti riskialtis rakenne?

1. Under hurdana förhållanden (t.ex. styrkan på slagregnpåfrestningen, byggnadens höjd) är en skalmur med träregelstomme en fukttekniskt riskbenägen konstruktion?

- Tavallisesti on turvallinen rakenne.
- Oikein tehty kuorimuuri toimii aina!

Voimakkaasti saderasitetuilla rakenteilla saattaa esiintyä kesäkondenssia. Jos aurinko paistaa märkään kuorimuuriin, nousee sen lämpötila ja kosteuden kulku sisään seinärakenteeseen voi olla huomattavaa ja aiheuttaa kondenssia höyrynsulun ulkopintaan. Vaikka kesäkondenssia ei ilmenisikään aiheuttaa märkä kuorimuuri korkean suhteellisen kosteuden puuseinään.

I konstruktioner som utsätts för kraftig regnpåfrestning kan det uppstå sommarkondens. Om solen skiner på en våt skalmur, stiger temperaturen i den och fukttransporten in i väggkonstruktionen kan vara avsevärd och ge upphov till kondens på utsidan av ångspärren. Även om sommarkondens inte uppträder leder en våt skalmur till en hög relativ fuktighet i träväggen.

2. Millaisia kosteusteknisesti turvallisia rakenneratkaisuja voidaan suositella niihin rakennuksiin, joissa merkittävää kesäkondenssia saattaa esiintyä?

2. Hurdana fukttekniskt trygga konstruktionsalternativ kan man rekommendera för sådana byggnader där man eventuellt kan vänta sig en avsevärd sommarkondens?

- Tiilten hydrofobointi, jolloin tiilen kosteuspitoisuus pysyy alhaisena.

- Ulkopinnan impregnointi vettä hylkivällä aineella.
- Höyrynsulkuna käytettävän muovikalvon poistaminen.
- Solumuovieristys puurungon ulkopuolella.
- Leveä ja hyvin tuuletettava tuuletusrako.

3. Voidaanko kuorimuurattulle puurankaseinälle esittää viistosaderasitusrajoja, jolloin esim. olisi parempi käyttää kokonaan muurattua ulkoseinärakennetta?

3. Kan man ange gränsvärden för slagregnpåfrestning då det vore bättre att använda en helt och hållet murad ytterväggskonstruktion?

- Ei

4. Tarvitaanko tiiliverhoillussa puurunkoisessa seinässä leveämpi tuuletusrako kuin tiiliseinässä, jossa sekä ulko- että sisäkuori ovat muurattuja?

4. Behövs det en bredare luftspalt i en träregelvägg med skalmur än i en tegelvägg där både det inre och det yttre skalet är murade?

- Molempia vaihtoehtoja voidaan käyttää myös ilman tuuletusrakoa.

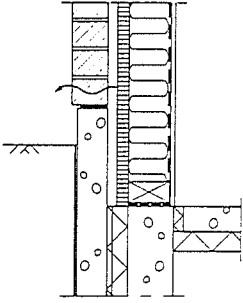
5. Kuinka leveä tämän tuuletusraon tulisi olla?

5. Hur bred borde den här luftspalten vara?

- 0-50 mm

Jos puurunkoisella seinällä perusmuurin ulkokuori joudutaan nostamaan sisäkuorta ylemmäksi ja maanpinta on samalla tasolla tai ylempänä kuin lattia, saattaa puurungon alapään kuivuminen vaikeutua huomattavasti.

Om man blir tvungen att höja det yttre skalet av sockeln vid en träregelvägg så att det ligger högre än det inre skalet och markytan är på samma nivå eller högre än golvet kan uttorkningen av träregelstommen försvåras avsevärt.



6. Voidaanko tällainen rakenne tehdä siten, että se on kosteusteknisesti toimiva ja jos voidaan niin miten?

6. Kan en sådan konstruktion göras på ett sådant sätt att den är fuktsäker och om det är möjligt, på vilket sätt?

- Eräs parannusvaihtoehto on puisten runkotolppien ja alajuoksun korvaaminen teräksellä.
- Kaikki on mahdollista, mutta tämä vaikuttaa mutkikkaalta. Oleellista on huolehtia, että mahdollinen vesi joka kulkeutuu kuorimuurin sisäpintaa pitkin voidaan johtaa ulos maahan.
- Hyvän lopputuloksen aikaansaaminen vaikeutuu. Meillä on useita esimerkkejä vaurioista tämän tyyppisissä rakenteissa. Koko sokkelielementti voidaan nostaa ylös. Levyverhous voidaan viedä alas. Rakenteeseen tulee tehdä kosteustekniset laskelmat ja rakennuskosteus tulee ottaa huomioon.

Maakosteuden nousu muuraukseen tai puurakenteisiin estetään käyttämällä kapillaarikatkoa sokkelin ja muurauksen tai puurungon välissä.

Man förhindrar att markfukt tränger upp i murning eller träkonstruktion genom att använda kapillärbrytning mellan sockeln och murningen eller träregelstommen.

7. Onko lisäksi tarpeellista asentaa toinen kerros johtamaan vettä pois tuuletusraosta?

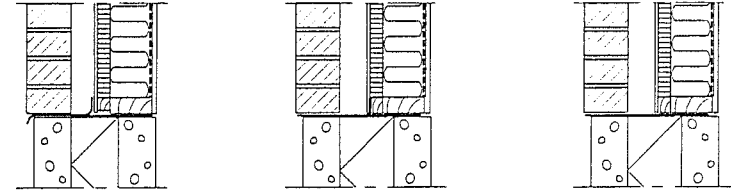
7. Är det dessutom nödvändigt med ett lager till som leder ut vatten ur luftspalten?

- Ehdottomasti kyllä!

- Kyllä. Meillä on monia esimerkkejä rakenteiden vaurioista, koska vettä rakenteesta poisjohtava kerros kuorimuurin alta on puuttunut, se on liitetty väärin puurunkoon tai koska materiaali ei ole ollut kestävä.

8. Miten tämä vettä seinärakenteesta pois johtava kerros tulisi asentaa?

8. Hur skall detta andra lager för dränering av luftspalten läggas?



a) nostaa ylös jonkin verran tuuletusraossa tuulensuojan ulkopuolella  
a) litet förhöjt på utsidan av vindskyddet i luftspalten

b) nostaa ylös jonkin verran tuuletusraossa tuulensuojan sisäpuolella  
b) litet förhöjt på insidan av vindskyddet i luftspalten

c) viedä sokkelin yläpinnan suuntaisesti koko yläpinnan matkalla  
c) dras hela vägen längs sockelns övre yta i riktning med sockelytan

- Täysin väärin!

d) viedä sokkelin yläpinnan suuntaisesti koko yläpinnan matkalla ja lisäksi kallistaa sokkelin yläpinta sen ulkoreunaa kohden alaspäin viettäväksi

d) dras längs med sockelns hela övre yta i riktning med sockelytan och dessutom göra sockelns övre yta lutande så att den sluttar nedåt när den närmar sig den yttre kanten

e) jollakin muulla tavalla, miten?

e) på något annat sätt, hur?

- Ensimmäisen vaihtoehdon (a) mukaan (yksi vastaus).

- Toisen vaihtoehdon (b) mukaan (yksi vastaus).

- Sekä ensimmäisestä (a) että kolmannesta (c) vaihtoehdosta löytyy esimerkkikohteita, joissa on ollut vaurioita. Vaihtoehto kaksi (b) on hyvä. Tuulensuojalevy ei saa olla kosketuksessa vettä seinärakenteesta poisjohtavaan kerrokseen.

9. Tulisiko kuorimuri aina porrastaa alajuoksua alemmalle tasolle, jotta vesi johtuisi helpommin pois?
9. *Borde skalmuren avtrappas till en nivå lägre än syllstocken för att vattnet lättare skall ledas bort?*
- Kyllä
  - Siitä on etua, ei välttämätöntä.
  - Lisää varmuutta.
10. Onko maanvaraista betonilattiaa käytettäessä puurungon alussoiron aina oltava lattiatason yläpuolella?
10. *Bör syllstocken alltid ligga på en högre nivå än golvplanet när man använder betongplatta på mark?*
- Kyllä, voidaan pitää parempana vaihtoehtona.
  - Lisää varmuutta.
11. Mitkä ovat 5-10 tärkeintä kuorimuuratun puurankaseinän kosteusteknisessä tarkastelussa huomioon otettavaa asiaa?
11. *Vilka är de 5 – 10 viktigaste sakerna att beakta vid fuktteknisk dimensionering av skalmur med träregelstomme?*
- Kuorimuurin läpi tunkeutuneen veden poisjohtaminen.
  - Kesäkondenssin varominen.
  - Kosteussulku alajuoksun alla.
  - Kapillaarikontaktin välttäminen muurauksen ja puurunkoisen seinän välillä.
  - Pakkaskestävät materiaalit

Viistosade:

- Tuuletusrako erottaa sateen ja tasaa paine-eron.
- Tuuletusrako toimii kapillaarikatkona (ei laastipurseita)
- Tuuletusrako johtaa vuotovedet ulos rakenteesta.

Normaaliolosuhteet:

- Tuulensuoja, joka sietää korkeaa kosteusrasitusta ja samanaikaisesti suojaa seinän puurunkoa tuuletusraon kostealta ilmastolta.
- Kosteustekniset tarkastelut, laskelmat tulee tehdä kokonaisuudessaan, kosteusdiffuusio sisältä ulospäin sekä kosteusdiffuusio ulkoa sisäänpäin.
- Puurungon aluspuuhun liittyvät detaljit ja oikea työsuoritus (usein vaurioita).

**Puuverhoiltu puurankaseinä**  
*Träregelvägg med träpanel*

1. Onko puurankaseinässä käytettävillä lämmöneristemateriaaleilla (mineraalivilla, selluvilla) merkitystä seinärakenteen kosteustekniseen toimivuuteen ja jos on niin millainen?
1. *Har det värmeisoleringsmaterial (mineralull, sellulosaisolering) som används i en träregelvägg betydelse för hur väggkonstruktionen fukttekniskt fungerar? I så fall, på vilket sätt?*
- Niillä on hyvin vähän merkitystä.
  - Hyvin vähän.
  - Materiaalilla ei ole juurikaan merkitystä, paitsi erilaiset  $\lambda$  - arvot. Hygroskooppinen materiaali voi mahdollisesti sitoa kosteutta (rakennuskosteus), mikä voi aiheuttaa, että kosteutta jää rakenteeseen pitkäksi aikaa. Tästä voi aiheutua vaurioita. (vaurioesimerkkejä löytyy)
2. Onko seinärakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta merkitystä sillä käytetäänkö ilmatiiviiden saavuttamiseen muovikalvoa tai paperia?
2. *Har det betydelse för hur en väggkonstruktion fungerar fukttekniskt om man använder plastfolie eller papp för att åstadkomma lufttätet? (för att göra den lufttät)*
- Muovikalvo on paras, koska se on myös höyrytiivis.
  - Ei ole.
  - Diffuusionäkökulmasta materiaalivalinnalla on merkitystä. Ilmatiiviysnäkökulmasta hiltaintain päättynyt SP:n (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut AB) tutkimus osoittaa, että ilmatiivis rakenne voidaan saavuttaa muillakin materiaaleilla kuin muovilla seuraavilla ehdoilla:
    - Materiaali on itsessään ilmatiivis.
    - Suunnitellaan hyvä ilmatiivisyys (koskee myös muovikalvoa)
    - Huolellinen työsuoritus (koskee myös muovikalvoa)
3. Voidaanko tehdä kosteusteknisesti toimiva ulkoseinärakenne ilman höyrynsulkuna käytettävää muovikalvoa?
3. *Kan man åstadkomma en fuktsäker ytterväggskonstruktion utan plastfolie som ångspärr?*
- Ehkä
  - Kyllä
  - Kyllä, jos diffuusiolaskelmat on tehty ja on todettu, että ilman suhteellinen kosteus on riittävän alhainen. Jos rakennuksen joissakin osissa esiintyy sisäpuolista ylipainetta, on ilmatiivisyys tärkeää myös kosteusteknisestä näkökulmasta. Esimerkiksi tiilikuorimuurin yhteydessä tai kesämökeissä on tilanne parempi ilman muovikalvoa.

– Tämä osoittaa, että meillä on normaalisti oikeus vaatia suunnittelijalta kosteusteknisten tarkastelujen osaamista.

4. Mitä kosteusteknisesti tärkeitä asioita tällaisessa rakenteessa tulee ottaa huomioon?

4. *Vilka fukttekniskt viktiga faktorer bör man beakta vid en sådan uppbyggnad?*

- Rakenne tulee toteuttaa siten, ettei kondenssia esiinny talvella. Rakenteen tulee olla ilmatiivis.
- Ilmatiiviyys
- Tuulettuva ulkoverhous
- Kapillaarikatko
- Vuotovesien poisjohtaminen
- Tuulensuojan diffuusiotiiviyys, ulkopuolella oleva tuuletusrako, sisäpuolisen ”ilma- tai diffuusiosulun” diffuusio- ja ilmatiiviyys, työsuoritus, seinärakenteen rakennuskosteus. Sisäpuolisen ylipaineen vallitessa on ilmatiiviyys erittäin tärkeää.
- Tavalliset kosteustekniset tarkastelut, laskut.

5. Missä olosuhteissa/tiloissa tällaista seinärakennetta voidaan käyttää?

5. *Under vilka förhållanden/ i vilka utrymmen kan man använda en sådan uppbyggnad?*

- Kun sisäilmasto on normaali.
- Rakennuksissa, joiden kosteustekninen tarkastelu on osoittanut, että rakenteet kestävät niihin kohdistuvan kosteusrasituksen.

6. Milloin muovikalvo höyrynsulkuna voi olla haitallinen ja miksi?

6. *När kan det vara skadligt att använda plastfilm som ångspärr och varför?*

- Silloin, jos on olemassa riski, että suljetaan kosteutta sisään rakenteeseen, esimerkiksi kellarinseinä, jossa on sisäpuolella puukoolaus (*uppreglad källarvägg*).
- Todennäköisesti ei koskaan.
- Kun käytetään kuorimuurirakennetta ja kesäkondenssin riski on merkittävä, diffuusioavoimesta sisäpinnasta saattaa olla etua.
- Rakennuksissa, jotka ovat kylmiä talviaikaan (kesämökki), on diffuusioavoimesta sisäpinnasta etua.
- Muutoin emme näe muovikalvon käyttämisestä ilma- ja diffuusiosulkuna seinän sisäpinnassa mitään haittaa.
- Nämä asiat selviävät kosteusteknisistä laskelmista.

Höyrynsulku voidaan sijoittaa lämmöneristepaksuuden kolmanneksen etäisyydelle sisäpinnasta. Etuna ratkaisussa on, että sähköasennukset voidaan tehdä höyrynsulkua rikkomatta. Toisaalta esim. työn aikainen rakennuskosteus voi tiivistyä/kondensoitua höyrynsulun sisäpintaan tai tuulensuojauksen puutteellisuuden vuoksi saattaa esiintyä kondenssiriskiä.

*En ångspärr kan placeras på ett avstånd från den inre ytan som är en tredje del av av den totala isolertjockleken. En fördel med den lösningen är att elektriska installationer kan utföras utan att ångspärren bryts. Å andra sidan kan byggfukt under byggnadstiden kondenseras på insidan av ångspärren eller så kan det uppträda kondens på grund av bristfälligt vindskydd.*

7. Voidaanko tällaista seinärakennetta suositella ja millaisissa olosuhteissa?

7. *Kan en sådan här vägguppbyggnad rekommenderas och i så fall, under vilka förutsättningat?*

- Kyllä, tavallisesti se on hyvä rakenne.
- Kyllä. Aina.
- Kosteustekniset laskelmat tulee suorittaa ensin. Asettaa vaatimuksia jopa kosteustekniselle toimivuudelle rakennusajankohtana.

8. Miten ulkoseinä tulisi tehdä, jos märkätila, esimerkiksi pesuhuone, on ulkoseinän takana?

8. *Hur skall ytterväggen konstrueras om det finns ett våtrum, t.ex. om tvättrummet ligger bakom ytterväggen?*

- On erittäin tärkeää, että höyry- ja ilmatiivis kerros on lähimpänä seinärakenteen lämmintä pintaa.
- Ei kaksinkertaista höyrynsulkua.
- Korkeampi kosteusrasitus tulee ottaa huomioon. Tavallinen kosteustekninen tarkastelu. Kahta tiivistä kerrosta tulee varoa rakenteissa, joissa muovikalvo voi olla toinen.

9. Aiheuttaako höyrynsuluttoman puuseinärakenteen lisääntynyt kosteusrasitus riskin, että rakenne on liian kauan kostea, vaikka kumuloituvaa kosteuskertymää ei pitkällä aikavälillä syntyisikään?

9. *Leder en ökad fuktpåfrestning på en träregelvägg utan plastfolie som ångspärr till en risk att konstruktionen alltför länge är fuktig, även om det inte skulle uppstå någon kumulativ fuktanhopning under en längre tid?*

- Jos kosteusrasitus aiheutuu ulkoapäin sisään tunkeutuvasta vedestä tai rakennuskosteudesta, kuivuu seinä nopeammin, jos sisäpinta ei ole täysin diffuusiotiivis. Jos lisääntynyt kosteusrasitus johtuu siitä, että vesihöyrypitoisuus sisällä on korkea, on diffuusioavoimesta sisäpinnasta haittaa.

10. Voivatko erilaiset rakennukseen vaikuttavat ilmavirtaukset, kuten tuuli, lisätä ilmavuotoja enemmän höyrynsuluttomissa kuin höyrynsulullisissa seinärakenteissa, mikäli rakenteet ovat muutoin oikein toteutettu/tehty?

*10. Kan olika lufströmmar som inverkar på byggnaden, som t.ex. vinden, öka luftläckaget mera i en träregelvägg utan plastfolie som ångspärr än i en träregelvägg med plastfolie som ångspärr om konstruktionerna i övrigt har gjorts på rätt sätt?*

- Kyllä
- Ei
- Jos puurunkoisessa seinässä käytetään jotakin muuta materiaalia ilmatiivyyden saavuttamiseen ja sekä materiaali että liitosdetaljit ja jatkokset ovat ilmatiiviitä, ei muovikalvon poisjättämisellä ole niin suurta merkitystä. On kuitenkin huomioitava, että muovikalvon käyttämisestä ilma- ja höyrysulkuna on enemmän kokemusta kuin muista materiaaleista.

11. Aiheuttavatko rakennuslevyjen muodonmuutokset höyrynsuluttomassa seinärakenteessa suuremman kosteusteknisen riskin heikentämällä rakenteen ilmanpitävyyttä tai tuulen-suojausta kuin höyrynsulullisessa seinärakenteessa?

*11. Leder boarddeformering i en uppbyggnad utan plastfolie som ångspärr till en större risk genom att försvaga konstruktionens lufttäthet eller vindskydd än i en uppbyggnad med plastfolie som ångspärr?*

- Kyllä
- Levyjen muodonmuutokset ovat tuskin merkittäviä sisäpinnassa ja juuri sisäpinnan tiiviys on rakenteen toimivuuden kannalta merkittävää/tärkeää.
- Ilmatiivisyysvaatimus on sama riippumatta siitä käytetäänkö ilmatiivyyden saavuttamiseen muovikalvoa vai ei.

12. Mitkä ovat 5-10 tärkeintä puuverhoillun puurankaseinän kosteusteknisessä tarkastelussa huomioon otettavaa asiaa?

*12. Vilka är de 5-10 viktigaste faktorerna att beakta vid en fuktteknisk dimensionering av en träregelvägg med träpanel?*

- Puuverhouksen hyvä kosteussuojaus valitsemalla sopiva maali.
- Tuuletusrako
- Höyrynsulku
- Ilmansulku
  
- Pintakäsittely
- Ulkoverhouksen tuulettuminen
- Ilmatiiviys
- Vuotovesien poisjohtaminen
- Kapillaarikatko

- Seinän sisäpinnan diffuusiotiiviyden tulee olla oikeassa suhteessa ulkopinnan diffuusiotiiviyteen. Oikea materiaalinvalinta odotettavissa oleviin olosuhteisiin.
- Kosteutta ei saa kertyä seinärakenteeseen – tai sen on päästävä kuivumaan lyhyen ajan kuluessa.
- Seinään ei saisi kulkeutua vettä ulkoapäin. (oikeat liitosdetaljit)
- Seinän tulee olla ilmatiivis. Jos rakenteessa saattaa esiintyä sisäpuolista ylipainetta on ilmatiiviyden erityisen tärkeää.
- Ulkopuolinen tuuletusrako
- Seinärakenteen runko tulee erottaa kosteussululla perusmuurirakenteista.

## Talonrakennustekniikan julkaisuja (v. 1990 - 2000)

- 50 Pynnönen, J., Leppänen, T., Teräsrunko monikerroksisessa toimisto- ja liikerakennuksessa. TTKK 1990. 113 s.
- 51 Pynnönen, J., Laavola, M., Kevyiden välipohjien värähtelyt. TTKK 1990. 92 s. + 31 liites.
- 52 Pynnönen, J., Suvanto, J., Teräsrakenteisen kerrostalon suunnittelun ja rakentamisen seuranta. TTKK 1990. 115 s. + 43 liites.
- 53 Pynnönen, J., Aro, J., Betonielementtiteollisuuden teräsosat. TTKK 1990. 87 s. + 4 liites.
- 54 Pynnönen, J., Sensio, K., Pultti- ja hitsausliitosten yhteistoiminta teräspalkin jatkoksessä. TTKK 1991. 59 s. + 20 liites.
- 55 Inha, T., Mattila, J., Teräsrakenteiden palosuojauksen suunnittelu. TTKK 1991. 105 s.
- 56 Mehto, L., Lindberg, R., Keronen, A., Koivula, U., Lapinniemen kehräämön seurantalutkimus: Rakenteiden tekninen toimivuus. TTKK 1991. 37 s.
- 57 Lindberg, R., Vinha, J., Myllyviita, S., Hellman, H., Beam-to-Column Connections in Story-Height Concrete Frame. TUT 1992. 94 s. + 9 liites.
- 58 Pynnönen, J., Poukka, T., Teräsrunkoinen aravakerrostalo ja suunnitteluratkaisuvaihtoehtoja. TTKK 1992. 96 s. + 49 liites.
- 59 Tawast, I., Perustusten vahvistusmenetelmät korjausrakentamisessa. TTKK 1993. 199 s. + 11 liites., hinta 150,-
- 60 Kokko, P., Pentti, M., Ruostumattomien raudoitteiden käyttö julkisivuelementeissä. TTKK 1993. 27 s.
- 61 Vinha, J., Lindberg, R., Kerrospilarirungon pilari-palkki -liitokset (Suunnitteluohje). TTKK 1994. 35 s.
- 62 Vinha, J., Lindberg, R., Mastopilari kehärakenteessa (Suunnitteluohje). TTKK 1994. 26 s. + 5 liites.
- 63 Lindberg, R., Suonketo, J., Hassinen, P., Test Report Long-Term Tests on Isora-Elements. TUT 1994. 55 s. + 67 liites.
- 64 Laasonen, M., Betonirakenteiden analysointi elementtimenetelmällä. TTKK 1994. 72 s. + 8 liites., hinta 150,-
- 65 Kärkäs, K. Sähkömagneettisen luotauksen mahdollisuuksista rakenneaurioiden tutkimuksessa. Julkaisematon.
- 66 II Korjausrakentamisen tutkimusseminaari. TTKK 1995. 161 s.
- 67 Niemelä, T., Vinha, J., Lindberg, R., Puukuitueristeisen seinärakenteen hengittävyys. TTKK 1996. 35 s. + 9 liites.
- 68 Majahalme, T., Modeling in Construction Technology; A Literature Review. TUT 1996. 42 s. + 2 liites.
- 69 Keronen, A., Effect of Semi-rigid Connections in RC Portal Frame: Load Tests. TUT 1996. 94 s. + 6 liites.
- 70 Puska, A., Korjausrakentamisen valvonta. TTKK 1996. 68 s. + 32 liites.
- 71 Wahlman, J., Betonijulkisivujen säilyvyys ja korjaaminen - aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. TTKK 1997. 143 s. + 47 liites., hinta 180,-
- 72 Inha, T., Iso-Mustajärvi, P., Teräsrakenteiden palosuojaus. TTKK 1997. 71 s.
- 73 Huttunen, I., Pentti, M., Julkisivukorjaushankkeen laadunvarmistus. TTKK 1997. 30 s. + 39 liites.
- 74 Huttunen, I., Pentti, M., Vesikattokorjaushankkeen laadunvarmistus. TTKK 1997. 26 s. + 27 liites.
- 75 Leivo, V. (toim.), Koulujen kosteus- ja homeauriokorjaukset. Kokemuksia Ylöjärven kunnasta. TTKK 1997. 83 s. + 6 liites.
- 76 Berg, P., Rätty, H., Rakentamisen ympäristöteknologiaohjelman väliarvio. TTKK 1997. 51 s. + 23 liites.
- 77 Keronen, A., Kylliäinen, M., Sound Insulating Structures of Beam-to-Column Framed Wooden Apartment Buildings. TUT 1997. 23 s. + 44 liites., hinta 200,-
- 78 Koski, T., Lindberg, R., Vinha, J., Lisäeristettyjen hirsiseinien kosteustekninen kunto. TTKK 1997. 107 s. + 51 liites.
- 79 Hietala, J., Keränen, H., Pentti, M., Betonisandwich-ulkoseinän muodonmuutokset ja halkeilu. TTKK 1997. 48 s. + 6 liites.
- 80 Berg, P., Malinen, P., Appraisal for The Technology Programme for Improving Product Development Efficiency in Manufacturing Industries - Rapid Programme. TUT 1997. 69 s. + 56 liites.

- 81 Berg, P., Puurakentamisen teknologiaohjelman painoalueet vuosille 1997 - 1998 sekä ohjelman arviointi- ja ohjaussuunnitelma. TTKK 1997. 57 s. + 32 liites.
- 82 Berg, P., Appraisal of The Wood in Construction Technology Programme. TUT 1997. 37 s. + 35 liites.
- 83 Lahdensivu, J., Viljakainen, M., Avoin puurakentamisjärjestelmä, esiselvitys. TTKK 1998. 35 s. + 19 liites.
- 84 Pihlajamaa, J., Berg, P., Puurakentamisen teknologiaohjelman väliarvio. Puurakentamisen teknologiaohjelman loppujakson toimenpiteiden määrittäminen. TTKK 1998. 67 s. + 45 liites.
- 85 Keronen, A., (toim.), Puukerrostalo: Rakenteet. TTKK 1998. 105 s.
- 86 Berg, P., Rätty, H., Appraisal of The Environmental Technology in Construction Technology Programme. TUT 1998. 37 s. + 23 liites.
- 87 Pentti M., Mattila, J., Wahlman, J., Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa I rakenteet, vauriot ja kunnon tutkiminen. 156 s. TTKK 1998. 250,-
- 88 Osa II korjausmenetelmät (valmistumassa).
- 89 Pentti, M., Huttunen, I., Vepsäläinen, K., Olenius, K., Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa III Korjaushanke. TTKK 1998. 124 s. + 23 liites. 250,-
- 90 Lindberg, R., Keränen, H., Teikari, M., Ulkoseinärakenteen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. TTKK 1998. 34 s. + 26 liites.
- 91 Berg, P., Salminen, K., Leivo, V., Nopeat tuotantojärjestelmät teknologiaohjelman painoalueet vuosille 1998-2000 sekä ohjelman arviointi- ja ohjaussuunnitelma. TTKK 1998. 55 s. + 37 liites.
- 92 Berg, P., Malinen, P., Leivo, V., Internal Monitoring of The Technology Programme for Improving Product Development Efficiency in Manufacturing Industries – Rapid Programme. TUT 1998. 81 s. + 93 liites.
- 93 Lepo, K., Laatuajärjestelmän kelpoisuus. TTKK 1998. 101 s. + 50 liites.
- 94 Pentti, M., Hyypöläinen, T., Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. TTKK 1999. 150 s. + 40 liites. 250,-
- 95 Leivo, V. (toim.), Opas kosteusongelmiin – rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. TTKK 1998. 157 s. 150,-
- 96 Vinha, J., Käckelä, P., Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. TTKK 1999. 2. painos. 81 s. + 29 liites. 200,-
- 97 Kylliäinen, M., Keronen, A., Lisärakentamisen rakennetekniset mahdollisuudet lähiöiden asuinkerrostaloissa. TTKK 1999. 59 s. + 37 liites. 200,-
- 98 Mattila, J., Peuhkurinen, T., Lähiökerrostalon lisärakentamishankkeen tekninen esiselvitysmenettely. Korjaus- ja LVIS-tekniinen osuus. TTKK 1999. 48 s.
- 99 Torikka, K., Hyypöläinen, T., Mattila, J., Lindberg, R., Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. TTKK 1999. 106 s. + 37 liites. 200,-
- 100 Pentti, M., Haukijärvi, M., Betonijulkisivujen saumausten suunnittelu ja laadunvarmistus. TTKK 2000. 2. täydennetty painos. 78 s. + 3 liites. 250,-
- 101 Pessi, A-M., Suonketo, J., Pentti, M., Raunio-Lehtimäki, A. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. TTKK. 1999. 88 s. + 6 liites. 250,-
- 102 Suonketo, J., Pessi, A-M., Pentti, M.,
- 103 Vinha, J., Käckelä, P., Water Vapour Transmission in Wall Structures Due to Diffusion and Convection. TUT 1999. 110 s. 200,-
- 104 Niemelä, T., Vinha, J., Lindberg, R., Carbon Dioxide Permeability of Cellulose-Insulated Wall Structures. TUT 2000. 150,-
- 105 Junttila, T. (toim.), Venäjän federaation kaavoitus- ja rakennuslaki. TTKK 2000. 49 s. 200,-

Julkaisun hinta: 120,- + alv 8 %, ellei toisin ole mainittu. Oikeus hinnanmuutoksiin pidätetään.

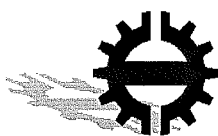
Myynti: Tietokirjakauppa Juvenes/Julkaisumyynti, PL 527, 33101 Tampere  
puh. (03) 365 2351, telefax (03) 365 2191

**TALONRAKENNUS-  
TEKNIikka**

**TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU**

**Korkeakoulunkatu 3, PL 600, 33101 Tampere**

**Puh. (03) 365 4804, Telefax (03) 365 2811**



## ULKOSEINÄRAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN SUUNNITTELU

Julkaisussa käsitellään suomalaisten ulkoseinätyyppien ja niiden liitosrakenteiden kosteusteknistä toimintaa, kosteusteknisiä riskejä ja niiden vähentämismahdollisuuksia sekä esitetään rakenteellisia ohjeita kosteusteknisen toimivuuden turvaamiseksi. Tarkasteltavia ulkoseinätyyppejä ovat betonirakenteiset, muuratut, puu- ja teräsrunkoiset sekä eristerapatut ulkoseinät. Ulkoseinän liitosrakenteista käsitellään mm. räystäsrakenteita, ikkuna- ja oviliitoksia, ulkoseinän ja perusmuurin liitosta sekä erilaisia julkisivupinnan saumoja, liitoksia ja yksityiskohtia.

Julkaisussa tarkastellaan myös rakenteiden kosteusteknisen tarkastelun sisältöä ja vanhan rakenteen kosteusteknisen kunnan tutkimista. Lisäksi siinä käsitellään lyhyesti ulkoseinärakenteiden kosteustekniseen tarkasteluun liittyviä ohjeistoja. Julkaisussa on esitetty myös useita periaatekuvia ulkoseiniin liittyvistä ongelmista ja parannusratkaisuista.

Julkaisu pohjautuu Tampereen teknillisen korkeakoulun Talonrakennustekniikan laboratoriossa tehtyyn tutkimukseen, jossa selvitettiin suomalaisten ulkoseinätyyppien kosteusteknistä toimivuutta kirjallisuuden ja aiemmin tehtyjen tutkimustulosten avulla sekä haastatteleamalla rakennusalan suomalaisia asiantuntijoita ja neljää ruotsalaista tutkijaa.

Suunnittelijat voivat käyttää julkaisua ulkoseinärakenteiden kosteusteknisessä suunnittelussa sekä uusien kosteusteknisesti turvallisempien rakenneratkaisujen kehittämistyössä. Kirjaa voidaan hyödyntää myös rakennusteollisuudessa yritysten oman tuotekehityksen, tuotantotekniikan kehityksen ja ohjeiden laadinnan pohjana. Julkaisusta on yleistä hyötyä myös rakennuksen käyttäjille, rakennuttajille ja valvojille, jotka voivat sen avulla välttää karkeimmat virheet ulkoseinien suunnittelussa ja toteutuksessa.

---

Julkaisun hinta on 250,- + alv 8 %



**TALONRAKENNUS-  
TEKNIikka**

TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Korkeakoulunkatu 3, PL 600, 33101 Tampere  
Puh. (03) 365 4804, Telefax (03) 365 2811  
Email: makipaa@cc.tut.fi