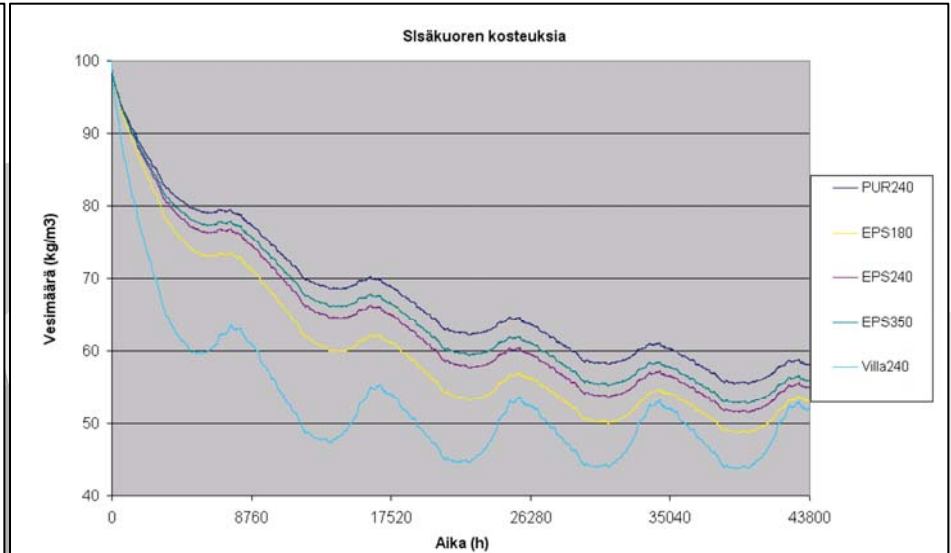
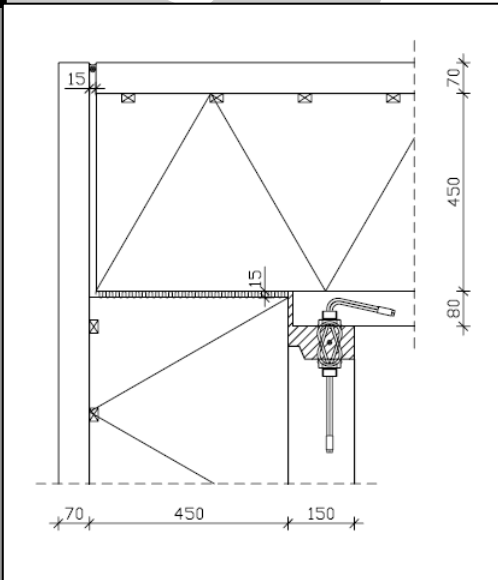




RAKENNUSTEKNIIKAN LAITOS  
TUTKIMUSSELOSTUS TRT/1864/2010

## BES 2010 - OSA C, 3. LÄMPÖ- JA KOSTEUSTEKNIikka SUUNNITTELUOHJEISTUKSEN UUSINTA – LYHENNETTY VERSIO



14.6.2010



## BES 2010 - OSA C, 3. LÄMPÖ- JA KOSTEUSTEK- NIikka – LYHENNETTY VERSIO

Tutkimusselostus TRT/1864/2010

<b>Tilaaaja</b>	Rakennustuoteteollisuus RTT ry Arto Suikka PL 381 00131 HELSINKI	
<b>Tehtävä</b>	Tehtävänä on laatia ajantasaiset betonijulkisivurakenteita koskevat lämpö- ja kosteustekniset suunnitteluohjeet.	
<b>Tutkimusryhmä</b>	Prof. tekn. toht. Matti Pentti Erikoistutkija, tekn. lis. Jukka Lahdensivu Tutkija, dipl.ins. Mikko Vaarala Tutkimusapulainen, tekn. yo Toni Pakkala  Tampereen teknillinen yliopisto Rakennustekniikan laitos PL 600 33101 Tampere  Puhelin (03) 3115 11 (TTY:n vaihde) Faksi (03) 3115 2811	
<b>Jakelu</b>	Rakennustuoteteollisuus RTT ry TTY / Rakennustekniikan laitoksen arkisto Tutkijat	1 kpl 1 kpl 4 kpl

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



## Lämpö- ja kosteustekniikka

SISÄLLYSLUETTELO	
YLEISTÄ .....	3
LÄMPÖTEKNINEN TOIMINTA .....	3
Tuuletusrako ja mineraalivillalämmöneristeen tuulensuojaustarve .....	5
Lämmöneristekerroksen jatkuvuus.....	6
Kylmäsilat .....	6
Lämmöneristepaksuuden kasvattamisen vaikutus asennukseen ja kuljetukseen.....	7
KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA.....	9
Kosteusrasitukset ja kosteuden siirtyminen .....	9
Sisäilman kosteuden kulku ulkoseinän läpi .....	10
Kosteuden kuivuminen .....	10
Rakennuskosteus ja sen kuivuminen .....	12
Viistosateen vaikutus ulkoseinärakenteeseen.....	13
Julkisivun liitokset.....	14
VAIPPARAKENTEEN TIIVIYS.....	17
YHTEENVETO.....	17
LÄHTEET .....	19

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



## YLEISTÄ

Yleisesti hyväksytyjen kriteerien mukaan ulkoseinärakenne tulee suunnitella siten, että se suojaa sisätiloja ulkopuolisen veden ja kosteuden haitallisilta vaikutuksilta sekä tekee vaaditun sisäilmaston ylläpitämisen mahdolliseksi. Ulkoseinärakenteen tulee olla lämpötekniisiltä ominaisuuksiltaan sellainen, että tilassa voidaan saavuttaa käyttötarkoituksen edellyttämät lämpöolosuhteet hyvän energiatalouden mukaisesti. Ulkoseinärakenteen läpi ei saa esiintyä haitallista kosteuden tunkeutumista eikä kosteus saa haitallisessa määrin kerääntyä rakenteeseen. Rakenteeseen joutuneen kosteuden on päästävä kuivumaan rakenteesta vahinkoa tai terveysriskiä aiheuttamatta. Kosteudesta ei saa olla haittaa seinärakenteen toimivuudelle tai kestävyydelle.

Työssä on määritetty kiristyvien lämmöneristysmääräysten mukaiset eristepaksuudet ja selvitetty lämmöneristepaksuuden kasvun vaikutus sandwich-elementin kosteustekniseen toimintaan, rakenteiden tiiveyteen ja liitosten toteuttamiseen sekä elementin asennukseen. Betonisten ulkoseinien lämpötekniiseen toimivuuteen vaikuttavina tekijöinä on käsitelty mm. tuuletusraon vaikutusta lämmöneristävytyteen sekä kylmäsiltoja. Kosteusteknisen toiminnan osalta on käsitelty mm. ulkoseinään vaikuttavia kosteusrasituksia kuten viistosadetta, sisäilman kosteutta ja rakennuskosteutta, kosteuden kulkeutumista seinärakenteen pinnalla ja rakenteessa, kosteuden kuivumista sekä erilaisten liitosrakenteiden vaikutusta julkisivun kosteusrasitukseen.

## LÄMPÖTEKNINEN TOIMINTA

Ulkoseinän lämpötekniiseen toimintaan vaikuttavia sisäisiä tekijöitä ovat mm. käytettyjen rakennusaineiden lämmönjohtavuus, vesihöyryn- ja ilmanläpäisevyys ja muodonmuutosominaisuudet, sekä rakenteelliset tekijät, kuten rakenne- ja liitosratkaisut, rakenteen osien mitat ja työn laatu. Ulkoisia tekijöitä ovat mm. lämpötila-, kosteus- ja tuuliolosuhteet, rakennuksen painesuhteet sekä auringon säteily. Ulkoseinärakenteen lämpötekniisessä suunnittelussa tarkasteltavia asioita ovat rakenteen lämpötilajakauman selvittäminen, lämmönläpäisykertoimen (U-arvon) laskeminen, rakenteen ilmatiivyyden varmistaminen, kylmäsiltojen sekä kosteuden kondensoitumisen estäminen ja lämmöneristeen tuulensuojaus.

Lämpö siirtyy huokoisessa aineessa kolmella tavalla:

- johtamalla kiinteän osan kautta
- johtamalla huokosissa olevan veden tai ilman kautta
- konvektiona
- säteilynä pintojen välillä. Pienissä huokosissa säteilyn osuus on pieni.

Luonnollinen konvektio johtuu lämpötilaerojen aiheuttamista tiheyseroista ja pakotetussa konvektiossa kaasu tai neste liikkuu jonkin ulkopuolisen voiman vaikutuksesta. Ulkoseinärakenteissa on yleensä kyse molempien konvektiotapojen yhdistelmästä. Pääasiassa konvektiota esiintyy rakenteen läpi, lämmöneristeen sisällä sekä tuuletusurissa tai tuuletusraossa.

Lämpötilaeroista johtuva luonnollinen konvektio on betonielementtirakenteessa vähäistä. Sen sijaan rakenteessa, jossa on tuuletusväli, on ilmavirtausten lämmönjohtavuutta lisäävä vaikutus otettava huomioon tai käytettävä erillistä tuulensuojakerrosta eristeen ulkopinnassa. Myös lämmöneristeen ilmanläpäisevyysominaisuudet ja eristekerroksen paksuus vaikuttavat sisäisiin konvektiovirtauksiin. Betonisandwich-rakenteen betonikuoret ovat lähes ilmatiiviitä, läpivirtausta voi normaalisti tapahtua vain saumoista ja halkeamista.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



Vuoden 2010 alussa voimaan tulleiden lämmöneristemääräysten (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C3 2008) mukaan lämpimään tilaan rajoittuvan ulkoseinän U-arvo saa olla enintään  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , mikä on samalla lämpöhäviöiden tasauskennassa käytetty vertailuarvo. Matalaenergiataloissa ominaislämpöhäviö on korkeintaan 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöistä, mikä tarkoittaa, että matalaenergiatalon ulkoseinien U-arvo saa olla korkeintaan 85 % arvosta  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  eli  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Todellisuudessa matalaenergiatalon ulkoseinän U-arvo voi olla edellä mainittua suurempi, mikäli se on kompensoitu muissa rakenneosissa. Ns. passiivitalojen osalta U-arvovaatimuksia ei ole esitetty rakennusosatasolla, vaan passiivitaloille asetettavana vaatimuksena on mm. suurin sallittu lämmitysenergiantarve neliometriä kohden vuodessa, joten lämmöneristeiltä vaaditut paksuudet riippuvat huomattavasti myös rakennuksen maantieteellisestä sijainnista. Useissa passiivitalojen energiakulutustarkasteluissa sekä rakennetuissa koekohteissa passiivitalon ulkoseinän U-arvoksi on vakiintunut  $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , mitä käytetään myös tämän tarkastelun laskelmissa.

Taulukkoon 1 on koottu rakenteet, jotka täyttävät vuoden 2010 alussa tulleet määräykset (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C3 2008), matalaenergiatalon vaatimukset, passiivitalon vaatimukset sekä vertailuksi vuoden 2007 määräykset ( $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C3 2007) täyttävät rakenteet eri eristeillä. Laskennassa on käytetty seuraavia oletuksia:

- Sisä- ja ulkokuoren (80 + 70 mm) betonin lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoksi valittiin standardin SFS-EN ISO 10456:2008 mukaan  $1,65 \text{ W}/(\text{mK})$ .
- Tuuletusurat on otettu laskennassa huomioon vain mineraalivillaeristeisissä seinissä, koska tutkimuksen mukaan EPS-, XPS- ja PUR/PIR- eristeisissä rakenteissa ei tuuletusurista tarvita (Ormiskangas 2009).
- Tuuletusurallinen rakenne on lievästi tuulettuva, joten rakenteen ulkokuori otetaan normaalisti U-arvon laskennassa huomioon ja ulkopinnan pintavastuksena käytetään arvoa  $0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ . Sisäpinnan pintavastus on puolestaan  $0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .
- Mineraalivillaeristeen tuuletusurina käytettiin 30 mm leveää ja 20 mm paksua uritusta, jotka sijaitsevat 200 mm:n jaolla eristeen ulkopinnassa. Rakenne oletettiin lievästi tuulettuvaksi ja tuuletusuran ilman lämmönvastuksena käytettiin arvoa  $0,085 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ , joka on puolet tuulettumattoman ilmvälin lämmönvastuksesta (Hakkarainen & Vinha 2010).
- Kokonaislämmönvastuksen laskenta suoritettiin standardin SFS-EN ISO 6946:2008 mukaisella yläraja-alaraja -menetelmällä.
- Ulkokuoren ja sisäkuoren välisinä sidosraudoitteina käytettiin ruostumattomasta teräksestä valmistettuja halkaisijaltaan 5 mm paksuja diagonaaliansaita, jotka sijaitsevat 600 mm:n jaolla ja vaihtoehtoisesti pistokkaita  $4 \text{ kpl}/\text{m}^2$ . Ansaiden diagonaalien määrä on noin  $6 \text{ kpl}/\text{m}^2$  ja niiden vaikutus otettiin huomioon käyttämällä ansaiden pistemäisenä lisäkonduktanssina arvoa  $0,0035 \text{ W}/\text{K}$ .

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan


**Taulukko 1** Esimerkkirakenteita, jotka täyttävät eri U-arvo vaatimukset.

Eriste	$\lambda_{\text{design}}$ [W/mK]	Ansaat	2007	2010	Matala-	Passiivi-
			0,24 W/(m <sup>2</sup> K)	0,17 W/(m <sup>2</sup> K)	energia 0,14 W/(m <sup>2</sup> K)	talo 0,09 W/(m <sup>2</sup> K)
Vaadittavat eristepaksuudet						
Mineraalivilla	0,037	Diag. ansaat k600	140	210	260	410
EPS	0,036	Diag. ansaat k600	150	220	260	410
		Pistokas 4 kpl/m <sup>2</sup>	150	210	260	410
	0,031	Diag. ansaat k600	130	190	230	360
		Pistokas 4 kpl/m <sup>2</sup>	130	190	230	350
XPS	0,037	Diag. ansaat k600	160	220	270	420
		Pistokas 4 kpl/m <sup>2</sup>	150	220	270	420
PUR/ PIR	0,026	Diag. ansaat k600	110	160	190	300
		Pistokas 4 kpl/m <sup>2</sup>	110	160	190	300
	0,023	Diag. ansaat k600	100	140	170	270
		Pistokas 4 kpl/m <sup>2</sup>	100	140	170	270

Taulukon 1 eristepaksuudet on pyöristetty 10 mm:n tarkkuudella ylöspäin. Esimerkkirakenteiden eristepaksuudet ovat U-arvo vaatimusten mukaan laskettuja minimipaksuuksia eikä niissä ole huomioitu valmistukseen tai asennukseen liittyviä erityispiirteitä.

### Tuuletusrako ja mineraalivillalämmöneristeen tuulensuojaustarve

Tuulen ja auringon lämpösäteilyn aiheuttama ns. savupiippuvaikutus vaikuttaa tuuletusraon ilmanvaihtuvuuteen ja ilman liikkeeseen. 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 vaikutuksesta. Käytettävästä lämmöneristeestä ja sen tuulensuojauksesta riippuen edellä mainitut ilmavirtaukset aiheuttavat eristekerrokseen konvektiota heikentäen siten sen lämmöneristävyttä.

Julkisivurakenteessa esiintyvät virtaukset voidaan jakaa kahteen pääryhmään: rakennevirtauksiin ja läpivirtauksiin. Rakennevirtauksessa ulkoilmaa pääsee tunkeutumaan rakenteen sisään ja siitä edelleen ulos tai ulkoa sisäänpäin. Tämän vuoksi rakenne jäähtyy ja lämmöneristyskyky heikkenee. Ilmaa läpäisevissä eristemateriaaleissa, kuten mineraalivilloissa, ilma kulkee itse eristekerroksessa heikentäen niiden eristävyttä.

Eriytetyissä ja yhdistelmäjulkisivuissa on aina suositeltavaa käyttää eristeratkaisua, jossa tuuletusrakoon rajoittuu tuulensuojamateriaali, jäykkä eriste tai umpisoluihin eriste, joissa konvektio on vähäistä tuuletusraossa tapahtuvasta ilmavirtauksesta huolimatta. Lämmöneristekerroksen ja mahdollisen tuulensuojauksen rakenne on riippuvainen käytettävästä julkisivu- ja saumaratkaisusta. Mineraalivillaeristeitä käytettäessä on eristeen jälkiasennuksessa suositeltavaa käyttää sisäkuorta vasten pehmeää eristettä, joka on helppo saada tiiviisti lämmintä pintaa vasten. Pehmeät eristeet on suositeltavaa verhotu tuulensuojamateriaalilla, mikä voidaan toteuttaa joko jäykemmällä eristeellä tai perinteisillä ohuemmilla tuulensuojalevyillä. Mineraalivilla voidaan myös pinnoittaa tuulensuojapinnoitteella.

Julkisivun saumarakenne on otettava huomioon tuulensuojauksessa. Mikäli käytetään avosaumarakennetta, on suositeltavaa käyttää säänkestävää tuulensuojamateriaalia. Tuule-

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



tusraon leveydellä on myös merkittävä vaikutus avosaumarakenteen läpi eristekerrokseen kulkeutuvaan vesimäärään.

Eriytetyn ja yhdistelmäjulkisivun eristeratkaisuun vaikuttaa voimakkaasti käytettävät julkisivukiinnikkeet. Jos julkisivun kiinnikkeet viedään suoraan eristekerroksen läpi sisäkuoreen, täytyy eristeratkaisun olla mahdollisimman joustavaa, ettei kiinnikkeiden ja eristeen asennus tarpeettomasti vaikeudu.

### Lämmöneristekerroksen jatkuvuus

Ilmaa heikosti läpäisevissä materiaaleissa, kuten solumuoveissa, ei tapahdu rakennevirtauksia, mutta sen sijaan ilma voi virrata eristelevyjen saumoissa. EPS, XPS ja PUR/PIR-eristeisissä betonisandwich-rakenteissa elementin saumakohtassa eristeen jatkuvuus on kriittinen tekijä. Mikäli jatkuvuus perustuu ainoastaan eristeen puskusaumaan, jää rakenteeseen helposti lämmöneristystä heikentäviä rakoja. Tätä ehkäistään esimerkiksi eristeen ponttauksen ja muiden tarkoitukseen kehitettyjen menetelmien avulla. Mineraalivillaeristeisessä betonisandwich-rakenteessa lämmöneristekerroksen jatkuvuus saadaan aikaiseksi saumassa eristeen kohdalle asennetulla mineraalivillakaistaleella. Eristerapatuissa julkisivuissa elementtien saumojen kohdalla eristekerros voidaan vaahdottaa PU-vaahdolla, mutta sandwich-rakenteissa vaahdottaminen ei onnistu.

### Kylmäsiljat

Kylmäsiljan kautta virtaa enemmän lämpöä ulos kuin sen ympärillä olevan rakennusosan kautta. Kylmäsiltoja aiheuttavat pääasiassa julkisivuverhousien ja ulkokuoren kiinnitysjärjestelmät. Kiinnitysratkaisut on valittava siten, että tarpeettomilta kylmäsiltoilta vältytään. Mitä vähemmän ja mitä pienempiä lämmöneristekerrosten läpi menevät kiinnitysosat ovat, sitä suositeltavampi rakenne lämpötekniisesti on. Kylmäsiljat voivat lisätä myös julkisivurakenteeseen kerääntyvää kosteutta, sillä kastepisteen esiintyminen eristekerroksen läpi menevän kiinnikkeen pinnalla on tavallinen ilmiö.

On huomattava, että eristepaksuuden kasvattaminen saattaa lisätä sidosraudoitteiden määrää, mikä kasvattaa kylmäsiltojen määrää ja näin ollen U-arvoa. EPS, XPS ja PUR/PIR-eristeillä seinät eivät juuri paksunnu nykyisistä betonisandwich-elementeistä. Taulukossa 2 on laskettu ansaan aiheuttaman pistemäisen lisäkonduktanssin arvo eri paksuisille ansaille SFS EN ISO 6946:2007 liitteen D mukaisesti.

**Taulukko 2** Yhdestä kiinnikkeestä aiheutuva pistemäinen lisäkonduktanssi eri paksuisille ansaille (betonisandwich-rakenne: sisäkuori 150 mm + EPS-eriste [ $\lambda_{design} = 0,031 \text{ W/mK}$ ] 200 mm + ulkokuori 80 mm).

Kiinnikkeen paksuus d [mm]	4	5	6	8
Kiinnikkeen korjaustekijä $\Delta U_f$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,0008	0,0012	0,0018	0,0031

Taulukosta 2 nähdään ansaan paksunemisen merkittävä vaikutus U-arvoon. Siirtymällä jäykällä eristeillä diagonaaliinsaista pistokkasiin vähenee kylmäsiltojen lukumäärä seinäelementissä, minkä ansiosta myös eristepaksuuksia saadaan pienemmiksi. Pistokkaiden käytön edellytyksenä on lämmöneristeen riittävä pitkäaikainen lujuus ja leikkausvoimakapasiteetti ulkokuoren omapainosta ja ulkoisista rasituksista aiheutuvien kuormien kantamiseksi.

Muita pistemäisiä kylmäsiltoja ovat esimerkiksi erilaisten katosten ja parvekkeiden kannattaminen rakennuksen lämpimältä puolelta. Seinien paksuuntuessa myös näiden kiinnikkei-

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan

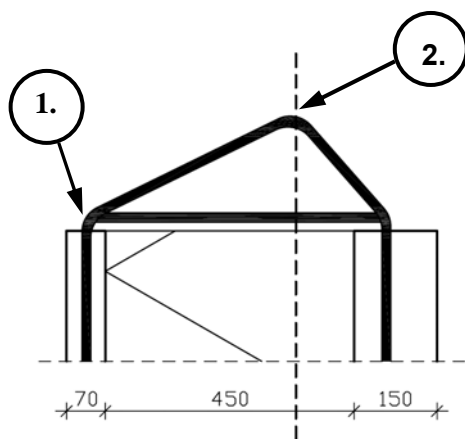
den poikkileikkaus suurenee kiinnikkeille aiheutuvan taivutusrasituksen kasvaessa. Kiinnikkeen kasvamisen myötä lisäkonduktanssi suurenee ja hyvin eristetyissä seinärakenteissa kylmäsillan suhteellinen heikennys on suurempi kuin aikaisemmin huonommin eristetyissä rakenteissa.

Eristekerroksen läpäisevien kiinnityspisteiden minimoiminen on tärkeää myös siitä syystä, että nämä läpimenot ovat lämmöneristeen asennuksen kannalta kriittisiä. Lämmöneristeen asentaminen tiiviisti läpimenevää kiinnikettä vasten on rakenteen lämmöneristävyuden kannalta ensiarvoisen tärkeää.

### Lämmöneristepaksuuden kasvattamisen vaikutus asentukseen ja kuljetukseen

Lämmöneristepaksuuden kasvattaminen matalaenergia- ja passiivitalojen vaatimusten mukaiseksi muuttaa elementin käsittelyä seinän paksuuden kasvaessa. Elementin painopiste kantamattomilla sandwich-elementeillä on eristeen keskikohdan paikkeilla. Vuoden 2010 lämmöneristysmääräysten aiheuttama seinien paksuuntuminen on vähäistä ja näin seinien paksuuntuminen ei muuta juurikaan elementtien nostoa ja asentusta. Matalaenergiämääräykset täyttävässä mineraalivillaeristeisessä seinärakenteessa sekä kaikissa passiivitalon määräykset täyttävissä seinärakenteissa elementin paksuus muuttuu merkittävästi.

Nostolenkkejä suunniteltaessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että nostolenkki saadaan poistettua asennuksen jälkeen eikä se jää kylmäsillaksi rakenteeseen. Sandwich-elementtiä nostoissa täytyy nostolenkin olla kiinni niin sisä- kuin ulkokuoressa, jotta elementti nousee suorassa sekä on helppo ja turvallinen asentaa. Seinän paksuuntuminen lisää nostolenkistä betonikuoreen aiheutuvaa vaakavoimaa. Kuvassa 1 on esitetty eräs ratkaisu, jossa vaakantanko mitoitetaan ottamaan vastaan nostosta aiheutuva vaakavoima. Elementti saadaan nostettua painopisteen kohdalta muotoilemalla nostolenkki etukäteen oikeaan muotoon. Asennuksen jälkeen nostolenkki katkaistaan vaakatangon alapuolelta.



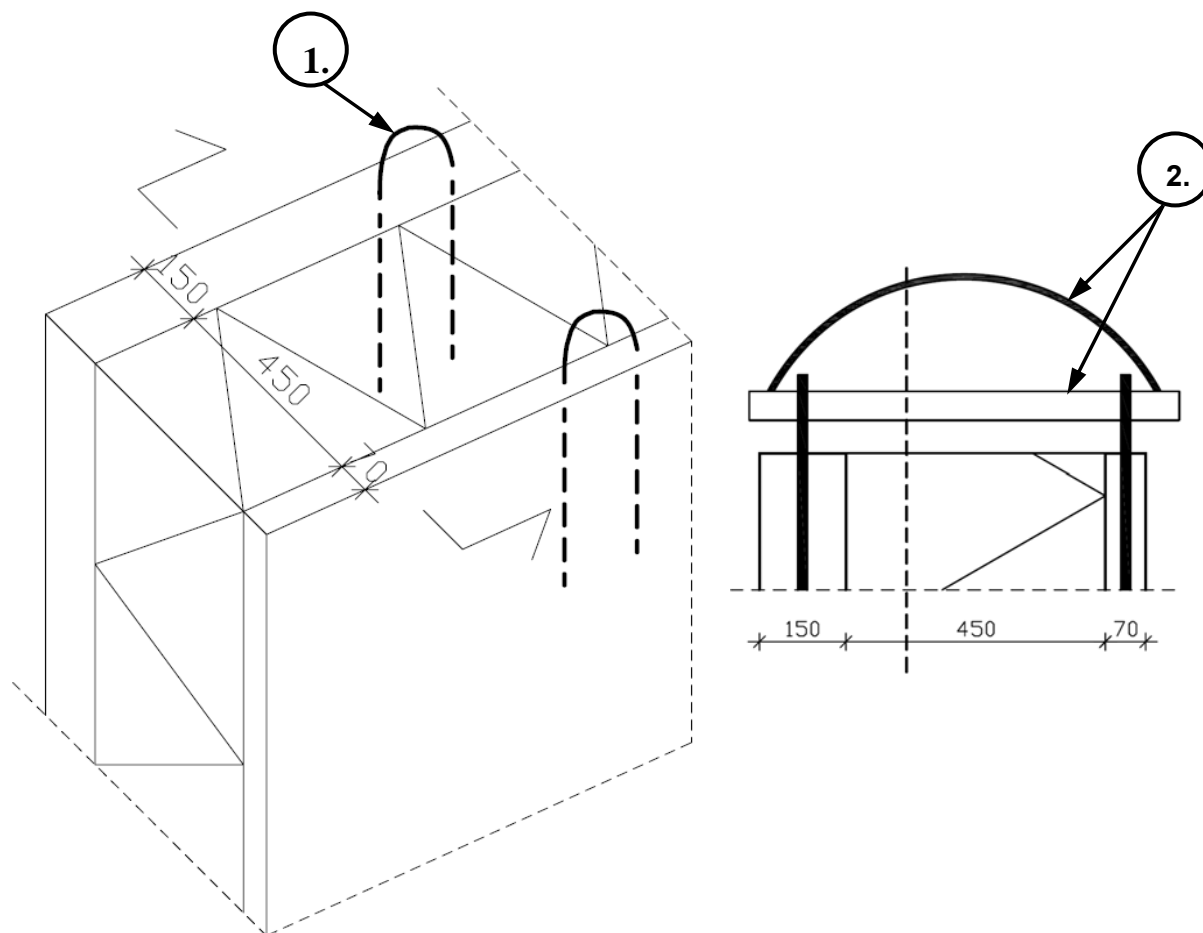
1. Nostolenkki tulee pystyä katkaisemaan asennuksen jälkeen.
2. Noston pitää tapahtua elementin painopisteen kohdalta.

**Kuva 1** Vaihtoehtoinen nostolenkkiratkaisu paksujen seinäelementtien nostamiseen.

Kuvassa 2 on esitetty uudelleenkäytettävä nostoratkaisu erittäin paksujen sandwich-elementtien nostamiseksi. Elementtiin asennetaan neljä nostolenkkiä (kuvassa kohta 1), jotka katkaistaan asennuksen jälkeen. Nostolenkeistä pujotetaan läpi uudelleenkäytettävä nostokappale (kuvassa kohta 2). Nostokappaleessa on jäykkä osa, mikä ottaa vastaan nostosta aiheutuvan vaakavoiman sekä vaijerilenkki, mikä lukitaan jäykkään nostokappaleeseen. Vaijerin ansiosta nosto tapahtuu elementin painopisteen kohdalta ja elementti on näin helppo asentaa.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan





**Kuva 2** Uudelleenkäytettävä nostoratkaisu erittäin paksujen sandwich elementtien nostamiseksi.

Eristepaksuuden kasvattaminen vaikuttaa nostolenkkiin ainoastaan sandwich-rakenteisissa seinissä. Muilla rakenteilla elementin painopiste on edelleen betonin kohdalla ja voidaan käyttää perinteisiä nostoratkaisuja. Eristepaksuuksien kasvu hankaloittaa myös eristerapattujen elementtien kuljetusta ja asennusta, koska nurkkaliitoksen helposti rikkoutuva betonin ylittävä eristeen osuus kasvaa entisestään.

Suurilla eristepaksuuksilla on otettava huomioon myös betonisandwich-elementtien nurkkaliitoksien ulkokuoren ulokkeellisen osan kaareutuminen, koska esimerkiksi mineraalivillaeristeisellä passiivitaloelementillä ulokkeellisen osuuden pituus tulee olemaan jopa yli 700 mm ensimmäiseen ansaaseen. Jos ulkokuoren pinnat eivät kutistu kuivuessaan samalla tavalla (esimerkiksi ulkopinnassa kutistumaton tiililaatta), tulee nurkkaliitoksen sauman liikevaraa lisätä kaareutumisen vuoksi.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



## KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA

### Kosteusrasitukset ja kosteuden siirtyminen

Ulkoseinien kosteusteknisessä suunnittelussa tarkasteltavia asioita ovat mm. eri kosteuslähteet, veden ja vesihöyryn eri siirtymismuodot ja sitoutuminen rakenteeseen, sadeveden käyttäytyminen seinäpinnalla, mahdollisten kosteuskertymien haitallisuuden arviointi sekä rakenteen kuivumisen varmistaminen.

Ulkoseinän kannalta tärkeimpiä kosteuslähteitä ovat viistosade, rakennuskosteus ja sisäilman kosteus. Muita ulkoseinärakennetta rasittavia kosteudenlähteitä ovat maaperän kosteus, pintavedet, käyttövedet sekä mahdolliset vuoto- ja roiskevedet. Kosteuslähteiden lisäksi ulkoseinän kosteustekniseen toimintaan vaikuttavia olosuhdetekijöitä ovat tuuli, lämpötilat rakenteen eri puolilla, auringon säteily, paine-ero rakenteen yli sekä painovoima.

Julkisivurakenteen kosteusrasitus voidaan jakaa ajallisesti rakennusvaiheeseen sekä käyttö- ja kunnossapitovaiheeseen. Elementtien valmistuksessa kosteuslähteitä ovat betonissa oleva hydratoitumaton vesi sekä esimerkiksi pinnan pesut. Rakennustyön aikana ulkoseinärakenteeseen kulkeutuu sateella vettä suojaamattoman elementin yläpään sekä avoimien saumojen kautta. Pehmeiden mineraalivillojen tapauksessa vesi valuu eristekerroksessa alaspäin vesimäärien ollessa suuria. Rakennuksen lämmityksen alettua sisäkuoreen sitoutunut kosteus sekä lämmöneristeessä oleva kosteus alkavat kulkeutua seinärakenteen ulkosia kohden mineraalivillaeristeisessä elementissä. Lämpötilaeroista johtuvien ilmavirtausten mukana vesihöyryä kulkeutuu lisäksi ylöspäin lämmöneristekerroksessa. Tiiviillä, yleensä muovipohjaisilla lämmöneristeillä kosteuden siirtymistä sisäkuoresta ulospäin ei tapahdu.

Rakennuksen käytön aikana kosteutta kulkeutuu seinärakenteeseen vesihöyryn diffuusiolla yhtenäisen materiaalikerroksen läpi, kosteuskonvektiolla rakenteiden epätiiviyshkohdista sisäpuolisen ylipaineen tapauksessa sekä ulkokuoren saumojen epätiiviyshkohtien kautta viistosateella. Vesihöyryn diffuusiolla kulkeutuvat kosteusmäärät ovat pieniä verrattuna mahdollisiin kosteuskonvektioihin sekä ulkokuoren vesivuotoihin.

Betonisandwich-rakenteen lämmöneristyskykyä voidaan parantaa kasvattamalla eristepaksuutta tai käyttämällä lämmöneristyskyvyltään parempaa eristettä sekä parantamalla liitosten ilmatiiviyttä. Eristepaksuuksien kasvattamista ja eristetyypin vaihtamista on tutkittu mallintamalla rakenteet WUFI-laskentaohjelmistolla sekä Espoon että Karasjoen ilmastossa. Rakenteen kosteustekninen toiminta on riippuvainen käytetystä eristemateriaalista sekä rakenteen paksuudesta. Eristemateriaalin muuttaminen mineraalivillasta EPS- tai PUR- eristeeseen vaikuttaa rakenteen kosteustekniseen käyttäytymiseen. EPS- ja PUR- eristeet läpäisevät vesihöyryä huomattavasti mineraalivillaeristeitä vähemmän. Tämän vuoksi sisäkuoren kuivuminen on paksuilla EPS- ja PUR- eristeillä tekijä, joka tulee ottaa huomioon sisätyövaiheessa, etenkin kun sisäpintaan on tarkoitus laittaa tiivis pinta. (Ormiskangas 2009)

Mineraalivillaeristeillä eristepaksuuden kasvattaminen ei muuttanut laskennallisissa tarkasteluissa merkittävästi rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä. Solumuovieristeillä ulkokuori pysyy mineraalivillaeristeistä seinää kuivempana paremman vesihöyryn vastuksen vuoksi. Myöskään EPS-eristeillä paksumman eristeen käyttö ei aiheuttanut merkittävää muutosta ulkokuoren keskimääräiseen kosteuspitoisuuteen. Eristekerroksen keskimääräisessä kosteuspitoisuudessa eroja oli lähinnä talviaikaan, jolloin paksummat eristekerrokset pysyivät aavistuksen kuivempina. Erot olivat kuitenkin merkityksettömän pieniä ( $\sim 0,1 \text{ kg/m}^3$ ). Sisäkuoren keskimääräisessä kosteuspitoisuudessa paksumpi eriste aiheutti korkeamman

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



kosteuspitoisuuden, kuitenkin siten, että kuivimman ja kosteimman välinen ero oli alle  $\sim 7$  kg/m<sup>3</sup>. PUR- eristeet käyttäytyivät samoin kuin EPS- eristeet. (Ormiskangas 2009)

### **Sisäilman kosteuden kulku ulkoseinän läpi**

Seinärakenteen läpi tapahtuva diffuusio aiheutuu rakenteen eri puolilla vallitsevien vesihöyryn osapaineiden eroista. Diffuusio suuntautuu suuremmasta kosteustilasta pienempään eli lähes jatkuvasti sisältä ulospäin. Sisäilman kosteuden lisääntyessä paine-ero ja siten myös diffuusion kuljettama kosteusmäärä kasvavat. Käytettäessä vesihöyryä huonosti läpäiseviä eristeitä, kuten EPS ja PUR, on diffuusiolla siirtyvä kosteusmäärä hyvin pieni.

Betonirakenteisissa ulkoseinissä, kuten esimerkiksi mineraalivillaeristeisessä betonisandwich-seinässä, diffuusion kuljettama vesihöyry tiivistyy talvikautena ulkokuoren sisäpintaan ja muodostaa tähän vesi- ja jääkerroksen. Tiivistyneestä kosteudesta osa imeytyy kapillaarisesti ulkokuoren huokosverkostoon ja osa kulkeutuu sisäpintaa pitkin alaspäin. Ulkokuoreen kertynyt kosteus kulkeutuu sekä diffuusion muodossa ulkokuoren läpi että haihtuu tuuletusrakoon tai tuuletusuriin. Ulkokuoren kuivumista vaikeuttaa ulkopinnan pinnoitus huonosti vesihöyryä läpäisevällä materiaalilla.

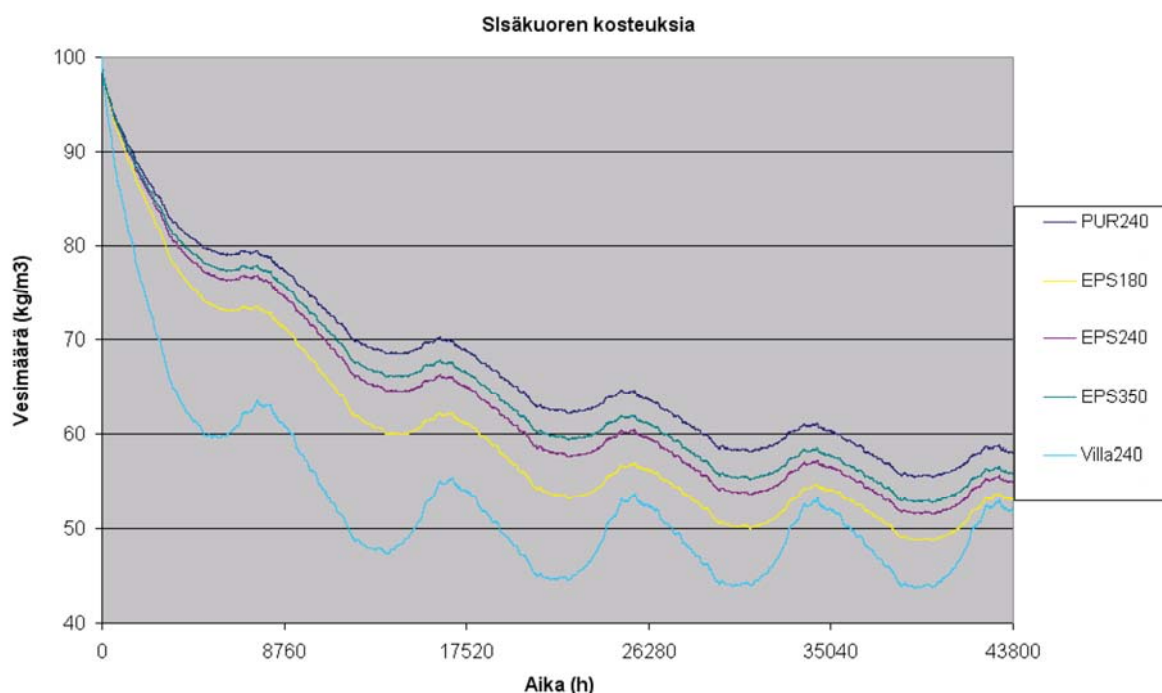
Painovoiman kuljettama vesi kerääntyy seinien alaosiin ja sokkeleihin sekä ikkunoiden päälle, joista veden poistaminen on otettava suunnittelussa huomioon. Kosteutta voi kulkeutua seinärakenteiden läpi myös ilmavirtausten mukana. Betoniulkoseinillä betonikuorien ilmanläpäisevyys on pieni, mutta tiiviissä kerroksissa olevat epäjatkuvuuskohtat, kuten saumat, liittymät muihin rakenteisiin, läpiviennit sekä halkeamat saattavat aiheuttaa huomattavia kosteuskertymiä rakenteeseen.

### **Kosteuden kuivuminen**

#### *Betonisandwich-elementit*

Kuvassa 3 on esitetty sisäkuoren kosteuspitoisuuden muuttumista viiden vuoden laskentajakson aikana. Laskenta suoritettiin ns. nollajulkisivulla eli siinä ei ole otettu huomioon viistosateen eikä auringon säteilyn vaikutuksia. (Ormiskangas 2009)

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



**Kuva 3** Sisäkuoren keskimääräisen kosteuspitoisuuden ( $\text{kg/m}^3$ ) kehittyminen laskentajakson aikana nollajulkisivulla. Laskennan alkuhetki oli 1.10. ja laskenta-aika oli viisi vuotta. Alussa sisäkuoren suhteellinen kosteuspitoisuus oli 90 %RH ( $100 \text{ kg/m}^3$ ). (Ormiskangas 2009)

Kuvasta 3 nähdään sisäkuoren kuivuvan hitaammin tiiviimmillä eristeillä, mutta viiden vuoden kuluttua erot tasoittuvat. Tiiviiden eristeiden kohdalta on huomattava myös se, että ne pystyvät kuivumaan ainoastaan sisälle päin ja ennen tiivistä pinnoittamista on varmistuttava, että sisäkuori on kuivunut riittävästi. Kuvasta nähdään, että tiiviillä eristeillä matalaenergia- ja passiivirakenteiden kuivuminen tapahtuu hitaammin kuin vuoden 2010 määräykset täytävillä seinärakenteilla. Mineraalivillaeristeisillä rakenteilla eristepaksuuden kasvattaminen ei aiheuttanut merkittäviä eroja. (Ormiskangas 2009)

Tuulettumattomissa ulkoseinärakenteissa kosteus poistuu rakenteesta diffuusiolla ulkokuoren ja mahdollisen pinnoitteen läpi. Tuulettuvissa rakenteissa kosteus poistuu diffuusion lisäksi ilmvirtausten mukana tuuletusraon tai ilmvirtauskanavien ja tuuletusaukkojen kautta nopeuttaen rakenteen kuivumista. Kosteuden kulkeutumiseen ulkokuoren läpi vaikuttavat mm. ulkokuoren betonin ominaisuudet, rakenteen kosteus ja lämpötila sekä käytetty julkisivupinnoite.

Sandwich-ulkoseinän kuivumisen kannalta merkittäväksi muodostuu rakennuskosteuden poistuminen. Tuuletuksen järjestämiseksi mineraalivillaeristeisen elementin lämmöneristerakroksessa 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.

Rakenteen sisään tuleva ulkoilma sitoo itseensä kosteutta, jonka poistuessa ulos lämmöneristetilasta rakenteen kosteus pienenee. Tuuletuksella poistuva kosteusmäärä riippuu

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



ilmavirran suuruudesta sekä ilman sitomasta kosteudesta. Tuuletusilma pystyy sitomaan sitä enemmän kosteutta, mitä enemmän se lämmöneristetilassa lämpenee. Lämpeneminen riippuu virtausnopeudesta sekä virtauskohtaa ympäröivistä lämpötiloista. Tuuletuksen tehokkuuteen vaikuttavat kosteuden siirtyminen tuuletusilmaan, tulo- ja poistoilma-aukkojen sekä tuuletuskanaviston dimensiot ja sijoitus. Tuuletusilmavirtaukset aiheutuvat tuulen ja savupiippuvaikutuksen aiheuttamista ilmanpaine-eroista.

Tuuletuksen vaikutusta ulkoseinän kosteustekniseen toimintaan on laskennallisesti tutkittu Gertisin menetelmän avulla. EPS- ja PUR- eristeillä tuuletuksen hyöty jäi pienemmäksi kuin mineraalivillaeristeisillä vastaavilla rakenteilla, koska tuuletusuran ympärillä on tiivistä materiaalia, joka ei välttämättä ehdi luovuttamaan kosteutta uritukseen samaa vauhtia kuin ilmavirta pystyisi poistamaan. Paksuilla eristekerroksilla luonnollisesta konvektiosta aiheutuvat virtausnopeudet jäivät ohuempia eristeitä pienemmiksi. Tämä johtuu eristeiden paremman lämmöneristyskyvyn myötä pienentyneestä lämpötilaerosta uran pinnan ja ulkoilman välillä. Tuuletuksen vaikutusta arvioitaessa ei auringon säteilyn eikä tuulen vaikutusta otettu huomioon. (Ormiskangas 2009)

Tuuletus on tehokkainta yhtenäisellä tuuletusraolla. Tuuletusurien tapauksessa uratiheyden kasvu vaikuttaa lähes lineaarisesti kosteudenpoistokykyyn 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. Laboratoriomittausten mukaan voi tuuletusurien hydraulisen halkaisijan pienentyminen valupurseiden tai mineraalivillahahtuvien johdosta olla yli 50 %. Tästä aiheutuu tilavuusvirtojen pienentymistä ja siten julkisivuelementtien epätasaista tuulettumista. (Julkisivu 2000. Osaraportti C 1a 1997)

#### *Kuorielementit*

Tuulettuvalla taustatilalla varustetuissa kuorijulkisivurakenteissa tuuletusrako katkaisee viistosateen kapillaarisen kulkeutumisen rakenteeseen. Kun tuuletusrako on yhteydessä ulkoilmaan, vallitsee 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. Tuuletusraon kautta johdetaan myös vesihöyrynä rakennuksen sisäosista kulkeutuva kosteus ulos sekä kuivatetaan viistosateen kostuttamien julkisivumateriaalien sisäpinta.

Korkeassa rakennuksessa tuuletusrakoon voi kerääntyä ja sen kautta poistua runsaasti vettä. Yhtenäinen tuuletusrako voidaan jakaa useammiksi lyhyemmiksi ilmaraoiksi, joista jokaisesta on oma vedenpoisto. Näin lyhennetään kosteuden ulospääsyreittiä ja samalla voidaan rajoittaa savupiippuvaikutuksen voimakkuutta ja siitä aiheutuvia konvektioita lämmöneristekerroksessa. Tuuletusraon katkaiseminen on tärkeää myös siksi, että tuuletusraossa virtaavan ilman suhteellinen kosteus on sitä korkeampi, mitä pidemmän matkan se joutuu tuuletusraossa kulkemaan.

#### **Rakennuskosteus ja sen kuivuminen**

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 aikainen tiivis pinnoittaminen, jolloin kuivuminen sisäänpäin hidastuu. Vesihöyryä huonosti

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



läpäisevien eristeiden kohdalla sisäpuolen pinnoittaminen tiiviillä pinnoittamisella vaatii pitkät kuivatusajat, sillä sisäkuori pystyy kuivumaan ainoastaan sisälle päin. Sisäkuoren tiivistä pinnoittamista tulee välttää, kun seinän eristeenä on EPS-, XPS- tai PUR/PIR- eristettä.

Rakennuskosteuden kuivumisnopeuteen vaikuttavat rakenteen sisäisinä tekijöinä mm. rakenteen lämpötila, seinän muotoilu, pinnan karheus, rakenteen kosteus tila tarkasteluajan kohtana sekä rakenteen tuuletustapa ja rakennekerrosten materiaaliominaisuudet. Rakennuskosteuden kuivumisnopeuteen vaikuttavia ulkoisia tekijöitä ovat mm. sisä- ja ulkoilman kosteus ja kyllästysvajausta, ilman nopeus, lämpötila sekä lämpötilaero rakenteen pintaan ja auringon säteily. Seinärakenteen rakennuskosteuden kuivumista voidaan nopeuttaa mm. lisäämällä tuuletusta sekä lämmittämällä ja kuivattamalla rakennusta. Seinärakenteelle tulee varata riittävä kuivumisaika ennen mahdollista ulkokuoren saumausta tai pinnoitusta. Vaikka tiiviit eristeet eivät itsessään absorboi merkittävästi kosteutta, lisäkosteuden kulkeutumista rakenteeseen rakennustyön aikana on aina syytä vähentää huolellisella sääsuojauksella.

### **Viistosateen vaikutus ulkoseinärakenteeseen**

Ulkoseinään kohdistuvan viistosaderasituksen määrään vaikuttavat vapaan viistosateen määrään lisäksi rakennuksen muoto, koko sekä tarkasteltavan kohdan sijainti rakennuksessa. Korkeisiin rakennuksiin kohdistuu suurempi viistosademäärä kuin mataliin. Rasitus on suurempi seinän yläosissa ja nurkissa. Viistosaderasituksen voimakkuuteen vaikuttavat myös rakennuksen maantieteellinen sijainti sekä paikalliset olosuhteet, kuten tuuli, maastonmuodot, kasvillisuus ja ympäröivät rakennukset.

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

Viistosade muodostui kriittiseksi tekijäksi tutkittujen uusien lämmöneristysvaatimusten mukaisissa seinärakenteissa pitäen rakenteen kosteana koko tarkastelujakson. Syksyllä sateet kastelivat rakenteiden ulkokuoren jokaisena tarkasteluvuotena lähes tasolle 100 %RH. Kesäisin kosteus kuitenkin poistui ja tarkastelun edetessä vuosittainen alin suhteellinen kosteus pitoisuus pieneni. (Ormiskangas 2009)

### *Sadeveden käyttäytyminen seinäpinnalla ja rakenteessa*

Ulkopinnan muotoilu, pintamateriaalin vedenimukyky ja saumarakenteet vaikuttavat viistosateen aikaansaaman vesikalvon syntyyn ja veden tunkeutumiseen seinärakenteeseen. Seinän ulkopinnan ollessa tiivis, kuten klinkkerilaatta-, luonnonkivilaatta- tai lasipinta, muodostuu siihen heti sateen alkuvaiheessa alaspäin valuva vesikalvo. Mitä karheampi pinta on, sitä tasaisemmin sadevesi jakaantuu pinnan alueelle.

Jos seinän ulkopinta on huokoinen, kuten tiililaatta, imeytyy viistosade laattaan kapillaarisesti ja vesikalvon muodostuminen viivästyy. Betoniin vesi imeytyy kapillaarisesti verraten hitaasti, varsinkin tiiviiseen, alhaista vesisementtisuhdetta käyttäen tehtyyn julkisivubetoniin. Betonijulkisivun pintakäsittely vettä hylkivällä aineella vaikeuttaa sadeveden imeytymistä betoniin, mutta toisaalta myös hidastaa rakenteen kuivumista ulospäin. Vesikalvo muodostuu maalaamattomilla betoniseinillä melko hitaasti eikä se harjatuilla, tiililaatta- ja pesubetonipinnoilla yleensä valu seinän alaosiin asti, vaan imeytyy sitä ennen seinään.

Tuulen aiheuttamat ilmavirtaukset kuljettavat seinäpinnalla alas valuvaa vesikalvoa myös sivuille ja ylöspäin esimerkiksi räystäsrakenteisiin, saumoihin, rakoihin ja halkeamiin, joista

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



paine-ero kuljettaa vettä rakenteiden sisään. Sadevesi pääsee ulkokuoren taakse mm. elementtien saumoista ja liitosrakenteiden kautta.

#### *Sadeveden poisjohtaminen seinärakenteesta*

Koska kosteuden pääsyä rakenteisiin ei voida estää, on tärkeää varmistaa kosteuden ulospääsy rakenteesta. Sokkeli- ja aukkodetaljien toteutuksessa on otettava huomioon painovoimaisesti tuuletusraossa valuvan veden ohjautuminen haittaa aiheuttamatta pois rakenteesta. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota räystäs-, sauma- ja sokkelidetaljeihin sekä ikkuna- ja muihin julkisivupellityksiin.

#### **Julkisivun liitokset**

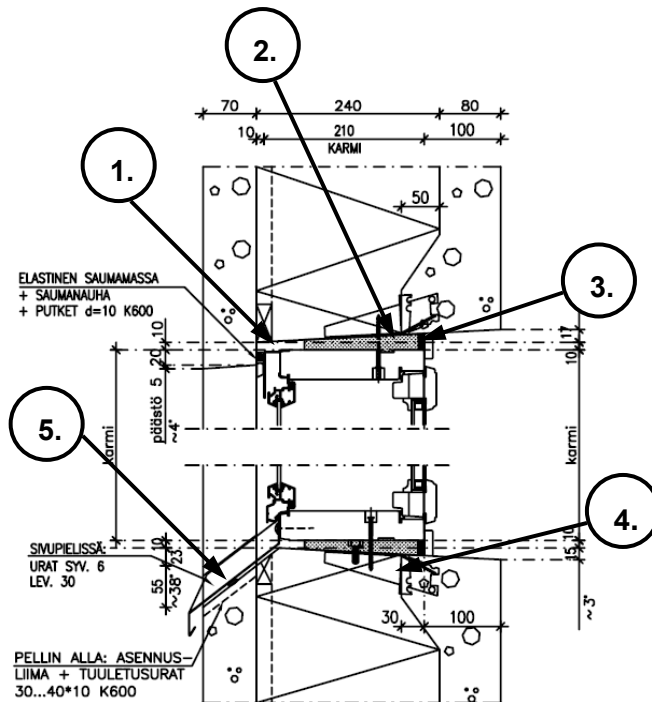
##### *Ikkunaliitos*

Ikkunan vesipellityksen kaltevuus ja liitosdetaljit vaikuttavat ikkunan ja seinän saderasituksen määrään. Pellitys on kallistettava vähintään kaltevuuteen 1:3 ulospäin, liitettävä tiiviisti karmin ja päistään seinärakenteeseen siten, ettei sadevesi pääse rakenteeseen. Pellitysten lämpöliike on syytä ottaa liitoksissa huomioon. Vesipelti on ulotettava riittävän ulos (30 – 40 mm) seinäpinnasta ja varustettava toimivalla tippanokalla. Vesipelti on suunniteltava sellaiseksi, että kaikki ikkuna- ja karmipintoja pitkin valuva vesi kulkeutuu pellitykselle. Tuulisilla paikoilla ylimmissä kerroksissa tulee vesipellin alla käyttää vastapeltiä.

Ikkunan ja seinärakenteen väli vaahdotetaan polyuretaanivaahdolla. Sisäreunasta saadaan varmemmin tiivis, kun polyuretaanivaahdosauma yltyä elementin sisäkuoren ja karmin väliin. Vaahdotus ei saa kuitenkaan ylettyä karmin ulkopintaan asti, ettei estetä puisen karmin kuivumista ulospäin. Vuotovesien poistaminen seinän tuuletusraosta ikkunan päältä sekä seinärakenteen tuuletuksen toimivuus ikkunaliitoksessa on syytä ottaa huomioon ikkunaliitoksen suunnittelussa.

Ikkunan sijoittaminen paksun seinärakenteen tapauksessa vaikuttaa ikkunan pielen suunnitteluun. Ikkuna pitää lämpötekniikan toiminnan vuoksi sijoittaa seinäelementin eristetilan kohdalle, jolloin rakenteeseen muodostuu yhtenäinen lämmöneristekerros. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki mineraalivillaeristeisen betonisandwich-rakenteen ikkunaliitoksesta.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



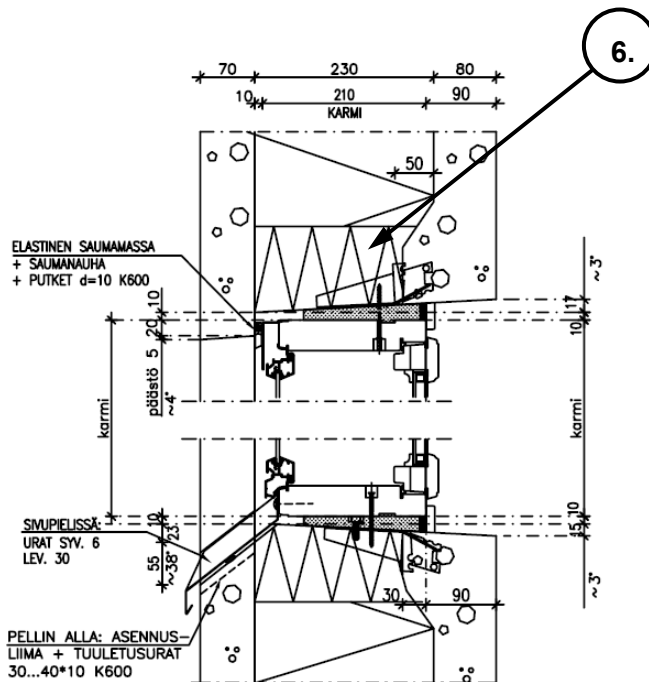
1. Veden poisto ja karmin kuivumis- mahdollisuus.
2. Metallinen karmikenkä.
3. Betonipaksunnos eristepaksuuden ja karmileveyden mukaan.
4. Ikkunan tiivistys polyuretaanivaahdolla.
5. Sadevesien poisjohtaminen.

**Kuva 4** Vuoden 2010 määräykset täyttävä mineraalivillaeristeinen sandwich-elementti;  $U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Ulkoseinä ei yleensä ole osastoiva rakennusosa, mutta ulkoseinä rakenteen suunnittelussa on otettava huomioon palon leviämiskaava ulkoseinä rakennetta tai sen pintoja pitkin toiseen palo-osastoon. Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan käytettäessä palavaa lämmöneristettä seinässä, tulee palon leviäminen eristystilaan estää. Palosuojasta voidaan pitää Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 (2002) mukaan riittävän tehokkaana, jos sisäverhous, palokatko aukkojen ympärillä sekä ulkoeristys täyttävät puolet kyseisessä tapauksessa osastoivalta rakenteelta vaadittavasta palonkestävyydestä. Esimerkiksi enintään kahdeksankerroksisen asuinrakennuksen kerrostason osastoivuusvaatimus on EI 60. Tällöin kerrostason ikkunaliitoksen tulee estää palon pääsy eristetytilaan puolet kerrostason osastoivuusvaatimuksesta eli 30 minuuttia (Ympäristöopas 39 2005). Palon leviäminen eristetytilaan on estettävä sekä ikkunan sisä- että ulkopuolelta. Vaadittu suojaverhous voidaan toteuttaa esimerkiksi palamattomalla mineraalivillaeristeellä tai vähintään 30 mm paksulla puukerroksella. Mineraalivillaeristeen käyttö on kuitenkin usein muita vaihtoehtoja suositeltavampaa hyvän lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan vuoksi. Kuvassa 5 on esitetty EPS-eristeyksen sandwich-rakenteen ikkunaliitos.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan





6. Palavilla eristeillä palon leviäminen eristetilaan on estettävä määräysten vaatimaksi ajaksi.

**Kuva 5** Matalaenergiatason määräykset täyttävä EPS-eristeinen sandwich-elementti;  $U=0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Esitetyt ikkunaliitokset eivät sovellu sellaisenaan mineraalivillaeristeisiin passiivitalon lämmöneristysvaatimukset täyttäviin seinärakenteisiin. Ikkunaliitosta olisi mahdollista kehittää siten, että olisi erikseen ulko- ja sisäpinnan ikkuna karmeineen. Näin välttyttäisiin ikkunapielien kasvamiselta. Tällöin myös koko seinän eristepaksuudesta saataisiin hyöty ikkunan läheisyydessä.

### Räystäät

Räystäsrakenteiden on estettävä tuulenpaineen seinän pintaa pitkin ylöspäin kuljettaman lumen ja sadeveden pääsy rakenteisiin. Kattovedet ja räystäskourujen vuotovedet eivät saa päästä julkisivupinnalle tai seinärakenteeseen.

Mikäli kattorakenteessa on aluskate, on se ulotettava ulkoseinäpinnan ulkopuolelle siten, että aluskatteen päälle joutuvat kondenssi- ja vuotovedet pääsevät haittaa aiheuttamatta ulos. Räystäsrakenteiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon yläpohjan ja seinän tuuletusraon ilmankierto. Tuuletusrako tulee ulottaa esteettä ulkoilmaan. Yläpohjarakenteen ilmanvaihto tapahtuu räystään yläreunasta samaa kautta.

Veden ja lumen kulkeutuminen räystäältä seinärakenteeseen tulee estää räystäspeltien oikealla muotoilulla, riittävällä räystäskorotuksella, ulottamalla katon vedeneristys korotuksen yli ulkoseinäpinnan ulkopuolelle sekä käyttämällä liitoksessa veden ylipääsyn estävää vastapeltiä.



### *Sokkelliitos*

Ulkoverhouksen taakse joutuneen veden on päästävä poistumaan liitoksesta haittaa aiheuttamatta ja rakenteen tuuletuksen toimivuus tulee varmistaa. Tähän on syytä kiinnittää erityistä huomioita suunniteltaessa eriytettyjen julkisivujen tai yhdistelmäjulkisivujen ja perusmuurin liitosta. Lumen ja sulamisvesien haittavaikutukset liitokselle sekä vuoto- ja roiskevesien pääsy rakenteeseen tulee estää.

## **VAIPPARAKENTEEN TIIVIYS**

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

Koko seinärakenteen ilmanpitävyys riippuu suurelta osin elementtien välisistä liitoksista sekä ikkuna- ja oviaukkojen tiivistyksestä. Ikkuna ja oviaukot tiivistetään käyttämällä polyuretaanivaahtoa. Seinäelementtien väliset saumat tehdään juotosvaluilla tai joustavien elastisten saumojen avulla. Saumavalujen onnistuminen on ensiarvoisen tärkeää rakenteen ilmatiiviyden ja siten koko rakennuksen energiakulutuksen kannalta. Elementtien vaakasauma on hyvä suunnitella niin, että lattian tasoitevalu peittää sauman. Muissa tapauksissa vaakasauma on syytä tiivistää elastisella saumamassalla. Talvella saumojen puhdistaminen lumesta ja jäästä ennen elementtien asennusta sekä saumojen valua on ensiarvoisen tärkeää saumavalun onnistumisen kannalta.

## **YHTEENVETO**

Mineraalivilla- ja solumuovieristeillä pystytään vastaamaan sekä tiukentuvien lämmöneristysmääräysten että matalaenergia- ja passiivirakenteiden vaatimuksiin. Betoninen sisäkuori on jo itsessään tiivis, mutta kovilla solumuovieristeillä saadaan tiiveyttä yhä paremmaksi, kunhan työtekniikka on kunnossa varsinkin saumojen ja liittyvien rakenteiden osalta. Uusimpien tutkimusten mukaan urituksesta ei kovilla eristeillä ole merkittävää hyötyä, mutta villaeristeillä se on oleellinen kosteusteknisen toimivuuden takaamiseksi.

Ulkoseinien lämmöneristysvaatimusten kasvaminen aiheuttaa useita merkittäviä muutoksia betonijulkisivujen lämpö- ja kosteustekniseen suunnitteluun. Vaatimusten kiristyminen johtaa eristepaksuuksien kasvuun, mikä hidastaa rakenteiden kuivumista. Tämä korostuu solumuovipohjaisia eristeitä käytettäessä, joista rakennusaikainen kosteus poistuu eristeen tiivyyden vuoksi vain sisäilmaan, mikä on otettava huomioon kuivatustarpeena sekä pinnoitustöiden aikatauluissa.

Matalaenergia- ja erityisesti passiivirakenteet aiheuttavat muutostarpeita elementtien ulkokuorien kiinnitykseen, koska suurilla eristepaksuuksilla kiinnikkeiden, diagonaaliansaiden ja pistokkaiden poikkileikkaukset kasvavat. Tällöin niiden vaikutus kylmäsiltaan kasvaa, mikä vaikuttaa oleellisesti lisäkonduktanssina U-arvon laskentaan. Elementtien eristeosan kasvun vuoksi myös elementin painopiste muuttuu ja kuoret ovat kauempana toisistaan, mikä tulee ottaa huomioon nostolenkkien sijainnissa ja muodossa.

Suurilla eristepaksuuksilla betonisandwich-elementtien nurkkaliitoksiin tulee merkittävästi nykyistä pidempi ulokkeellinen osa. Jos elementin ulkokuoren pinnat eivät kutistu samalla

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



tavalla (esimerkiksi ulkopinnassa kutistumaton tiililaatta), tulee nurkkaliitoksissa ottaa huomioon ulkokuoren kaareutuminen kasvattamalla nurkkaliitoksen sauman liikevaraa. Kutistumaeroista johtuva elementtien hammastelu voi olla esteettinen haitta, mutta myös aiheuttaa leikkausrasitusta elastisille saumoille.

Suurilla eristepaksuuksilla ikkunan sijoittaminen lämpöteknisen toiminnan kannalta optimaalisesti eristetilan kohdalle kasvattaa nykyisillä karmileveyksillä ikkunapieliä sisäpuolella ja toisaalta heikentää seinän eristyskykyä ikkunarakenteen ympärillä. Ikkunapielien kasvamista voitaisiin rajoittaa esimerkiksi siten, että olisi erikseen sisä- ja ulkopuolen ikkunat karmeineen, jolloin myöskään seinän lämmöneristävyys ei heikkenisi yhtä paljon.

Tampereella 30.3.2010

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Rakennustekniikan laitos

---

Matti Pentti,  
professori, tekniikan tohtori

---

Jukka Lahdensivu,  
erikoistutkija, tekniikan lisensiaatti

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



## LÄHTEET

Hakkarainen, T., Vinha, J. 2010. Betonisandwich-elementtien lämpö- ja kosteustekninen toiminta lämmöneristyspaksuuden kasvaessa. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikan laitos, Tutkimusselostus Nro 1777. Julkaisematon. 59 s.

Julkisivu 2000. Osaraportti C 1a. Betonisandwich-ulkoseinien kosteustekninen käyttäytyminen. RTT Rakennusteollisuus. Teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikan laboratorio. 1997. 65 s.

Ormiskangas, P. 2009. Betonisandwich-elementin kosteustekninen toiminta paksuilla eristeillä. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan koulutusohjelma. 127 s. + liitt. 7 s.

SFS-EN ISO 6946:2007. 2008. Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 28 p.

SFS-EN ISO 10456:2008. Building materials and products. Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 25 p.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, E1 Rakenteiden paloturvallisuus. 2002. Helsinki, Ympäristöministeriö. 31 s. + liitt. 9 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, C3 Rakennuksen lämmöneristys, määräykset 2007. 2007. Helsinki, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 10 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, C3 Rakennuksen lämmöneristys, määräykset 2010. 2008. Helsinki, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 10 s.

Ympäristöopas 39, Rakennusten paloturvallisuus & Paloturvallisuus korjausrakentamisessa. 2005. Helsinki, Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 145 s. + liitt. 20 s.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan