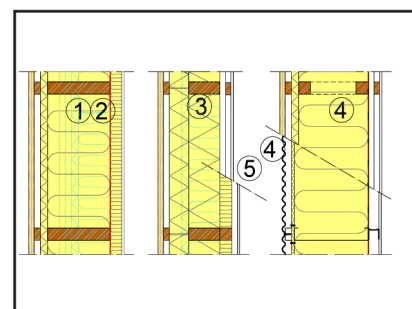


Jukka Lahdensivu, Jommi Suonketo, Juha Vinha, Ralf Lindberg, Elina Manelius,
Vesa Kuhno, Kari Saastamoinen, Kati Salminen & Kimmo Lähdesmäki

**Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten
suunnittelu- ja toteutusohjeita**



Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka.
Tutkimusraportti 160
Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. Structural
Engineering. Research Report 160

Jukka Lahdensivu, Jommi Suonketo, Juha Vinha, Ralf Lindberg, Elina Manelius, Vesa
Kuhno, Kari Saastamoinen, Kati Salminen & Kimmo Lähdesmäki

Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita

ISBN 978-952-15-2950-4 (painettu)
ISBN 978-952-15-2951-1 (PDF)
ISSN 1797-9161



Lahdensivu Jukka, Suonketo Jommi, Vinha Juha, Lindberg Ralf, Manelius Elina, Kuhno Vesa, Saastamoinen Kari, Salminen Kati, Lähdesmäki Kimmo

MATALAENERGIA- JA PASSIIVITALOJEN RAKENTEIDEN JA LIITOSTEN SUUNNITTELU- JA TOTEUTUSOHJEITA

Tutkimusraportti 160, 121 sivua + 1 liites.

Marraskuu 2012

Hakusanat: rakennusfysiikka, rakenteet, liitokset, lämmöneristys, energiatehokkuus, kosteustekninen toiminta, ilmastonmuutos, matalaenergiatalo, passiivitalo

Tiivistelmä

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen tuo mukanaan muospaineita suunnittelijoille ja rakentajille. Rakenteiden dimensiot muuttuvat eristepaksuutta kasvattaessa ja toisaalta rakenteen kosteustekninen toiminta muuttuu vaipan läpi tapahtuvien lämpöhäviöiden vähentyessä. Uusia tehokkaampia lämmöneristemateriaaleja käytetään paikoissa, joissa niitä ei ole ennen käytetty, mikä osaltaan vaikuttaa rakenteen kosteustekniseen, rakenteelliseen ja palotekniseen käyttäytymiseen sekä käytännön toteutukseen. Energiatehokkuuden parantamisen aiheuttamien muutosten lisäksi myös kiihtyvä ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan rakenteiden toimintaan.

Tämä tutkimusraportti liittyy Tampereen teknillisellä yliopistolla vuosina 2009-2012 toteutettuun FRAME-tutkimusprojektiin, jossa tutkittiin ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäämisen vaikutusta rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan sekä rakennusten energiankulutukseen ja sisäilman olosuhteisiin. Julkaisun tavoitteena on esittää yleisesti käytetyissä rakenteissa mahdollisesti esiintyviä muutoksia, kun eristepaksuutta kasvatetaan tai eristemateriaalia vaihdetaan ja esittää rakenteiden suunnittelu- ja toteutusohjeita, joilla nämä muutokset otetaan huomioon. FRAME-projektin varsinaiset tutkimustulokset on esitetty erillisessä raportissa, mutta tutkimustuloksia on hyödynnetty myös tässä julkaisussa annetuissa ohjeissa. Rakennetyypit ja ohjeistukset on laadittu siten, että rakenne toimisi kosteusteknisesti myös paksummilla lämmöneristeillä sekä tulevaisuuden ilmastossa (vuonna 2050). Julkaisussa on käsitelty yleisesti käytettyjä rakennetyyppejä ja -liitoksia. Ohjeistus ja selitykset on pyritty laatimaan siten, että esitetyjä toteutusperiaatteita voidaan tarvittaessa soveltaa myös muihin rakenteisiin.

Lämmöneristyksen lisäyksestä aiheutuvilla muutoksilla on muutamia yhteisiä piirteitä. Rakenteen läpi tapahtuvat lämpöhäviöt pienentyvät. Tästä seuraa rakenteiden ulko-osien viileneminen ja suhteellisen kosteuden nousu. Tilanne voi heikentää tiettyjen perinteisten rakenteiden kosteusteknistä toimintaa, jos muuttuneita olosuhteita ei oteta suunnittelussa huomioon. Rakennusaikaisen kosteuden kuivumiseen on varattava lisäksi enemmän aikaa, kun rakennetta kuivattava lämpövirta rakenteen läpi vähenee. Rakenteen dimensioiden muutos saattaa johtaa rankarakenteiden rungon ylimitoitukseen, mikä aikaansaa uusien runkotyyppien kehittämistä. Rakenteiden paksuuden kasvaessa eristeen läpi tehtyjen kannatusten ja ripustusten rasitukset kasvavat, mikä johtaa liitoskappaleiden paksuntumiseen ja lisääntyvään kylmäsilta vaikutukseen. Liitokset ja liikuntasaumamat tulee mitoittaa ottaen huomioon paksujen eristekerrosten kokoonpuristuminen ja liikkeet. Energiatehokkuuden parantuessa ilmatiiviyyden merkitys korostuu ja sisätilojen riittävästä ilmanvaihdosta on huolehdittava. Rakenteiden vikasietoisuuden heikkeneminen korostaa jatkossa entisestään myös rakennusaikaisen kosteudenhallinnan ja huolellisen rakentamisen merkitystä.



Lahdensivu Jukka, Suonketo Jommi, Vinha Juha, Lindberg Ralf, Manelius Elina, Kuhno Vesa, Saastamoinen Kari, Salminen Kati, Lähdesmäki Kimmo

DESIGN AND EXECUTION INSTRUCTIONS FOR LOW ENERGY AND PASSIVE HOUSE STRUCTURES AND JOINTS

Research report 160, 121 pages + 1 appendix

November 2012

Keywords: building physics, structures, joints, thermal insulation, energy efficiency, moisture behavior, climate change, low energy house, passive house

Abstract

The need for improving energy efficiency of buildings brings along pressure for the building sector. The dimensions of structures change when increasing thermal insulation thickness and moisture behavior of structures change when heat losses through structures are being reduced. New, more effective, thermal insulation materials are used in new places. This, for one, influences the moisture conditions, structural and fire technical behavior and practical execution of structures. In addition climate change has its own impact on the moisture behavior of structures.

This publication is related to the FRAME-project carried out in Tampere University of Technology during the years 2009-2012. The FRAME-project studied the impact of climate change and increase of thermal insulation on the moisture behavior of envelope structures, energy consumption of buildings and indoor climate conditions. The goal of this report is to present possible changes occurring in structures when increasing the thermal insulation thickness and to give design and execution instructions on how to deal with these changes. The results of the FRAME-project are presented in another report but the results have also been utilized in this report. The structure types and instructions have been made in a way that the structure would also be functional with thick insulation layers and future climate (year 2050). The structure and joint types presented here are conventional and commonly used. The reader must adapt the information also to other structure types.

There are a few common features in the behavior of structures when adding thermal insulation. The heat losses through the envelope are being reduced. This results to the outer wall layers cooling down and relative humidity increasing. This may weaken the moisture behavior if these changes are not taken into consideration in design. In addition more time must be reserved for the drying out of built-in moisture because heat flows through the envelope decrease. The changes in dimensions may lead to over estimation of bearing structures and new structure types have to be therefore developed. When the structures are becoming thicker, the suspensions and hangings through the insulation layer gain stress which lead to thicker dimensions and increasing heat bridges. Also the connections and construction joints must be dimensioned by taking account the movements of thicker insulation layers. When the energy efficiency is improved the air tightness of the envelope becomes more important and sufficient indoor ventilation must be seen to. Also moisture control during the building process becomes more important when fault tolerance of envelope assemblies decreases.

Alkusanat

Tämä julkaisu on tehty ”Future Envelope Assemblies and HVAC Solutions (FRAME)” - tutkimusprojektin yhteydessä. FRAME-projektissa tutkittiin ilmastomuutoksen ja rakenteiden lämmöneristyksen lisäämisen vaikutusta vaipparakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan sekä rakennusten energiankulutukseen ja sisäilman olosuhteisiin. Projektin rahoittajina olivat TEKES, Ympäristöministeriö, Rakennusteollisuus RT ry:n toimialaliitot sekä yksittäisistä yrityksistä Finnfoam Oy, Suomen Kuitulevy Oy ja Fibratus Oy.

Lämmöneristysmääräysten muuttuminen tuo mukanaan lukuisia muutoksia nykyisin käytössä oleviin rakenteisiin, rakennusosien välisiin liitoksiin sekä totuttuihin rakentamistapoihin. Suurempia lämmöneristyspaksuuksia ei voida enää välttämättä toteuttaa totutuilla rakennetyypeillä. Tässä julkaisussa esitetään yleisesti käytetyissä rakenteissa mahdollisesti esiintyviä muutoksia, kun eristepaksuutta kasvatetaan tai eristemateriaalia vaihdetaan ja lisäksi esitetään rakenteiden suunnittelu- ja toteutusohjeita, joilla nämä muutokset otetaan huomioon.

Suunnittelu- ja toteutusohjeet on laadittu TTY:n Rakennustekniikan laitoksen asiantuntijaryhmän toimesta sekä kommentoitu ja edelleen kehitetty rakennusalan ammattilaisille järjestettyjen workshopien perusteella. Ohjeiden toteutuksen yhteydessä järjestettiin neljä workshop-tapahtumaa, joihin osallistui useiden yritysten edustajia. Workshoppeihin osallistuneiden yritysten ja yhdistysten lista on esitetty liitteessä 1.

TTY:n asiantuntijaryhmässä ovat toimineet tekn.toht. Jukka Lahdensivu, dipl.ins. Jommi Suonketo, tekn.toht. Juha Vinha, prof. Ralf Lindberg, dipl.ins. Kimmo Lähdesmäki, dipl.ins. Kati Salminen, tekn.kand. Elina Manelius, tekn.kand. Vesa Kuhno ja tekn.kand. Kari Saastamoinen. Julkaisun yleistekstit sekä rakennusosakohtaiset tekstit on kirjoittanut pääasiassa Jukka Lahdensivu ja joiltakin osin Juha Vinha. Julkaisun ovat toimittaneet Elina Manelius, Vesa Kuhno, Kari Saastamoinen ja Kati Salminen.

FRAME-tutkimuksessa on ollut mukana laaja joukko rakennusalan yritysten ja yhdistysten sekä Ympäristöministeriön, TEKESin ja Rakennusteollisuus RT ry:n edustajia. FRAME-hanke on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen (rakennetekniikka ja rakennustuotanto- ja talous) ja Aalto-yliopiston Energiatekniikan laitoksen (LVI-teknikka), Ilmatieteen laitoksen ja Mittaviiva Oy:n yhteistyöprojektina. Projektin kokonaisorganisoinnista vastasi TTY:n Rakennustekniikan laitos, tutkimusjohtaja Juha Vinhan johtamana. FRAME-tutkimuksesta julkaistaan erikseen toinen tutkimusraportti, jossa on esitetty muut tutkimuksessa saadut tulokset.

Tutkimuksen johtoryhmään kuuluivat:

<i>Tero Karislahti, puheenjohtaja</i>	YIT Oyj
<i>Tiina Suonio, varapuheenjohtaja</i>	RTT ry, Muuratut rakenteet

<i>Sini Uuttu</i>	TEKES
<i>Olli-Pekka Nordlund</i>	TEKES
<i>Teppo Lehtinen</i>	Ympäristöministeriö
<i>Katja Outinen</i>	Ympäristöministeriö
<i>Jani Kemppainen</i>	Talonrakennusteollisuus ry
<i>Arto Suikka</i>	RTT ry, Betoniteollisuus
<i>Kimmo Rautiainen</i>	RTT ry, Pientaloteollisuus PTT
<i>Markku Leinos</i>	Rakennusteollisuus RT ry
<i>Ilkka Salo</i>	LVI-talotekniikkateollisuus ry
<i>Tuuli Kunnas</i>	EPS-rakennuseristeteollisuus/ Muoviteollisuus ry
<i>Ahti Syrjäaho</i>	Fenestra Oy
<i>Heidi Huhtamella</i>	Fibratus Oy
<i>Henri Nieminen</i>	Finnfoam Oy
<i>Kimmo Järvinen</i>	Finnish Wood Research Oy
<i>Minna Korpi</i>	H+H Finland Oy
<i>Jan-Erik Järventie</i>	Lammi-Kivitalot Oy
<i>Antti Pirhonen</i>	NCC-Rakennus Oy/ Asuminen
<i>Heikki Sarin</i>	Parma Oy
<i>Jyrki Kesti</i>	Rautaruukki Oyj
<i>Jussi Jokinen</i>	Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy
<i>Kati Alakoski</i>	Saint-Gobain Weber Oy Ab
<i>Jyrki Jaskari</i>	Skaala Ikkunat ja Ovet Oy
<i>Toni Tuomola</i>	Skanska Talonrakennus Oy
<i>Tero Niemelä</i>	Skanska Talonrakennus Oy
<i>Pasi Käkälä</i>	SPU Systems Oy
<i>Peter Lind</i>	Suomen Kuitulevy Oy
<i>Pekka Peltomäki</i>	Tiivituote Oy
<i>Juha Karilainen</i>	Wienerberger Oy
<i>Risto Aurola</i>	Sosiaali- ja terveysministeriö
<i>Anne Hyvärinen</i>	Terveyden ja hyvinvoinnin laitos THL
<i>Kirsti Jylhä</i>	Ilmatieteen laitos
<i>Juha Jokisalo</i>	Aalto-yliopisto, Energiatekniikan laitos/ LVI-tekniikka
<i>Juha Vinha</i>	TTY, Rakennustekniikan laitos/ Rakennetekniikka
<i>Ralf Lindberg</i>	TTY, Rakennustekniikan laitos/ Rakennetekniikka

Kiitämme workshoppeihin osallistuneita, johtoryhmän jäseniä ja heidän sijaisiaan, tutkimuksen rahoittajia sekä kaikkia julkaisun toteutukseen osallistuneita ja siinä avustaneita henkilöitä.

Tampereella

8.11.2012

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	1
Alkusanat	3
Sisällysluettelo.....	5
Käsitteet ja määritelmät	7
1 Johdanto.....	8
1.1 Rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta.....	10
1.2 Rakenteiden kastuminen ja työnaikainen suojaus	11
1.3 Sisäilmaston laatu	13
1.4 Muovipohjaiset lämmöneristeet	16
1.5 Ikkunoiden sijainti	20
1.6 Palomääräykset.....	21
2 Ohjeita rakennekuvien lukemiseen	22
2.1 U-arvotasot ja laskentaperiaatteet.....	22
2.1.1 Rakennekuvien U-arvotasot	22
2.1.2 U-arvojen laskentaperiaatteet.....	23
2.1.3 Rakenteissa käytettyjen materiaalien lämmönjohtavuudet	24
3 Ulkoseinät.....	25
3.1 Rankarakenteiset ulkoseinät	25
3.2 Muuratut seinät ja harkkoseinät.....	33
3.3 Sandwich-rakenteet	39
3.3.1 Betonisandwich-seinät	39
3.3.2 Pelti-eriste-pelti -seinät	43
3.4 Eristerapatut kivirakenteiset seinät.....	46
3.4.1 Paksurappaus-eristejärjestelmä	46
3.4.2 Ohutrappaus-eristejärjestelmä.....	50
3.4.3 Erityistä eristerappauselementeistä	54
3.5 Hirsiseinät.....	55
4 Yläpohjat.....	59
4.1 Tuuletetut yläpohjat	59
4.1.1 Puurakenteiset vinot yläpohjat	60
4.1.2 Puurakenteiset tuuletustilalliset yläpohjat	66
4.2 Heikosti tuulettuvat kattorakenteet.....	71
4.3 Tuulettumattomat yläpohjat.....	74
5 Alapohjat.....	79
5.1 Ryömintätilaiset alapohjat	79
5.1.1 Puurakenteiset alapohjat.....	80
5.1.2 Kevytbetoni- ja ontelolaatta-alapohjat	82
5.2 Maanvastaiset alapohjat.....	84
5.3 Kellarit.....	86
5.4 Perusmuurit.....	86
6 Liitokset.....	87

6.1	Alapohja-ulkoseinä -liitokset.....	87
6.1.1	Puurakenteiset ryömintätilaiset alapohjat.....	87
6.1.2	Betonirakenteiset ryömintätilaiset alapohjat	93
6.2	Yläpohja-ulkoseinä -liitokset.....	104
6.2.1	Puurankaseinä - kattoristikko	105
6.2.2	Kuorimuuri - kattoristikko	106
6.2.3	Puurankaseinä - kattovasat	108
6.2.4	Kevytsorakatto - räystäs	110
7	Ikkunat.....	113
8	Erityiskohteita	116
8.1	Terassikatto.....	116
8.2	Ulokeparveke.....	118
9	Lähteet.....	120
	Liitteet	122

Käsitteet ja määritelmät

Elastinen polyuretaanivaaho	Polyuretaanivaaho, joka säilyttää elastisuutensa pitkän ajan kuluessakin
Homeindeksi	Suure, jolla kuvataan silmin tai mikroskoopilla havaittavaa homeen kasvun määrää materiaalin pinnalla asteikolla 0-6.
Hybridirakenne	Rakennusosa, jossa lämmöneristekerros on toteutettu kahdella erityyppisellä lämmöneristemateriaalilla.
Matalaenergiatalo	Rakennus, jonka tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergian ostoenergian ominaiskulutus ja nettoenergian ominaistarve ovat välillä 26-50 kWh/(m ² a).
Muovipohjainen lämmöneriste	Tässä julkaisussa muovipohjaisilla lämmöneristeillä tarkoitetaan EPS-, XPS- ja polyuretaanilämmöneristeitä.
Passiivitalo	Rakennus, jonka tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergian ostoenergian ominaiskulutus ja nettoenergian ominaistarve ovat alle 25 kWh/(m ² a).
Passiiviset jäähdytysratkaisut	Rakenteelliset, lasitukseen ja auringon varjostukseen liittyvät jäähdytysratkaisut, joilla pyritään alentamaan rakennuksen sisätilan lämpötilaa ja vähentämään jäähdytystarvetta.
Tehokas eriste	Julkaisun rakennetyypeissä käytetty lämmöneriste, jonka lämmönjohtavuus λ on 0,024 W/(mK).
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin [W/(m ² K)] ilmoittaa lämpövirrantiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen.
U-arvon vertailuarvo	Rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa käytettävä rakennusosan lämmönläpäisykerroimen arvo.

1 Johdanto

Lämmöneristyksen lisäys tuo mukanaan lukuisia muutoksia nykyisin käytössä oleviin rakenteisiin, rakennusosien välisiin liitoksiin sekä totuttuihin rakentamistapoihin. Suomessa varsin yleisesti käytetyn mineraalivillan rinnalle on tullut erilaisia muovipohjaisia lämmöneristeitä sellaisiin käyttökohteisiin, missä niitä ei ole aiemmin juurikaan käytetty. Tällä on vaikutuksia mm. rakenteiden kosteustekniseen toimintaan, eristeiden asennukseen sekä palosuojaustarpeisiin.

Tässä julkaisussa tarkastellaan ensisijaisesti lämmöneristeiden paksuntamisen vaikutuksia rakenteiden dimensioihin, toimintaan ja rakennettavuuteen. Tämän lisäksi tarkastellaan erilaisten lämmöneristemateriaalien asettamia vaatimuksia rakenteiden kosteustekniseen suunnitteluun, asennettavuuteen sekä akustiseen toimintaan.

Julkaisussa on pyritty käsittelemään yleisesti käytettyjä rakennetyyppejä ja nostamaan esille kustakin rakennetyypistä tärkeimmät huomioon otettavat asiat. Rakennetyyppeihin liittyvät ohjeistukset koostuvat yleistekstistä sekä rakennekuva-aukeamasta, johon on numeroitu rakenteen kriittiset pisteet. Tarkoituksena ei ollut esittää kaikkia Suomessa käytettyjä rakenteita, vaan esittää toteutusperiaatteet muutamasta yleisimmin käytetystä. Tavoitteena on, että suunnittelijat ja rakentajat osaavat tarvittaessa soveltaa näitä tietoja myös muihin rakenteisiin.

Julkaisussa on käytetty hyödyksi koko FRAME-projektin tutkimustuloksia (Vinha et al. 2012). Rakennetyypit ja ohjeistukset on laadittu siten, että rakenne toimii kosteusteknisesti myös paksummilla lämmöneristeillä sekä tulevaisuuden ilmastossa (vuonna 2050). Kriteerinä kosteustekniselle toimivuudelle on käytetty määritelmää, että kantavat rakenteet ja tuulensuojan sisäpuolella olevat materiaalit eivät saa homehtua (homeindeksin oltava < 1). Rakenneosissa, jotka ovat helpommin vaihdettavissa, vähäinen mikrobikasvusto voidaan hyväksyä. Kyseisissä kohdissa homehtuminen voidaan välttää tai sitä voidaan vähentää käyttämällä mahdollisuuksien mukaan hyvin kosteutta kestäviä, pinnoitettuja tai homesuojattuja rakennusmateriaaleja.

Samanaikaisesti FRAME-projektin kanssa on ollut käynnissä RIL 107-2012 (2012) ”Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet” uudistustyö. Näihin ohjeisiin on koottu paljon myös FRAME-projektin yhteydessä saatua tutkimustietoa. RIL 107-2012 (2012) julkaisussa annetaan lisäksi muita rakenteiden kosteustekniseen toimintaan liittyviä suunnittelu- ja toteutusohjeita. Tämän tutkimuksen rakenteet ja liitokset on esitetty siten, että ne vastaavat myös RIL 107-2012 (2012) ohjeita.

Rakenteiden paksuudessa vertailulähtökohdiana ovat tutkimuksen alussa voimassa olleet rakennusosien vertailuarvot (RakMK C3, 2007). 1.1.2010 voimaanastuneiden lämmöneristysmääräysten seurauksena monet yleisesti käytössä olleet rakennetyypit ovat jo paksuuntuneet merkittävästi. Matalaenergia- ja passiivitaloissa saatetaan kuitenkin käyttää vielä paksumpia lämmöneristeitä, joten muutokset ovat tässä suhteessa merkittäviä.

On esitetty arvioita, että passiivitaloissa/ nollaenergiataloissa käytettävissä rakenteissa lämmöneristeiden paksuus kasvaisi seinissä nykyisestä noin 240 mm:stä jopa noin 450 mm:iin käytetystä lämmöneristeestä riippuen. Yläpohjissa eristepaksuus kasvaisi vastaavasti noin 450 mm:stä ja 700 mm:iin, kun asiaa tarkastellaan samantyyppisillä mineraalivillaeristeillä, joita nykyisinkin käytetään.

Näin merkittävillä eristyspaksuuksien lisäyksillä olisi suuri vaikutus siihen, miten rakenteet käytännössä toteutetaan. Harvoissa rakennetyypeissä eristyspaksuutta voidaan kasvattaa näin merkittävästi ilman, että rakennetyyppiin on tehtävä oleellisia muutoksia joko jo suunnitteluratkaisun tasolla tai valmistus- ja asennustekniikoiden suhteen etenkin, jos rakennusosien kustannustehokkuus halutaan pitää hyvänä. Rakenteiden energiatehokkuuden parantaminen tarkoittaa valtaosassa rakenteita muutoksia käytettäviin runkopaksuuksiin, eristetyyppeihin, rakenteiden ja rakennusosien liitoksiin, kiinnityksiin ja ripustuksiin. Toisaalta osassa rakennetyypeistä muutos voi taas sujua lähes ongelmitta. Keskeiset rakennetyypit on koottu tätä silmälläpitäen taulukkoon 1.1.

Taulukko 1.1 Lämmöneristepaksuuden kasvattamisen aiheuttamat muutostarpeet eri rakennusosissa.

Lämmöneristepaksuuden kasvattamisen vaikutukset		
Ei juuri muutoksia	Vaaditaan joitakin muutoksia	Vaaditaan enemmän muutoksia
<ul style="list-style-type: none"> • Kuorimuuriseinät • Eristerapatut kivirakenteiset seinät, etenkin ohutrappaus-eristejärjestelmä • Peltisandwich- ja peltirankaelementit • Kevytsorakatot (myös EPS/PUR + kevytsora) 	<ul style="list-style-type: none"> • Betonisandwich-elementit • Puurankaseinät • Harkkoseinät • Mineraalivilla- ja EPS-eristetyt umpikatot • Kevytbetonikatot • Maanvastaiset alapohjat • Ontelolaatta-alapohjat 	<ul style="list-style-type: none"> • Yksiaineiset kevytbetoniseinät ja -alapohjat • Hirsiseinät • Harkkoseinät • Puurakenteiset vasakatot • Puuristikkokatot • Puukorotetut katot • Puurakenteiset ryömintätillaiset alapohjat • Tiiliverhotut puurankaseinät korkeissa rakennuksissa

Teollisessa asuin- ja liiketilarakentamisessa käytettävissä alapohja-, yläpohja- sekä ulkoseinärakenteissa eristyspaksuuden kasvattaminen onnistuu pääasiassa varsin pienin muutoksin nykyrakenteisiin. Yhteistä kaikille seinärakenteille on, että seinän uloin osa altistuu jatkossa ankarammalle kosteus- ja pakkasrasitukselle, koska ulko-osat ovat aiempaa kylmemmässä ja niiden kuivuminen on hitaampaa. Tämän johdosta huokoisten materiaalien pakkasenkestävyyden on oltava erityisen hyvä ja tämä edellyttää hyvää laadunhallintaa erityisesti käytettäville betonituotteille ja laasteille (kuva 1.1).

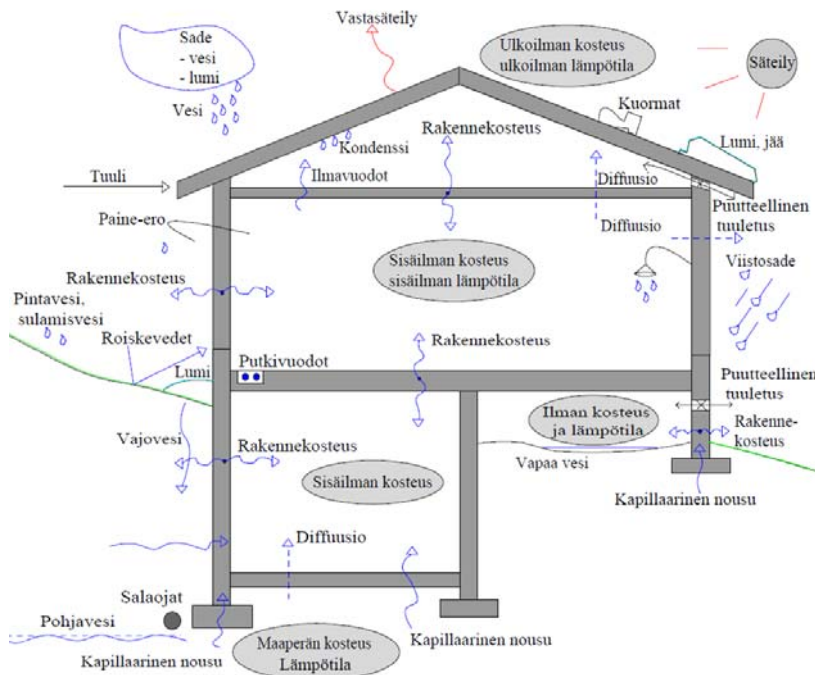
Rakenteiden, detaljien, rakennusmateriaalien ja rakentamistapojen muutosten seurauksena tarvitaan taitoa ja huolellisuutta rakentamisen jokaiselta osapuolelta. Suunnittelussa ja toteutuksessa ei tule keskittyä pelkästään yksittäisen rakennusosan tai rakenteen toimivuuden varmistamiseen vaan lisäksi vaaditaan hyvää kokonaisuuden hallintaa.



Kuva 1.1 Seinän ulko-osat altistuvat ankarammalle pakkasrasitukselle lämpövuotojen vähentyessä. Kuvassa ulkoseinän kylmä-siltakohdat erottuvat selvästi muuten huurtuneesta julkisivusta.

1.1 Rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta

Tehtyjen selvitysten mukaan (Ahrnens & Borglund 2007, Padt et al. 2004, Samuelson & Hägerhels Engman 2006, SBUF 2007, Vinha et al. 2008 ja Vinha et al. 2012) vaipparakenteiden lämmöneristävyuden lisääminen sekä ilmaston muuttuminen nykyistä sateisemmaksi ja lämpimämmäksi muuttaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa yleisesti ottaen epäedulliseen suuntaan. Tämä johtuu siitä, että rakenteiden kuivumiskyky ja siten ns. vikasietoisuus heikkenevät, koska rakenteiden läpi johtuva kuivattava lämpövirta pienenee suorassa suhteessa U-arvojen alenemisen kanssa, rakenteet kastuvat useammin ja enemmän ja kosteuden poistuminen kuivumalla hidastuu. Tällä on merkitystä sekä rakentamis- että käyttövaiheissa (kuva 1.2).



Kuva 1.2 Rakennuksen kosteuslähteet (Leivo 1998).

Lämmöneristykseen lisäyksen ja ennustetun ilmastonmuutoksen vaikutuksia rakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ovat:

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

Rakenteiden kuivumiskyvyn heikkeneminen lisää riskiä myös haitallisen homekasvuston muodostumiseen rakenteisiin. Tämä saattaa olla tulevaisuudessa ongelmakenttänä vielä nykyistäkin merkittävämpi, koska rakennusten käyttäjien vaatimukset rakenteissa tapahtuvan homekasvun ehkäisemisestä tiukentuvat todennäköisesti edelleen. Ongelmaa lisää myös se, että ilmastonmuutoksen seurauksena sääolot Suomessa muuttunevat selvästi homeen kasvua suosivaan suuntaan.

Kuivumiskyvyn heikkenemisen aiheuttamat ongelmat koskevat erityisesti niitä rakenteita, joissa on kosteudelle arkoja, lähinnä puupohjaisia materiaaleja. Kuivumiskyvyn kannalta ongelmallisia rakenteita ovat erityisesti puurakenteiset ryömintätilaiset alapohjat ja tuuletetut yläpohjat, joissa esiintyy homekasvua jo nykyistenkin lämmöneristysvaatimusten mukaan rakennetuissa rakennuksissa.

1.2 Rakenteiden kastuminen ja työnaikainen suojaus

Tyypillisimmin rakenteille hitaasti ja vaikeasti poistuvaa ylimääräistä kosteusrasitusta aiheuttavat:

- runkovaiheessa tasoilta ulkoseinäelementtien eristetilaan valuva vesi
- umpikatot
- ns. kelluvien lattioiden valaminen kantavan laatastons päälle asennettujen eristeiden päälle
- ennakoimattomat paikalliset kosteuslähteet, kuten vesiletkujen vuodot, laastinsekoitus työpisteessä jne.

Muut määrättyt työvaiheet, kuten tasoitustyöt ja pintalattioiden valaminen märkätiloihin ja muualle suoraan kantavaan laattaan kiinni, aiheuttavat rakennusvaiheessa ylimääräistä

kosteusrasitusta. Ylimääräinen kosteus on kuitenkin mahdollista kuivattaa suhteellisen nopeasti em. rakenteiden suuren haihduttavan pinta-alan johdosta.

Rakenteiden työnaikainen kastuminen tulee estää hyvin suunnitellulla ja toteutetulla työnaikaisella suojauksella (kuva 1.3). Erityisen tärkeää on estää veden pääsy kerroksellisten ja kotelomaisten rakenteiden sisään, joista kosteuden poistuminen on hyvin hidasta. Tällaisia ovat mm. jo mainittujen sandwich-elementtien yläosien lisäksi ikkuna- ja läpivientiaukkojen kohdat, puuelementit yleisesti sekä jo kertaalleen kuivuneet betoni- ja muut rakenteet.

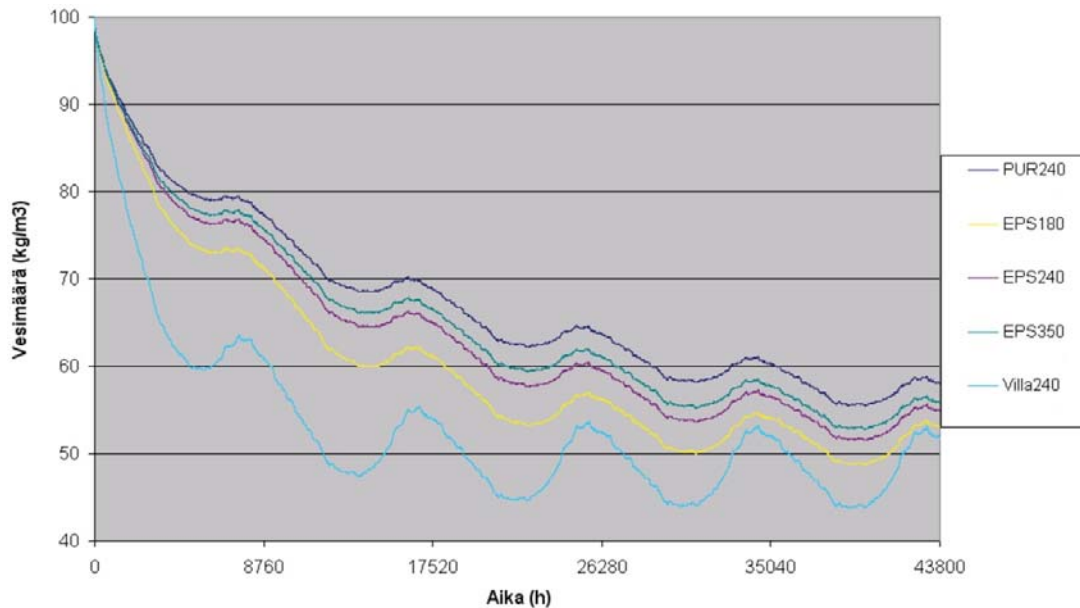


Kuva 1.3 Esimerkki rakennustyömaan sääsuojauksesta. Omakotitalon julkisivukorjaus tehtiin kokonaan huputettuna Ruotsissa Göteborgissa.

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

Aikataulut vs. rakenteiden kuivuminen

Rakennusaikaisen kosteuden poistuminen rakenteista on hidasta ja se tulee lämmöneristeiden paksuuntuessa vielä hidastumaan. Lisäksi mineraalivillojen korvaaminen solumuovieristeillä muuttaa kuivumiskäyttäytymistä siten, että rakenteet kuivuvat enemmän vain yhteen suuntaan eli sisätiloihin päin (kuva 1.4).



Kuva 1.4 Laskennallinen esimerkki betonielementin sisäkuoren kuivumisesta erilaisilla lämmöneristeillä ja eristepaksuuksilla (Ormiskangas 2009).

Rakenteiden kuivumiselle tulee antaa riittävästi aikaa. Rakenteita tulee pyrkiä tekemään mahdollisimman ”kuivina”, jotta kuivatustarve olisi pieni. Tämä edellyttää mm. hyviä suojuuksia. Rakenteita voidaan myös kuivata aktiivisesti erillisillä kuivaajilla, jotka tosin lisäävät rakennustyön energiankulutusta sekä rakennuskustannuksia.

Mm. näiden seikkojen huomioon ottaminen lisää jonkin verran rakentamisen kokonaisaikaa ja kustannuksia, jotka tosin on mahdollista saada ainakin osittain takaisin vähentyneenä takuukorjaustarpeena.

1.3 Sisäilmaston laatu

Ulkoseinien lämmöneristyskykyä ja tiiviyttä parannettaessa tulee valmistautua siihen, että sisäilmaston laatu tietyltä osin saattaa laskea. Tämä koskee toisaalta ilmanvaihtoa ja toisaalta lämpöviihtyvyyttä lämmityskauden ulkopuolella.

Rakennusvaipan lämmöneristävyuden parantaminen edistää hyvän sisäilmaston saavuttamista lämmityskauden aikana. Hyvin lämmöneristetyssä rakennuksessa ulkovaipan tulee ehdottomasti olla ilmatiivis, jolloin vuotoilmanvaihtoa ei tapahdu käytännössä juuri ollenkaan. Tästä seuraa, että rakennusten ilmanvaihtolaitteistoja on käytettävä kaikissa olosuhteissa riittävällä teholla ja varmistettava laitteiden toimivuus nykyistä huolellisemmin. Lisäksi on tärkeää säätää ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmanvaihdon suhteet oikein, jotta rakennukseen ei synny talvella suuria yli- ja alipaineita. Muussa tapauksessa rakennusten sisäilman laatu heikkenee merkittävästi ja kosteusvaurioriski kasvaa. Ilmanvaihdon merkitystä ja oikeaa käyttöä tulee opastaa ja ohjeistaa asukkaille ja rakennuksen huoltohenkilöstölle. Rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen kannalta LTO-laitteistojen hyötysuhteen parantaminen on avainasemassa.

Lämmityskauden ulkopuolella lämpökuormat ja auringon säteily kohottavat sisätilojen lämpötilaa sitä enemmän mitä lämpöä eristävämpiä vaipparakenteet ovat. Erityisesti näin tapahtuu suuren lämpökuorman omaavissa toimistorakennuksissa, kerrostaloissa sekä kevytrakenteisissa rakennuksissa, joissa rakenteiden kyky tasata lämpötilan vuorokausivaihteluita on pieni. Selvitysten mukaan ylimmät sisälämpötilat saattavat näissä tapauksissa kohota nykyisestä useilla asteilla, jopa yli 5 °C. Tästä syystä rakennusten jäähdytystarve kasvaa huomattavasti, mikä entistä useammin aikaansaa päätöksen ottaa käyttöön rakennuksen koneellinen jäähdytys tai viilennys. Tällöin rakennuksen energiankulutus voi lisääntyä merkittävästi. Ennustettu ilmastonmuutos tulee lisäksi kasvattamaan rakennuksen jäähdytystarvetta tulevaisuudessa voimakkaasti (Vinha et al. 2012). Rakennusten jäähdytystarvetta voidaan pienentää passiivisilla jäähdytysratkaisuilla, kuten erilaisilla lipoilla, markiiseilla ja kaihtimilla, auringonsuojaikkunoilla, massiivilla rakenteilla tai faasimuutosmateriaaleja sisältävillä rakenteilla sekä yötuuletuksella (kuva 1.5).



Kuva 1.5 Passiivisilla jäähdytysratkaisuilla voidaan vähentää rakennuksen jäähdytystarvetta. Kuvan rakennuksessa auringon lämmittävää vaikutusta on pyritty vähentämään ikkunoiden ulkopuolisella varjostuksella.

Ilmatiiviys

Ilmanvaihdon osuus rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta on lähteestä riippuen 30-35 % (Linne 2010 ja Mäkinen 2009). Osa ilmanvaihdosta on ns. hallitsematonta, jolloin ilma kulkeutuu rakennuksen epätiiviyskohdista rakenteiden läpi. Tätä kuvataan ilmanvuotoluvulla n_{50} [1/h] tai q_{50} [$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$]. Tavanomaisessa pientalossa q_{50} -luku on keskimäärin $3,7 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ (Vinha et al 2009). Rakennusten energiankulutuskannassa käytetäänkin ilmanvuotoluvun perusarvona lukua $4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$.

Rakennuksen vaipan ilmatiiviys vaikuttaa suoraan rakennuksen energiatehokkuuteen. Ilmatiiviissä rakennuksessa lämpö ei kulje ilmavirtausten mukana ulos eikä kylmää ilmaa tule sisälle. Asuinkerrostalossa ilmanvuotoluvun n_{50} laskeminen arvosta $4,0 \text{ 1/h}$ arvoon $1,0 \text{ 1/h}$ vähentää energiankulutusta jopa 10 % (Boström 2012). Ilmavuodot voivat aiheuttaa kosteuden kertymistä rakenteeseen sekä sisäilmahaittoja.

Energiatehokkaassa rakentamisessa tulisi pyrkiä siihen, että ilmanvuotoluku q_{50} olisi alle $1 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$. Passiivitalojen luokituksessa on määritetty, että ilmanvuotoluku n_{50} tulisi olla pienempi kuin $0,6 \text{ 1/h}$ (q_{50} -luvulle ei ole annettu määrittelyä). Vaipan hyvä ilmatiiviys on saavutettavissa huolellisella rakenteiden ja liitosten valinnalla ja suunnittelulla sekä huolellisella liitosten ja läpivientien toteutuksella. Määräystasoa parempi ilmatiiviys tulee aina osoittaa kohteessa tehtävin mittauksin. Käytännössä tämä tarkoittaa mittausten suorittamista useammassa vaiheessa rakennustöiden edetessä, jotta mahdolliset epätiiviyskohdat löydetään ja voidaan tiivistää ajoissa ennen lopullisten pintojen valmistumista (kuva 1.6).



Kuva 1.6 Usean puhaltimen painekoe-laitteistolla saadaan mitattua suurempienkin rakennusten ilmatiiviys.

Erilaisia rakenteiden ja liitosten tiivistyksiä tarvitaan todennäköisesti jonkin verran nykyistä enemmän, joten asioiden opetteluun menee kaikilla rakentamisen osapuolilla jonkin verran aikaa. Tärkeintä on ensin oppia tunnistamaan rakenteiden kriittiset kohdat ilmatiiviyyden kannalta.

1.4 Muovipohjaiset lämmöneristeet

Rakenteiden paksunemisen rajoittamiseksi teollisuus ja suunnittelijat ovat ottaneet käyttöön nykyistä alhaisemman lämmönjohtavuuden tuotteita useammin ja uusissa käyttökohteissa. Nämä tuotteet ovat suurelta osin solumuovipohjaisia, joten niiden ominaisuudet poikkeavat monilta osin merkittävästi totutuista mineraalivillaeristeistä:

- Muovipohjaiset eristeet ovat merkittävästi ilma- ja vesihöyrytiivimpiä kuin mineraalivillat, mikä on otettava huomioon mm. rakennekerrosten vesihöyrynvastuksien suhteissa, rakenteiden pääsääntöisesti lisääntyvässä tuuletustarpeessa ja muussa kosteusteknisessä toiminnassa sekä rakenteiden pidempinä kuivumisaikoina. Jokainen rakenne pitää kuitenkin tarkastella tapauskohtaisesti edellä mainittujen toimintakriteerien suhteen.
- Solumuovipohjaisilla lämmöneristeillä esiintyy jälkikutistumaa, eristeiden lämpöliikkeet aiheuttavat pakkovoimia ja rungon liikkeet pakkovoimia eristeisiin. Näistä kaikista voi aiheutua rakoja eristeisiin sekä eristeiden ja rungon välisiin liitoksiin.
- Muovipohjaisten eristeiden ilmaäänien absorptiokyky on pieni. Jäykkänä levymäisinä tuotteina ne jopa voivat vahvistaa ääniä, mikäli ne pääsevät värähtelemään ominaistajuudella.
- Muovipohjaisten tuotteiden palokäyttäytyminen ja -kuormat on otettava huomioon.

Edellä mainituista seikoista huolimatta muovipohjaisilla lämmöneristeillä on myös selkeitä etuja:

- niillä on mahdollista saavuttaa hyvin ilma- ja vesihöyrytiivitä rakenteita ja liitoksia
- ne sietävät yleensä hyvin kosteutta ja alkalisuutta
- käytettävissä on myös hyvin kuormitusta kestäviä eristeitä.

Muovipohjaisten tuotteiden käyttöönotto uusissa käyttökohteissa edellyttää erityistä ammattitaitoa, jotta rakenteista tulee kaikissa suhteissa toimivia, sillä lämmöneristeiden asennustekniikat poikkeavat merkittävästi kokoonpuristuville villaeristeille soveltuvista tekniikoista. Muovipohjaisten lämmöneristeiden suunnittelussa ja asennuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota seuraavissa kohdissa käsiteltyihin asioihin.

Eristelevyjen leikkaaminen ja pintojen puhdistus

Tyypillisesti muovipohjaiset eristelevyt voidaan katkaista tekemällä pintaan viilto, minkä jälkeen levy taitetaan kahtia. Kun eristelevystä pitää leikata pala pois esim. aukon pielestä, ainakin yksi leikattava sivu tehdään usein sahaamalla. Sahauksesta jää eristelevyn pintaan irtonaista eristepölyä, mikä tulee poistaa ennen eristeen asentamista paikoilleen. Tehokkain menetelmä leikattujen pintojen puhdistuksessa on paineilma ja imurointi (kuva 1.7).



Kuva 1.7 Leikattu lämmöneriste ikkuna-aukon vieressä. Polyuretaanieristeen työstö on tehty käsisahalla ja leikkauspinnat pudistettu paineilmapuhalluksella ennen eristelevyn asentamista paikoilleen (kuvat: Satu Lahdensivu).

Eristeiden paikoilleen asennus

Muovipohjaiset eristelevyt asennetaan ja tuetaan paikoilleen esim. rimojen avulla tai kiilaamalla (kuva 1.8). Eristeiden reunoille rakennetta vasten jätetään 10-20 mm levyinen vaahdotusväli. Vaahdotuksen onnistumisen kannalta raon tulee olla riittävän leveä, jotta vaahdotuspistooli mahtuu vaahdotusrakoon ja on mahdollista seurata vaahdon leviämistä. Tällöin 10 mm voidaan pitää vaahdotusraon vähimmäisleveytenä. Vaahtosaumalla tulee olla lisäksi riittävä muodonmuutoskyky, mikä osaltaan edellyttää 10 mm vähimmäisleveyttä. Toisaalta vaahdotusrako ei saa olla liian leveä, jotta vaahdon rakenne ei muodostu liian harvaksi. Enimmäisleveytenä voidaan pitää 25 mm levyistä rakoa. Ylileveissä raoissa saumausvaahdon rakenne on liian harvaa ja vaahtosaumaan jää siten helposti huonommin lämpöä eristäviä kohtia tai jopa rakoja.



Kuva 1.8 Lämmöneristelevyjen kiilaus paikoilleen eristemateriaalista tehtyjen kiilojen avulla (vasemmalla) ja kertopuukannattavien kylkiin asennetuilla puurimoilla (oikealla). Saumojen täyttö elastisella polyuretaanivaahdolla kerroksittain (kuvat Jukka Lahdensivu).

Eristeiden ja rakenteen välisen raon vaahdotus

Saumojen vaahdotukseen tulee ensisijaisesti käyttää vaahdotuspistoolia, jolla vaahdon määrää voidaan säädellä. Ns. kertakäyttöpulloilla tehtävässä vaahdotuksessa pu-vaahtoa tulee tyypillisesti hallitsemattomasti ja liikaa.

Saumat vaahdotetaan pääsääntöisesti täyteen. Vaahdotus tulee kuitenkin suorittaa kerroksittain siten, että kerralla tehtävä täyttöpaksuus on noin 70-100 mm vaahdotettavien eristelevyjen paksuudesta riippuen. Jokaisessa liitoksessa vaahtosauman tulisi koostua vähintään kahdesta vaahdotuskerroksesta, joten ohuissa levyissä vaahtokerroksen täyttöpaksuus on huomattavasti esitettyä lukuarvoa pienempi. Toinen vaahdotus tehdään ensimmäisen kovettuttua. Kerroksittain tehtävä vaahdotus varmistaa parhaiten rakenteen tiiveyden sekä pu-vaahdon oikean rakenteen. Jokaisen vaahtosauman tulisi koostua vähintään kahdesta vaahdotuskerroksesta. Pu-vaahdon käytössä on otettava huomioon valmistajan käyttölämpötilavaatimukset. Pakkaskeleille on kehitetty omia tuotteita.

Saumausvaahdon ja lämmöneristeen tartunnan varmistamiseksi eristeen pinta kostutetaan tarvittaessa vesisumuttimella. Pinnan tulee olla kostea, ei vesimärkä. Tämä siksi, että polyuretaanivaahdo tarvitsee kosteutta reagoidakseen oikealla tavalla.

Vaahdotuksen jälkeen eristelevyjä ei saa liikuttaa, jotta saumavaahdon kovettumisreaktio ei häiriinny. Epäonnistuneet saumat on avattava ja vaahdotettava uudelleen.

Vaahtosauman ilmatiiviiden varmistaminen

Vaahdotetun sauman pintaan muodostuva ns. nahka toimii vaahtosaumassa ilmatiiviinä kerroksena. Mikäli saumasta ylipursunut vaahdo leikataan/ joudutaan leikkaamaan pois, sauman ilmatiiviyys heikkenee oleellisesti. Sauman ilmatiivyyttä sekä pu-vaahdon uv-säteilynkestävyyttä voidaan parantaa leikatun saumapinnan yliteippauksella (kuva 1.9). Teipin ilmatiiviiden ja säänkestävyyden tulee olla hyvä ja sen tulee tarttua hyvin lämmöneristeiden pintaan, esim. alumiiniteippi.



Kuva 1.9 Saumasta ylipursuneen sauma-vaahdon leikatut pinnat on tiivistetty ilmatiiviiden varmistamiseksi alumiiniteipillä.

Kerroksittain tehdyssä vaahdotuksessa saumaan muodostuu useampia ilmaa pitäviä kerroksia, joten pinnan leikkaamisella ei tällöin ole niin suurta vaikutusta sauman ilmatiiviyteen.

Pu-vaahtopullo tulee ravistella huolellisesti ennen käyttöä. Vaahtoa ei tule käyttää aivan viimeiseen pisaraan saakka, vaan uusi pullo tulee vaihtaa jo siinä vaiheessa kun vaahton tulo pullosta alkaa pätkiä. Viimeiset pisarat eivät muodosta yhtenäistä vaahtoa.

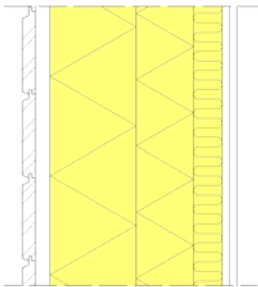
Elastisen pu-vaahdon käyttö

Sellaisiin runkorakenteisiin, joilla on merkittävät lämpö- ja/tai kosteusliikkeet, kiinnitettävien lämmöneristysten vaahdotuksessa tulee ehdottomasti käyttää elastista pu-vaahtoa, jotta vaahtosaumat pysyvät ehjinä ja tiiviinä runkorakenteiden liikkeistä huolimatta. Elastista saumavaahtoa tulee käyttää puurakenteiden yhteydessä sekä sellaisissa liitoksissa, joissa voi tapahtua liikkeitä rakenteen kuormituksesta johtuen, esim. taipumat yläpohjassa.

Ilmääneneristys

Muovieristeiden käyttö rankarunkoisten rakennusten ulkoseinissä sekä kevyissä ylä- ja alapohjissa edellyttää toimia rakennuksen ilmääneneristyksen suhteen. Kevyet lämmöneristeet eivät juurikaan eristä ääntä, vaan rakenteeseen tarvitaan toisaalta massaa matalien äänien vaimentamiseksi ja toisaalta pehmeää materiaalia korkeiden äänien absorboimiseen. Alueilla, joilla on asetettu vaatimuksia rakenteiden ääneneristävyydelle, tulee tehdä rakennusakustiset tarkastelut tapauskohtaisesti.

Yksinkertaisimmillaan rankarakenteisen ulkoseinän ilmääneneristävyyttä voidaan parantaa asentamalla seinän sisäpintaan enintään 50 mm mineraalivillaa sekä sisäpintaan kaksinkertainen kipsilevytyks (kuva 1.10). Muovieristeet toimivat tyypillisesti rakenteen ilman- ja höyrynsulkuna, joten sisäpuolelle asennettavan ääneneristysmateriaalin vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan on tarkastettava tapauskohtaisesti laskelmin. Mineraalivillakerros ei saa olla liian paksu, jotta höyrytiivisiin rakenteen sisäpintaan ei kondensoidu kosteutta tai muodostu homeenkasvulle otollisia olosuhteita. Lisäksi tällaista rakennetta käytettäessä on otettava huomioon erilaisten liitoskohtien aiheuttamat olosuhdemuutokset mineraalivillan ja tiiviin eristeen välisessä rajapinnassa.



Kuva 1.10 Polyuretaanieristetyin puurankarunkoisen ulkoseinän ilmääneneristävyyttä voidaan parantaa oleellisesti mineraalivillalla rakenteen sisäpinnassa sekä kaksinkertaisella kipsilevytyksellä. Mineraalivilla asennetaan seinärakenteeseen kauttaaltaan. Mineraalivillalla on vaikutusta myös rakenteen U-arvoon ja rakennusfysikaaliseen toimivuuteen.

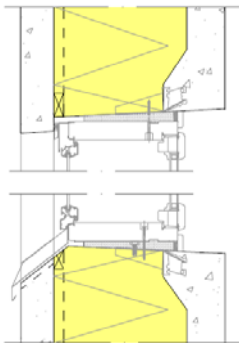
Erityyppisten lämmöneristeiden yhdistelmät

Erilaisissa rakenteissa voidaan eri syistä käyttää mineraalivilla- ja muovieristeiden yhdistelmiä. Yleisin syy on muovieristeiden palosuojaus mineraalivillalla yläpohjissa sekä tuuletusraollisissa julkisivuissa. Toinen syy on toiminnallinen, kuten esim. paksurappaus-eristejärjestelmissä, missä rappauskerroksen alla tulee olla vähintään 50 mm mineraalivillakerros, jotta rappauskerroksen vaatimat mekaaniset kiinnikkeet saadaan asennettua.

Kaikissa näissä monikerroksisissa lämmöneristejärjestelmissä on oleellista, että ne toimivat kosteusteknisesti oikein, eli kosteutta ei pääse tiivistymään väriin pintoihin ja eristekerrokset ovat tiiviisti toisissaan kiinni, jotta eristekerrokseen ei pääse muodostumaan konvektiota.

1.5 Ikkunoiden sijainti

Ikkunat ja ovet ovat huomattavasti huonommin lämmöneristettyjä rakennusosia kuin seinät ja yläpohjat. Lähtökohtaisesti ikkunat ja ovet tulee asentaa rakenteen syvyysuunnassa lämmöneristeen kohdalle. Lämmöneristeiden paksuuntuessa ikkunoiden ja ovien sijoittaminen nykyisiin paikkoihinsa aiheuttaa aukon pieleen kylmän kohdan esim. betonisandwich-seinässä (kuva 1.11).



Kuva 1.11 Lämmöneristykseen kannalta optimaaliseen paikkaan asennettuihin ikkunoihin pitää nykyisillä karmipaksuuksilla tehdä leveät smyygit.

Paksujen lämmöneristekerrosten johdosta ikkuna joudutaan asentamaan myös ei-kantaviin betonielementteihin samalla tavoin kuin kantaviin elementteihin nykyisin, joten sisävalmistusvaiheessa joudutaan tekemään huomattavan paljon työläitä ns. smyygejä. Tilanne on vastaava myös rankarunkoisessa rakennuksessa, sillä ikkunoiden ja ovien karmipaksuudet ovat huomattavasti pienempiä kuin passiivitalon seinäeristeen paksuus.

Ikkunoiden ja ovien kiinnittämiseen sekä karmipaksuuksiin tarvitaan selvästi kehitystyötä, jotta päästään kokonaisuuden kannalta optimaaliseen ratkaisuun. Eräs ratkaisu voisi olla järjestelmä, jossa ulommainen ikkuna olisi julkisivun ulkopinnan läheisyydessä ja toinen ikkuna asennettaisiin lähelle sisäpintaa. Tällöin myös ikkunan aiheuttama seinän lämmöneristykseen heikennys pieneneisi oleellisesti.

1.6 Palomääräykset

Palomääräykset vaikuttavat mm. lämmöneristeen, tuulensuojan, levytyksen ja rankarakenteen valintaan sekä mahdollisten palokatkojen tarpeellisuuteen. Vaatimukset riippuvat rakennuksen paloluokasta sekä sen käyttötarkoituksesta ja kerrosten lukumäärästä. Palomääräykset voivat siten vaikuttaa lämmöneristeiden ja muiden rakennusmateriaalien valintaan. Kaikissa tapauksissa palomääräysten soveltamisesta käytäntöön mm. soveltuvien suojaustapoja osalta päättää aina paikallinen paloviranomainen.

P1-luokan rakennuksissa on käytettävä yleensä B-s1, d0 -luokan rakennustarvikkeita. Mikäli käytetään tätä luokitusta huonompia rakennustarvikkeita ja/tai järjestelmiä, on palon leviäminen eristykseen, palo-osastosta toiseen ja rakennuksesta toiseen estettävä. Julkisivulevyjen kiinnittämiseen saa tällöin kuitenkin käyttää vähäisessä määrin D-s2, d2 -luokan rakennustarvikkeita. Enintään kahdeksankerroksisissa P1-luokan asuin- ja työpaikkarakennuksissa on käytettävä yleensä B-s2, d0 -luokan rakennustarvikkeita, mutta tuuletusraon sisäpinnan materiaalin tulee täyttää luokan B-s1, d0 vaatimukset.

P2-luokkaan kuuluvissa hoitolaitosrakennuksissa on käytettävä yleensä B-s1, d0 -luokan rakennustarvikkeita ulkoseinän ulkopinnan ollessa B-s2, d0. 3-8 kerroksisissa P2-luokan asuin- ja työpaikkarakennuksissa on käytettävä B-s2, d0 -luokan rakennustarvikkeita, mutta tuuletusraon sisäpinnan tulee täyttää luokan A2-s1, d0 vaatimukset.

Enintään 4-kerroksisissa ja automaattisella sammutuslaitteistolla varustetuissa enintään 8-kerroksisissa asuin- ja työpaikkarakennuksissa voidaan seinän ulkopinnassa ja tuuletusraossa käyttää D-s2, d2 -luokan rakennustarvikkeita, mikäli seinä on suunniteltu siten, että ulkoisen syttymisen aiheuttaman palon leviäminen seinässä on estetty riittävän tehokkaasti.

Muissa P2-luokan rakennuksissa voidaan käyttää D-s2, d2 -luokan rakennustarvikkeita. Tuulensuojapinnalle ei ole asetettu vaatimuksia.

P3-luokan rakennuksissa on käytettävä yleensä D-s2, d2 -luokan rakennustarvikkeita. Tuuletusraon sisäpinnalle ei näissä rakennuksissa ole asetettu vaatimuksia.

2 Ohjeita rakennekuvien lukemiseen

Rakennekuvissa on pyritty esittämään rakenteita, joita tullaan mahdollisesti käyttämään matalaenergia- ja passiivirakentamisessa. Näitä rakenteita on verrattu vuoden 2007 RakMK C3:n U-arvojen vertailuarvojen mukaisiin rakenteisiin. Matalaenergia- ja passiivitason rakenteet päätettiin kuvata rakenteina, joiden lämmöneristystaso on keskimäärin n. 30 % parempi kuin vuoden 2012 RakMK D3:n U-arvojen vertailuarvojen mukaisissa rakenteissa. On kuitenkin huomattava, että matalaenergia- tai passiivitalo voidaan toteuttaa ilman, että vaipparakenteiden lämmöneristystasoa parannetaan vuoden 2012 RakMK D3:n tasosta. Vaipparakenteiden lämmöneristys on vain yksi tekijä, joka vaikuttaa rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen.

FRAME-tutkimuksessa (Vinha et al. 2012) on myös todettu, että vaipparakenteiden lämmöneristysten lisääminen vuoden 2012 RakMK D3:n vertailutasosta ei ole enää taloudellisesti kannattavaa kerrostaloissa ja toimistorakennuksissa. Pientaloissa kannattavuus riippuu siitä, kuinka pitkä takaisinmaksuaika lisäeristämiseksi hyväksytään. Tämä johtuu lisäeristämällä saavutettavan energiansäästön vähenemisestä ja rakennusten jäähdystarpeen kasvusta. Jo vuoden 2007 RakMK C3:n lämmöneristysmääräykset olisivat olleet kerrostaloissa ja toimistorakennuksissa varsin riittäviä.

Vaikka vaipparakenteita ei toteutettaisikaan tässä julkaisussa esitetyillä lämmöneristystasoilla, suurin osa julkaisussa esitetyistä asioista on tärkeitä ottaa huomioon myös pienemmillä lämmöneristyspaksuuksilla tehdyissä rakenteissa. Ohjeistus ja selitykset on pyritty laatimaan siten, että esitetyjä toteutusperiaatteita voidaan tarvittaessa soveltaa myös muihin rakenteisiin.

Matalaenergia- ja passiivitalojen oletetuista rakenteista käytetään nimitystä ”uusi rakenne” ja vertailurakenteista nimitystä ”vanha rakenne”. Vanha rakenne on piirretty uuden rakenteen taakse sinisellä pisteiviivalla.

2.1 U-arvotasot ja laskentaperiaatteet

2.1.1 Rakennekuvien U-arvotasot

Julkaisun rakennekuviin piirretyt vanhat rakenteet noudattavat vuoden 2007 RakMK C3:n mukaisia U-arvoja.

-	ulkoseinä	0,24 W/(m ² K)
-	yläpohja, ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,15 W/(m ² K)
-	ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkojen määrä enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta)	0,19 W/(m ² K)
-	maata vastaan oleva rakennusosa	0,24 W/(m ² K)

Vanhat rakenteet voivat poiketa edellä mainituista, jos rakenne on sellaisenaan yleisesti käytetty. Käytetyt U-arvotasot on merkitty kuhunkin rakennekuvaan erikseen.

Julkaisun rakennekuvilla esitetyille uusille rakenteille on määritetty seuraavat U-arvot.

-	ulkoseinä	0,12 W/(m ² K)
-	yläpohja, ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,08 W/(m ² K)
-	ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkojen määrä enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta)	0,14 W/(m ² K)
-	maata vastaan oleva rakennusosa	0,12 W/(m ² K)

2.1.2 U-arvojen laskentaperiaatteet

U-arvot on laskettu SFS-EN ISO 6946 (2007) mukaisella ylä- ja alalikiarvomenetelmällä. Rakenteiden mitat on sovitettu niin, että U-arvomääräykset tulevat mahdollisimman tarkasti täytetyksi. Tämä johtaa siihen, että rakennusmateriaalien dimensiot eivät välttämättä ole tämänhetkisiä teollisuuden valmistusmittoja.

U-arvolaskennassa ei ole otettu huomioon luonnollisen konvektion vaikutusta lämmöneristeen eristyskykyyn. Joissain esitetyissä rakenteissa eristekerroksen paksuus kasvaa niin suureksi, että tietyt lämmöneristetyyppejä käytettäessä luonnollisen konvektion vaikutus on otettava standardien mukaan huomioon. Käytännössä luonnollisen konvektion vaikutus otetaan huomioon käyttämällä eristetyyppejä, jolla on riittävän pieni ilmanläpäisevyys tai vähentämällä luonnollisen konvektion vaikutusta rakenteellisin toimenpitein.

Alapohjissa maan lämmönvastus on otettu huomioon kertomalla rakenteen U-arvo kertoimella 0,9.

Lämmönläpäisykertoimien laskennassa on otettu huomioon seuraavia tekijöitä koskevat korjaustermit:

- lämmöneristyksessä olevat ilmaroot
- lämmöneristekerroksen läpäisevät mekaaniset kiinnikkeet
- käännetyille katolle satanut vesi

Tiiliseiteille ja muille mekaanisille kiinnikkeille on käytetty alla olevia arvoja. Tiiliseiteiden määrä on kuitenkin tutkittava aina tapauskohtaisesti.

Tiiliulkokuoren sekä tiili- ja kevytbetonirunkorakenteiden kiinnikkeille on käytetty seuraavia arvoja:

- Kiinnikkeiden halkaisija, $d_{\text{kiinnike}} = 4 \text{ mm}$
- Kiinnikkeiden määrä 4 kpl/m^2
- Kiinnikkeen lämmönjohtavuus, $\lambda_f = 17 \text{ W/(mK)}$

Paksurappaus-eristejärjestelmässä kiinnikkeille on käytetty seuraavia arvoja:

- Kiinnikkeiden halkaisija, $d_{\text{kiinnike}} = 5 \text{ mm}$
- Kiinnikkeiden määrä 4 kpl/m^2
- Kiinnikkeen lämmönjohtavuus, $\lambda_f = 17 \text{ W/(mK)}$

Betonisandwich-elementeissä on käytetty seuraavia arvoja:

- Pistokkaan halkaisija $d_{\text{kiinnike}} = 5 \text{ mm}$
- Pistokkaiden määrä 4 kpl/m^2
- Pistokkaiden lämmönjohtavuus, $\lambda_f = 17 \text{ W/(mK)}$

2.1.3 Rakenteissa käytettyjen materiaalien lämmönjohtavuudet

Lämmöneristeille on käytetty seuraavia lämmönjohtavuuksia:

- Pehmeä ja kova lämmöneriste $\lambda = 0,036 \text{ W/(mK)}$ (pääsääntöisesti)
- Puhallusvilla $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$
- Tehokas eriste $\lambda = 0,024 \text{ W/(mK)}$ (kohdat, joissa selvästi esitetään käytettäväksi tehokasta eristettä)

Muille rakennusmateriaaleille on käytetty seuraavia lämmönjohtavuuksia:

- Puu $\lambda = 0,12 \text{ W/(mK)}$ (450 kg/m³)
- Kertopuu $\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$
- Höyrinsulku $\lambda = 0,33 \text{ W/(mK)}$ (= Polyeteeni LD)
- Kipsilevy $\lambda = 0,25 \text{ W/(mK)}$ (900 kg/m³)
- Bitumikermi $\lambda = 0,23 \text{ W/(mK)}$
- Karkaistu kevytbetonielementti $\lambda = 0,12 \text{ W/(mK)}$ (450 kg/m³)
- Karkaistu kevytbetoniharkko $\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$ (450 kg/m³)
- Karkaistu kevytbetoniharkko $\lambda = 0,12 \text{ W/(mK)}$ (400 kg/m³)
 - Yksiaineiset massiiviharkot
- Betoni $\lambda = 2,3 \text{ W/(mK)}$ (1 % terästä)
- Tiili $\lambda = 0,6 \text{ W/(mK)}$
- Kevytsora $\lambda = 0,10 \text{ W/(mK)}$
- Kevytsorabetoni $\lambda = 0,24 \text{ W/(mK)}$ (800 kg/m³)
- Rappaus $\lambda = 1 \text{ W/(mK)}$ (kalkkisementtilaasti)
- Lastulevy $\lambda = 0,14 \text{ W/(mK)}$ (600 kg/m³)

Kyseiset lämmönjohtavuudet on otettu RakMK C4:n (2012) luonnoksesta.

Ontelolaattojen lämmönvastuksena on käytetty arvoa $0,3 \text{ (m}^2\text{K)/W}$.

3 Ulkoseinät

3.1 Rankarakenteiset ulkoseinät

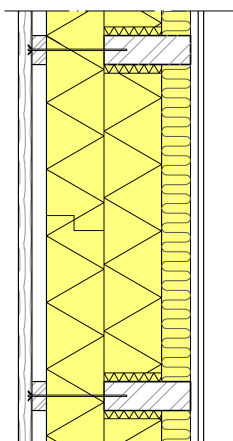
Rankarakenteisia seiniä tehdään sekä metalli- että puurankaisina. Metallirankoja on yksinkertaista valmistaa seinärakenteen seinän lämmöneristeiden vaatimalle paksuudelle. Sen sijaan puurakenteisissa ulkoseinissä nykytuotoinen pystyrungon toteutustapa ei ole enää teknisesti eikä taloudellisesti mahdollista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

Runkotolpat ja lämmöneristeet

Rankarunkoisissa ulkoseinissä lämmöneristeet on pääosin asennettu rankojen väliin, mikä on varsin usein johtanut runkotolppien ylimitoitukseen kantavuuden suhteen jo tavanomaisessa rakentamisessa. Rakennuksen jäykistys ja runkotolppien nurjahdustuenta on tosin ollut helposti järjestettävissä esim. levyjäykistyksellä.

Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteissa runkotolppien kantavuusmitoituksessa tulee rakennuksen jäykistykseen ja runkotolppien nurjahdustuentaan kiinnittää erityistä huomiota, mikäli rankarakenne ei jatku yhtenäisenä seinärakenteen läpi.

Rakenteen kantavuuden suhteen puurunkoisissa ulkoseinissä riittää suurelta osin 50×100 – 125 mm^2 sahatavaratolpat. Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteissa levymäisiä jäykkiä lämmöneristeitä käyttäen osa lämmöneristyksestä voidaan tällöin helposti sijoittaa runkotolppien ulkopuolelle. Tällöin rankojen nurjahdustuenta ja rakennuksen jäykistys on mitoitettava pelkästään sisäpuolisilla rakenteilla. Yleisimmin jäykät levymäiset lämmöneristeet ovat solumuovipohjaisia, jotka voidaan asentaa runkotolppien väliin puuvaahdolla. Tällöin lämmöneristys estää rankojen nurjahtamisen ja se voidaan joissakin tapauksissa ottaa huomioon seinän jäykistyksessä. Runkotolpan ollessa selvästi rakenteen lämpimällä puolella rakenteeseen ei pääse syntymään liian korkeita kosteuspitoisuuksia (kuva 3.1). Rakennetta tehtäessä on kuitenkin varmistettava että runkopuut ovat riittävän kuivia ennen kuin solumuovieristeet vaahdotetaan kiinni niiden ympärille.



Kuva 3.1 Esimerkki puurankarunkoisesta seinärakenteesta, jossa huomattavan suuri osa lämmöneristyksestä on runkotolppien ulkopuolella.

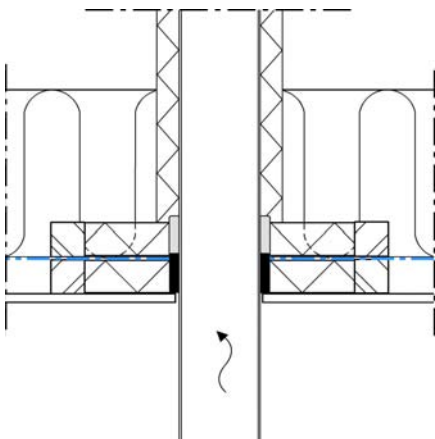
Ilmatiiviys ja höyrinsulku

Rankarunkoisissa seinissä rakenteen ilmatiiviys saadaan aikaan joko kalvomaisilla tai levymäisillä rakennustarvikkeilla. Käytännössä sama rakennekerros toimii myös seinärakenteen höyrinsulkuna. Paksuudeltaan 0,2 mm höyrinsulkumuovi on ollut käytetyin ilman- ja höyrinsulku kaikissa rankarunkoisissa ulkoseinissä. Kalvomainen höyrinsulku tulee asentaa siten, että sähköasennuksista ei aiheudu höyrinsulkuun reikiä. On suositeltavaa asentaa höyrinsulku 50 mm etäisyydelle sisäpinnan levyn taakse. Höyrinsulkukalvon jatkokset sekä liitokset muiden rakennusosien sekä aukkojen ilmanpitäviin kerroksiin tulee toteuttaa vähintään 150 mm limityksin ja puristavalla liitoksella.

Rakennusaikainen kosteuden tiivistymisriski höyrinsulun sisäpintaan tulee ottaa huomioon esimerkiksi siten, että höyrinsulun sisäpuolinen lämmöneriste asennetaan rakenteeseen vasta sitten, kun suurin osa rakennuskosteudesta on kuivunut. Kriittisimpiä kohtia kosteuden tiivistymiselle ovat rankojen kohdat. Tätä voidaan ehkäistä lisäämällä rungon ulkopuolelle lämmöneristettä esimerkiksi ristikoolauksen tai lämpöä eristävän tuulensuojan avulla sekä asettamalla höyrinsulun sisäpuolinen koolaus pystyyn rungon kohdalle. Lämmöneristykseen pois jättäminen höyrinsulun sisäpuolelta on aina kosteusteknisesti paras ja turvallisin ratkaisu.

Rankarunkoisen rakenteen ilmansulkuna voidaan käyttää myös rungon sisäpuolelle asennettavilla solumuovieristelevyillä. Eristelevyn tyyppi / paksuus tulee valita siten, että sillä saavutetaan myös riittävä vesihöyryvastus. Solumuovieristeet vaahdotetaan rankojen väliin kohdassa 1.4 esitetyllä tavalla rakenteiden liikkeitä huomioonottavalla saumausvälillä ja joustavalla saumausvaahdolla.

Ulkoseinärakenteen läpivientien tiivistämiseen on kiinnittävä erityistä huomiota. Kalvomaiseen höyryn-/ilmansulkuun tehtäviä reikiä tulee välttää. Läpiviennit on suositeltavaa toteuttaa aina solumuovieristeestä tehtävän kauluksen avulla, jolloin läpivientien tiivistäminen onnistuu polyuretaanivaahdolla (kuva 3.2). Yhden putken muodostamissa läpivienneissä voidaan vaihtoehtoisesti käyttää myös joustavia muovisia tai kumisia läpivientikauluksia. Solumuovieristettyihin ulkoseiniin ei erityistä läpivientikaulusta tarvita.



Kuva 3.2 Läpivientien tiivistämistä varten kalvomaisella höyrinsululla toteutettuun rakenteeseen tehdään erityinen solumuovieristyskaulus (Aho & Korpi toim. 2009).

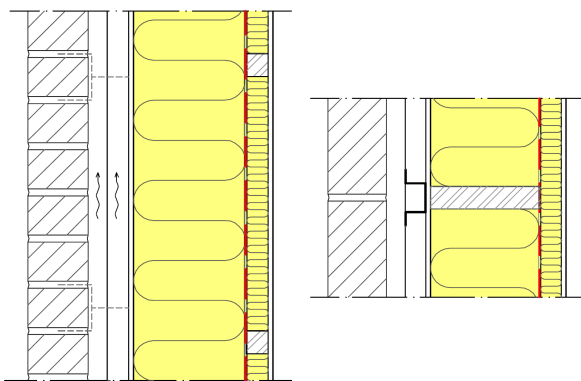
Ulkopuolinen sadevesitiiviys

Rankarunkoisten seinien ulkopinta voi muodostua erilaisista verhouslevyistä, kaseteista, pellityksestä, kuorimuurista, rapatuista levyistä sekä hyvin monenlaisista puutuotteista. Kaikelle ulkoverhoukselle oleellinen teknisen suunnittelun lähtökohta on sadevesitiiviys. Ulkoverhouksen tehtävänä on suojata varsinaista seinärakennetta sään aiheuttamilta rasituksilta. Suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota detaljien ja liitosten sadevesitiivyyteen ja kosteustekniseen toimivuuteen. Toisaalta ulkoverhouksen läpi päässeän kosteuden on voitava kuivua, joten ulkoverhouksen taakse tulee järjestää toimiva tuuletus.

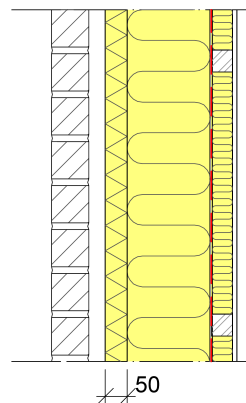
Monet ulkoverhouslevyt ja kasetit asennetaan avosaumoin julkisivuun. Tällaisten avosaumoin asennettavien julkisivujärjestelmien taakse tulee suunnitella ja asentaa sadevesitiivis julkisivu siten, että myös tämän vesitiiviin julkisivun taakse järjestetään riittävä tuuletus. Tämä on otettava huomioon myös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

Myös tiiliverhouksen läpi voi viistosateen vaikutuksesta siirtyä kosteutta rakenteen sisään huomattavia määriä. Korkeissa puurunkoisissa rakennuksissa (yli 10 m korkeat seinät), puurunko tulee tästä syystä suojata esimerkiksi tiiliverhouksen ja tuulensuojan väliin asennettavalla teräsohutlevyistä tehdyllä suojakerroksella, jonka kummallekin puolelle jätetään tuuletusväli (Vinha et al. 2012) (kuva 3.3). Suojakerros toimii samalla rakenteen rakennusaikaisena sääsuojana. Rakennetyypistä on esitetty ikkunadetalji luvussa 7.

Matalan tiiliverhotun puurunkorakenteen toimintaa voidaan parantaa varmistamalla tuuletusvälin toimivuus sekä käyttämällä vähemmän homehtumisherkkää ja paremmin lämpöä eristävää tuulensuojaa. Kuvassa 3.4 on esitetty esimerkki hyvin lämmöneristetyistä matalasta tiiliverhoillusta puuseinästä, joka toimii kosteusteknisesti myös tulevaisuuden ilmastossa. (Vinha et al. 2012)



Kuva 3.3 Esimerkki korkean (yli 10 m) tiiliverhoillun puurankaseinän tuuletuksesta. Tiiliverhoilun taustalla on kummaltakin puolelta tuuletettu teräsohutlevy, joka estää sadeveden kulkeutumisen puurunkoon. Rakenne voidaan toteuttaa myös muulla vastaavalla tavalla.



Kuva 3.4 Esimerkki matalasta (alle 10 m) tiiliverhoillusta puurankaseinästä. Rakenteen kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa käyttämällä rakenteen ulkopinnassa 50-70 mm paksua tuulensuojaeristettä.

Ilmaääneneristys

Käytettäessä solumuovieristeitä rankarunkoisten rakennusten ulkoseinissä tulee suunnittelussa ottaa huomioon niiden vaikutus rakennuksen ilmaääneneristykseen. Kevyiden lämmöneristeiden ilmaääneneristyskyky on varsin vaatimaton, joten rakenteeseen tarvitaan toisaalta massaa matalien äänien vaimentamiseksi ja toisaalta pehmeää materiaalia korkeiden äänien absorboimiseen. Alueilla, joilla on asetettu vaatimuksia rakenteiden ilmaääneneristävyydelle tulee tehdä rakennusakustiset tarkastelut tapauskohtaisesti.

Yksinkertaisimmillaan rankarakenteisen ulkoseinän ilmaääneneristävyyttä voidaan parantaa asentamalla seinän sisäpintaan 50 mm mineraalivillaa sekä sisäpintaan kaksinkertainen kipsilevytytys. Solumuovieristeet toimivat tyypillisesti rakenteen ilman- ja höyrynsulkuna, joten sisäpuolelle asennettavan ääneneristysmateriaalin vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan on tarkastettava tapauskohtaisesti laskelmin (ks. luku 1.4 / ilmaääneneristys).

Tuulensuojapinnan palomääräykset

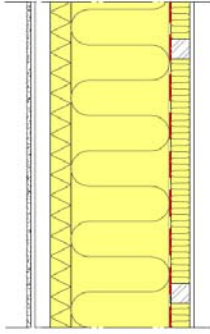
P1-luokan rakennuksissa voidaan käyttää metallirankaisia ulkoseiniä, puurangan käyttö on rajoitettu P2- ja P3-luokan rakennuksiin.

P1- ja P2-luokan rakennuksissa tuuletusraon tuulensuojapinnalle on asetettu palovaatimuksia siten, että muovipohjaisten tai -pintaisten lämmöneristeiden käyttö ei sellaisenaan ole mahdollista. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tuulensuojana on käytettävä tarkoitukseen soveltuvia mineraalivillaeristeitä. Tuulensuojakerroksen alla oleva varsinainen lämmöneriste voi tällöin olla myös muovipohjaista eristettä, eli ns. hybridirakenteiden käyttö on mahdollista.

Pientaloissa (P3-luokan rakennukset) ei ole asetettu palovaatimuksia tuulensuojan sisäpinnalle, joten niissä on mahdollista käyttää vapaasti myös erilaisia muovipohjaisia tai -pintaisia rakennustarvikkeita.

Rapattu rankarakenteinen seinä

Tuulettuvat levyrappausjärjestelmät soveltuvat hyvin myös rankarakenteisten seinien julkisivuverhoiluksi, sillä levyjen taustalle järjestetään yhtenäinen tuuletusväli. Tuulettuvat levyrappaukset tehdään rappausalustana toimivan levyn päälle. Levyn tulee olla hyvin säänkestävä ja sen kosteus- sekä lämpötilamuodonmuutosten tulee olla tarpeeksi pienet. Rapattaviin levyjärjestelmiin kuuluvat yleensä levyt, niiden kiinnikkeet sekä levyn saumojen käsittelyratkaisu. Levyjen päälle tehtävä varsinainen ohutrappausjärjestelmä voidaan joissakin tapauksissa valita myös muiden kuin levytoimittajan järjestelmistä.



Kuva 3.5 Rapattu puurankaseinä toimii kosteusteknisesti, kun rappaus toteutetaan taustaltaan tuuletettuna levyrappauksena ja huolehditaan liitosten tiiviyydestä.

Levyrappausjärjestelmän tulee muodostaa toimiva ja testattu kokonaisuus kaikkien komponenttien osalta. Tässä noudatetaan ohjeita ETAG 004 sekä BY 57 Eriste- ja levyrappaus 2011.

Levyrappaukset kiinnitetään joko metalli- tai puurankaan. Palomääräykset voivat rajoittaa puurankojen käyttöä korkeissa rakennuksissa.

Ilmaston muuttuessa nykyistä sateisemmaksi rapattujen julkisivujen kosteuden hallinta ja liitosten suunnittelu korostuvat entisestään. Levyrappausjärjestelmien pintakäsittelynä on varsin usein vettä hylkivä mutta vesihöyryä läpäisevä pinnoite. Tällaiseen pintaan muodostuu sateella nopeasti vesikalvo, joka kulkeutuu tuulen vaikutuksesta julkisivupinnalla myös sivusuunnassa. Suunnittelussa ja toteutuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota levyrappausjärjestelmän halkeilemattomuuteen.

Toinen keskeinen huolellista suunnittelua ja toteutusta vaativa asia on rappauksen liitokset aukkoihin ja erityisesti läpivienteihin ja erilaisiin pellityksiin. Näiden liitosten kautta ei saa päästä sadevettä levyjen taakse tuuletusväliin.

Tuulettumatonta eristerappausrakennetta ei tule käyttää puurakenteisessa ulkoseinässä. Tuulettumattoman eristerappauksen on todettu aiheuttavan puurunkoisiin seiniin herkästi kosteusvaurioita, koska rakenteen detaljit ja liitoskohdat ovat riskialttiita kosteusvuodoille (Samuelson et al. 2007, Samuelson & Jansson 2009, God bebyggd miljö 2010, Jansson 2011). Teräsrungossa eristerappausta voidaan käyttää, jos rakenteessa ei ole homehtumiselle herkkiä materiaaleja. Tässäkin tapauksessa tuuletettu levyrakenne on suositeltavampi ratkaisu. (RIL 107-2012, 2012)

Eriste säilyy,
rakennepaksaus
kasvaa

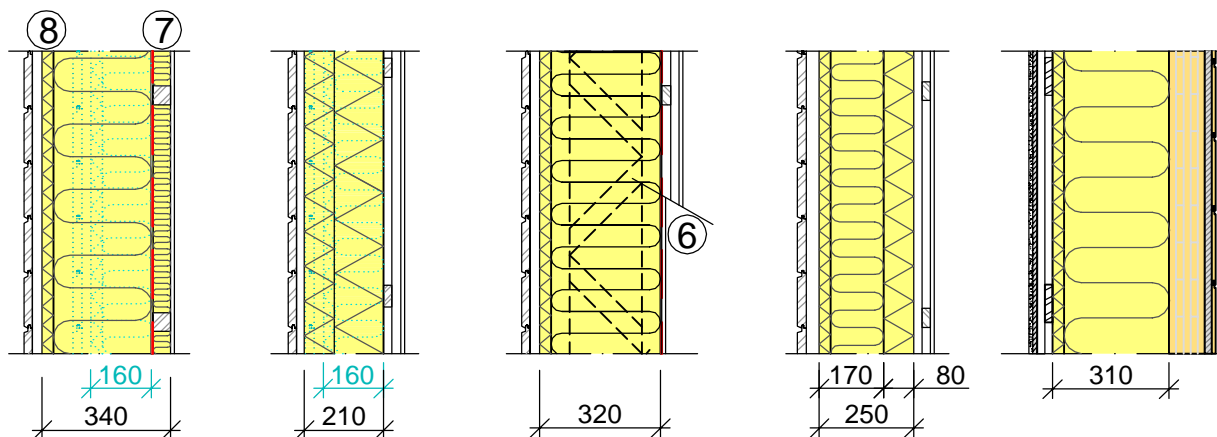
Eriste vaihtuu

Eriste säilyy,
rakenne vaihtuu

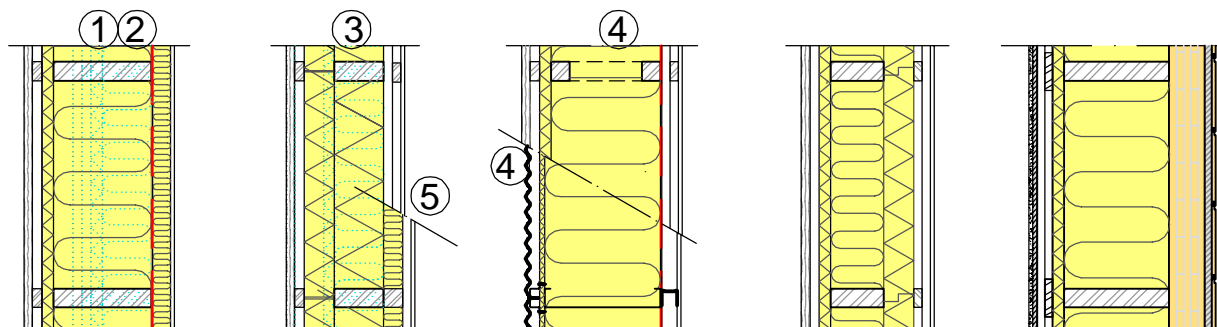
Hybridirakenne

CLT-rakenne

PYSTYLEIKKAUS



VAAKALEIKKAUS



$\lambda = 0,036 \text{ W/(m}^*\text{K)}$,
vanha $U = 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
uusi $U = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Vanha $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}^*\text{K)}$
vanha $U = 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
uusi $\lambda = 0,024 \text{ W/(m}^*\text{K)}$,
uusi $U = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

$\lambda = 0,036 \text{ W/(m}^*\text{K)}$,
uusi $U = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Pehmeän eristeen
 $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}^*\text{K)}$,
tehokkaan eristeen
 $\lambda = 0,024 \text{ W/(m}^*\text{K)}$
uusi $U = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

$\lambda = 0,036 \text{ W/(m}^*\text{K)}$,
uusi $U = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

1. Runkotolppien poikkileikkauksen kasvattaminen eristekerroksen mukana johtaa ylimitoitukseen rakenteen kantavuuden suhteen. Tolppien kaventaminen tai tolppajaon kasvattaminen lisää mitta- ja muita ongelmia, koska esimerkiksi eristelevyt ja sisäverhouksen kiinnittäminen on optimoitu tietyille tolppajaolle ja -paksuudelle.
2. Paksuimmille rakenteille sahatavara ei ole käyttökelpoinen mm. mittavirheiden lisääntymisen ja puun käyristymistäipumuksen vuoksi.
3. Paksun muovieristekerroksen yhteydessä on käytettävä riittävän joustavaa tiivistystapaa, koska paksu ja jäykkä eriste synnyttää rakenteiden liikkuesssa suuria pakkovoimia liitoksiin (vähintään 10 mm saumaleveys, joustava polyuretaanivaaho).
4. Kun eristepaksuus kasvaa, uudet runkoratkaisut yleistyvät, kuten ristikko, eriytetty runko, ohutuumapalkki tai teräsranka. Tällöin kuitenkin asennustekniikka, liitostavat ja muut totut menetelmät täytyy suunnitella rakennetyypille sopiviksi.
5. Akustisista syistä voi olla tarpeen käyttää muovieristeen sisäpuolella ääneneristysominaisuuksiltaan sopivaa eristettä.
6. Asennustilan muodostaminen sisäverhouksen taakse on etenkin kovia eristeitä käytettäessä suositeltavaa, mutta rakenteellisen toiminnan kannalta sillä ei ole merkitystä.
7. Kun höyrinsulku upotetaan rakenteen sisään, on huolehdittava siitä, ettei höyrinsulun pintaan pääse tiivistymään kosteutta rakennusaikana. Sisempi mineraalivilla suositellaan asennettavaksi vasta kosteuskuormitusta aiheuttavien töiden jälkeen, koska muussa tapauksessa sisäilmassa oleva kosteus voi tiivistyä höyrinsulun pintaan ja aiheuttaa homeen kasvulle otolliset olosuhteet. Rakennusaikana on myös huolehdittava sisätilojen riittävästä tuuleuksesta ja lämmityksestä. Rakenteen käytön aikainen toiminta edellyttää, että vähintään 75 % lämmöneristyksessä on höyrinsulun ulkopuolella.
8. Puurankarakenteissa käytettävän tai eloperäisiä materiaaleja sisältävän tuulensuojan lämmönvastuksen tulisi olla vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$ (RIL 107-2012). Lämpöä eristävän tuulensuojan käyttö nostaa runkotolppien lämpötilaa ja laskee suhteellista kosteutta sen sisäpuolella ehkäisten samalla homeen kasvulle suotuisten olosuhteiden syntymistä tuulensuojan sisäpinnassa.

3.2 Muuratut seinät ja harkkoseinät

Ulkoseinien lämmöneristyksen lisääminen aiheuttaa useita merkittäviä muutoksia muurattujen seinien ja harkkoseinien lämpö- ja kosteustekniseen suunnitteluun. Matalaenergia- ja passiivitaloissa yksiaineisten massiiviharkkoseinien rakentaminen ei enää ole mielekästä, jos rakennepaksuus kasvaa lähelle metriä. Lämmöneristysvaatimusten täyttäminen edellyttää tällöin käytännössä aina varsinaista lämmöneristekerrosta seinärakenteessa.

Ilmatiiviys

Erilaisista harkoista (kahi, kevytsora, kevytbetoni) muuratut seinät eivät sellaisenaan ole ilmatiiviitä, vaan näissä ilmatiiviys muodostuu seinän sisäpinnan tasoituksesta. Tasoituslaasti on siten tehtävä ulkoseinien sisäpinnoille kauttaaltaan, että se liittyy toimivasti muiden rakennusosien sekä aukkojen ilmatiiviisiin kerroksiin. Tasoituksen tulee ulottua seinien ylä- ja alareunoihin saakka myös kiintokalusteiden, erilaisten laiteasennusten ja alaslaskettujen kattojen taakse.

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

Poltetuista tiilistä puhtaaksimuuratun seinän sisäpinnan ilmatiiviys jää yleensä puutteelliseksi huolellisesta muurauksesta ja liitosten tiivistämisestä huolimatta. Hyvä ilmatiiviys varmistetaan tällöin ilmatiiviillä lämmöneristekerroksella. Puhtaaksimuurattu seinä on aina mahdollista tasoittaa tai rapata, jolloin seinän ilmatiiviys paranee, mutta ulkonäkö luonnollisesti muuttuu.

Lämmöneristeen sijainti ja yhtenäisyys

Muurattavissa harkoissa sekä valuharkoissa on tyypillisesti solumuovipohjainen lämmöneriste harkon keskellä. Eristehalkaistujen harkkojen asennuksessa lämmöneristeen pintaan levitetään pu-vahtokerros juuri ennen päälle muurattavaa harkkoa, jolla varmistetaan lämmöneristekerroksen yhtenäisyys sekä rakenteen tiiviys. Eristekerrokseen ei saa jäädä ulkoa sisälle johtavia tyhjiä rakoja. Harkkojen välisen saumatilan täyttymisen varmistamiseksi pu-vaahtoa levitetään 2-3 rinnakkaista nauhaa harkkojen lämmöneristepaksuudesta riippuen. Lämmöneristeiden pystysaumot vaahdotetaan täyteen ennen seuraavan harkkokerroksen muuraamista/ladontaa.

Lämmöneristeen tulee olla yhtenäinen myös kuorimuuriseinissä ja ns. EPS-harkkoseinissä, mutta niissä lämmöneristyksen yhtenäisyys on helpompi varmistaa kuin eristehalkaistuista harkoista muuratusta tai ladotusta seinässä. Lämmöneristyksen tulee olla hyvin kiinni

alustassaan ja eri lämmöneristekerrosten toisissaan, jotta eristekerrokseen ei pääse muodostumaan sisäistä konvektiota.

Jos yksiaineinen kevytbetoniseinä eristetään sisä- tai ulkopuolelta, on tunnettava kevytbetoniharkon ja käytettävän lämmöneristeen vesihöyrynläpäisevyudet, jotta kivimateriaalin ja eristyksen väliseen rajapintaan ei kondensoidu kosteutta tai synny homeen kasvulle otollisia olosuhteita. Ilmatiiviyys on rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta ensiarvoisen tärkeä. Lämmöneristeen ollessa kevytbetoniseinän sisäpuolella vaadittavan höyrynsulun vesihöyrynvastuksen minimiarvot on esitetty kuvassa 3.14. (Vinha et al. 2012)

Kuorimuurin muuraussiteet ja palomääräykset

Paksuja lämmöneristeitä käytettäessä muuraussiteiden on oltava huomattavasti nykyistä pidempiä. Pitkät ja hoikat muuraussiteet ovat herkempiä nurjahtamaan ja muuraussiteiden määrä onkin siten aina mitoitettava tapauskohtaisesti. Kuorimuriin kohdistuvia voimia on mahdollista jakaa esim. nurkka-alueille muuria raudoittamalla. Sekä muuraussiteiden että kuorimuurissa käytettävien raudoitteiden tulee olla ruostumatonta terästä.

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

P1- ja P2-luokan rakennuksissa tuuletusraon tuulensuojapinnalle on asetettu palovaatimuksia siten, että muovipohjaisten tai -pintaisten lämmöneristeiden käyttö ei sellaisenaan ole mahdollista. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tuulensuojana on käytettävä tarkoitukseen soveltuvia mineraalivillaeristeitä. Tuulensuojakerroksen alla oleva varsinainen lämmöneriste voi tällöin olla myös muovipohjaista eristettä, eli ns. hybridirakenteiden käyttö on mahdollista.

Pientaloissa (P3-luokan rakennukset) ei ole asetettu palovaatimuksia tuulensuojan sisäpinnalle, joten niissä on mahdollista käyttää vapaasti myös erilaisia muovipohjaisia tai -pintaisia rakennustarvikkeita.

Kosteustekninen toiminta

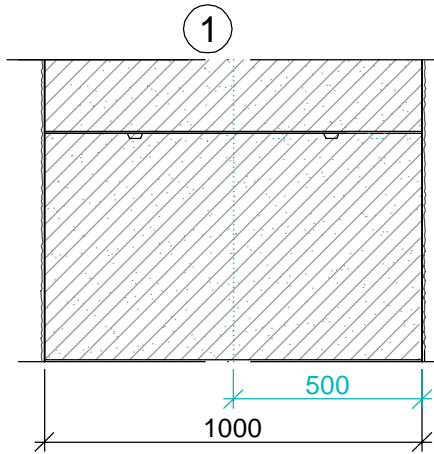
Solumuovipohjaisilla lämmöneristeillä on tyypillisesti suuri vesihöyrynvastus verrattuna mineraalivilloihin. Solumuovieristeitä käytettäessä on rakenteiden kuivatukseen kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta rakenteisiin ei jää haitallisia kosteuskertymiä.

EPS-harkkoseinässä valetaan kantava betonirunko kahden EPS-kerroksen väliin. Tällaisessa seinärakenteessa rakennusaikaisen kosteuden poistuminen on erittäin hidasta, kuivuminen voi

kestää jopa usean vuoden ajan. Toisaalta rakennuksen käytön aikana sisäilman kosteus pääsee tiivistymään betoniytimen pintaan, mikäli lämmöneristeellä ei ole riittävästi vesihöyrynvastusta ja ilmatiiviyttä.

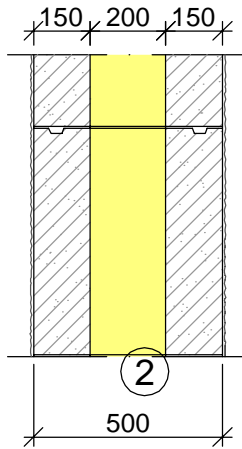
Valuharkkoseinässä sisäkuori pääsee kuivumaan ainoastaan sisäänpäin, mikä on otettava huomioon rakennusaikatauluissa. Samoin ulkokuori kuivuu ainoastaan ulospäin, mikä on otettava huomioon julkisivun pintakäsittelyjen aikatauluissa. Sisäpintojen tasoitus- ja rappaustyöt on suositeltavaa tehdä vasta yhden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

Karkaistu kevytbetoni



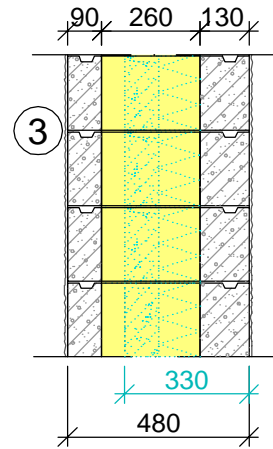
$\lambda = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
vanha $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uusi $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.

Karkaistu kevytbetoni-eristeharkko



$\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
 $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.

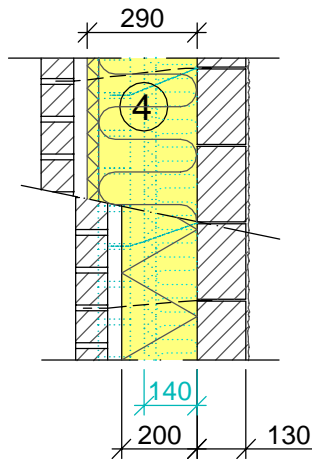
Kevytsorabetoni-sandwich



$\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
vanha $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uusi $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.

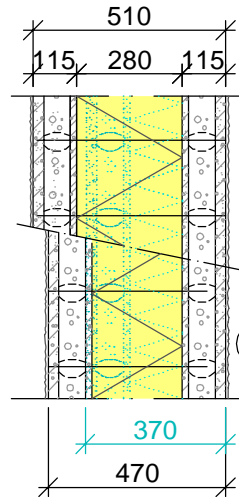
Tiilirunko ja kuorimuuuri

$\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ tai
 $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$
vanha $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uusi $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



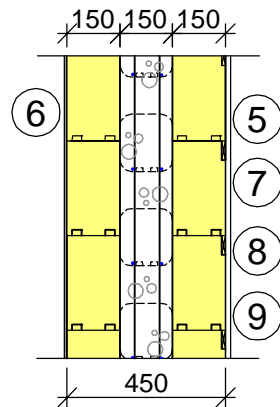
Eristevaluharkko

$\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ tai
 $\lambda = 0,030 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$
vanha $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uusi $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



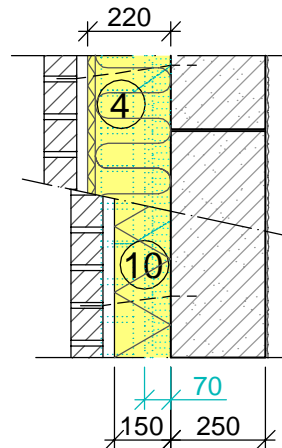
EPS-valuharkko

$\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
 $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



Karkaistu kevytbetoni-harkkorunko ja kuorimuurauus

$\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ tai
 $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$
vanha $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uusi $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



1. Yksiaineisen materiaalin käsiteltävyys suurella rakennepaksuudella on hankalaa yksittäisen harkon suuren koon vuoksi. Samoin ikkuna- ja oviaukkojen teko ja sijoitus paksuun seinään hankaloituu.
2. Yksiaineisen rakenteen muuttaminen eristehalkaistuksi rakenteeksi rakenteen paksuuden säilyttämisen totuttuna.
3. Kevytsorabetoni-sandwich-rakenteen käsiteltävyys heikkenee leveyden kasvaessa. Riski harkkojen työnaikaiselle rikkoutumiselle kasvaa. Harkkojen käsiteltävyyttä voi parantaa esimerkiksi nurkan työstämisessä erillisiä kulmakappaleita käyttämällä.
4. Muuraussiteiden kiinnitys paksujen lämmöneristekerrosten läpi voi vaatia uusien työtekniikoiden omaksumista. Tiilisteiden taivuttaminen laastisaumoihin voi aiheuttaa ilmatiiviyden heikentymistä etenkin kovilla eristeillä. Muuraussiteiden taivuttaminen on sallittua vain CE-merkinnän rajoissa. Asennuskolo tulee täyttää joustavalla pu-vaahdolla ja vaahdon tulee olla täysin kovettunut ennen sen häiritsemistä. Solumuovieristeet tukevat muuraussiteitä nurjahtamista vastaan, kun siteet on vaahdotettu tiiviisti kiinni eristeisiin.
5. Painavien kalusteiden kiinnittäminen seinään voi olla rajoitettua, koska kiinnitykset on tehtävä eristekerroksen läpi betonirunkoon.
6. Jos ulkoverhouksena halutaan käyttää muuta ratkaisua kuin eristerappausta, ulkoverhouksen kiinnitys runkoon voi aiheuttaa ongelmia.
7. Suunnittelussa ja toteutuksessa on kiinnitettävä huomiota läpivientien paloturvallisuuteen.
8. Lämmöneristeen vesihöyrynvastus voi aiheuttaa sen, että rungon rakennusaikainen kosteus ei pääse kuivumaan kunnolla.
9. Jos lämmöneristeellä ei ole riittävää vesihöyrynvastusta ja ilmatiiviyttä, sisäilman kosteutta saattaa tiivistyä rungon rajapintaan.
10. Kevytbetonirungon ja lämmöneristeen rajapintaan saattaa tiivistyä kosteutta, jos rakenteen sisäpinnassa ei ole tarpeeksi vesihöyrynvastusta.
11. Valuharkkoseinän sisäkuori kuivuu pääasiassa sisäänpäin. Tämä on otettava huomioon rakenteen pinnoittamisessa.

3.3 Sandwich-rakenteet

3.3.1 Betonisandwich-seinät

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

Ilmatiiviys

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

Koko seinärakenteen ilmatiiviys riippuu suurelta osin elementtien välisistä liitoksista sekä ikkuna- ja oviaukkojen tiivistyksestä. Ikkuna ja oviaukot tiivistetään käyttämällä polyuretaanivaahtoa ja sisäkäyttöön soveltuvaa elastista saumaussmassaa. 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 esim. elastisella saumamassalla. Talvella elementtien saumapintojen puhdistaminen lumesta ja jäästä ennen elementtien asennusta sekä saumojen valua on ensiarvoisen tärkeää saumavalun onnistumisen kannalta.

Epätasaisen kuivumiskutistuman aiheuttama kaareutuminen

Suurilla eristepaksuuksilla betonisandwich-elementtien nurkkaliitoksiin tulee merkittävästi nykyistä pidempi ulokkeellinen osa, mikä voi olla luokkaa 700-1000 mm. Jos elementin ulkokuoren pinnat eivät kutistu samalla tavalla (esimerkiksi ulkopinnassa kutistumaton tiililaatta), tulee nurkkaliitoksissa ottaa huomioon ulkokuoren kaareutuminen. Nykyisin yleisesti käytetty 15 mm elementtisauma ei enää riitä, vaan nurkkaliitoksen elementin ulkokuorten sauman liikevaraa tulee kasvattaa noin 25 mm:iin. Kutistumaeroista johtuva elementtien hammastelu voi olla esteettinen haitta, mutta liike-ero aiheuttaa myös leikkausrasitusta elementtien välisille elastisille saumoille.

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

Lämmöneristeen yhtenäisyys elementtien saumoissa

Sandwich-elementtien valmistamisessa ja asentamisessa nurkkaelementit ovat haasteellisimpia. Vierekkäisten elementtien ulkokuorten reunat on tehty jo pitkään ulokkeina. Ulokkeiden pituuden kasvaessa lämmöneristeiden asentaminen elementtien väliseen pystysaumaan työmaalla tapahtuvan elementtiasennuksen yhteydessä hankaloituu entisestään mineraalivillakaistojen leventyessä. Solumuovipohjaisten elementtien asennuksen yhteydessä pystysauman vaahdottaminen on haasteellinen tehtävä. Saumavaahtoa ei ole mahdollista asentaa ennakkoon pystyssä olevaan elementtiin kuten mineraalivillakaistaa, sillä vahto painuu kasaan viereistä elementtiä paikoilleen asennettaessa. Sauman vaahdotus tulee tehdä ulkopuolelta ulkokuoren saumojen kautta, mikä edellyttää yleensä henkilönostimien käyttöä. Toisena ja yleisempänä vaihtoehtona on käyttää näissä nurkkaliitoksissa aina mineraalivillakaistaa, joka puristuu elementtien väliin.

Sandwich-elementit, joissa lämmöneristeenä on solumuovipohjaisia eristeitä tulee asentaa siten, että elementtien väliin jää 10-15 mm vaahdotettava rako. Tämä edellyttää sekä elementtien suunnittelulta että asennukselta huomattavan suurta tarkkuutta.

Ulkokuoren kiinnitys sisäkuoreen

Eristepaksuuksien kasvattaminen matalaenergia- ja passiivirakentamistasoon pidentää oleellisesti nykyisin käytössä olevien ansaiden diagonaaleja. Tämän seurauksena sandwich-elementin ulkokuoren kiinnityskohdat harvenevat, mikä saattaa muodostua ongelmalliseksi matalissa nauhaelementeissä sekä elementissä olevien aukkojen ylä- ja alaosissa. Harvemmassa olevien diagonaalien poikkileikkausta pitää kasvattaa, jotta voidaan saavuttaa riittävä varmuus. Ansaista johtuva lisäkonduktanssi pitää ottaa huomioon lämmöneristeyksen mitoituksessa.

Taulukosta 3.1 nähdään ansaan paksunemisen merkittävä vaikutus U-arvoon. Siirtymällä jäykillä lämmöneristeillä diagonaaliensaista pistokkaisiin 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.

Taulukko 3.1 Ansaasta aiheutuva pistemäinen lisäkonduktanssi eri paksuisille diagonaaleille.

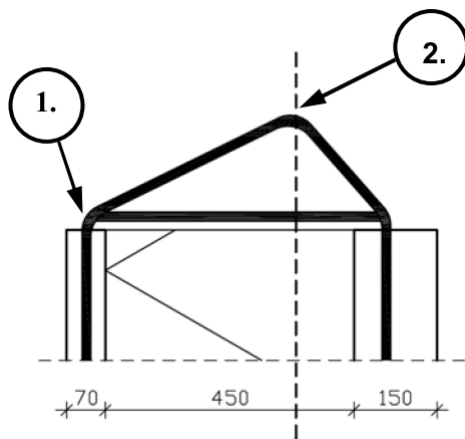
Kiinnikkeen halkaisija d [mm]	4	5	6	8
Kiinnikkeen korjaustekijä ΔU_f [W/(m ² K)]	0,0023	0,0035	0,0051	0,0090

Nostolenkit ja muut kylmäsilat

Elementtien eristeosan kasvun vuoksi kantavan elementin painopiste muuttuu ja kuoret ovat kauempana toisistaan, mikä tulee ottaa huomioon nostolenkkien sijainnissa ja muodossa.

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 lämmöneristävyiden kannalta ensiarvoisen tärkeää.

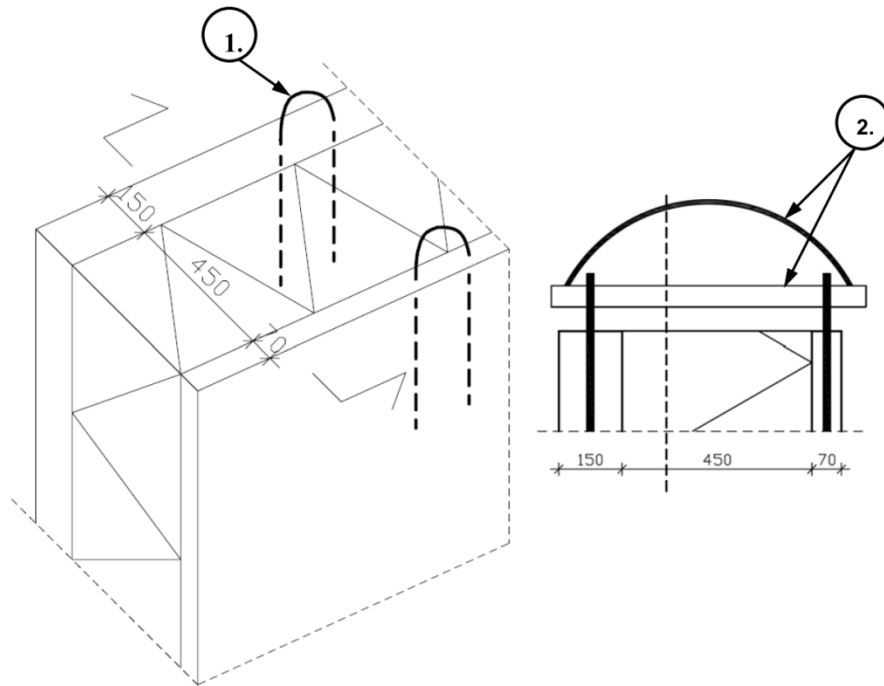
Nostolenkkejä suunniteltaessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että nostolenkki saadaan poistettua asennuksen jälkeen eikä se jää kylmäsillaksi rakenteeseen. Sandwich-elementit tulee nostaa suorassa, jotta elementti on helppo ja turvallinen asentaa. Matalaenergia- ja passiivirakentamisessa lämmöneristepaksuus on usein niin suuri, että nostolenkin tulee olla kiinni niin sekä sisä- että ulkokuoressa. Seinän paksuuntuminen lisää nostolenkistä betonikuoreen aiheutuvaa vaakavoimaa. Kuvassa 3.7 on esitetty eräs ratkaisu, jossa vaakatangon 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 elementin asennuksen jälkeen
2. Elementin noston pitää tapahtua elementin painopisteen kohdalta

Kuva 3.7 Periaatteellinen nostolenkkiratkaisu paksujen seinäelementtien nostamiseen.

Kuvassa 3.8 on esitetty uudelleenkäytettävä nostolaiteratkaisu erittäin paksujen sandwich-elementtien nostamiseksi. Elementtiin asennetaan neljä nostolenkkiä (kuvassa kohta 1), jotka poistetaan asennuksen jälkeen. Nostolenkeistä pujotetaan läpi uudelleenkäytettävä nostokappale (kuvassa kohta 2). Nostokappaleessa on jäykkä osa, mikä ottaa vastaan nostosta aiheutuvan vaakavoiman sekä vaijerilenkki, joka lukitaan jäykkään nostokappaleeseen. Vaijerin ansiosta nosto tapahtuu elementin painopisteen kohdalta ja elementti on näin helppo asentaa.



Kuva 3.8 Uudelleenkäytettävä nostoratkaisu erittäin paksujen sandwich-elementtien nostamiseksi.

Eristepaksuuden kasvattaminen vaikuttaa nostolenkkiin ainoastaan kantavissa sandwich-elementeissä. Muilla rakenteilla elementin painopiste on edelleen elementin keskikohdalla ja voidaan käyttää perinteisiä nostoratkaisuja.

Muita pistemäisiä kylmäsiltoja ovat esimerkiksi erilaisten katosten ja parvekkeiden kannattaminen rakennuksen lämpimältä puolelta. Seinien paksuuntuessa myös näiden kiinnikkeiden poikkileikkaus suurenee kiinnikkeille aiheutuvan taivutusrasituksen kasvaessa. Kiinnikkeen kasvamisen myötä lisäkonduktanssi suurenee ja hyvin eristetyissä seinärakenteissa kylmäsilan suhteellinen heikennys on suurempi kuin aikaisemmin huonommin eristetyissä rakenteissa.

Ikkunan sijainti

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 sisä- ja ulkopuolen ikkunat asennettaisiin erillisten karmien kanssa, jolloin myöskään seinän lämmöneristävyys ei heikkenisi yhtä paljon.

3.3.2 Pelti-eriste-pelti -seinät

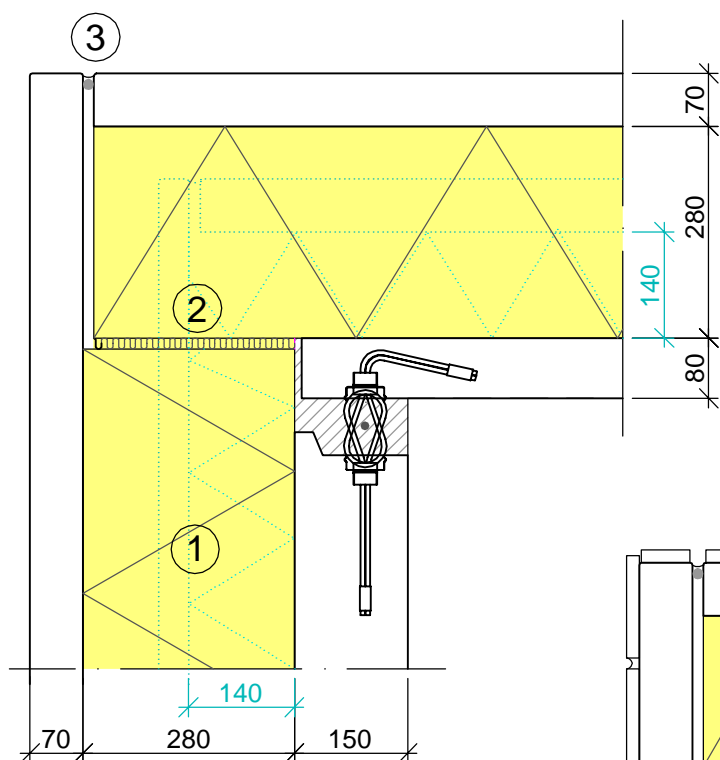
Sandwich-paneeliseinien (”pelti-eriste-pelti”) ydinmateriaalina käytetään yleisimmin joko PU-, PIR-, EPS- tai mineraalivillaeristeitä. Sandwich-paneelirakenteessa metalliset pintalevyt kiinnittyvät liimasidoksen avulla ydinmateriaaliin osana lämmöneristeen vaahdotusprosessia tai erikseen liimaamalla. Ydinmateriaalina käytettäviltä eristeiltä vaaditaan riittäviä lujuusominaisuuksia sekä sopivaa jäykkyyttä, jotta paneelien rakenne pystyy välittämään siihen kohdistuvat rasitukset varsinaisille runkorakenteille. Erilaisiin käyttötarkoituksiin on olemassa vaatimuksiin sopivia paneelityyppejä.

Periaatteessa lämmöneristepaksuuden kasvattaminen on paneeleissa varsin yksinkertaista, mikäli paneelien tuotantoprosessi sen mahdollistaa ja mikäli paksumpia paneeleihin soveltuvia eristeitä on saatavilla. Valmistusmenetelmästä riippuen voidaan käyttää jopa samoja eristeiden levypaksuuksia kuin nykyisin ja hoitaa tarvittava eristepaksuuden kasvattaminen valmistusmenetelmän mahdollisuuksia hyödyntäen. Esimerkiksi mineraalivillaytimisissä paneeleissa tämä on mahdollista kasvattamalla ytimessä käytettävän lamellimuotoon leikatun mineraalivillalamellin leveysmittaa ja muuttamalla muut valmistusprosessin osat tai säädöt tarvetta vastaavasti.

Paneelien paksuuden kasvattaminen lisää niiden omapainoa ja päällekkäin asennettaessa alimpiin paneeleihin kohdistuvaa rasitusta mikäli kasvavaa omapainoa ei siirretä kiinnitysjärjestelyjen avulla runkorakenteille. Kasvaneesta omapainosta johtuvia rasituksia voidaan helposti siirtää kantavaan rakenteeseen, esim. tyypillisesti käytettävien paneelien läpi porattavien kiinnikkeiden kautta. Lisääntyvä omapaino ei yleensä juurikaan aiheuta kiinnikkeiden määrän lisääntymistä nykyisestä, mutta aiheuttaa kylläkin pitempien kiinnikkeiden tarvetta. Sandwich-paneelirakenne tulee aina mitoittaa tapauskohtaisesti ja kiinnitysten mitoittamisen tulee olla kiinteä osa suunnittelua. Kiinnitysdetaljiikka vaihtelee riippuen kohteen vaatimuksista ja materiaaleista. Lisääntyvän omapainon vaikutus tulee tarvittaessa ottaa huomioon myös osana kantavan rakenteen suunnittelua.

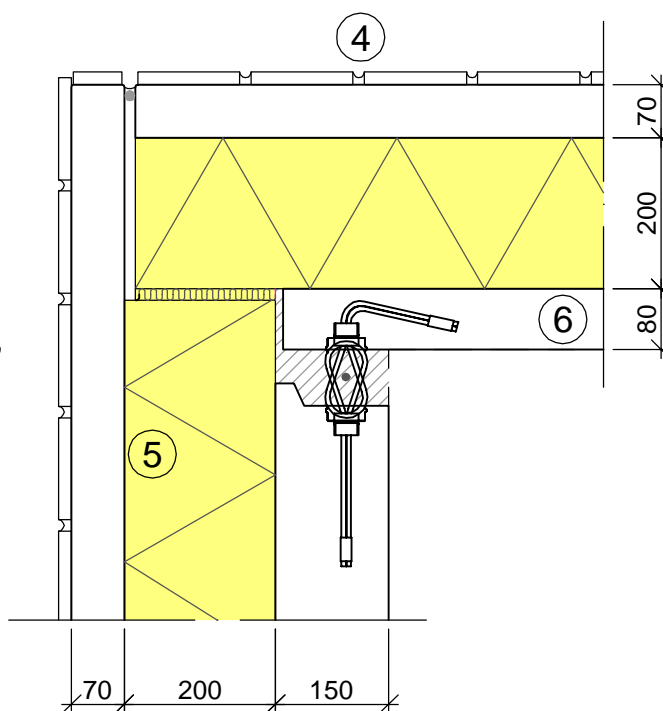
Erittäin paksujen sandwich-paneelien suuri eristepaksuus sekä pintakerrosten suuri keskinäinen etäisyys häiritsevät jossain määrin toimivuutta optimaalisena sandwich-palkkina verrattuna ohuempiin paneeleihin, joissa pintakerrokset ovat lähempänä toisiaan. Tyypillisesti tämä vaikutus ei kuitenkaan heikennä paksujen sandwich-paneelien käytettävyyttä, koska mahdollinen vaikutus on otettu huomioon paneelien ominaisuuksissa.

Paksumpien paneelien suuremman omapainon ja mittojen takia niiden käsittely ja asentaminen on hieman haastavampaa kuin nykyisin. Silti tyypilliselle 6..8 m jännevälille suunnitellun hyvinkin paksun ulkoseinäpaneelin omapaino on kohtuullinen ollen n. 200...400 kg riippuen paneelityypistä. Tällä hetkellä lähinnä käsiteltävyyden ja valmistusmenetelmän kannalta järkevä maksimipaksuus sandwich-paneelien osalta on n. 300 mm, vaikka paksumpiakin paneeleita voitaisiin kyllä toteuttaa.



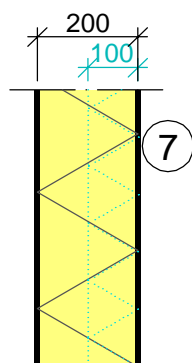
Betoni-sandwich-rakenteet

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
vanhan rakenteen $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uuden rakenteen $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.

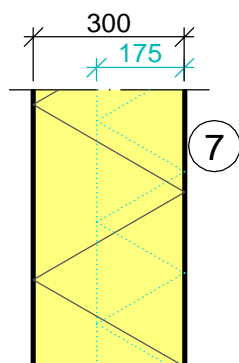


Pelti-eriste-pelti -rakenne

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
uuden rakenteen $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



Vanha $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$
vanha $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$
uusi $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
uusi $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



Vanha $\lambda = 0,041 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$
vanha $U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$
uusi $\lambda = 0,039 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
uusi $U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.

1. Ansaiden nurjahduserkkyys kasvaa lämmöneristeen paksuntuessa. Paksumpien ansaiden käyttäminen lisää niiden kylmäsiltaikutusta. Kylmäsiltaikutusta voidaan vähentää siirtymällä jäykillä eristeillä diagonaaliensaista pistokkaisuun.
2. Lämmöneristeen jatkuvuus nurkka-alueella ja elementtien saumakohdissa on vaikea toteuttaa muovieristeillä, koska saumaa ei päästä vaahdottamaan asennuksen jälkeen.
3. Vapaan reunan taipuminen epätasaisesta kutistumisesta lisääntyy ulokkeen kasvaessa, mikä on otettava huomioon elastisen sauman mitoituksessa.
4. Tiililaattakuvion limitykset muuttuvat elementin paksuuden muuttuessa.
5. Eristeen ulkopinnan tuuletusuritusien tarve riippuu käytetystä lämmöneristeestä sekä ulkokuoren pinnan vesihöyrynläpäisevyydestä. Mineraalivillojen kanssa tulisi käyttää tuuletusuritusta.
6. Solumuovieristeitä käytettäessä elementin sisäkuori kuivuu pääosin sisäänpäin, mikä on otettava huomioon rakennuksen kuivaustarpeena ja pinnoitustöiden aikataulutuksessa.
7. Sandwich-paneeleita käytettäessä eristeen paksuuntumisesta johtuva rakenteen omanpainon lisäys voidaan ottaa huomioon kiinnitysjärjestelyillä ilman että kasvaneesta omapainosta on haittaa seinärakenteessa. Suunnittelun yhteydessä tulee varmistaa paneelirakenteen, kiinnitysten ja kantavan rakenteen toimiva mitoitus. Kasvava omapaino tekee paneelien käsittelyn ja asentamisen nykyistä haasteellisemmaksi.

3.4 Eristerapatut kivirakenteiset seinät

Eristerappaukset ovat tuulettumattomia rakenteita. Paksu- ja ohutrappaus-eristejärjestelmillä verhoiltavien seinien tulee olla kiviainespohjaisia rakenteita, ellei rakenteeseen ole järjestetty erillistä tuuletusta (ks. myös luku 3.1). Rakenteet voivat olla valettuja, ladottuja tai muurattuja rakenteita toteutettuna joko paikalla rakennettuina tai elementtirakenteisina. Seinän runkorakenne toimii rappauksen ja lämmöneristeiden kantavana rakenteena sekä monessa tapauksessa myös rakennuksen vaipan ilmansulkukerrosena.

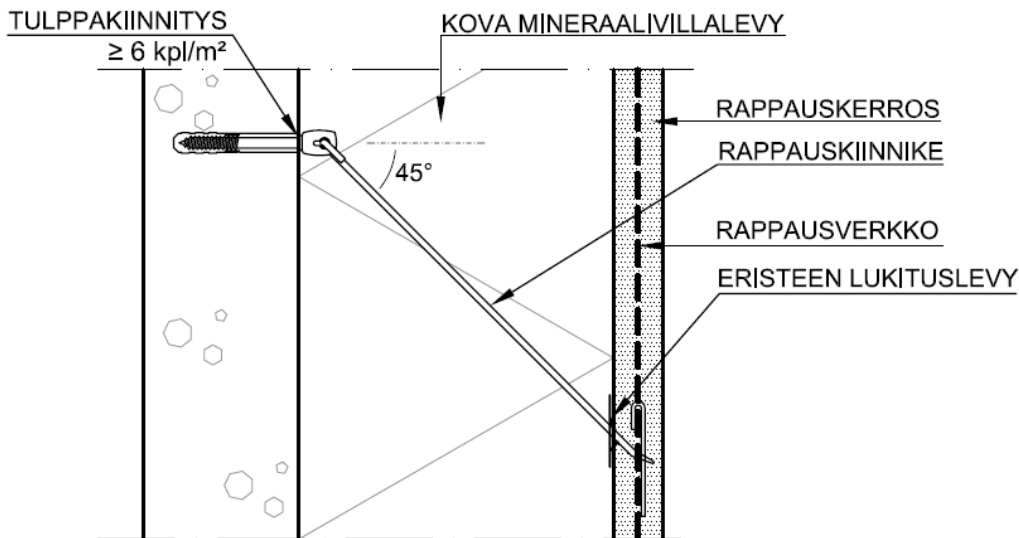
Kaikkien eristerappausjärjestelmien tulee muodostaa toimiva ja testattu kokonaisuus. Eristerappausjärjestelmien vaatimuksia on esitetty ohjeessa ”ETAG 004, External thermal insulation composite systems with rendering” ja kansalliset suunnitteluohjeet julkaisussa ”BY 57 Eriste- ja levyrappaus 2011”. Kansalliset vaatimukset ovat tiukempia mm. laastien ja järjestelmien pakkasenkestävyyden osoittamisen suhteen.

Ilmaston muuttuessa nykyistä sateisemmaksi rapattujen julkisivujen kosteuden hallinta ja liitosten suunnittelu korostuvat entisestään.

3.4.1 Paksurappaus-eristejärjestelmä

Lämmöneristekerroksen paksuntaminen tuo haasteita paksurappaus-eristejärjestelmän lämmöneristeiden sekä rappausverkon kiinnikkeiden asentamiselle. Nykyisillä eristepaksuuksilla lämmöneriste on voitu asentaa yhdellä levykerroksella, kun eristekerroksen paksuuntuessa eristeet on asennettava kahdesta tai kolmesta eri eristekerroksesta.

Rappauskerroksen mahdollisimman vähäisen painumisen varmistamiseksi rappausverkon kiinnikkeet asennetaan noin 45° kulmaan. Rappauskerroksen painumattomuus on keskeinen tekijä rappauskerroksen halkeilun vähentämisessä ja siten mm. sadeveden sisään pääsyn rajoittamisessa rakenteeseen. Oikeanlaisten kiinnikkeiden lisäksi toinen merkittävä asia rappauksen vähäiselle painumiselle on lämmöneristekerroksen pieni kokoonpuristuminen kuormituksen alaisena. Toisin sanoen mitä vähemmän lämmöneristeet painuvat kasaan sitä vähemmän rappauskerros painuu alaspäin. Kiinnikkeiden mitoituksessa on otettava huomioon, että kuormitus ei jakaudu tasan kaikille kiinnikkeille, vaan rappauskerroksen lämpö- ja kosteusolosuhteista riippuen rappauskerros joko roikkuu ylimpien tai seisoo alimpien kiinnikkeidensä varassa.



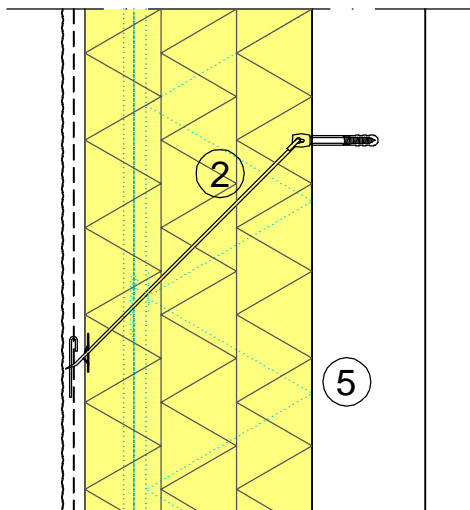
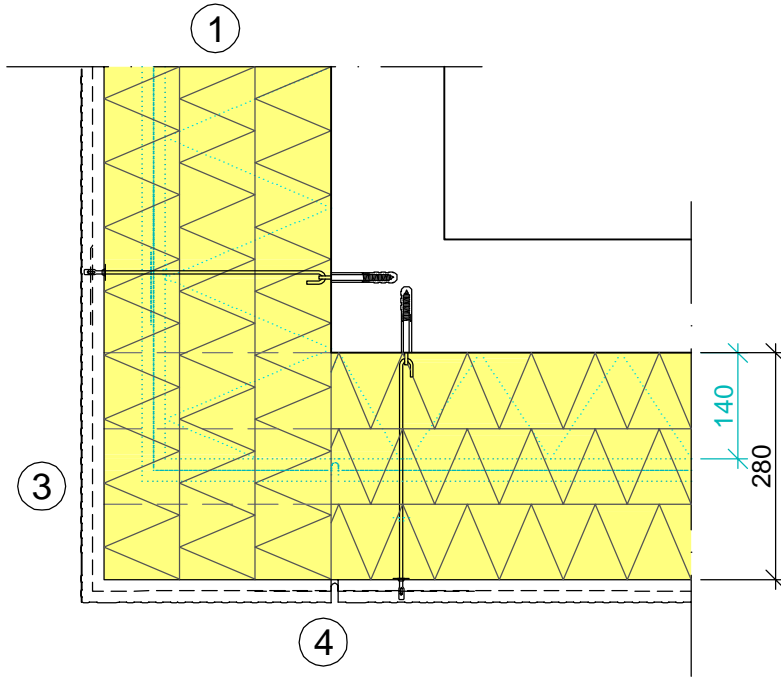
Kuva 3.9 Periaatekuva paksurappaus-eristejärjestelmän kiinnityksestä alusrakenteeseen. (kuva BY 57)

Paksumpi lämmöneristys voi passiivitalossa tarvita noin 450-650 mm pitkiä rappauskiinnikkeitä, joiden asentaminen oikeaan kulmaan yhdessä usean lämmöneristekerroksen kanssa on haasteellinen tehtävä. Passiivitaloissa paksurappauseristejärjestelmissä on suositeltavaa käyttää ns. hybridirakenteita, jolloin lämmöneristekerros jää ohuemmaksi. Hybridieristeissä lämmöneristekerros muodostuu solumuovieristeen ja mineraalivillan yhdistelmästä siten, että rappauserroksen alla on vähintään 50 mm paksuinen rappausalustaksi tarkoitettu mineraalivillakerros. Tämä kerros toimii laakerikerroksena solumuovieristeiden ja rappauserroksen välissä, jotta rappauserroksen kiinnikkeet on mahdollista asentaa. Tällöin ohuemmasta lämmöneristekerroksesta johtuen rappauserroksen kiinnikkeet muodostuvat lyhyemmiksi.

Koska paksurappaus muodostaa yhtenäisen, mekaanisesti alusrakenteeseen kiinnitetyn levyn eristekerroksen päälle, tarvitaan rappauserroksessa liikuntasauvoja noin 12-15 m välein sekä vaaka- että pystysuunnassa. Rappauserroksen sadevedentiiviyyden varmistamiseksi liikuntasauvoissa tulee käyttää järjestelmään kuuluvia liikuntasaumaprofiileja tai saumat tulee tiivistää joko paisuvalla saumanauhalla tai elastisella saumaussmassalla.

Erityistä huomiota tulee kiinnittää rappauksen liitoksiin erilaisiin pellityksiin ja muihin rakenteisiin, kuten parvekepieliin sekä erilaisiin läpivienteihin. Näiden liitosten on oltava sadevesitiiviitä kaikissa olosuhteissa.

Kun lämmöneristeen $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
vanha $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uusi $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



1. Kun eristekerros paksuntuu ja eristekerrosten lukumäärä kasvaa, lämmöneristeiden asentaminen hankaloituu. Eristekerrosten lisääntyessä rappauksen painuma voi lisääntyä. Haitallinen painuminen voidaan välttää asentamalla kiinnikkeet oikeaan kulmaan ja käyttämällä järjestelmään soveltuvia jäykkiä lämmöneristeitä.
2. Kiinnikkeen kulman on oltava noin 45°. Kiinnikkeen kulma vaikuttaa rappauksen painumaan, halkeiluun ja muodonmuutoksiin.
3. Etäisyys kiinnikerivistä rakennuksen nurkkaan kasvaa, jolloin rappauskerroksen kaareutumaiset ja liikkeet kasvavat.
4. Edellisestä johtuen liikuntasaumalla on oltava riittävä muodonmuutoskyky, jotta sauman vedenpitävyys säilyy.
5. Solumuovilämmöneriste estää sisäkuoren rakennusaikaisen kosteuden kuivumisen ulospäin, mikä lisää rakenteen kuivumisaikaa. Tästä johtuen ulkoseinään rajoittuvien märkätilojen vesieristykset sekä märkätilan ja yläpohjan höyrinsulkujen liitokset on tehtävä tavallista myöhemmin. Kuivuminen voi hidastaa myös ulkoseinille tulevien kaapistojen asentamista. Ulkoseinien kuivumisaikojä voidaan lyhentää kuivaimien avulla.

3.4.2 Ohutrappaus-eristejärjestelmä

Lämmöneristeiden paksuntaminen on helpointa ohutrappatuissa julkisivuissa. Nämä voidaan valmistaa joko ns. sisäkuorielementteinä elementtitehtaalla tai kiinnittää eristeet laastilla rakennuksen muurattuun tai betonirunkoon työmaalla.

Ohutrappaus-eristejärjestelmässä lämmöneristeillä on lämmöneristyskyvyn lisäksi myös rakenteen kantavuuteen ja kuormituksen välittämiseen liittyvä tehtävä. Rappauskerros kiinnittyy lämmöneristeisiin ainoastaan laastitartunnalla ja lämmöneristeet alusrakenteeseen joko laasti- tai valutartunnalla. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetään niitä varten kehitettyjä lämmöneristeitä, tyypillisesti EPS-eristettä tai tarkoitukseen valmistettua mineraalivillaa, joka voi olla joko lamelli- tai levytuote. Oleellista on, että käytettävien lämmöneristeiden pitkäaikainen leikkausjäykkyys on riittävän suuri, jotta rappaukset eivät painu liikaa ja toisaalta puristus- ja vetolujuus on riittävä tuulen paineelle ja imulle sekä mekaaniselle rasitukselle. Hybridieristeitä käytettäessä uloimpana eristekerroksena tulee olla ohutrappaus-eristejärjestelmän alustaksi kelpaava eristekerros.

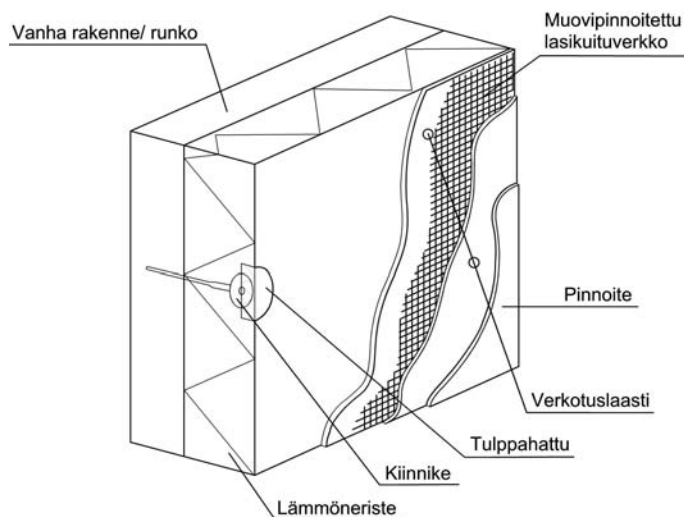
Ohutrappaus-eristejärjestelmien pinnoitteena on varsin usein vettä hylkivä mutta vesihöyryä läpäisevä pinnoite. Tällaiseen pintaan muodostuu sateella nopeasti vesikalvo, joka kulkeutuu tuulen vaikutuksesta julkisivupinnalla myös sivusuunnassa. Suunnittelussa ja toteutuksessa tulee kiinnittää erityistä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

Toinen keskeinen huolellista suunnittelua ja toteutusta vaativa asia on rappauksen liitokset aukkoihin ja muihin rakenteisiin sekä erilaisiin pellityksiin. Liitosten toteutus onnistuu varmimmin käyttäen erilaisia ohutrappaus-eristejärjestelmään kuuluvia päättö-, alareuna-, ja nurkkavahvike-profiileita, listoja sekä liikuntasaumaprofiileja (kuva 3.10).



Kuva 3.10 Kulmavahvikkeet ja nurkkien lisäverkot asennetaan paikoilleen ennen verkotuslaastin levitystä. (kuva Saint-Gobain Weber Oy)

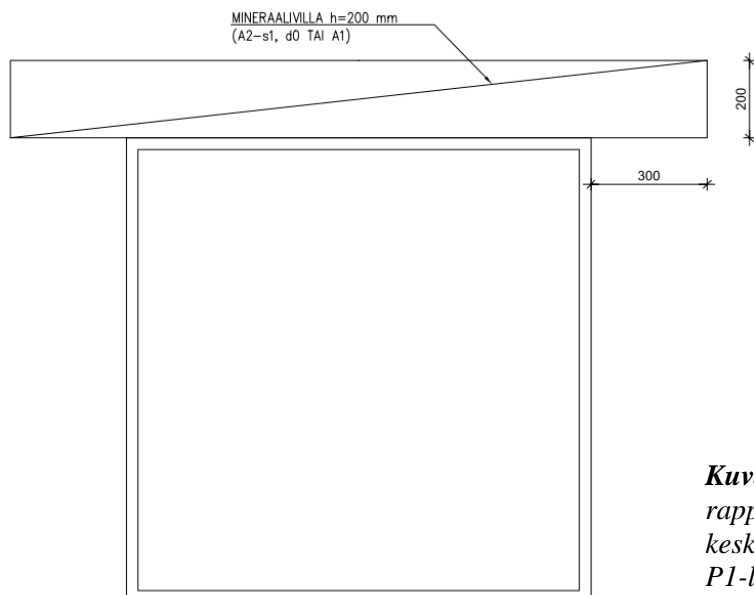
Lämmöneristekerrosten tulee olla hyvin kiinni alustassaan ja toisissaan sillä rappauskerros kiinnittyy lämmöneristeisiin ainoastaan laastitartunnalla ja lämmöneristeet alusrakenteeseen joko laasti- tai valutartunnalla. Joissakin järjestelmissä käytetään lisäksi lämmöneristeiden mekaanisia kiinnikkeitä. Nämä kiinnikkeet tulee upottaa noin 15 mm lämmöneristeen sisään ja asentaa päälle ns. tulppahattu, jotta kiinnikkeet eivät erotu valmiista rappauspinnasta (Kuva 3.11).



Kuva 3.11 Lämmöneristeiden mekaanisten kiinnikkeiden ulkopinnassa tulee käyttää ns. tulppahattua. (kuva BY 57)

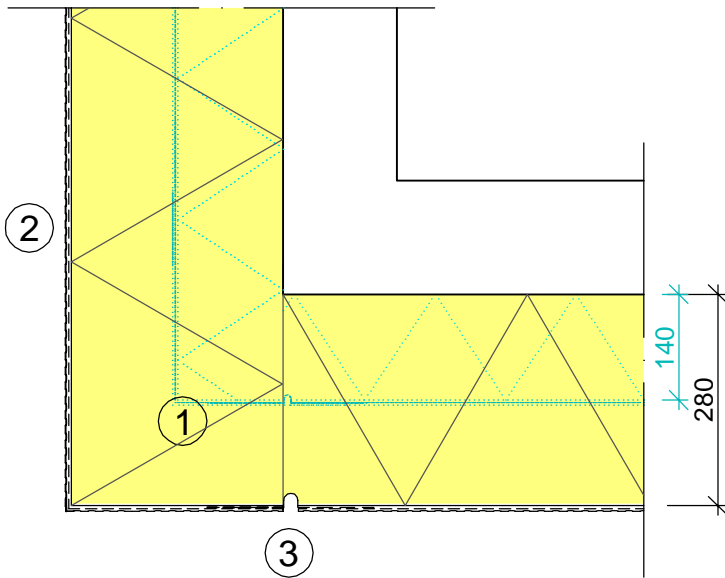
Ohutrappaus-eristejärjestelmissä, joissa lämmöneristeinä käytetään mineraalivillaa, lämmöneristeet täyttävät paloluokan B-s1, d0. Palomääräykset eivät siten rajoita näiden ohutrappaus-eristejärjestelmien käyttöä.

P1-luokan rakennuksiin voidaan käyttää hyväksytyjä ohutrappaus-eristejärjestelmiä, joiden palotekninen toimivuus on testattu. Esimerkiksi ohutrappauksella päällystetty testatun ohutrappaus-eristejärjestelmän mukainen vaikeasti syttyvä EPS-lämmöneristysrakenne voi täyttää B-s1,d0 -luokan vaatimukset ja siten olla paloteknisesti hyväksyttävä rakenneratkaisu. Yli neljäkerroksisissa P1-luokan rakennuksissa eristepaksuuden ollessa yli 150 mm tulee yleensä asentaa ikkunoiden yläreunaan palamattomalla eristeellä tehdyt kaistat, jotka ovat korkeudeltaan 200 mm ja ulottuvat 300 mm ikkunan reunojen ulkopuolelle (kuva 3.12).

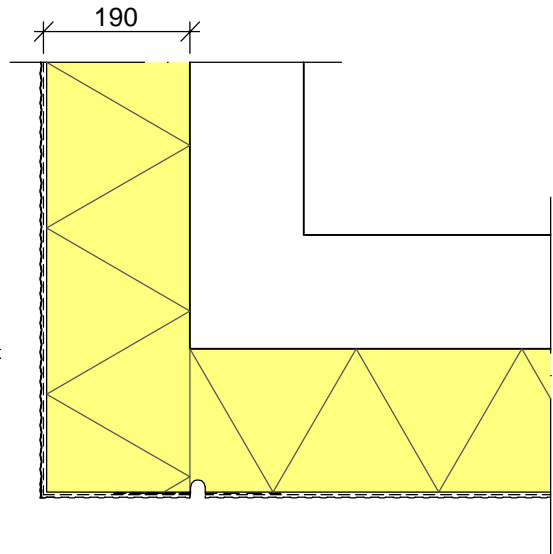


Kuva 3.12 Solumuovipohjaisen ohutrappaus-eristejärjestelmän palosuojaus keski- ja suurissa ikkuna-aukoissa P1-luokan rakennuksessa.

Kun lämmöneristeen $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
 vanha $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
 uusi $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.

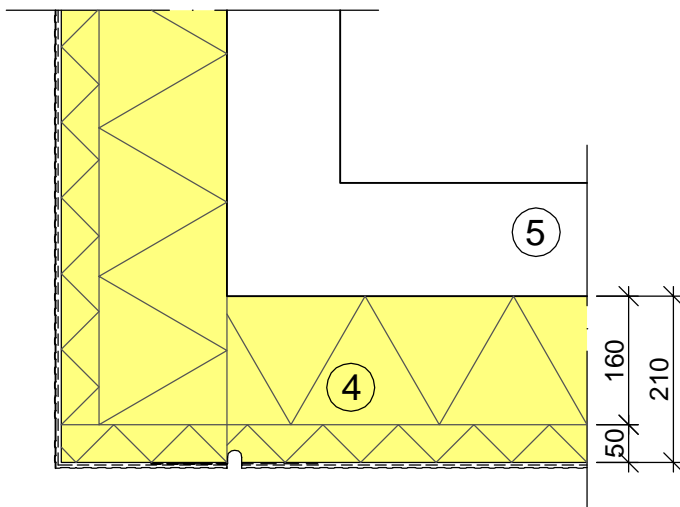


Kun lämmöneristeen $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
 $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



Hybridirakenne

sisäpuolen eriste $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
 ulkopuolen eriste $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$
 vanha $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
 uusi $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



1. Rakenteen paksuuntuminen on otettava huomioon eristeen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksissa.
2. Paksummilla eristeillä mahdollisten mekaanisten kiinnikkeiden aiheuttama pinnan väriero valmiissa rakenteessa on otettava huomioon upottamalla kiinnike 15 mm lämmöneristeen sisään ja asentamalla kiinnikkeen päälle tulppahattu.
3. Saumojen liikkeet saattavat kasvaa. Rappauksen sadevesitiiviyyden varmistamiseksi liikuntasaumoissa tulee käyttää järjestelmään kuuluvia liikuntasaumaprofiileja.
4. Lämmöneristeen pääosa on mahdollisimman vähän lämpöä johtavaa eristettä ja ulko-osa sellaista materiaalia, joka soveltuu ohutrappauksen alustaksi, eli esimerkiksi lamellivillaa. Lämmöneristeet on liimattava hyvin kiinni sekä alusrakenteeseen että toisiinsa.
5. Solumuovilämmöneriste estää sisäkuoren rakennusaikaisen kosteuden kuivumisen ulospäin, mikä lisää rakenteen kuivumisaikaa. Tästä johtuen ulkoseinään rajoittuvien märkätilojen vesieristykset sekä märkätilan ja yläpohjan höyrinsulkujen liitokset on tehtävä tavallista myöhemmin. Kuivuminen voi hidastaa myös ulkoseinille tulevien kaapistojen asentamista. Ulkoseinien kuivumisaikoja voidaan lyhentää kuivaimien avulla.

3.4.3 Erityistä eristerappauselementeistä

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

Elementtien liitoksissa rappausverkon tulee limittyä vähintään 100 mm, jotta rappauskerroksesta on mahdollista saada yhtenäinen ja ehjä. Useimmilla elementin valmistajilla on näihin omat toimivat detaljit. Elementtien lisäksi rakennuksissa on usein laajojakin työmaalla rapattavia osuuksia, jotka liittyvät joltakin reunalta eristerapattuun elementtiin. Nämä työmaalla tehtävät rappauskentät tulee suunnitella siten, että niissä ei esiinny liike-eroja elementteihin nähden. Mikäli liike-eroja ei voida välttää, tarvitaan liitoksiin liikuntasaumot.

Eristerapattujen elementtien kuljetukseen ja asentamiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota vaurioitumisen välttämiseksi. Näissä rakenteissa jouduttaneen nykyistä suurempiin kerrosten välisiin työmaalla asennettaviin lämmöneristys- ja rappauskaistoihin, koska elementtien reunoille on jätettävä riittävästi käsittelyvaraa. Myös elementtien painopiste voi olla epäedullinen nostolenkkien sijoittelulle.



Kuva 3.13 Eristerappauselementit asennettuna ulkoseinällä (kuva Jukka Lahdensivu).

3.5 Hirsiseinät

Asuinrakennusten hirsiseinät on tehty jo pitkään höylähirsistä, joiden leveys vaihtelee alle 100 mm:stä aina 300 mm asti riippuen siitä onko hirsiseinä lisäeristetty. Lämmöneristysmääräysten kiristymisestä johtuen yhä suurempi osa hirsiseinistä tehdään lisäeristettynä, vaikka vähintään 180 mm hirsiseinälle onkin annettu RakMK D3 (2012) lievemmat U-arvon vertailuarvot, kuin muille ulkoseinille (hirsiseinä $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ – muut ulkoseinät $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Myös hirsirakennuksille annetut E-lukuvaatimukset ovat lievemmat kuin muille pientaloille.

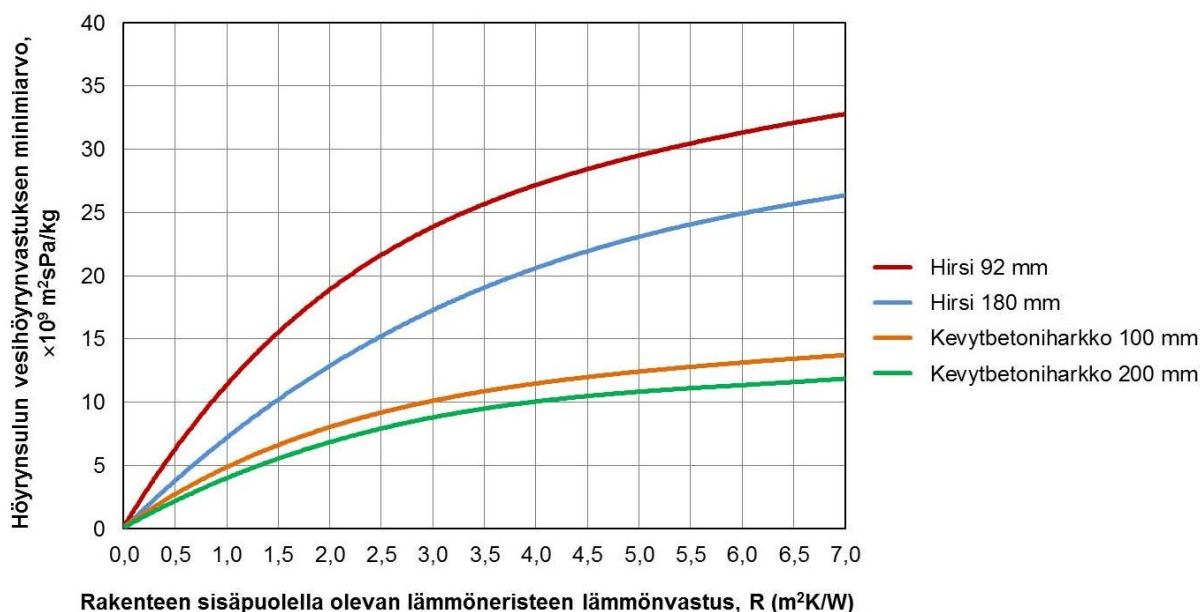
Lämmöneristämätön hirsiseinä on massiivinen yksiaineinen seinärakenne, joka toimii kosteusteknisesti hyvin riippumatta sen paksuudesta. Tämä johtuu siitä, että rakenteessa ei ole eri materiaalikerrosten muodostamia rajapintoja, joihin voi syntyä kriittisiä kosteusolosuhteita. Rakenteen toiminta edellyttää kuitenkin, että hirsiseinän sauma- ja nurkkakohdat suojataan sadevedeltä. Jos hirsiseinä lämmöneristetään, rakenteen lämpötila- ja kosteusolosuhteet muuttuvat ja monissa tapauksissa hirsiseinän, kuten muidenkin yksiaineisten massiivirakenteiden kosteustekninen toiminta heikkenee merkittävästi.

Sisäpuolinen lämmöneristys

Hirsirakenne muuttuu huomattavasti riskialttiimmaksi kosteusvaurioille, jos lämmöneristys asennetaan hirsiseinän sisäpuolelle, koska hirsiseinän sisäpinta viilenee ja siihen muodostuu herkästi homeen kasvulle tai kosteuden kondensoitumiselle otolliset olosuhteet. Hirren sisäpinnan olosuhteet muuttuvat sitä kriittisemmiksi mitä paksumpi lämmöneristekerros on. Tästä syystä lämmöneristettä ei tulisi koskaan laittaa hirsiseinän sisäpuolelle.

Jos sisäpuolista lämmöneristystä kuitenkin jostain syystä käytetään, on lämmöneristeen sisäpuolella oltava tiivis ilmansulku ja riittävä höyrynsulku, jotta sisäilman kosteutta ei siirry hirren sisäpintaan merkittävästi. Höyrynsulun vesihöyrynvastuksen vähimmäisarvo sisäpuolisen lämmöneristyksen lämmönvastuksen funktiona on annettu kuvassa 3.6 (RIL 107-2012, 2012). Kuva 3.6 perustuu FRAME-projektissa tehtyihin tutkimuksiin (Vinha et al. 2012). Hirsirakenne on kuitenkin vaikea saada ilmatiiviiksi pelkästään sisäpuolen ilmansulkukalvon avulla, koska hirsirakennus painuu ajan kuluessa. Siksi hirsien väliset saumat ja nurkkakohdat tulee tiivistää esimerkiksi joustavilla solumuovi- tai solukumitiivisteillä, jotka ehkäisevät ilmavuotoja tehokkaasti.

Ennen lämmöneristyksen ja höyrynsulun asennusta on varmistettava, että hirsiseinä on kuivunut riittävästi, jotta hirrestä poistuva kosteus ei nosta suhteellista kosteutta liian korkeaksi hirren sisäpinnassa. Nykyisin valtaosa hirsistä tehdään liimaamalla useammasta lamellista, jolloin niiden kosteuspitoisuus hirren keskiosalla on merkittävästi alhaisempi, kuin yhdestä puusta tehtyjen hirsien.



Kuva 3.14 Höyrinsulun vesihöyrynvastuksen minimiarvoja sisäpuolelta lämmöneristetyissä hirsija kevytbetoniulkoseinissä kosteusluokan 2 rakennuksissa. Vaadittava höyrinsulun vesihöyrynvastus on annettu lämmöneristeen lämmönvastuksen funktiona. Höyrinsulun vesihöyrynvastus tarkoittaa tässä tapauksessa lämmöneristeen sisäpuolella olevan erillisen höyrinsulun sekä lämmöneristeen yhteenlaskettua vesihöyrynvastusta 23 °C lämpötilassa ja 50 % suhteellisessa kosteudessa. RIL 107-2012 (2012)

Ulkopuolinen lämmöneristys

Hirren ulkopuolelle tehtävä lisäeristys on kosteusteknisesti toimiva, jos lämmöneristeenä käytetään hyvin vesihöyryä läpäisevää eristettä ja lämmöneristeen ulkopuolelle tehdään vastaavanlainen taustaltaan tuuletettu ulkoverhous kuin puurankaseinissä. Hyviä lämmöneristeitä tähän tarkoitukseen ovat esimerkiksi avohuokoiset mineraalivillat ja puukuitueristeet. Solumuovieristeitä ei saa käyttää hirren ulkopuolen lämmöneristeenä, koska ne ovat oleellisesti vesihöyrytiiviimpiä kuin avohuokoiset eristeet ja aikaansaavat homeen kasvulle otollisia olosuhteita hirren ulkopinnassa. Avohuokoinen lämmöneriste voidaan laittaa myös ylimääräistä rakennuskosteutta sisältävän hirren ulkopintaan, koska rakenne pääsee kuivumaan ulospäin.

Sisäpuolelle jäävä hirsiseinä toimii rakenteessa riittävänä höyrinsulkuna, joten erillistä höyrinsulkua ei tarvita. Ilmatiiviyys tulisi saada aikaan hirsien välisiin saumoihin ja nurkkiin laitettavien joustavien solumuovi- tai solukumitiivisteiden avulla. Vaihtoehtoisesti rakenteen ilmatiiviyttä voidaan parantaa hirren ulkopintaan laitettavan paperipohjaisen ilmansulun avulla, jolla tulee olla erittäin hyvä vesihöyrynläpäisevyys. Ilmansulun kiinnityksessä tulee ottaa huomioon hirsirakenteen painuma.

Ilmatiiviyys

Hirsirakennuksen hyvän ilmatiiviyden saavuttamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska tyypillisesti hirsirakennus painuu ajan kuluessa. Hirsikehikon painuminen tulee ottaa huomioon kaikissa ilmansulun liitoksissa ala-, väli- ja yläpohjaan sekä aukkoihin.

Hirsikehikon painumien on voitava tapahtua ilman, että ilmansulun yhtenäisyys vaarantuu. Ilmatiiviyden kannalta haasteellisia liitoksia ovat ulkoseinien nurkkaliitokset, ulkoseinien ja yläpohjan väliset liitokset sekä ikkuna- ja oviliitokset. Ohjeita hirsirakennuksen ilmanpitävien liitosten toteutuksesta on annettu mm. julkaisussa Aho & Korpi toim. (2009).

Ulkopuolinen sadevesitiiviys

Mikäli hirsiseinä toteutetaan ulkopuolisella lämmöneristyksellä, ulkopinta voidaan toteuttaa samoilla verhouksilla kuin rankarunkoisilla seinillä. Hirsiseinien kanssa tavanomaisimpia ratkaisuja ovat kuitenkin erilaisten puutuotteiden käyttö ulkoverhouksena. Myös hirsiseinissä ulkoverhouksen tehtävänä on suojata varsinaista seinärakennetta sään aiheuttamilta rasituksilta. Suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota detaljien ja liitosten sadevesitiivyyteen ja kosteustekniseen toimivuuteen. Toisaalta ulkoverhouksen läpi päässeeseen kosteuden on voitava kuivua, joten ulkoverhouksen taakse tulee järjestää toimiva tuuletus.

Sisäpuolista lämmöneristystä käytettäessä hirsirakenne toimii seinän ulkoverhouksena. Sadevesitiivyyden kannalta on tärkeää, että vettä ei pääse vuotamaan rakenteen sisäosiin hirsien välisten saumojen kautta. Myös tästä syystä hirsien välisissä saumoissa ja nurkkaliitoksissa tulisi käyttää joustavia solumuovi- tai solukumitiivisteitä.

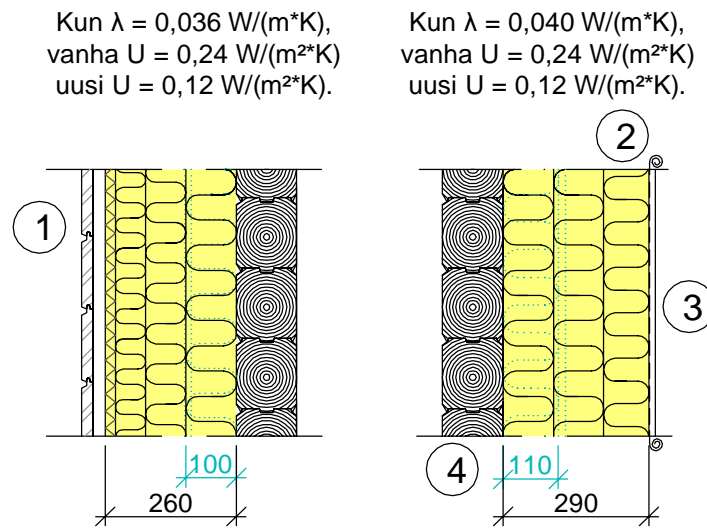
Hirsien päät ovat erityisen alttiita viistosaderasituksille, koska puu imee vettä syiden suuntaan moninkertaisesti syitä vasten poikittaiseen suuntaan verrattuna. Tästä syystä hirsien päät tulee suojata nurkkalaudoituksilla. Ristinurkkia käytettäessä hirsien päissä on suositeltavaa käyttää sadevedeltä suojaavaa pinnoitetta. (RIL 107-2012, 2012)

Ilmaääneneristävyys

Hirsiseinä on massiivinen rakenne, joka vaimentaa hyvin matalia ääniä. Lisäksi lisäeristykseen käytettävä pehmeä lämmöneriste absorboi korkeita ääniä. Näin ollen lisäeristetyn hirsirakennuksen ilmaääneneristävyys on lähtökohtaisesti hyvä. Alueilla, joilla on asetettu vaatimuksia rakenteiden ilmaääneneristävyydelle, voidaan tarvittaessa tehdä rakennusakustisia tarkasteluja tapauskohtaisesti.

Palomääräykset

Hirsitalot ovat käytännössä lähes aina pientaloja (P3-luokan rakennukset). P3-luokan rakennuksissa on käytettävä yleensä D-s2, d2 -luokan rakennustarvikkeita. Tuuletusvälin sisäpinnalle ei näissä rakennuksissa ole asetettu vaatimuksia.



1. Hirren ulkopuolella käytettävän lämmöneristeen tulee olla hyvin vesihöyryä läpäisevä. Ulkoverhouksen takana tulee olla tuuletusväli.
2. Sisäpuolen lämmöneristystä käytettäessä lämmöneristeen paksuuden on suositeltavaa olla ohut, jolloin hirren sisäpinnan lämpötila pysyy vielä kohtuullisen korkeana.
3. Sisäpuolisen lämmöneristykseen käyttö hirsiseinässä edellyttää ehdottoman ilmatiivistä rakennetta, jonka sisäpinnassa on riittävä höyrynsulku. Sisäpuolen ilmansulun lisäksi hirsien välisissä saumoissa ja nurkkaliitoksissa tulee käyttää joustavia solumuovi- tai kumitiivisteitä ilmatiivyyden varmistamiseksi. Tiivisteet estävät samalla sadeveden kulkeutumisen rakenteen sisäpintaan.
4. Hirsien on päästävä kuivumaan riittävästi ennen lämmöneristeen ja höyrynsulun laittoa, jotta hirsiseinän sisäpintaan ei muodostu homeen kasvulle otollisia olosuhteita. Kosteusolosuhteet voidaan tarkastaa piikkimittarin avulla.

4 Yläpohjat

4.1 Tuuletetut yläpohjat

Lämmöneristyksen lisääminen nykyisestä tasosta muuttaa tuuletettujen yläpohjien olosuhteita jonkin verran homeen kasvulle otollisemmiksi. Suurempi vaikutus yläpohjan kosteusolosuhteiden heikkenemiseen on kuitenkin ennustetulla ilmastonmuutoksella. Tuuletetuissa yläpohjissa esiintyy jo nykyisin homeen kasvulle otollisia olosuhteita pitkiä ajanjaksoja.

Kriittisimmät olosuhteet esiintyvät rakenteen yläosissa lähellä vesikatetta. Kirkkaina öinä vesikate jäähtyy ulkoilmaa kylmemmäksi katteen ulkopinnasta taivaalle lähtevän lämpösäteilyn takia. Tämä lisää entisestään riskiä homeen kasvulle ja kosteuden kondensoitumiselle. Tästä syystä aluskatteena tulee käyttää kosteutta kestäviä tuotteita, jotka eivät ole herkkiä homehtumaan.

Puurunkoisessa yläpohjassa kantavien puurakenteiden kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa laittamalla niiden ulkopuolelle lämmöneristys, jonka lämmönvastus on vähintään 0,4 m²K/W. Ristikkorakenteisessa tuuletetussa yläpohjassa kattoristikoiden ulkopuolinen lämmöneristys voidaan toteuttaa lämpöä eristävällä aluskatteella tai erillisellä aluskatteen ja ristikon yläpaarten väliin laitettavalla lämmöneristekerroksella. Vinoissa yläpohjissa kattovasojen ulkopuolinen lämmöneristys saadaan aikaan lämpöä eristävällä tuulensuojalla. Tässä rakenteessa tuulensuoja voi toimia samalla myös aluskatteena, jos se täyttää aluskatteelta vaadittavat ominaisuudet ja aluskatteen ja vesikatteen väli on riittävän hyvin tuuletettu. (RIL 107-2012, 2012)

Lämpöä eristävän aluskatteen on täytettävä kaikki perinteiselle ohuelle aluskatteelle asetetut vaatimukset, jotta sitä voidaan käyttää rakenteissa. Aluskatteen tulee olla vedenpitävä ja kosteutta kestävä eikä se saa repeytyä tai vaurioitua rakenteiden muodonmuutosten seurauksena. Jos vesikatteen alla on yhtenäinen lauta- tai vanerialusta, lämpöä eristävä aluskate voidaan asentaa sen päälle. Muussa tapauksessa se on tarvittaessa tuettava erikseen. (RIL 107-2012, 2012)

Vesikatetta asennettaessa on kiinnitykset alapuoliseen kantavaan puurakenteeseen suunniteltava siten, että vesikatteen ja kantavan puurakenteen välisessä liitoksessa säilyy riittävä lämmöneristys ja lujuus. (RIL 107-2012, 2012)

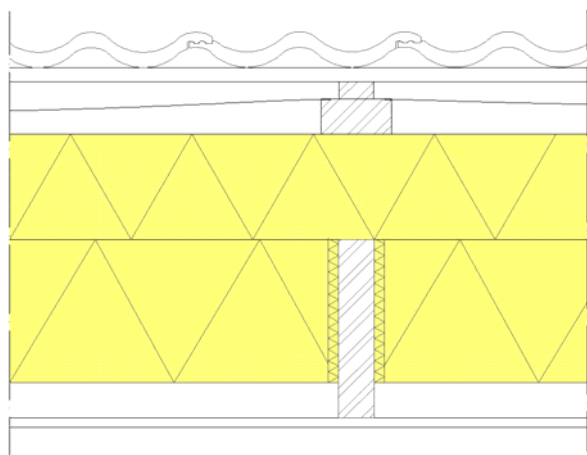
Ilmastonmuutoksen seurauksena ulkoilma sisältää enemmän kosteutta, joka lisää ajoittain merkittävästi yläpohjan kosteusrasitusta. Yläpohjaa tulee tuulettaa, mutta liian suuri tuuletus voi heikentää tuuletusvälin/-tilan kosteusolosuhteita. Tuuletustilan suositeltava ilmanvaihtokerroin on 0,5–1,0 1/h.

4.1.1 Puurakenteiset vinot yläpohjat

Kattokannattajat ja lämmöneristeet

Puurakenteisissa vinoissa yläpohjissa kantava rakenne voi koostua liima- tai viilupuuvasoista, erilaisista levyuumapalkeista tai matalista puuristikoista. Yleisesti kattokannattajan korkeus kasvaa nykyisestä merkittävästi. Kattokannattajien poikkileikkauksen leveyttä ei leimapaineen kestävyuden vuoksi ole yleensä mahdollista pienentää, joten kattokannattajien kapasiteetti yleensä kasvaa ja taipumat pienenevät aiempiin rakenteisiin verrattuna. Lämmöneristyskerroksen paksuntaminen johtaa usein kattokannattajien ylimitoitukseen, sillä kattokannattajaväliä ei ole mahdollista/järkevää kasvattaa nykyistä suuremmaksi, koska rakennustuotteet sopivat nykyiseen k-jakoon. Lisäksi kattokannattajien asentaminen nykyistä harvempaan johtaisi sekundäärirakenteiden dimensioiden kasvuun.

Vinoissa yläpohjissa lämmöneristeet on pääosin asennettu kattokannattajien väliin siten, että kattokannattajan ylin osa on katon tuuletusvälissä. Kattokannattajien kiepahdus estetään tyypillisesti vesikatteen alapuolisella ruodelaudoituksella. Kuormitusta kestävä solumuovipohjainen lämmöneriste voidaan asentaa myös siten, että kattokannattajat jäävät lämmöneristeen sisään, jolloin on huolehdittava kattokannattajien kiepahdustuennasta, ks. kuva 4.1. Tällöin kiepahdustuenta on useimmissa tapauksissa mahdollista toteuttaa jäykällä solumuovieristeillä, jotka vaahdotetaan kattokannattajien väliin. Kattorakenteen jäykistys toteutetaan yleisimmin pelkästään sisäpuolisilla rakenteilla. Rakennetta tehtäessä on varmistuttava, että puuvasat ovat riittävän kuivia ennen kuin solumuovieristeet vaahdotetaan kiinni niiden ympärille.



Kuva 4.1 Vino puurakenteinen yläpohja, jossa osa lämmöneristyksestä on kantavien vasojen yläpuolella. Rakenteen suunnittelussa ja vasojen yläpuolisen lämmöneristepaksuuden määrittämisessä on otettava huomioon, ettei vasojen yläosaan pääse muodostumaan homeelle ja kosteuden kondensoitumiselle otollisia olosuhteita.

Levymäiset mineraalivillalämmöneristeet asennetaan kattokannattajien väliin useammassa kerroksessa. Lämmöneristeet tulee asentaa tiiviisti toisiaan ja kattokannattajia vasten. Eristeiden väliin ei saa jäädä rakoja.

Yleisimmin jäykät levymäiset lämmöneristeet ovat solumuovipohjaisia ja ne voidaan asentaa kattokannattajien väliin pu-vaahdolla. Solumuovipohjaisten lämmöneristeiden asennuksessa noudatetaan kohdassa 1.4 annettuja ohjeita.

Ristikkokannattajien yhteydessä on suositeltavaa käyttää puhallusvillaa ristikon diagonaalien välien täyttämisen varmistamiseksi. Puhallusvillan ilmanläpäisevyyden tulisi olla riittävän alhainen, jotta eristekerroksessa ei pääse syntymään merkittävää sisäistä konvektiota. Puhallusvillan yhteydessä kattokannattajien väleistä tulee muodostaa koteloida, jotka voidaan täyttää yksittäin. Tämä edellyttää yläpinnan tuulensuojalevyn lisäksi ristikkokannattajien kylkiin esim. sitkeän paperin asentamista. Levyuuma-, kerto- ja liimapuukannattajissa palkki itsessään muodostaa puhallettavan kotelon reunat. Lämmöneristeiden aiheuttama paino on otettava huomioon alapuolisen koolauksen mitoituksessa. Tarvittaessa koolausta on tihennettävä tai käytettäessä tuennassa levyrakennetta.

Ilmatiiviys ja höyrynsulku

Puurakenteisissa vasakatoissa ilma- ja vesihöyrytiiviys ovat yhtä tärkeitä kuin muissakin katoissa. Mikäli palkkirakenteista siirrytään mataliin NR-ristikoihin, ala- ja yläpaarteiden erilaisesta kosteustilasta johtuen rakenteen kosteusmuodonmuutokset tulevat lisääntymään merkittävästi. Tämä on otettava huomioon liitosten suunnittelussa ja tiivistämisessä.

Puurakenteisissa yläpohjissa rakenteen ilmatiiviys aikaansaadaan joko kalvomaisilla tai levymäisillä rakennustarvikkeilla. Käytännössä sama rakennekerros toimii myös yläpohjan höyrynsulkuna. Paksuudeltaan 0,2 mm höyrynsulkumuovi on ollut käytetyin ilman- ja höyrynsulku kaikissa puurakenteisissa yläpohjissa. Kalvomainen höyrynsulku tulee asentaa siten, että sähköasennuksista ei aiheudu höyrynsulkuun reikiä. Tästä syystä höyrynsulku on suositeltavaa asentaa enintään 50 mm etäisyydelle sisäpinnasta levyn taakse. Höyrynsulkukalvon jatkokset sekä liitokset muihin rakennusosiin sekä aukkojen ja läpivientien ilmatiiviisiin kerroksiin tulee toteuttaa vähintään 150 mm limityksin ja puristavalla liitoksella. Erilaisia ilman-/höyrynsulkukalvojen ja -levyjen tiivistystapoja on esitetty mm. lähteessä Aho & Korpi toim. (2009).

Yläpohjan ilmansulkuna voidaan käyttää myös solumuovieristelevyillä, joilla on riittävän suuri vesihöyrynvastus. Solumuovieristeet vaahdotetaan kattokannattajien väliin kohdassa 1.4 esitetyllä tavalla rakenteiden liikkeet huomioon ottavalla saumausvälillä ja joustavalla saumausvaahdolla. Kattorakenteiden kuormituksesta aiheutuvaa painumaa on syytä rajoittaa erityisesti palkin ja seinän liitoksessa, jotta pu-vaahdotus pysyy ehjänä.

Yläpohjan läpivientien tiivistämiseen on kiinnittävä erityistä huomiota. Kalvomaiseen höyryn-/ilmansulkuun tehtäviä reikiä tulee välttää. Läpiviennit on suositeltavaa toteuttaa aina solumuovieristeestä tehtävän kauluksen avulla, jolloin läpivientien tiivistäminen onnistuu pu-vaahdolla (ks. kuva 3.2). Yhden putken muodostamissa läpivienneissä voidaan vaihtoehtoisesti käyttää myös joustavia muovisia tai kumisia läpivientikauluksia. Solumuovieristettyihin yläpohjiin ei erityistä läpivientikaulusta tarvita.

Kevythormit

Elementeistä koostuvissa metallisissa kevythormeissa savukaasujen lämpötila voi nousta liian korkeaksi paikallisesti paksun yläpohjan lämmöneristeen kohdalla aiheuttaen palovaaran. Kevythormien liitoskohdassa yläpohjan lämmöneristykseen paksuutta on paikallisesti pienennettävä (Tutkimusselostus TTY/PALO/1950, 2011).



Kuva 4.1 Paksu lämmöneristekerros yläpohjassa voi aiheuttaa kevythormien ympärillä olevaan lämmöneristeeseen ja yläpohjapalkkeihin palovaaran. Kevythormin kohdalla eristeen paksuutta on vähennettävä, jotta eriste viilenisi tehokkaammin.

Ilmaääneneristys

Käytettäessä solumuovieristeitä puurakenteisissa vinoissa yläpohjissa tulee suunnittelussa ottaa huomioon niiden vaikutus rakennuksen ilmaääneneristykseen. Kevyiden lämmöneristeiden ilmaääneneristyskyky on varsin vaatimaton, joten rakenteeseen tarvitaan toisaalta massaa matalien äänien vaimentamiseksi ja toisaalta pehmeää materiaalia korkeiden äänien absorboimiseen. Alueilla, joilla on asetettu vaatimuksia rakenteiden ilmaääneneristävyydelle, tulee tehdä rakennusakustiset tarkastelut tapauskohtaisesti.

Yksinkertaisimmillaan yläpohjan ilmaääneneristävyyttä voidaan parantaa jättämällä solumuovipohjaisten lämmöneristeiden alle 100–150 mm ilmarako ja asentamalla yläpohjan sisäpintaan 50 mm mineraalivillaa sekä sisäpintaan kaksinkertainen kipsilevytys. Solumuovieristeet toimivat tyypillisesti rakenteen ilman- ja höyrünsulkuna, joten sisäpuolelle asennettavan ääneneristysmateriaalin vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan on tarkastettava tapauskohtaisesti laskelmin.

Palon leviämisen estäminen

Mm. rivi-, pari- ja kytketyissä pientaloissa käytetään yleisesti puurakenteisia yläpohjia. Tällaisissa rakennuksissa jokainen huoneisto sekä esim. varastotilat ovat omia palo-osastoja. Palon leviäminen palo-osastosta toiseen on estettävä myös yläpohjassa ja räystäillä. Ullakon osastovien rakennusosien luokkavaatimus on EI 30.

Tuuletetut yläpohjaontelot sekä ullakkotilat jaetaan osiin tehokkailla palokatkoilla palon leviämisen rajoittamiseksi. Tyypillisesti kaksi päällekkäistä kipsilevyä on ollut riittävä palosuoja. Joissakin tapauksissa on vaadittu kipsilevyt molemmiin puolin kattoristikkoa ja väliin palamaton mineraalivilla.

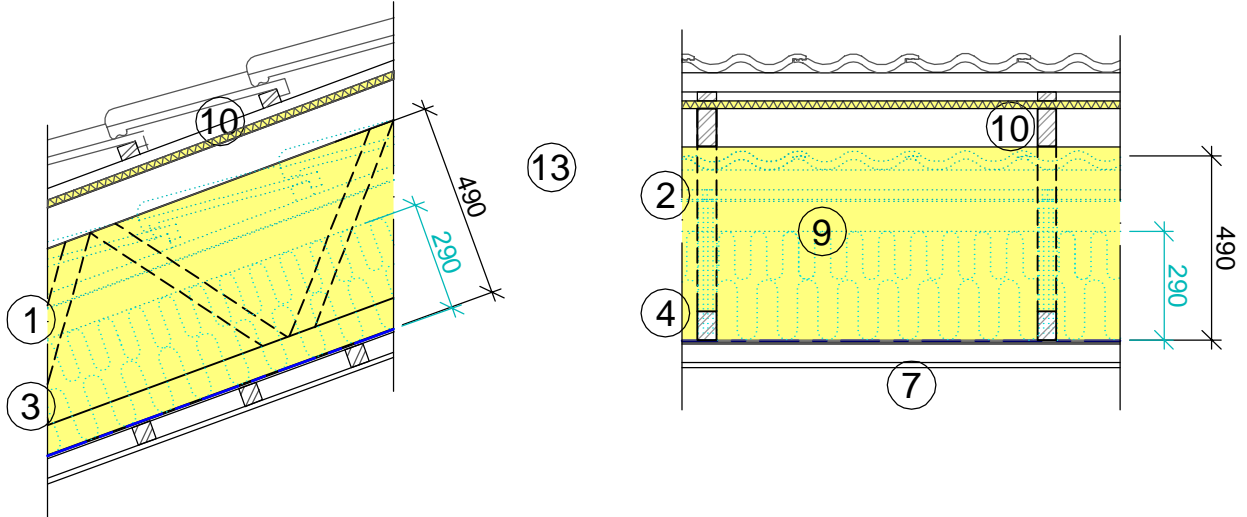
Ullakon ja yläpohjaontelon palokatko on ulotettava vesikaterakenteeseen saakka, minkä seurauksena yläpohjaontelon tuuletus on järjestettävä näillä kohdin riittäväksi räystäiden

kautta ja tarvittaessa esim. harjatuuletuksella. Vesikatteen ja aluskatteen välissä käytettävä palokatkomateriaali estää tuuletuksen palokatkon leveydeltä. Vesikatteen ja palokatkon väliin jäävä materiaali voi myös vettyä ja pitää ruoteita paikallisesti tavallista kosteampina. Tällaisten kohtien seuranta tulee sisällyttää rakennuksen normaalin huollon piiriin.

Räystäään ontelo katkaistaan siten, ettei palo pääse helposti kiertämään ulkokautta. Tässä tulee käyttää riittävän leveää kaistaa B-s1, d0-luokan rakennustarviketta.

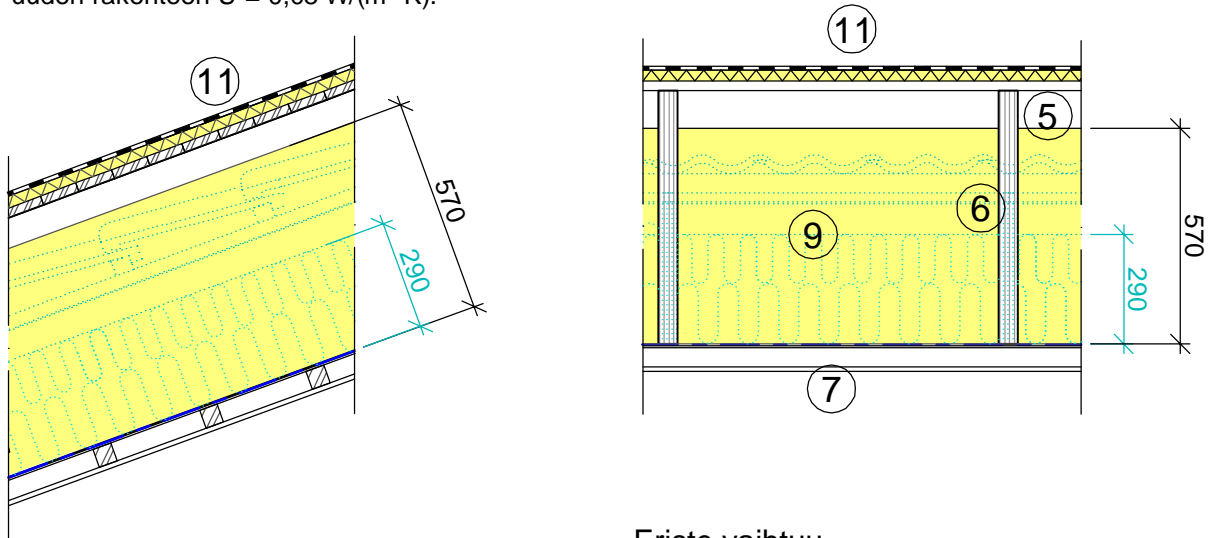
Paksumpi vino yläpohja: Palkki vaihdettu ristikoksi

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
vanhan rakenteen $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uuden rakenteen $U = 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.

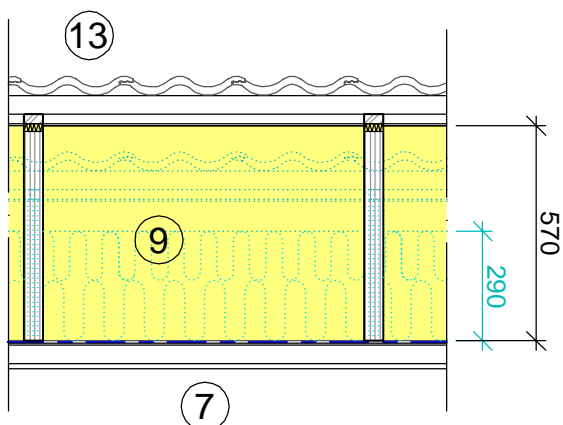


Paksumpi vino yläpohja: Palkkirakenne - palkkia kasvatettu

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
vanhan rakenteen $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uuden rakenteen $U = 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.

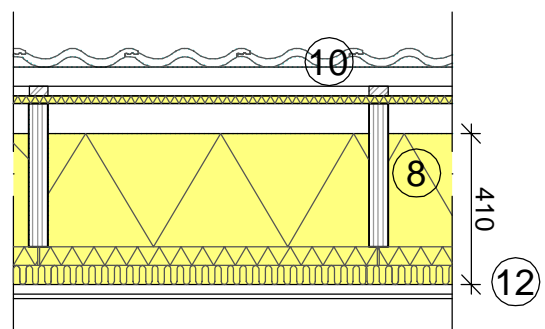


Diffuusiooavoin aluskate



Eriste vaihtuu

$\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$
 $U = 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$



1. Levyvillan käyttö kattoristikoiden kanssa on työtekniisesti vaikeaa. Puhalluseristettä on suositeltavaa käyttää ainakin alapaarteen yläpuolisilla osilla. Puhalluseristeen ilmanläpäisevyyden tulisi olla riittävän alhainen, jotta eristekerroksessa ei pääse syntymään merkittävää sisäistä konvektiota.
2. Puhalluseristettä käytettäessä kattoristikoiden väleistä tulee muodostaa koteloita, jotka voidaan täyttää yksitellen. Tämä edellyttää yläpinnan tuulensuojalevyn lisäksi ristikkokannattajien kylkiin esim. sitkeän paperin asentamista.
3. Puhalluseristeen epätasainen painuminen on otettava huomioon etenkin jyrkissä katoissa, koska tämä voi aiheuttaa puhallusvillakerroksen paikallista liikkumista ja näin ollen eristyskyvyn heikkenemistä.
4. Ristikön kosteusmuodonmuutokset ovat suurempia verrattuna palkkirakenteeseen. Tämä voi johtaa rakenteen liikkeiden kasvamiseen.
5. Palkkiratkaisussa levyeristeiden käyttö koko eristyspaksuudella on mahdollista.
6. Palkkien korkeuden lisääminen eristepaksuuden mukaan johtaa kantavien rakenteiden ylimitoitukseen. Jos palkkien korkeuden aiheuttamaa ylimitoitusta kompensoidaan tekemällä palkeista ohuempia, mittapoikkeamat ja kosteusmuodonmuutokset kasvavat ja palkkien ja rakennusosien sidonta ja tuenta vaikeutuvat.
7. Lämmöneristeen oman painon aiheuttama kuorma ja mahdollinen tuentatarve on otettava huomioon alapuolisissa koolauksissa. Tuentaa parannetaan tihentämällä koolausta tai käyttämällä alapuolella levyrakennetta.
8. Solumuovieristelevyjen huolelliseen tiivistykseen tulee kiinnittää huomiota. Jotta tiivistysvaahtoa olisi tasaisesti koko eristekerroksen paksuudella, on tiivistys syytä tehdä kerroksittain. Kahden eristekerroksen käyttäminen voi olla työtekniisesti helpompaa.
9. Kevythormien aiheuttama kuumeneminen paksun eristekerroksen sisällä on otettava huomioon savuhormien läpivientikohdissa siten, että eristyspaksuutta tarvittaessa pienennetään savuhormin ympärillä.
10. Lämpöä eristävän aluskatteen käyttö parantaa yläpohjan kosteusteknistä toimintaa ja suojaa kantavia puurakenteita. Aluskatteen lämmönvastuksen tulisi olla vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$.
11. Jos vesikatteen alla on yhtenäinen lauta- tai vanerialusta, lämpöä eristävä aluskate voidaan asentaa sen päälle. Muussa tapauksessa se on tarvittaessa tuettava erikseen.
12. Akustisista syistä sisäpinnassa voi olla tarpeen käyttää ääntä vaimentavaa eristettä. Akustisen eristeen lisääminen parantaa myös yläpohjan U-arvoa.
13. Jos rakenteessa käytetään diffuusioavointa aluskatetta, voidaan rakenne toteuttaa pienemmällä tuuletusvälillä. Tässäkin tapauksessa kantavien puurakenteiden yläpuolella tulisi olla lämmöneristystä siten, että eristeen lämmönvastus on vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$.

4.1.2 Puurakenteiset tuuletustilalliset yläpohjat

Puurakenteisilla tuuletustilallisilla yläpohjilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sekä ristikkorakenteisia yläpohjia että kantavan betonirakenteen päälle tehtyjä puurakenteisia vesikattorakenteita. Kantavana betonirakenteena on tyypillisesti joko paikallavalulaatta tai ontelolaatasto.

Kattoristikoiden toteutettuja puurakenteisia yläpohjia koskevat soveltuvin osin samat ohjeet kuin puurakenteisia vinoja yläpohjia (ks. luku 4.1.1). Niitä ei ole erikseen lueteltu tässä yhteydessä.

Lämmöneristeet

Levyvillan käyttö on puusta tehtyjen tukirakenteiden ja kattoristikoiden kanssa työtekniisesti vaikeaa. Puhallusvillaa on suositeltavaa käyttää ainakin alapaarteen yläpuolisilla osilla. Sisäinen konvektio voi kuitenkin heikentää tavanomaisten puhalluseristeiden lämmöneristyskykyä merkittävästi paksuissa rakenteissa. Konvektion vaikutus kasvaa eristekerroksen kasvaessa. Sisäisen konvektion vaikutusta voidaan vähentää käyttämällä lämmöneristeitä, joilla on pieni ilmanläpäisevyys ja asentamalla eristeet huolellisesti niin, että eristekerrokseen ei synny rakoja ja onkaloita. Puhalluseristeitä käytettäessä sisäistä konvektiota voidaan vähentää myös korvaamalla osa puhalluseristeestä rakenteen sisäpintaan asennettavalla levyeristeellä.

Ilmatiiviys ja höyrynsulku

Kantavan betonilaatan päältä tuettujen yläpohjien läpivientien ja liitosten huolellinen tiivistäminen on erityisen tärkeää, jotta sisäilman kosteus ei kulkeudu yläpohjaonteloon ja toisaalta korvausilmaa ei imeytä yläpohjan kautta sisäilmaan. Betonilaatan ilmatiiviys varmistetaan asentamalla bitumikermi kauttaaltaan betonilaatan päälle. Kermi suojaa samalla betonirakennetta rakennusaikaiselta sadevesirasitukselta ennen kattorakenteen asennusta. Hyvän ilmatiiviuden saavuttamiseksi bitumikermin liimaukseen puhtaille ja kuiville betonipinnoille on kiinnitettävä erityistä huomiota. Yläpohjaan ontelolaataston päälle levitettävä 0,2 mm höyrynsulkumuovi ei ole yhtenäinen eikä ole siksi riittävä ilmansulku.

Myös kattoristikolla toteutetun tuulettun yläpohjan ilman- ja höyrytiiviyyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota edellä mainituista syistä. Erilaisia ilman-/höyrynsulkukalvojen ja -levyjen tiivistystapoja on esitetty mm. lähteessä Aho & Korpi toim. (2009).

Ilmaääneneristys

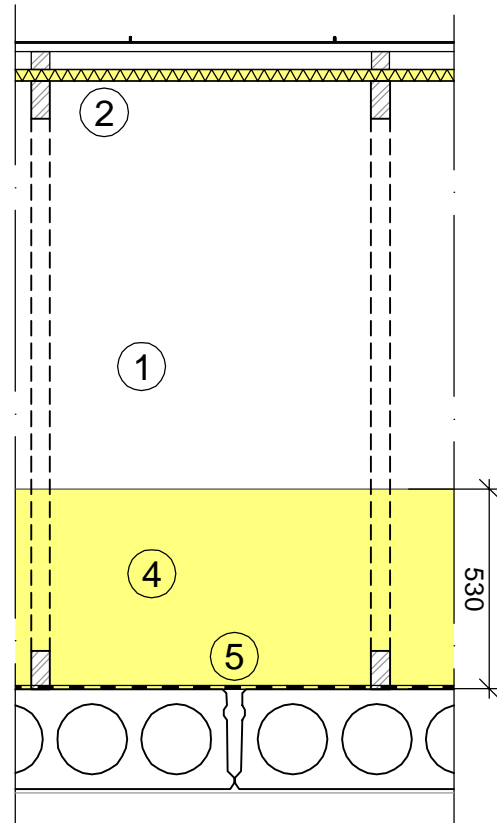
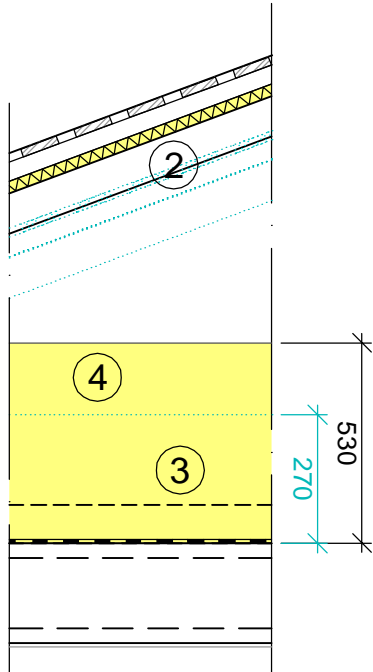
Kantavan ontelolaataston ansiosta betonirakenteisessa yläpohjarakenteessa on mahdollista saavuttaa hyvä ilmaääneneristys helposti. Lämmöneristeellä ei ole juurikaan vaikutusta ilmaääneneristykseen tässä rakennetyypissä, vaan oleellista on huolehtia betonivalujen ja läpivientien ilmatiiviyydestä.

Palon leviämisen estäminen

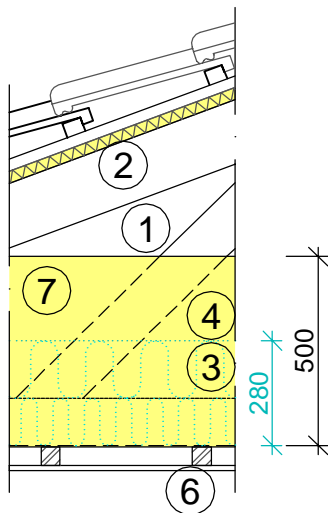
Yläpohjan kantavalla betonilaatalla on mahdollista osastoida yläpohjaontelo omaksi palo-osastoksi, jonka enimmäiskoko on P1 ja P2 luokan rakennuksissa on 1600 m². P3-luokan rakennuksissa käytetään harvemmin kantavaa betonilaattaa yläpohjassa.

Mikäli yläpohjaonteloon tarvitaan palo-osastointia, osastoivien rakennusosien luokkavaatimus on EI 30 ja se tehdään kohdan 4.1.1 periaatteiden mukaan.

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
vanhan rakenteen $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uuden rakenteen $U = 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
vanhan rakenteen $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uuden rakenteen $U = 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



1. Yläpohjan lämmöneristyksen lisäys jäähdyttää tuuletustilaa varsinkin lähellä vesikatetta ja lisää homeen kasvulle otollisia olosuhteita.
2. Aluskatteena tulee käyttää hyvin kosteutta kestävästä materiaalista, joka ei homehdu herkästi. Lisäksi lämpöä eristävän aluskatteen käyttö parantaa yläpohjan kosteusteknistä toimintaa ja suojaa kantavia puurakenteita. Aluskatteen lämmönvastuksen tulisi olla vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$.
3. Lämmöneristys suositellaan tehtäväksi säältä suojattuna, jotta materiaalit eivät kastuisi tai muuten vaurioituisi rakentamisen aikana.
4. Levyvillan käyttö on puusta tehtyjen tukirakenteiden ja kattoristikoiden kanssa työteknisesti vaikeaa. Puhalluseristettä on suositeltavaa käyttää ainakin alapaarteen yläpuolisilla osilla. Puhalluseristeen ilmanläpäisevyyden tulisi olla riittävän alhainen, jotta eristekerroksessa ei pääse syntymään merkittävää sisäistä konvektiota.
5. Yläpohjan ilmatiiviyydestä on huolehdittava, jotta sisäilman kosteutta ei pääse ilmavirtausten mukana yläpohjaan ja jotta yläpohjassa mahdollisesti esiintyvien mikrobien kulkeutuminen sisäilmaan ehkäistäisiin. Ontelolaattayläpohjan ilmatiiviys varmistetaan laattojen päälle asennettavan bitumikermin avulla, jonka saumat hitsataan / liimataan huolellisesti. Samalla bitumikermin toimii ontelolaataston rakennusaikaisena vedeneristeenä.
6. Ristikkoyläpohjissa lämmöneristeen oman painon aiheuttama kuorma ja mahdollinen tuentatarve on otettava huomioon alapuolisissa koolauksissa. Tuenta parannetaan tihentämällä koolausta tai käyttämällä alapuolella levyrakennetta.
7. Kevythormien aiheuttama kuumeneminen paksun eristekerroksen sisällä on otettava huomioon savuhormien läpivientikohdissa siten, että eristyspaksuutta tarvittaessa pienennetään savuhormin ympärillä.

4.2 Heikosti tuulettuvat kattorakenteet

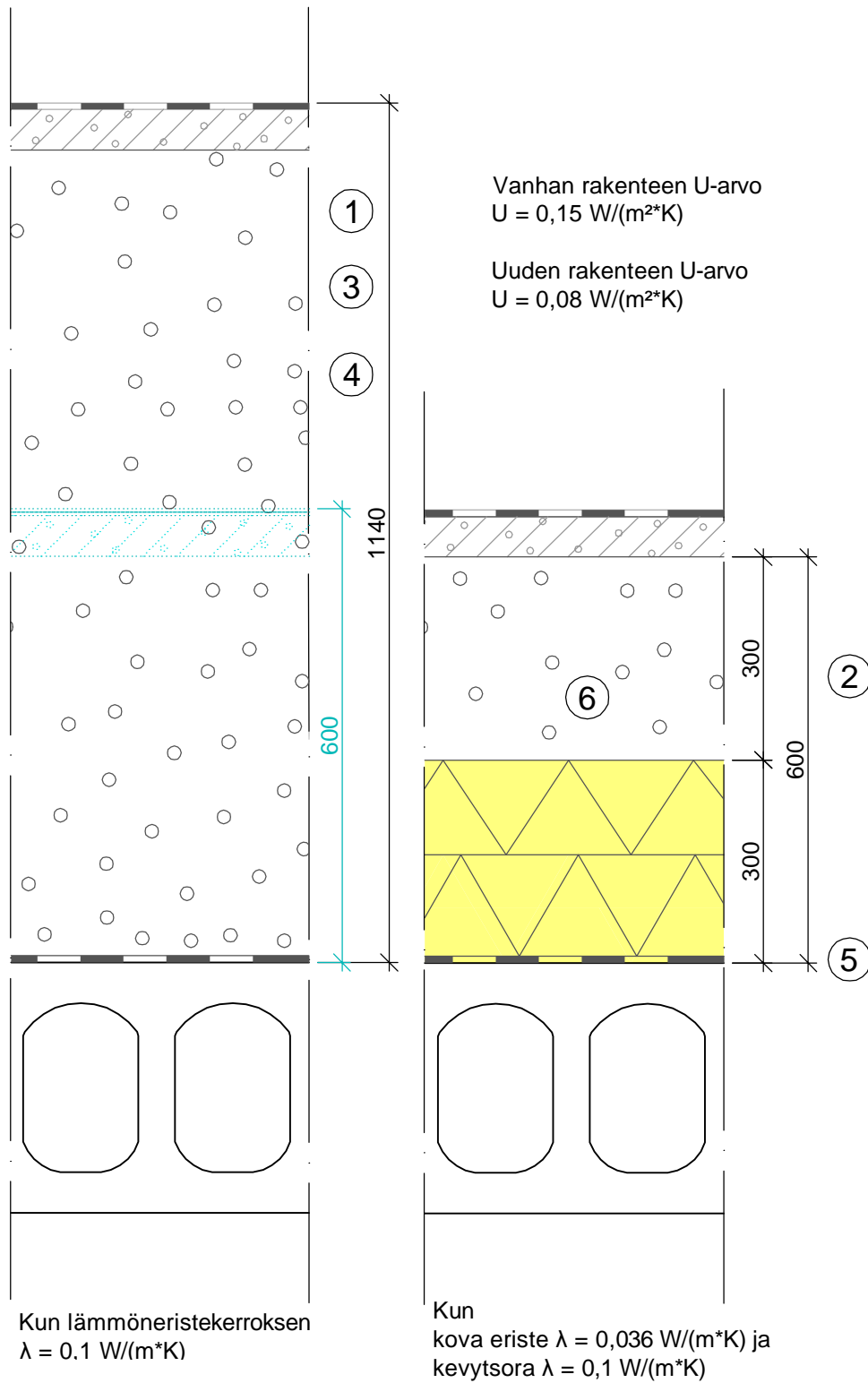
Rakennusaikainen sadevesisuojaus

Kerrostalojen yläpohjissa käytetään yleisesti kevytsoraeristettyjä bitumikermikattoja, joissa tuuletus on järjestetty painovoimaisena räystäältä sekä lisäksi mahdollisesti ns. alipainetuulettimin katon keskiosilta. Kattorakenteen tuuletus on vähäistä, joten näitä kattoja voidaan pitää lähes umpirakenteina. Rakennusaikainen kosteudenhallinta ja sadevedeltä suojaaminen ovat keskeinen edellytys rakenteen onnistuneelle toteutukselle, sillä rakenteeseen päässyt vesi poistuu kevytsoraeristetystä katosta erittäin hitaasti.

Lämmöneristeiden kastuminen työaikana on estettävä hyvällä suojauksella, mikä laajoilla kattopinnoilla saattaa olla hyvinkin haastavaa. Lämmöneristeiden asennus on suositeltavaa tehdä tilapäissuojien alla. Taivasalla tehtävä kattotyö on suunniteltava siten, että lämmöneristeet ehditään peittää sateen sattuessa tilapäissuojalla ja vesikate ehditään asentaa ennen työpäivän päättymistä. Veden kulkeutuminen valmiilta kattopinnalta vielä keskeneräiseen kattorakenteeseen ja lämmöneristeisiin on estettävä.

Lämmöneristeet

Yläpohjan lämmöneristystä lisättäessä nykyisestä määräyastasosta (RakMK D3 2012), tarvittavan kevytsoran määrä kasvaa niin suureksi ettei sen käyttö ainoana lämmöneristeenä ole enää mielekäästä. Kevytsorakatoissa voidaan siirtyä käyttämään ns. hybridirakennetta, missä kevytsoran alla on kosteutta ja alkalisuutta kestävää solumuovieristettä tai kuormitusta kestävää mineraalivillaa ja tämän päällä kerros kevytsoraa. Tällä ratkaisulla on mahdollista saada aikaiseksi hyvin kuormitusta kestäviä kattorakenteita.



1. Kevytsorakerroksen paksuuntuminen lisää työtekniistä vaikeutta ja kasvattaa rakenteen omaa painoa.
2. Hybridirakenne mahdollistaa lämmöneristävyyden parantamisen ilman eristekerroksen paksuntamista.
3. Lämmöneristeen kosteus määrä ja -kapasiteetti kasvavat. Tämän vuoksi eristetilan tuuletukseen ja rakennusaikaiseen sadesuojaukseen on kiinnitettävä enemmän huomiota.
4. Sisäisen konvektion vaikutus lämmöneristävyyteen kasvaa. Sisäistä konvektiota lisää myös tarvittava tuuletuksen lisäys.
5. Eristetilaan rakennusaikana satanut ja talvikausina tiivistyvä kosteus valuu EPS-eristeiden alle, mistä se kuivuu hyvin hitaasti. Eristeen alapinnan kuivumiskykyä voidaan parantaa EPS-eristeen urituksen ja eristeen levyjen saumoihin tehtyjen tuuletusreikien avulla.
6. Mikäli LVI-tekniikkaa sijoitetaan hybridirakenteen kevytsorakerrokseen, on otettava huomioon mahdolliset kosteuden tiivistymisestä johtuvat ongelmat. Kevytsora ei saa olla suorassa kontaktissa metalliin, vaan iv-putket on eristettävä erillisellä lämmöneristyksellä.

4.3 Tuulettumattomat yläpohjat

Tyypillisesti suurten teollisuus- ja liikerakennusten yläpohjissa käytetään mineraalivillaeristeisiä bitumikermikattoja. Näissä rakenteissa tuuletus on järjestetty painovoimaisena räystäältä sekä lisäksi mahdollisesti ns. alipainetuulettimin katon keskiosilta. Kattorakenteen tuuletus on niin vaatimatonta ja satunnaista, että näitä voidaan pitää ns. umpirakenteina.

Rakennusaikainen sadevesisuojaus

Rakennusaikainen kosteudenhallinta ja sadevedeltä suojaaminen ovat keskeinen edellytys rakenteen onnistuneelle toteutukselle, sillä rakenteeseen päässeän veden poistuminen umpinaisesta kattorakenteesta kestää useita vuosia.

Lämmöneristeiden kastuminen työaikana on estettävä hyvällä suojauksella, mikä laajoilla kattopinnoilla saattaa olla hyvinkin haastavaa. Lämmöneristeiden asennus on suositeltavaa tehdä tilapäissuojien alla. Taivasalla tehtävä kattotyö on suunniteltava siten, että lämmöneristeet ehditään peittää sateen sattuessa tilapäissuojalla ja vesikate ehditään asentaa ennen työpäivän päättymistä. Veden kulkeutuminen valmiilta kattopinnalta vielä keskeneräiseen kattorakenteeseen ja lämmöneristeisiin on estettävä.

Vesikatteen mekaaninen kiinnitys

Vesikate kiinnitetään mekaanisin kiinnikkein lämmöneristekerroksen läpi kantavaan rakenteeseen. Betonirakenteisessa yläpohjassa kiinnikkeiden asennusreikien poraaminen onnistuu melko helposti, koska lämmöneristeiden alla on kauttaaltaan kova kiinnitysalusta. Kiinnikkeiden poraamista TT-laattojen saumakohtiin tulee kuitenkin välttää.

Kantavassa peltiohutlevyissä kiinnikkeiden osuminen lämmöneristekerroksen läpi teräsprofiilin ylälaippaan on huomattavasti haastavampaa, sillä peltiohutlevyissä lämmöneristeiden alla on noin 70 % tyhjää tilaa. Tästä johtuen mekaanisten kiinnikkeiden paikkojen mittaaminen on erittäin tärkeä ja vaativa tehtävä. Ylälaipasta ohimenneet kiinnikkeet aiheuttavat höyrynsulkuun reikiä. Peltiohutlevyn yläpintaan on suositeltavaa asentaa noin 15 mm paksuinen vaneri tai vastaava jäykkä levy, joka toimii paitsi yhtenäisenä vesikatteen kiinnikkeiden kiinnitysalustana, myös tukee höyrynsulkua ja estää jalan painumisen alimman lämmöneristeen läpi astuttaessa ohutlevyn kolon kohdalle. Höyrynsulkumuovien jatkokset ja läpivientien tiivistykset on mahdollista saada tiiviiksi vain puristusliitoksien.

Lämmöneristeiden painuminen

Lämmöneristekerroksen paksuuntuminen lisää lämmöneristeiden painumista kuormituksen alaisena, mikä on otettava huomioon mm. mekaanisten kiinnikkeiden valinnassa sekä kulkuteiden suunnittelussa. Vesikatteen mekaanisten kiinnikkeiden tulee joustaa riittävästi kuormituksen alla, jottei kiinnikkeiden kohdille muodostu ns. kovia kohtia, ja vesikate siten rikkoudu. Mineraalivillakatot eivät ole tarkoitettu kuljettaviksi, kulkuväylillä eriste painuu

jalan alla kasaan ja toistuvassa rasituksessa pehmenee. Kulkuväylille tulee suunnitella erilliset kulkusillat tai kulkuväylillä lämmöneristeen tulee olla kuormitusta kestävää tarkoitukseen soveltuvaa solumuovieristettä. Lisäksi kulkuväylät tulee merkitä esim. erivärisellä pintakermillä.

Solumuovieristetyillä bitumikermikatteilla tarvitaan solumuovin ja bitumikermin väliin paloa eristävä mineraalivillakerros sekä lisäksi palokatkoja. Palokatkojen kohdilla lämmöneristeissä esiintyy kuormituksen alla nykyistä suurempia painumaeroja paksumpien lämmöneristekerrosten vuoksi. Näistä painumaeroista ei saa syntyä katolle lammikoitumista.

Elementtien kuljetus ja asennus

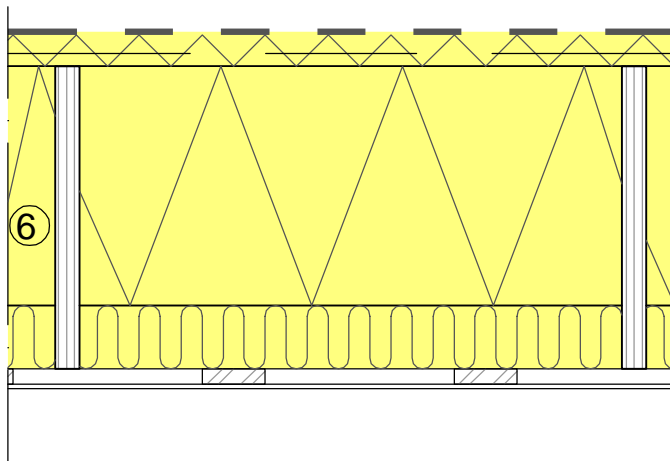
Suurten kattoelementtien kuljetuksessa ja asennuksessa niihin kohdistuu toisenlaisia voimia kuin katossa käyttötilassa. Kattoelementin koostuessa puuvasoista, lämmöneristeistä ja pintarakenteista tulee kiinnittää erityistä huomiota elementin ehjänä pysymiseen. Erityisesti solumuovipohjaisilla lämmöneristeillä toteutetuissa elementeissä solumuovieristeen vaahdotusliitos puuvasoihin on murtumisherkkä.

Kattoelementtien saumojen ilmatiiviys

Kattoelementtien välisten liitosten ilmatiiviyteen ja lämmöneristykseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kattorakenteen paksuuntuessa lämmöneriste tulee asentaa tiiviisti kiinni ympäröiviin rakenteisiin ja höyrynsulun sekä vesikatteen tulee olla jatkuvia.

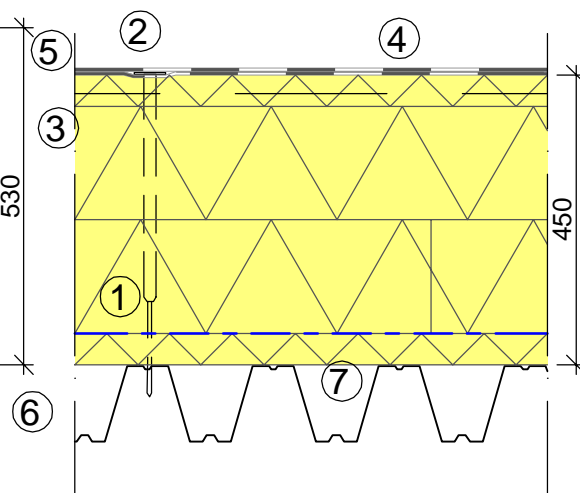
Tuulettumaton muovieristeinen vasakatto

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}^2\text{K)}$,
rakenteen $U = 0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.



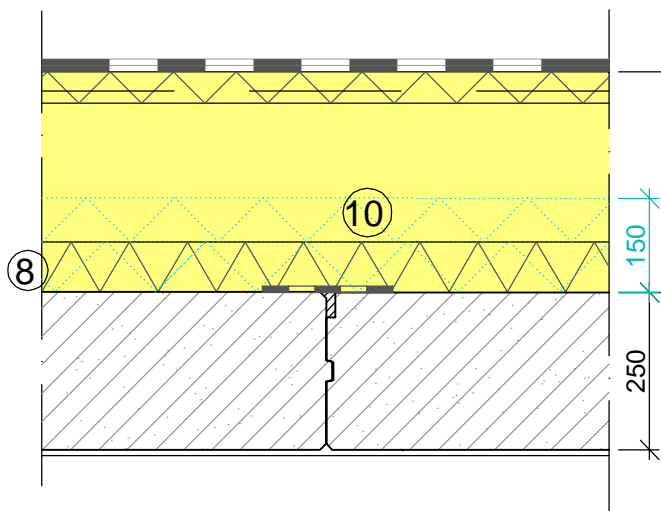
Tuulettumaton teräsprofiilikatto

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}^2\text{K)}$,
rakenteen $U = 0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.



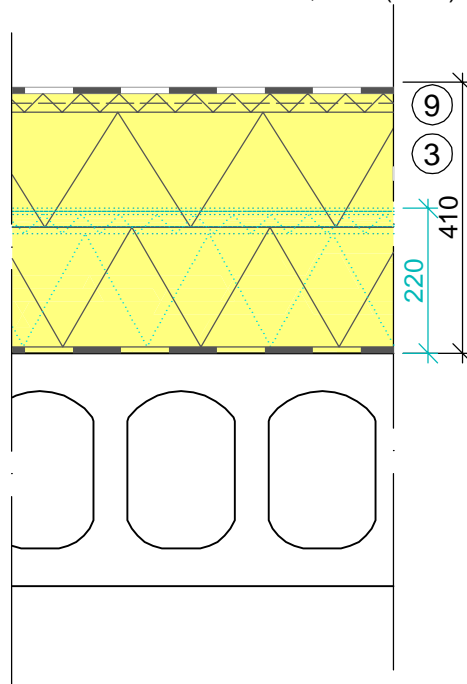
Tuulettumaton kevytbetonikatto

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}^2\text{K)}$,
vanhan rakenteen $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ja
uuden rakenteen $U = 0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.



Ontelolaattayläpohja

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}^2\text{K)}$,
vanhan rakenteen $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
uuden rakenteen $U = 0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



1. Eristeiden kiinnitys paksun eristekerroksen läpi voi olla vaikeaa, koska teräsprofiilin ylälaipan sijaintia on vaikea tietää.
2. Työnaikainen sadesuojaus on entistä tärkeämpää, koska kosteutta voi varastoitua paksumpiin rakenteisiin enemmän ja kuivuminen on pienemmän lämpövirran vuoksi hitaampaa.
3. Mineraalivillan eristeiden painuminen lisääntyy, mikä on otettava huomioon esimerkiksi läpivienneissä. Tosin kovilla eristeillä tämä ei ole ongelma.
4. Kulkuväylät on otettava suunnittelussa huomioon ja merkittävä katolle näkyviin.
5. Paksummat rakennekerrokset on otettava huomioon räystäsalueiden suunnittelussa muun muassa suurempien painumien ja taipumien vuoksi.
6. Läpivientien ja saumakohtien merkitys kylmäsiltoina korostuu.
7. Alimman lämmöneristeen ja höyrynsulun rakennusaikainen rikkoutumisriski on otettava huomioon. Peltiohutlevyn yläpintaan on suositeltavaa asentaa esimerkiksi 15 mm paksu vaneri, joka toimii kiinnikkeiden kiinnitysalustana.
8. Höyrynsulku voidaan toteuttaa myös riittävän vesihöyrynvastuksen omaavalla solumuovieristeellä.
9. Vedeneristekermin alla olevassa eristeessä pitää olla tuuletusurat.
10. Yläpohjaelementtien välisen sauman yläpuolelle suositellaan asennettavaksi erillinen ilmansulku. Kaista voi olla esimerkiksi kumibitumikermikaista ja sen tulee limittyä elementtien kanssa vähintään 100 mm.

5 Alapohjat

5.1 Ryömintätilaiset alapohjat

Ryömintätilaisessa alapohjassa on jo nykyisillä eristepaksuuksilla hyvin usein homeen kasvulle otolliset olosuhteet. Lämmöneristyksen lisääminen pidentää homeen kasvulle suotuisien ajanjaksojen pituutta lisäten samalla ryömintätilan pintojen homehtumisriskiä. Myös ilmastomuutos lisää kosteusriskejä merkittävästi.

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

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

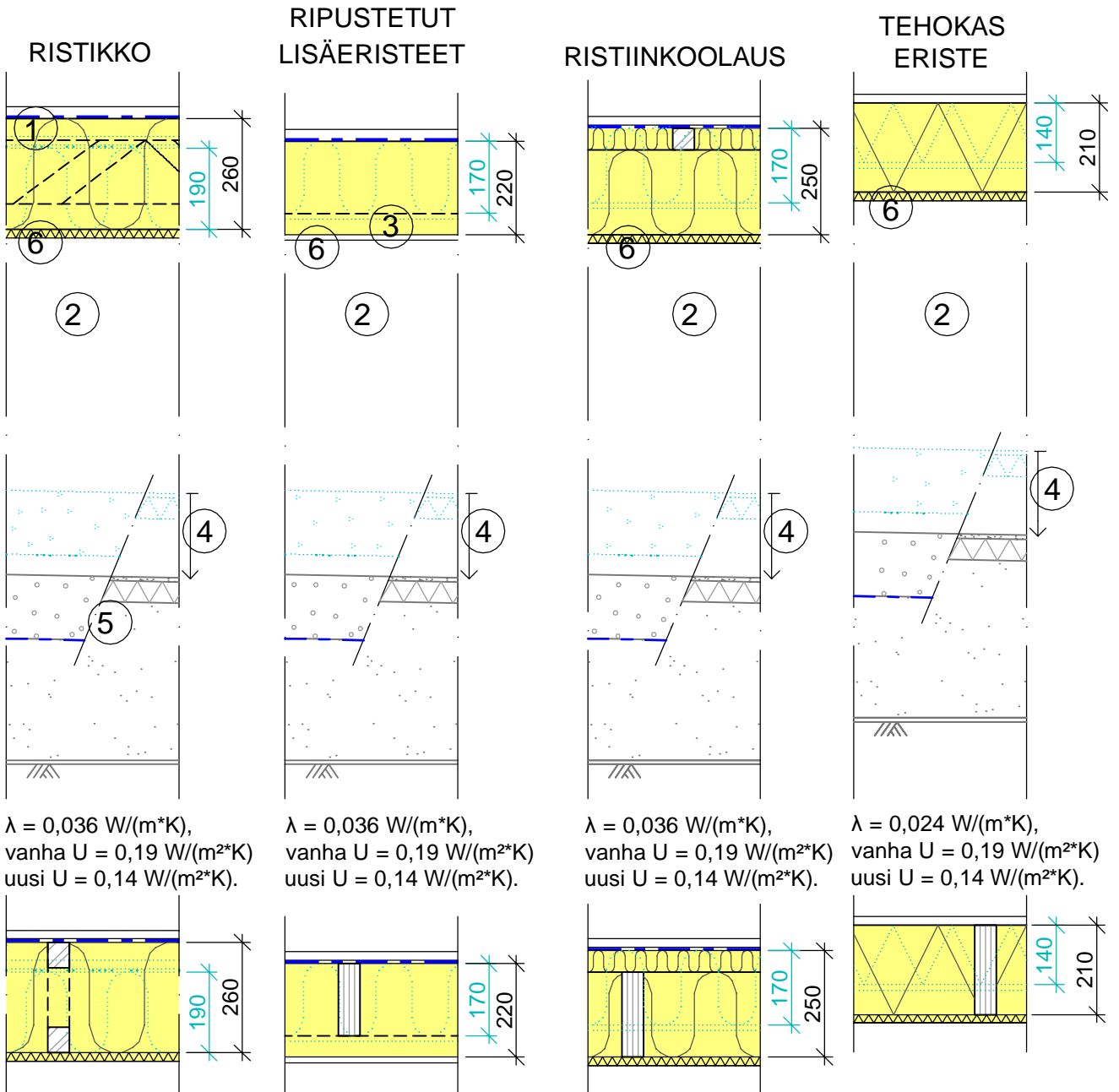
Ryömintätilan maapohja tulisi lämmöneristää kauttaaltaan, jolloin maapohja jäähtyy ja sieltä diffuusiolla tulevan kosteuden määrä vähenee. Lisäksi lämmöneristys ehkäisee ryömintätilan viilenemistä maan vaikutuksesta. Maanpinnan lämmöneristäminen on erityisen tärkeää varsinkin puurakenteisessa ryömintätilaisessa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

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

Kivirakenteisessa ryömintätilaisessa alapohjassa lämmöneriste tulisi sijoittaa kivirakenteen alapuolelle, jotta kantava kivirakenne tulee lämpimiin olosuhteisiin ja alapohjasta saadaan kosteusteknisen toiminnan kanalta parempi. Lämmöneristeenä tulisi käyttää solumuovieristeitä, joiden saumat tiivistetään huolellisesti saumavaahdolla (sauman leveys 15–20 mm). Samoin läpiviennit tiivistetään huolellisesti esim. saumavaahdolla.

Jos lämmöneristeet asennetaan kantavan alapohjalaatan päälle, niiden yläpintaan valetun ns. kelluvan betonilattian alle eristetilaan valuneen veden poistuminen rakenteen sisältä kestää useita vuosia. Lisäksi kosteus pääsee tunkeutumaan alapohjan ja ulkoseinän liitosalueelle ja siirtyy kapillaarisesti seinää pitkin ylöspäin (ks. luku 6.2.1). Kelluvaa betonilaattaa ei tulisi käyttää myöskään välipohjissa, sillä kosteusvaurion sattuessa vesi pääsee esteettä leviämään laajoille alueille ja kuivuminen on erittäin hidasta.

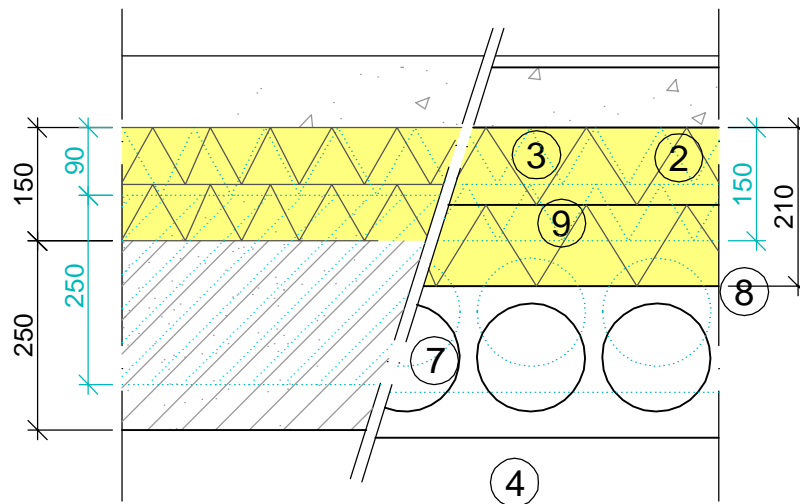
5.1.1 Puurakenteiset alapohjat



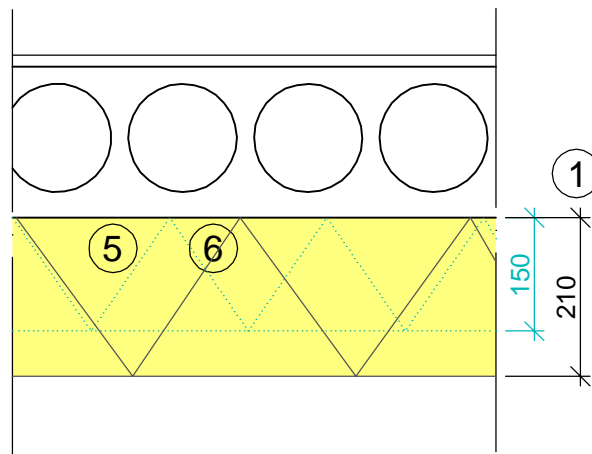
1. Alapohjan lämmöneristyksen lisääminen voi lisätä eristeen läpi ulottuvien kantavien rakenteiden kosteusliikkeitä, koska ulkopintaa lähellä olevat rakenteet ovat kylmempiä. Tämän seurauksena myös niiden suhteellinen kosteus on korkeammalla tasolla.
2. Alapohjan lämmöneristyksen lisääminen heikentää entisestään ryömintätilan kosteusolosuhteita, koska lämpövuoto rakenteen läpi vähenee. Myös alapohjan tuuletuksella on keskeinen vaikutus olosuhteisiin. Suositeltava ilmanvaihtokerroin ryömintätilassa on 0,5–1,0 1/h. Maanpinnan lämmöneristäminen kauttaaltaan on entistään tärkeämpää. Lämmöneristeinä on suositeltavaa käyttää 50–100 mm EPS tai 150–300 mm kevytsoraa tai vastaavia tuotteita.
3. Kantavan rakenteen alapuoliset lämmöneristeet vähentävät rakenteen kosteusliikkeitä.
4. Ryömintätilalle täytyy järjestää riittävä korkeus.
5. Jos maapohjan lämmöneriste on hyvin vesihöyryä läpäisevää, alapuolella voidaan käyttää rei'itettyä muovikalvoa diffuusiovastuksena. Levymäisiä eristeitä käytettäessä kaksinkertainen limitetty eriste antaa paremman suojan vesihöyryn diffuusiota ja kapillaarista nousua vastaan kuin yksinkertainen rakenne. Yhtenäistä muovikalvoa ei tule käyttää lämmöneristeen yläpinnalla, koska se kerää sadevesiä ja kalvon alle muodostuu homeiden ja mikrobien kasvulle erittäin otolliset olosuhteet. Samoista syistä johtuen muovikalvoa ei tule käyttää myöskään lämmöneristystä korvaavana kerroksena maanpinnalla.
6. Puurakenteisissa ryömintätilaisissa alapohjissa tuulensuojan tulee olla aina hyvin kosteutta kestävä. Tuulensuojana ei saa käyttää homehtumiselle herkkiä materiaaleja. Lisäksi tuulensuojan lämmönvastuksen tulee olla aina vähintään 0,4 m²K/W, ellei kantavan rakenteen ja tuulensuojan välissä käytetä erillistä lämmöneristekerrosta, jonka lämmönvastus on riittävä.

5.1.2 Kevytbetoni- ja ontelolaatta-alapohja

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
vanhan rakenteen $U = 0,19 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ja
uuden rakenteen $U = 0,14 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.



Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
vanhan rakenteen $U = 0,19 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ja
uuden rakenteen $U = 0,14 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.



1. Alapohjan lämmöneristekerroksen paksunemista voidaan kompensoida käyttämällä eristettä, jolla on pienempi lämmönjohtavuus.
2. Eristekerroksen painuman lisääntyminen on otettava huomioon erityisesti märkätiloissa, läpivienneissä ja rakenteiden liitoksissa.
3. Kantavien väliseinien ja takkojen liittymien mahdollisesti vaatimien tukien merkitys kylmäsiltoina kasvaa. Myös hoikkien tukirakenteiden nurjahdusriski kyseisissä kohdissa kasvaa.
4. Alapohjan lämmöneristyksen lisääminen heikentää entisestään ryömintätilan kosteusolosuhteita, koska lämpövuoto rakenteen läpi vähenee. Myös alapohjan tuuletuksella on keskeinen vaikutus olosuhteisiin. Suositeltava ilmanvaihtokerroin ryömintätilassa on 0,5–1,0 1/h. Maanpinnan lämmöneristäminen kauttaaltaan on entistäkin tärkeämpää. Lämmöneristeinä on suositeltavaa käyttää 50–100 mm EPS tai 150–300 mm kevytsoraa tai vastaavia tuotteita. Kivirakenteisessa ryömintätilaisessa alapohjassa myös sepelikerros maan pinnalla on mahdollinen.
5. Lämmöneristeiden sijoittaminen ontelolaatan alapuolelle on kosteusteknisesti turvallisempi vaihtoehto.
6. Sekä lämmöneristeen kiinnittäminen että valmiiksi eristettyjen elementtien kuljettaminen ja asentaminen voivat olla ongelmallisia toteuttaa.
7. Reuna-alueiden kylmäsiltojen ehkäisy on vaikeampaa ja toisaalta entistäkin tärkeämpää.
8. Rankarakenteisia väliseiniä ei saa ulottaa kantavaan laattaan saakka, koska rakennusaikaisen ja mahdollisesti muualta tulevan kosteuden siirtyminen kapillaarisesti seiniä pitkin ylös voi aiheuttaa ongelmia.
9. Mahdollisista märkätilojen ja putkien vuodoista aiheutuvan kosteuden kuivuminen hidastuu lämmöneristeen paksuuntuessa.

5.2 Maanvastaiset alapohjat

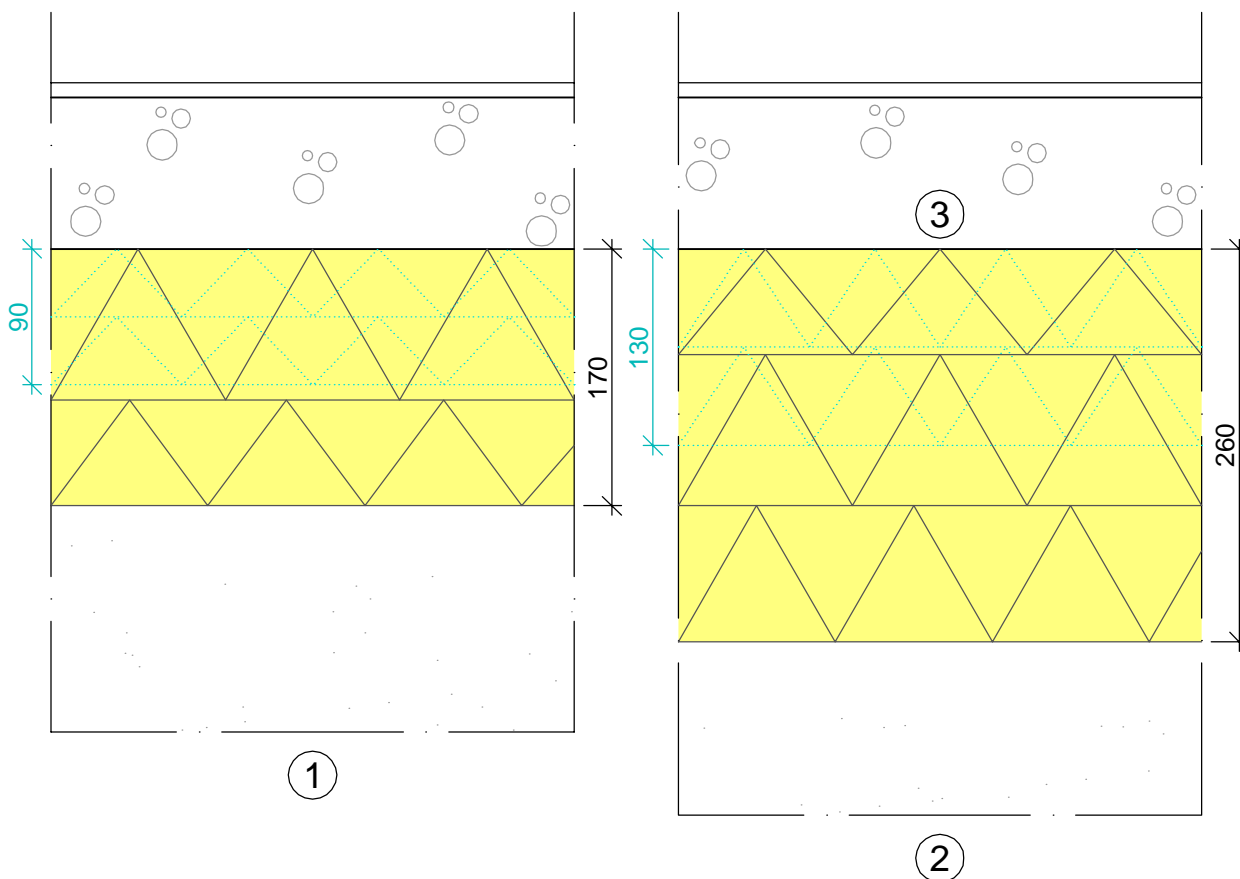
Maanvastaisten betonialapohjien alle asennetaan nykyisin tyypillisesti 100–200 mm lämmöneristettä. Kosteusteknisesti lämmöneristeen lisääminen maanvastaiseen alapohjaan on hyvä asia, koska maapohja jäähtyy ja riski alapohjan läpi alhaalta ylöspäin tapahtuvan vesihöyryn diffuusion aiheuttamille kosteusongelmille alapohjassa vähenee. Toisaalta nykyisten määräysten mukainen alapohjan lämmöneristys on riittävä rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta eikä lämmöneristykseen lisäys paranna rakenteen toimintaa tältä osin enää merkittävästi.

Maanvastaisen alapohjan liitosten ja läpivientien tiivistäminen ilmatiiviiksi on yhtä tärkeää kuin ryömintätilaisissakin alapohjissa, korvausilmaa ei saa tulla sitä kautta sisäilmaan. Lämmöneristekerrosten paksuntaminen lisää eristekerroksen painumista kuormituksen alla ja voi näin johtaa lattioiden painumiseen. Paksujen eristekerrosten painuminen ei tapahdu hetkessä, vaan vasta vuosien kuluessa, jolloin ongelmat ilmaantuvat viiveellä. Eristeiden painumisesta voi seurata vedeneristysten ja radontiivistysten pettäminen sekä mahdollisesti mekaanisia vaurioita eristekerroksessa kulkevissa putkistoissa. Lujempien eristelaatujen käyttöönotto (kimmoisen puristumisen vähentämiseksi) saattaa lisätä tätä ongelmaa, koska levyt ovat silloin taiputusjäykempiä ja eristekerrosten väliin voi jäädä rakennusvaiheessa tällöin enemmän tyhjätiloja.

Kantavissa maanvastaisissa alapohjissa kaikki eristekerrokset tulee kiinnittää mekaanisesti laattaan. Eristekerrosten väliin ei saa muodostua rakoja maaperän myöhemmin tapahtuvan painumisen vuoksi.

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
vanhan rakenteen $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uuden rakenteen $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$,
vanhan rakenteen $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$ ja
uuden rakenteen $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2*\text{K})$.



1. Lämmöneristeen vesihöyrynvastuksen kasvamisen aiheuttama kosteusteknisen käyttäytymisen muutos on otettava huomioon sekä rakennus- että käytönaikaisissa olosuhteissa.
2. Eristekerroksen paksuuntumisen aiheuttama painuman lisääntyminen voi vaikuttaa perinteisesti käytettyjen rakenneratkaisujen toimivuuteen. Betonilaatan suurempi painuma on otettava huomioon esimerkiksi alapohjan liitoksien ja läpivientien ilmatiivyyden toteutuksessa.
3. Kantavan maanvastaisen alapohjan tapauksessa kaikki lämmöneristekerrokset pitää kiinnittää mekaanisesti laattaan maaperän painumisen vuoksi.

5.3 Kellarit

Lämmöneristysten muutokset vaikuttavat käytännössä vain kellareiden maanpäälliseen ulkoseinän osaan ja sen kannatuksiin. Kellarin seinistä tuettavat sokkelipalkit, jotka kantavat yläpuolisia rakenteita, kuten kuorimuuria, kannatetaan yleisesti teräsosilla kellarin betoniseinistä. Eristepaksuuden kasvaessa teräsosat pitenevät vastaavasti ja poikkileikkaukset hieman kasvavat, mikä tulee ottaa huomioon mm. lisääntyvänä kylmäsilta-vaikutuksena.

Oleellisempi vaikutus saattaa tulla sokkelipalkin kiinnikkeiden rasituksista runkoon (suurempi momenttivarsi), joka on otettava suunnittelussa muuttuneena asiana huomioon.

5.4 Perusmuurit

Rakennuksen reuna-alueella lämpövuoto alapohjasta riippuu suurelta osin perusmuurin lämmöneristävyydestä, joten perusmuurin lämmöneristyksen lisääminen on kokonaisuuden kannalta hyvinkin perusteltua. Monissa tapauksissa asuinkerrostaloissa perusmuurin lämmöneristys on helppoa toteuttaa nykytyyliin betonisandwich-elementillä.

Rivi- ja pientaloissa perusmuurin lämmöneristys on mahdollista toteuttaa liimaamalla XPS-levyt laastilla kiinni perusmuuriin ja kiinnittämällä laastilla myös eristeen pintaan rapattavaksi tarkoitettu levy. Tällainen perusmuuri soveltuu erityisesti sellaisten ulkoseinien yhteyteen, joissa ulkoseinässä lämmöneriste on kantavan rakenteen ulkopuolella ja ulkoseinäverhoilu on kannatettu seinärungosta.

6 Liitokset

6.1 Alapohja-ulkoseinä -liitokset

6.1.1 Puurakenteiset ryömintätilaiset alapohjat

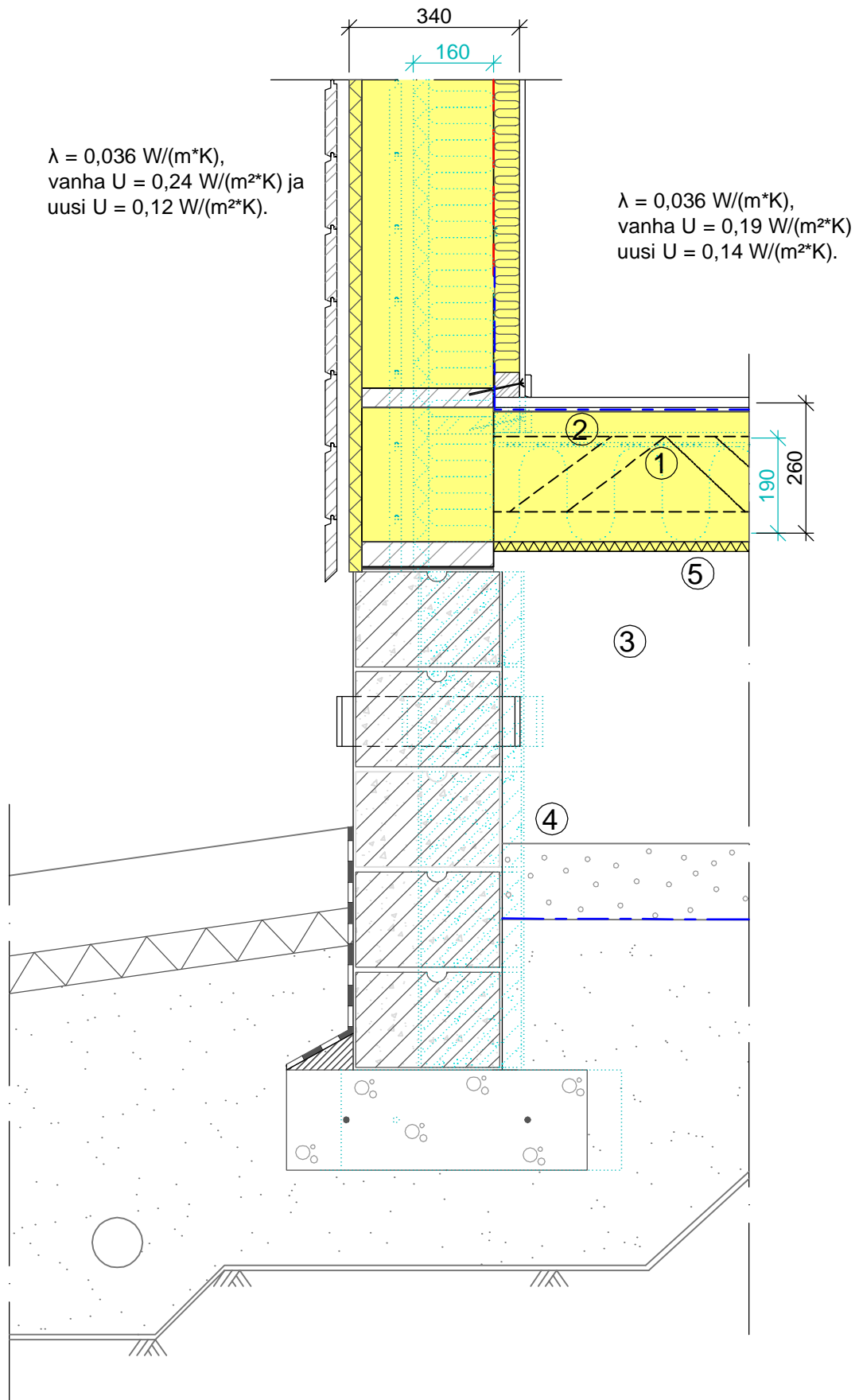
Ryömintätilaisen alapohjan tuuletuksessa suositeltava ilmanvaihtokerroin on 0,5-1 1/h, jotta homeen kasvulle suotuisten olosuhteiden aika jää mahdollisimman lyhyeksi.

Ryömintätilan korkeuden tulee lämmöneristyskerroksen paksuuntumisesta huolimatta olla edelleen ≥ 800 mm (RakMk C2, 1998). Perusmuurirakenne on entistä kylmempi vähentyneiden lämpövuotojen seurauksena, mikä on otettava huomioon routasuojauksen mitoituksessa myös ryömintätilan puolella. Ryömintätilan pohjalla maan pinnalla tulee olla yhtenäinen lämmöneristyskerros. Lämmöneristeinä on suositeltavaa käyttää esim. kevytsoraa tai solumuovipohjaista eristettä, jolla vähennetään maaperästä diffusoituvan kosteuden määrää ryömintätilassa. Solumuovipohjaisilla lämmöneristeillä on huomattavan suuri vesihöyrynvastus ja siten ne vähentävät tehokkaasti maasta tulevaa kosteuden tuottoa ryömintätilaan. Tiivispintaista polyuretaanieristettä ei ole kuitenkaan suositeltavaa käyttää, koska eristeen alle muodostuu homeiden ja mikrobien kasvulle erittäin otolliset olosuhteet.

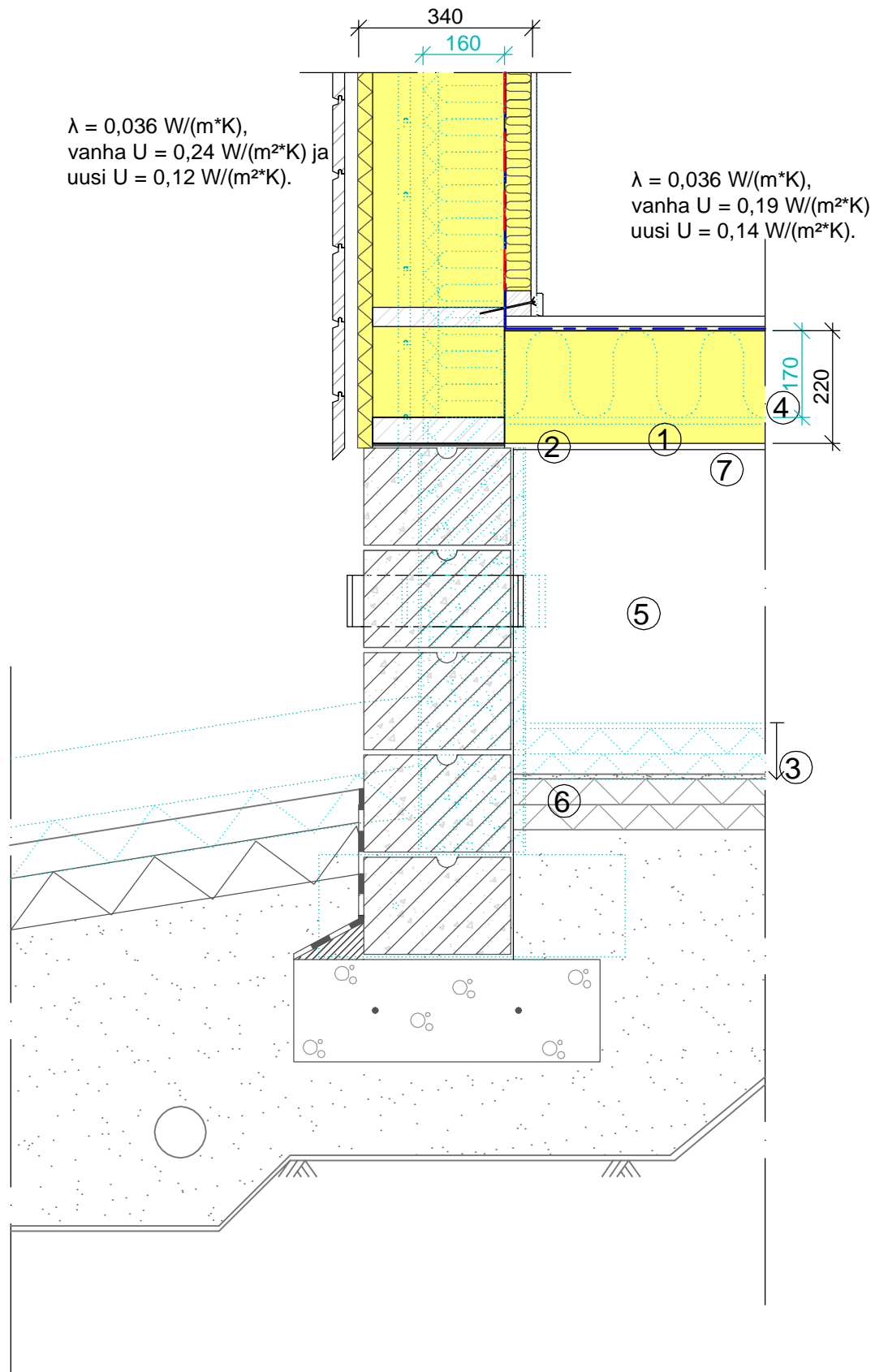
Puurakenteisissa ryömintätilaisissa alapohjissa tuulensuojan tulee olla aina hyvin kosteutta kestävä. Tuulensuojana ei saa käyttää homehtumiselle herkkiä materiaaleja. Lisäksi tuulensuojan lämmönvastuksen tulee olla aina vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$. Jos lämmöneristeinä käytetään solumuovieristeitä, niiden väliset saumat sekä eristeiden liittymät muihin rakenteisiin tiivistetään pu-vaahdolla ja pinnat teipataan esim. alumiiniteipillä ilmatiiviuden varmistamiseksi.

Mikäli alapohjan lämmöneriste liittyy ilmaa läpäisevään perusmuuriin, kuten KS-harkkoon, harkon pinnat tulee tasoittaa laastilla kauttaaltaan ilmatiiviiksi ennen lämmöneristeiden asennusta.

Sisäpuolella ulkoseinän ja alapohjan välisen liitoksen ilmatiiviys saadaan aikaan esimerkiksi julkaisussa Aho & Korpi toim. (2009) esitetyllä tavalla.



1. Eristekerroksen korkeus ei ole välttämättä järkevä ratkaisu. Riittävä korkeus saavutetaan myös esimerkiksi käyttämällä kantavana rakenteena ristikköä, sekundaaripalkistoa tai levyuomaisia palkkeja. Rakennetyypin vaihtuminen vaikuttaa muun muassa kosteusmuodonmuutoksiin ja eristeiden asennustapoihin.
2. Suurten kosteusliikkeiden vuoksi ristikko ei välttämättä ole kannen muodostamalle levyllä riittävän jäykkä kiinnitysalusta.
3. Alapohjan lämmöneristyksen lisääminen heikentää entisestään ryömintätilan olosuhteita, koska lämpövuodot rakenteen läpi pienentyvät. Myös alapohjan tuuletuksella on keskeinen vaikutus olosuhteisiin. Suositeltava ilmanvaihtokerroin on 0,5-1 1/h. Maanpinnan lämmöneristäminen kauttaaltaan on entistäkin tärkeämpää. Lämmöneristeenä on suositeltavaa käyttää 50-100 mm EPS tai 150-300 mm kevytsoraa tai vastaavia tuotteita.
4. Sisäpuolisen routasuojauksen tarve kasvaa, koska lämpövuodot alapohjan läpi vähenevät eristepaksuutta kasvattaessa.
5. Ryömintätilaisissa alapohjissa tuulensuojan tulee olla aina hyvin kosteutta kestävä. Tuulensuojana ei saa käyttää homehtumiselle herkkiä materiaaleja. Lisäksi tuulensuojan lämmönvastuksen tulee olla aina vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$.



1. Lämmöneristeiden lisääminen rakenteiden alapuolelle voi olla työteknisesti helpompi ratkaisu, kun rakennetta ei tarvitse muuttaa.
2. Ylin harkko jää lämmöneristettä vasten. Tällöin harkkomuurin kautta voi siirtyä kosteutta lämmöneristeisiin.
3. Ryömintätalalle täytyy järjestää riittävä korkeus.
4. Kantavan rakenteen alapuoliset lämmöneristeet vähentävät rakenteen kosteusliikkeitä ja suojaavat puurakenteita kriittisiltä kosteusolosuhteilta.
5. Alapohjan lämmöneristykseen lisääminen heikentää entisestään ryömintätilan olosuhteita, koska lämpövuodot rakenteen läpi pienentyvät. Myös alapohjan tuuletuksella on keskeinen vaikutus olosuhteisiin. Suositeltava ilmanvaihtokerroin on 0,5-1 1/h. Maanpinnan lämmöneristäminen kauttaaltaan on entistäkin tärkeämpää. Lämmöneristeenä on suositeltavaa käyttää 50-100 mm EPS tai 150-300 mm kevytsoraa tai vastaavia tuotteita.
6. Sisäpuolisen routasuojauksen tarve kasvaa, koska lämpövuodot alapohjan läpi vähenevät eristepaksuutta kasvattaessa.
7. Ryömintätalaisissa alapohjissa tuulensuojan tulee olla aina hyvin kosteutta kestävä. Tuulensuojana ei saa käyttää homehtumiselle herkkiä materiaaleja. Lisäksi tuulensuojan lämmönvastuksen tulee olla aina vähintään 0,4 m²K/W.

6.1.2 Betonirakenteiset ryömintätilaiset alapohjat

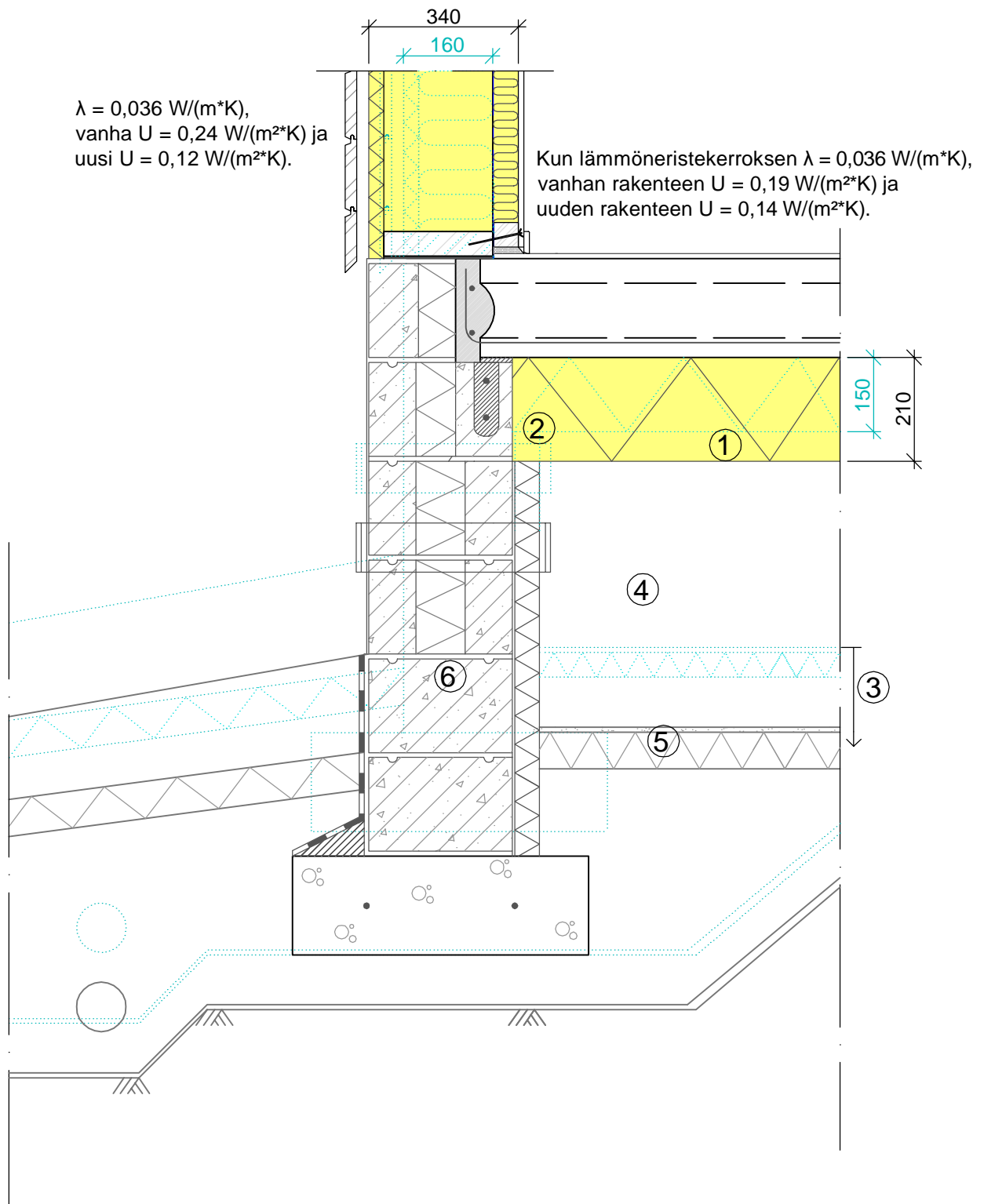
Ontelolaatta-alapohja (alapuolinen eriste)

Ryömintätilan tuuletuksen, korkeuden ja maaperän routasuojuuksen sekä maaperästä tulevan vesihöyryn diffuusion estämiseen pätevät samat ohjeet kuin puurakenteisilla ryömintätilaisilla alapohjilla.

Perusmuurin eristehalkaisun tulee ulottua riittävän alas maanpinnan alapuolelle, jotta perusmuurin aiheuttama kylmäsilta vaikutus ulkoseinän ja alapohjan liitoskohdassa jää mahdollisimman vähäiseksi. Samasta syystä perusmuurin ryömintätilanpuoleiselle reunalle tulee asentaa lämmöneriste pystyyn.

Käytännössä lämmöneristeet asennetaan kantavan betonilaataston alapintaan useammassa kerroksessa, jotta riittävä eristepaksuus voidaan saavuttaa. Lämmöneristelevyt tulee asentaa vähintään 200 mm limitykseen ja kiinnittää betonilaattaan myös mekaanisesti. Lämmöneristeiden väliset raot sekä liittymät muihin rakenteisiin tiivistetään pu-vaahdolla.

Sisäpuolella ulkoseinän ja alapohjan välisen liitoksen ilmatiiviys saadaan aikaan esimerkiksi julkaisussa Aho & Korpi toim. (2009) esitetyillä ratkaisuilla.



1. Lämmöneristeiden lisääminen rakenteiden alapuolelle voi olla työteknisesti helpompi ratkaisu, kun rakennetta ei tarvitse muuttaa.
2. Ylin harkko jää lämmöneristettä vasten. Tällöin harkkomuurin kautta voi siirtyä kosteutta lämmöneristeisiin.
3. Ryömintätalalle täytyy järjestää riittävä korkeus.
4. Alapohjan lämmöneristyksen lisääminen heikentää entisestään ryömintätilan olosuhteita, koska lämpövuodot rakenteen läpi pienentyvät. Myös alapohjan tuuletuksella on keskeinen vaikutus olosuhteisiin. Suositeltava ilmanvaihtokerroin on 0,5-1 1/h. Maanpinnan lämmöneristäminen kauttaaltaan on entistäkin tärkeämpää. Lämmöneristeenä on suositeltavaa käyttää 50-100 mm EPS tai 150-300 mm kevytsoraa tai vastaavia tuotteita.
5. Sisäpuolisen routasuojauksen tarve kasvaa, koska lämpövuodot alapohjan läpi vähenevät eristepaksuutta kasvatettaessa.
6. Eristehalkaisu on vietävä mahdollisimman alas, jotta ulkoseinän ja alapohjan liitoskohdan kylmäsilta pieneneisi.

Ontelolaatta-alapohja (kelluva laatta)

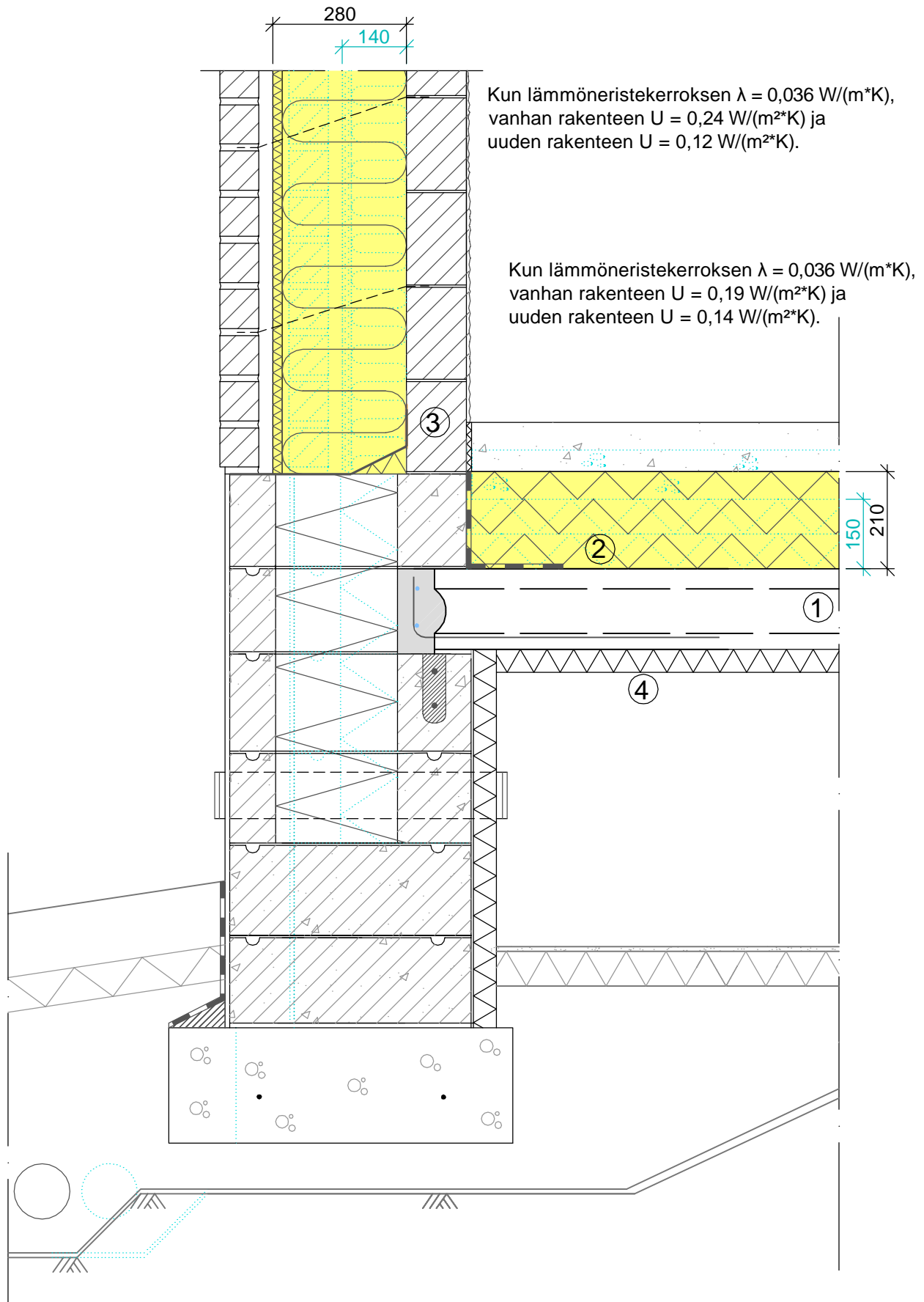
Ryömintätilainen alapohja, jossa kantavan ontelolaataston päälle asennetaan lämmöneristekerros ja pintalaatta, ei ole kosteusteknisesti yhtä toimiva kuin betonirakenteinen ryömintätilainen alapohja, jossa lämmöneristeet ovat kokonaan kantavan rakenteen alapuolella. Oleellimmat kosteustekniset puutteet ovat:

- ontelolaatta muodostaa tiiviin rakennekerroksen kylmälle puolelle
- ontelolaataston päälle kertynyt kosteus ei pääse poistumaan alaspäin ja kuivuminen ylöspäin on hidasta
- seinärakenteen alanurkka on varsin kylmä muihin rakenteisiin nähden, joten alapohjarakenteessa oleva kosteus kondensoituu seinän alaosaan, mistä se voi kapillaarisesti siirtyä seinää pitkin ylöspäin.

Rakennetta voidaan parantaa asentamalla lämmöneristekerros ontelolaataston alapintaan koko alapohjan alueelle. Lisäksi seinärakenteen alaosan kastumisen ehkäisemiseksi tulee asentaa bitumikerminosto ontelolaatastolta seinälle pintalaatan tasoon saakka.

Seinäeristyksen paksuntaminen mahdollistaa myös paksunnan perusmuurihalkaisun, jolloin seinän alapäästä saadaan nykyistä lämpimämpi. Tämä vähentää kosteuden kondensoitumisriskiä seinän sisäpintaan.

Pintalaatan alapuolisten lämmöneristeiden asennustyön on oltava huolellista ja eristeiden kokoonpuristuminen mahdollisimman pientä, jotta laatussa ei tapahdu painumaa. Lämmöneristeiden väliset saumakohtat tulee tiivistää huolellisesti konvektion vähentämiseksi. Lisäksi pintalaatan ja seinän liitos tulee tehdä ilmatiiviiksi, jotta sieltä ei pääse sisäilmaan haitallisia päästöjä.



1. Ontelolaatta muodostaa tiiviin rakennekerroksen kylmälle puolelle.
2. Ontelolaataston päälle kertynyt kosteus ei pääse poistumaan alaspäin ja kuivuminen ylöspäin on hidasta.
3. Seinärakenteen alanurkka on kylmä muihin rakenteisiin nähden, joten alapohjarakenteessa oleva kosteus voi kondensoitua seinän alaosaan, mistä se voi kapillaarisesti siirtyä seinää pitkin ylöspäin. Seinärakenteen alaosan kastumisen ehkäisemiseksi tulee asentaa bitumikerminosto ontelolaatastolta seinälle pintalaatan tasoon saakka.
4. Rakenteen kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa asentamalla lämmöneristekerros ontelolaataston alapintaan koko alapohjan alueelle. Lämmöneristekerros vähentää alapohjan kylmäsilta vaikutusta. Ontelolaattojen alapintaan asennettava lämmöneristekerros vähentää myös laattojen aiheuttamaa kylmäsilta vaikutusta ulkoseinän ja alapohjan liitosalueella. Lämmöneristeiden väliset saumakohtat tulee tiivistää huolellisesti konvektion vähentämiseksi.

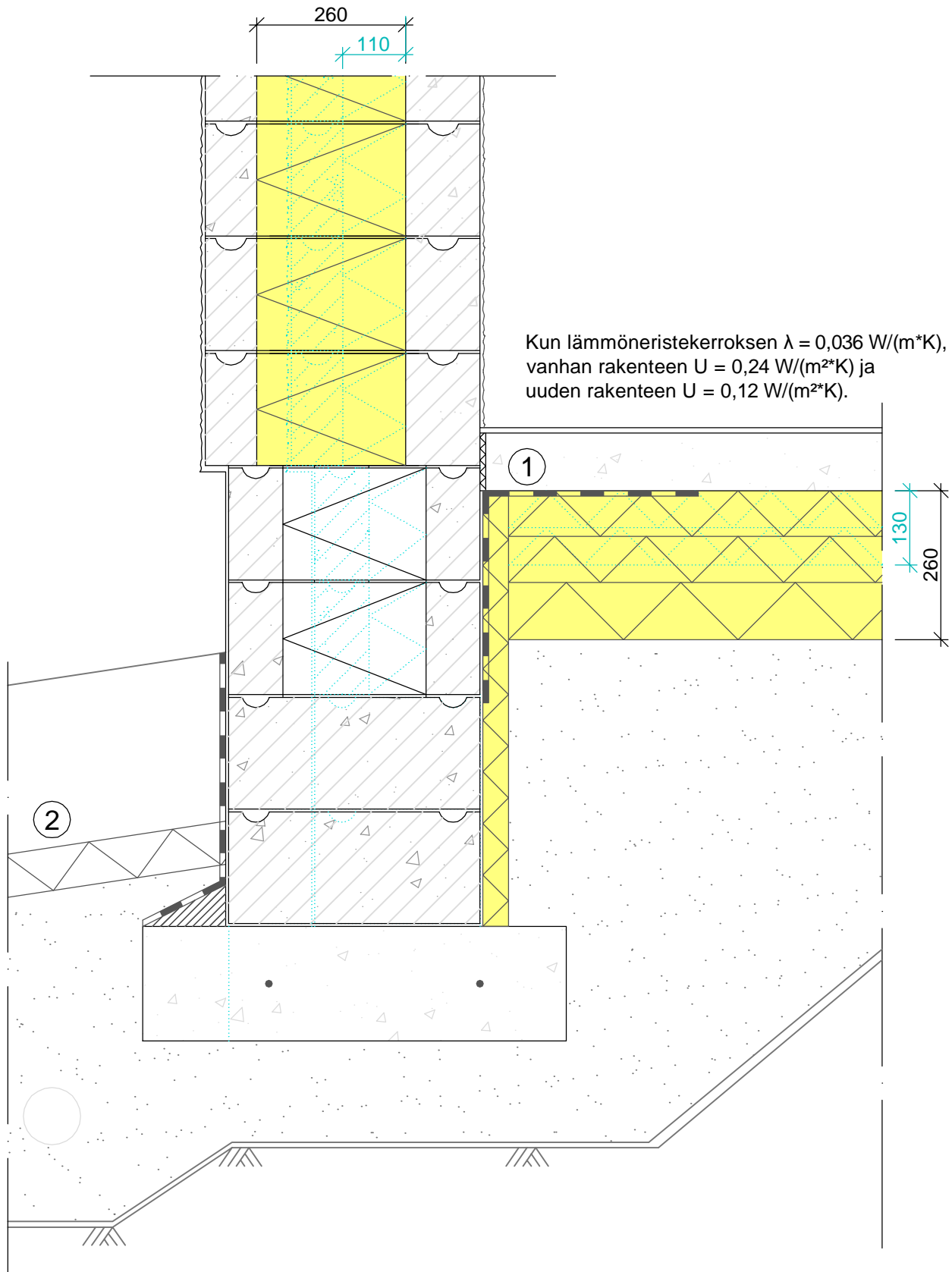
Maanvastainen alapohja

Lämmöneristeiden asennustyön on oltava huolellista ja eristeiden kokoonpuristuminen mahdollisimman pientä, jotta laatussa ei tapahdu painumaa. Lisäksi pintalaatan ja seinän liitos tulee tehdä ilmatiiviiksi, jotta sieltä ei pääse sisäilmaan haitallisia päästöjä.

Maanvastaisen alapohjan ja ulkoseinän välisen liitoksen ilmatiiviys saadaan aikaan esimerkiksi julkaisussa Aho & Korpi toim. (2009) esitetyllä ratkaisulla. Tämän lisäksi maanvastaisen laatan reunan painumaa voidaan ehkäistä esim. seinän ja laatan välisellä vaarnaraidoituksella, mikä estää laatan painumisen, mutta sallii kuitenkin betonilaatan kuivumiskutistumisen.

Märkätilojen sijoittamista suoraan ulkoseinälle tulee välttää laatan painumisen ja kuivumiskutistuman vuoksi. Märkätilan kohdalla laatan painuminen on estettävä edellä kuvatulla tavalla tai ulkoseinän viereen muurataan laatan päälle erillinen seinä jota vasten lattian vedeneristys voidaan nostaa ilman rikkoutumisvaaraa.

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,
vanhan rakenteen $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ja
uuden rakenteen $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.



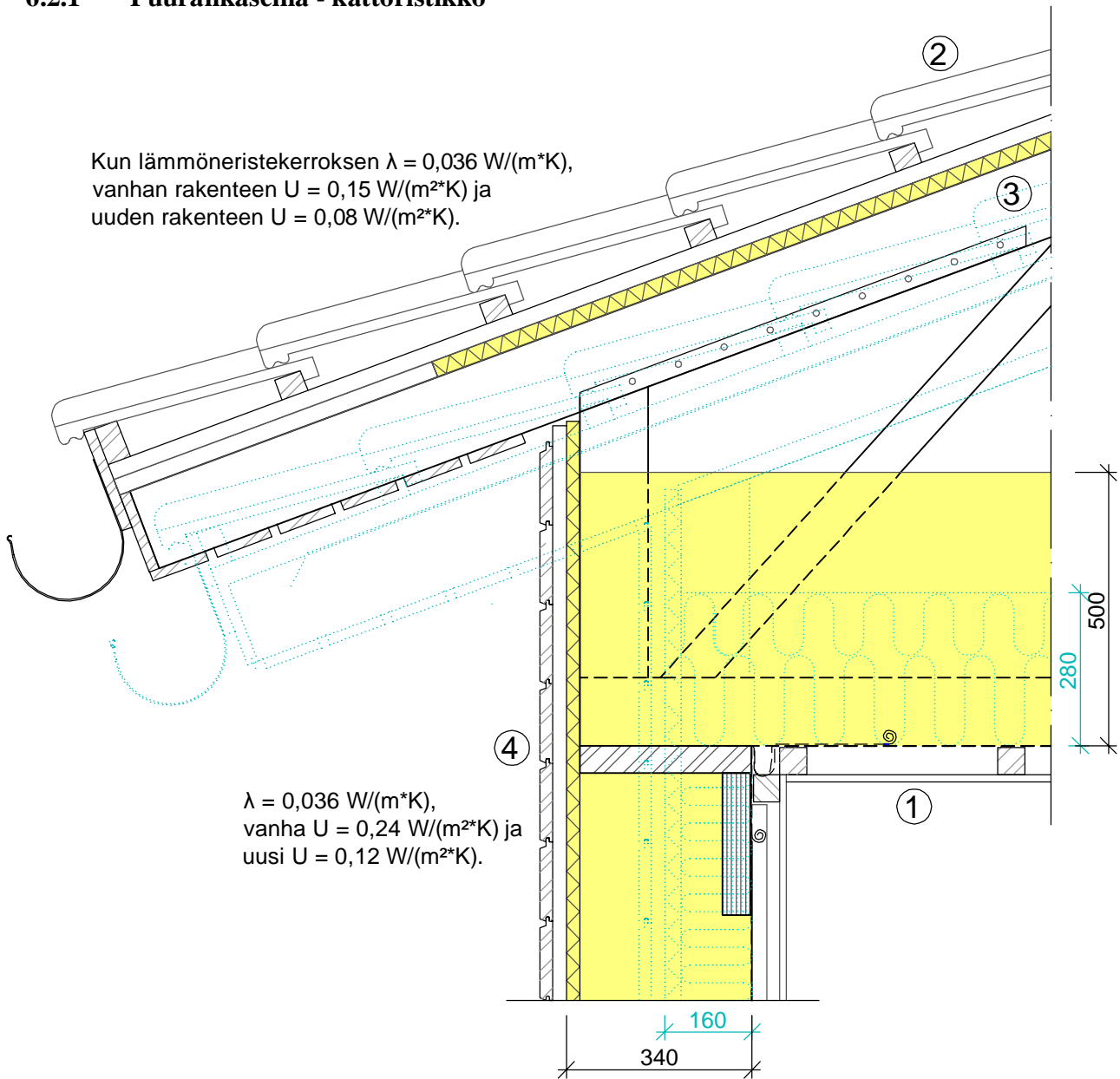
1. Laatan ja seinän välisen liitoksen ilmatiivyydestä on huolehdittava, jotta maasta ei pääse sisäilmaan haitallisia päästöjä. Radonsuojausta on suositeltavaa käyttää kaikissa kohteissa, ei vain riskialueilla, sillä se estää tehokkaasti myös muiden haitallisten päästöjen kulkeutumisen alapohjasta sisätiloihin.
2. Routasuojauksen mitoituksessa on otettava huomioon, että lämpövuodot alapohjan läpi pienentyvät lämmöneristyspaksuutta kasvattaessa, joten maapohja on viileämpi.

6.2 Yläpohja-ulkoseinä -liitokset

Lämmöneristyspaksuuden kasvaessa seinän korkeus kasvaa ja räystäitä on pidennettävä. Tämä vaikuttaa jonkin verran kantavien rakenteiden dimensioihin, jotta räystäiden taipumat pysyvät edelleen sallituissa rajoissa. Seinän korkeuden kasvaminen vaikuttaa myös rakennuksen ulkonäköön ja totuttuihin mittasuhteisiin.

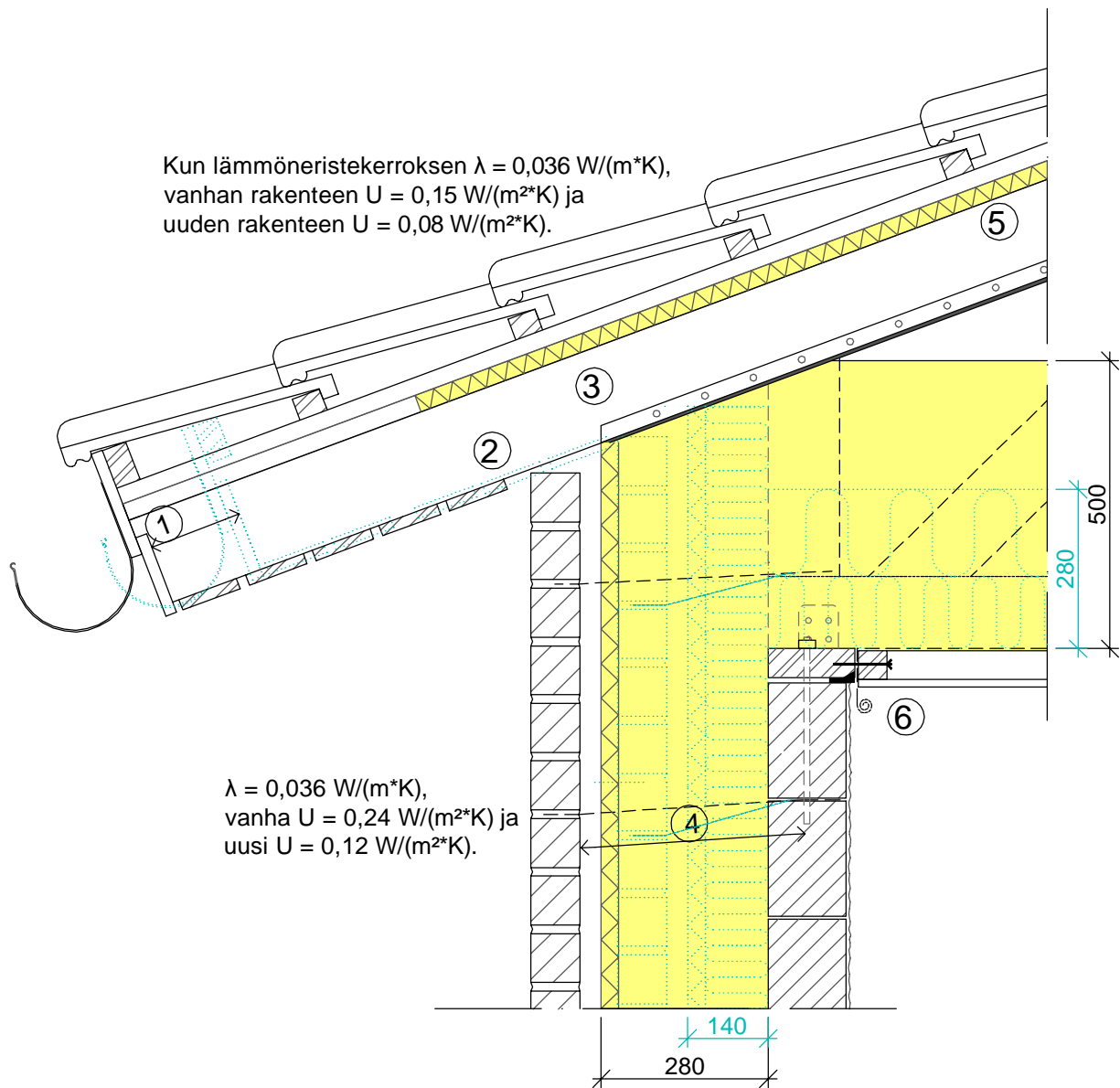
Ulkoseinän ja yläpohjan välisen liitoksen ilmatiiviys saadaan aikaan esimerkiksi tulee toteuttaa julkaisussa Aho & Korpi toim. (2009) esitetyllä tavalla. Erityistä huomiota tulee kiinnittää lämmöneristykseen yhtenäisyyteen sellaisissa tapauksissa, missä lämmöneristeen tyyppi vaihtuu. Tällaisia ovat mm. seinän lämmöneristeen ja yläpohjan puhallusvillan liittyminen toisiinsa ja solumuovieristeen ja mineraalivillan liittyminen toisiinsa.

6.2.1 Puurankaseinä - kattoristikko



1. Lämmöneristeen suurempi kuorma ja tuentatarve on otettava huomioon. Tuentaa voidaan parantaa tihentämällä koolausta tai tukemalla lämmöneriste levyn avulla.
2. Rakennuksen korkeus kasvaa.
3. Lämpöä eristävän aluskatteen käyttö parantaa yläpohjan kosteusteknistä toimintaa. Aluskatteen lämmönvastuksen on suositeltavaa olla vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$.
4. Puurungon ulkopintaan on suositeltavaa laittaa lämpöä eristävä tuulensuoja, jonka lämmönvastus on vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$.

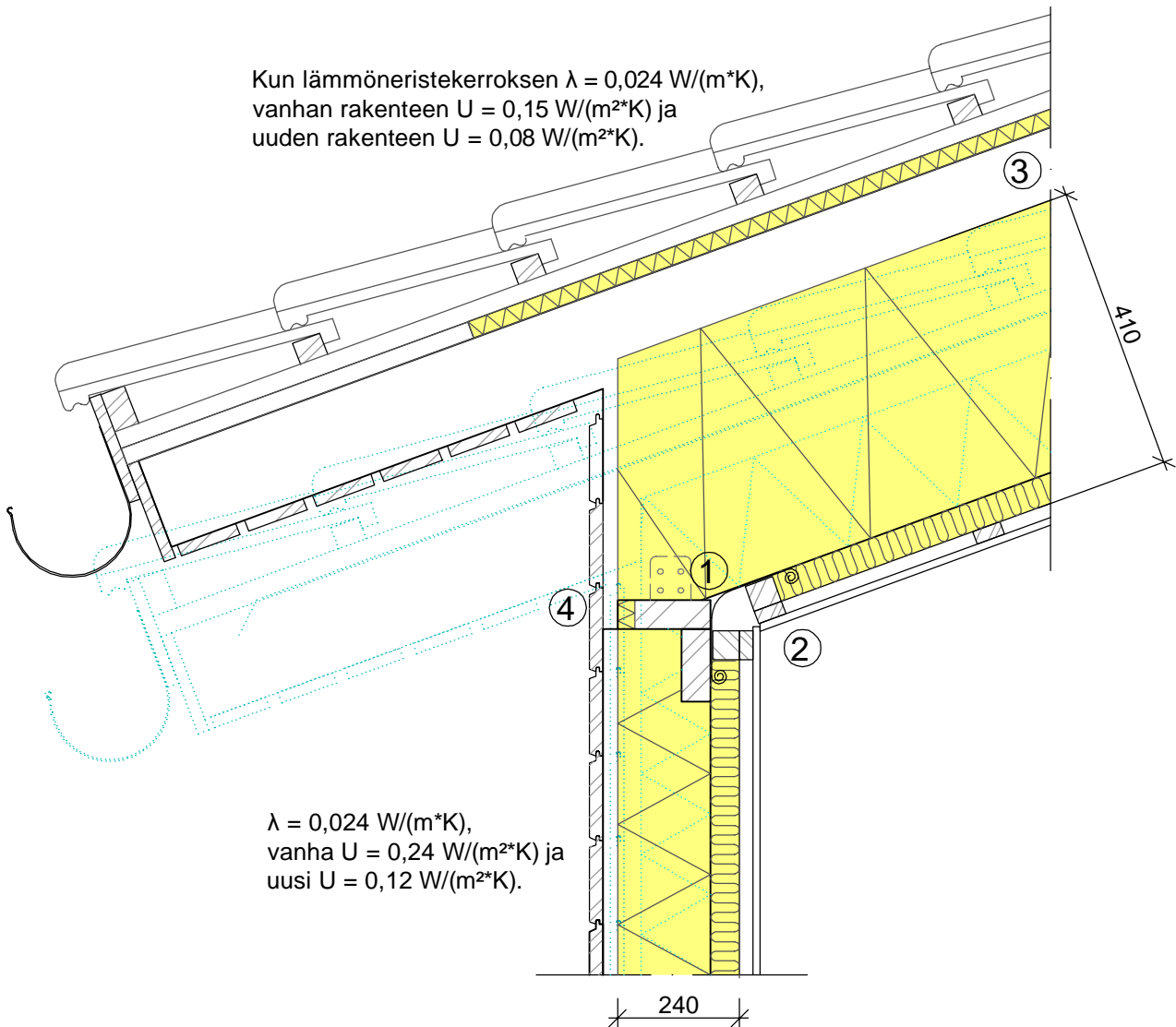
6.2.2 Kuorimuuri - kattoristikko



1. Seinän paksuuden kasvaessa räystäään on pidennyttävä vastaavasti.
2. Koska räystääs pidentyy ja kuorimuuri sijaitsee kauempana räystäään tuesta, räystäään taipuma kuorimuurin kohdalla on suurempi. Tämä tulee ottaa huomioon jättämällä räystäälle riittävästi liikkumavaraa, jotta se ei riko kuorimuurin yläosaa.
3. Katon korkeutta on mahdollisesti kasvatettava, jotta myös yläpohjan lämmöneristystä saadaan parannettua katon reuna-alueella.
4. Muuraussiteiden nurjahduskestävyys heikkenee niiden pituuden kasvun seurauksena. Tämän seurauksena kuorimuurin tuentaan tuulenpainetta vastaan täytyy kiinnittää erityistä huomiota.
5. Lämpöä eristävän aluskatteen käyttö parantaa yläpohjan kosteusteknistä toimintaa. Aluskatteen lämmönvastuksen on suositeltavaa olla vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$.
6. Kivirakenteisen ulkoseinän ja puurakenteisen yläpohjan liitoskohdan ilmatiiviyys varmistetaan liittämällä yläpohjan höyrynsulku puristusliitoksella yläohjauspuuhun ja tiivistämällä yläohjauspuun ja kivirakenteen välinen sauma elastisella tiivistysmassalla.

6.2.3 Puurankaseinä - kattovasat

Vinujen vasakattojen ja ulkoseinän liitoksessa on otettava huomioon kattorakenteen taipumisen aiheuttama tuen kiertyminen seinän yläpäässä. Lämmöneristeiden tulee liittyä kantaviin rakenteisiin siten, että liikkeestä ei aiheudu lämmöneristeiden repeämistä/irtoamista tai liitoksen ilmatiiviyyden menetystä. Mineraalivillalla toteutetuissa rakenteissa lämmöneristeellä on yleensä riittävä muodonmuutoskyky liitoksessa tapahtuville liikkeille. Sen sijaan solumuovipohjaisten lämmöneristeiden yhteydessä tulee käyttää joustavaa pu-vaahtoa ja vaahtosaumojen leveyden tulee olla luokkaa 20-25 mm riittävän muodonmuutoskyvyn varmistamiseksi. Liike on suurin liitoksen ulkopinnassa.



1. Jos liitos tehdään vaahdottamalla, katon taipuma voi aiheuttaa seinän ja kattovasran liitoskohdan halkeamisen. Saumaleveyden on oltava luokkaa 15 - 20 mm ja sauman on oltava joustavaa materiaalia. Erillistä ilmansulkukaistaa käytettäessä ilmatiiviys tulee varmistaa puristusliitosten ja saumojen teippauksen avulla.
2. Äänitekninen toiminta voi edellyttää pehmeää eristettä sisäpuolelle, kaksinkertaisia kipsilevyjä tai muita ratkaisuja.
3. Lämpöä eristävän aluskatteen käyttö parantaa yläpohjan kosteusteknistä toimintaa. Aluskatteen lämmönvastuksen on suositeltavaa olla vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$.
4. Puurungon ulkopintaan on suositeltavaa laittaa lämmöneristys, jonka lämmönvastus on vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$.

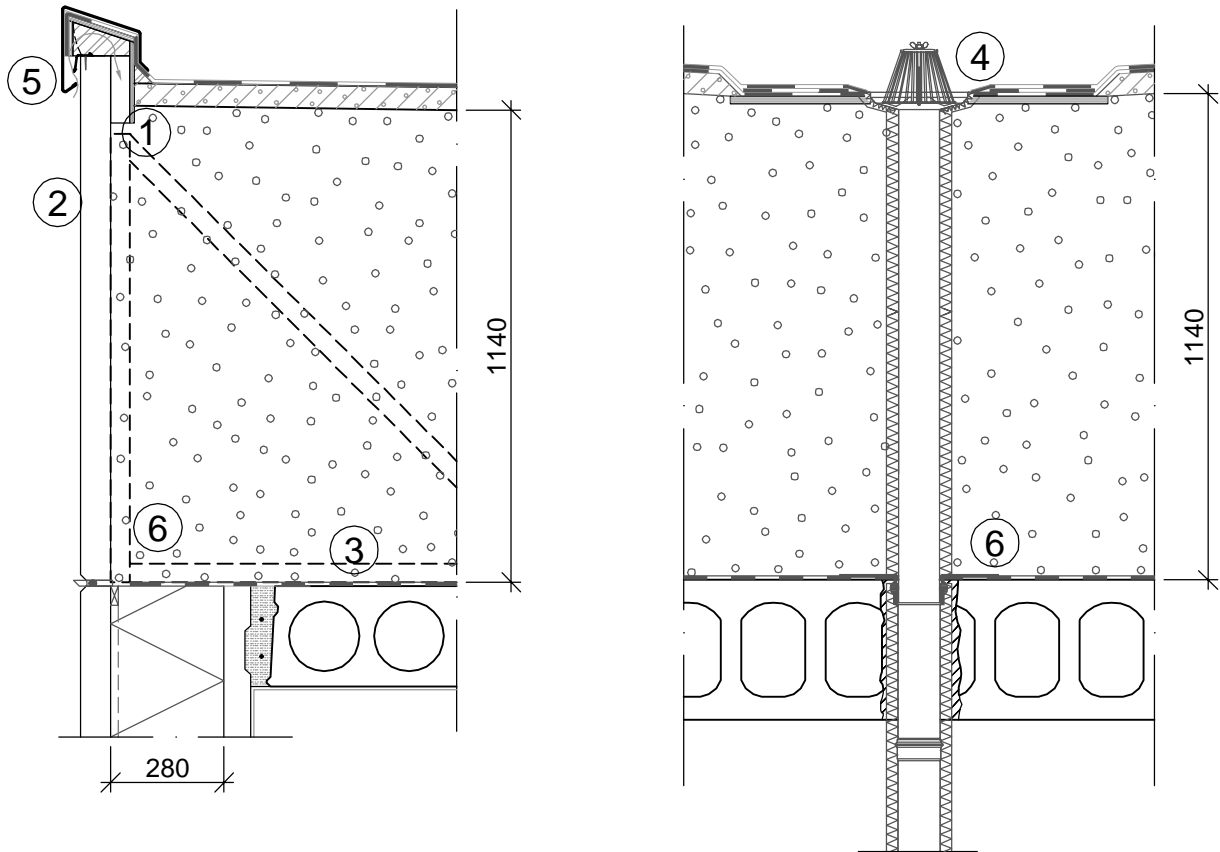
6.2.4 Kevytsorakatto - räystäs

Kevytsorakaton liitoksissa pystyrakenteisiin on otettava huomioon eristekerroksen aiempaa suurempi painuma. Painumaa voidaan vähentää oleellisesti tiivistämällä kevytsoraa kerroksittain.

Kevytsorakatoissa painovoimainen tuuletus on varsin vaatimatonta, joten yläpohjaan päässyt kosteus poistuu sieltä hyvin hitaasti. Tästä syystä on oleellista tuoda bitumikermi vähintään ulkoseinäelementin sisäkuoren verran yli ontelolaatastosta, jotta ulkoseinän ja ontelolaatan välisen liitoskohdan ilmatiiviys saadaan varmistettua.

Kun lämmöneristekerroksen $\lambda = 0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

$U = 0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



1. Rästään suunnittelussa on otettava huomioon eristekerroksen suurempi painuma, joka vaikuttaa vesikatteen kestämiseen ylösnostojen kohdilla sekä tuuletuksen toimivuuteen.
2. Yläpohjan suurempi korkeus johtaa arkkitehtonisiin muutoksiin.
3. Korkeammassa rakenteessa ulkokuoren tukirakennelma on järeämpi tai tulee tavallista pidemmälle rakennukseen, joten sen kylmäsilta vaikutus suurenee.
4. Suurempi painuma on otettava huomioon myös vesikaton kallistuksissa ja kattokaivoissa, sekä muissa läpivienneissä. Lisäksi on otettava huomioon kattopollareiden ja muiden lämmöneristekerroksen lävistävien poikittaiskuormia vastaanottavien osien pidempi momenttivarsi.
5. Kevytsoran määrän lisääminen edellyttää tehokkaampaa tuuletusta.
6. Höyrynsulkukermi tulee ulottaa vähintään ulkoseinän ulkokuoren yli. Läpivientien tiivistys höyrynsulkukermiin tehtävä huolellisesti, jotta eristekerroksessa oleva vesi ei valu sisätiloihin.

7 Ikkunat

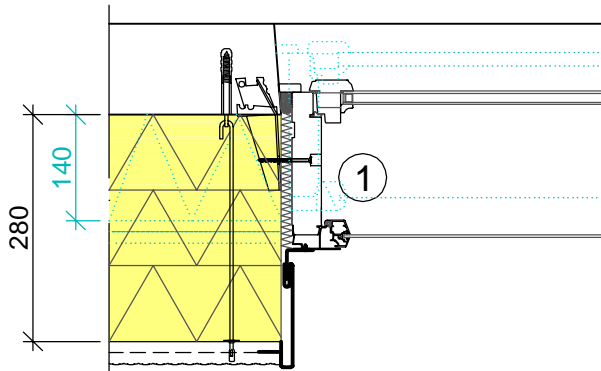
Ikkunat ja ovet ovat huomattavasti heikommin lämmöneristettyjä rakennusosia kuin ulkoseinät ja yläpohjat. Lähtökohtaisesti ikkunat ja ovet tulee asentaa syvyys suunnassa lämmöneristeen kohdalle. Ikkunoiden ja ovien asennuksesta nykyistä syvemmälle rakenteeseen aiheutuu lähes jokaisessa ulkoseinätyypissä sisävalmistusvaiheeseen ns. smyygien tarve.

Ikkunan karmi tulee tiivistää huolellisesti ulkoseinän ilmansulkukerroksen kanssa toimivaksi kokonaisuudeksi. Monissa rakennetyypeissä tiivistäminen voidaan tehdä kerroksittaisella puuvaahdotuksella tai karmin ja seinän välisellä elastisella saumauksella. Tällöin on huolehdittava, että käytettävä saumausmassa soveltuu sisäkäyttöön.

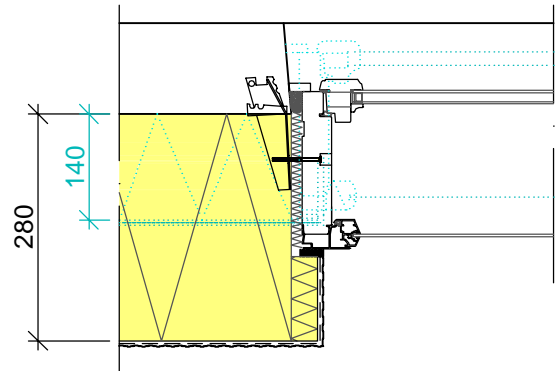
Ikkunoiden karmipaksuudet ovat jo kasvaneet jonkin verran eristepaksuuksien kasvaessa. Myös nelilasiset ikkunat ovat jo tulleet markkinoille. Ikkunat on suositeltavaa tehdä kahdesta lämpölasielementistä, jolloin ulommainen lämpölasielementti on julkisivun ulkopinnan läheisyydessä ja toinen lämpölasielementti on lähellä sisäpintaa. Tällöin myös ikkunasta aiheutuva seinän lämmöneristyksen heikennys pienenee oleellisesti.

Rapatut rakenteet

PAKSURAPPAUS

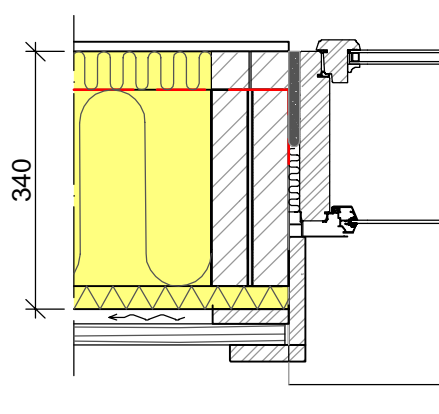
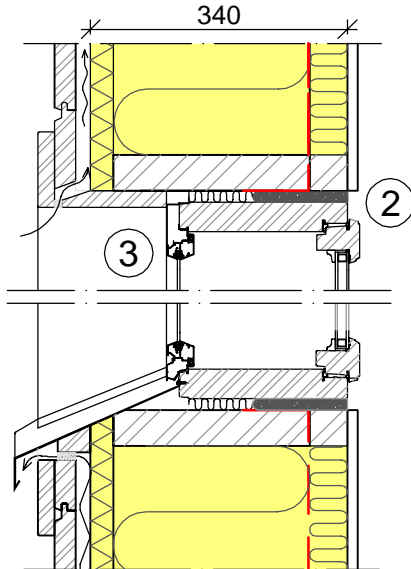


OHUTRAPPAUS

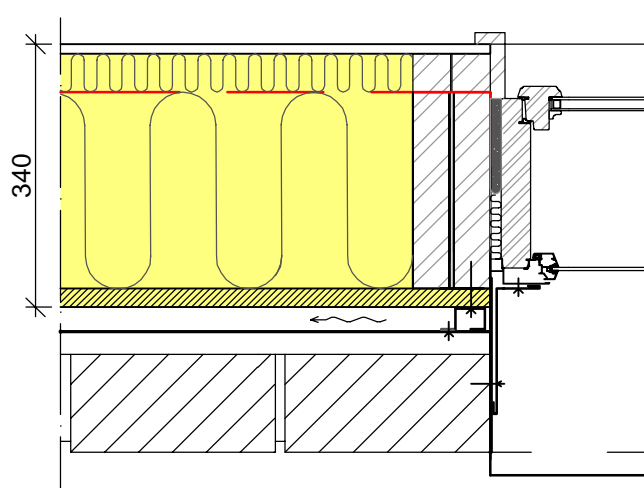
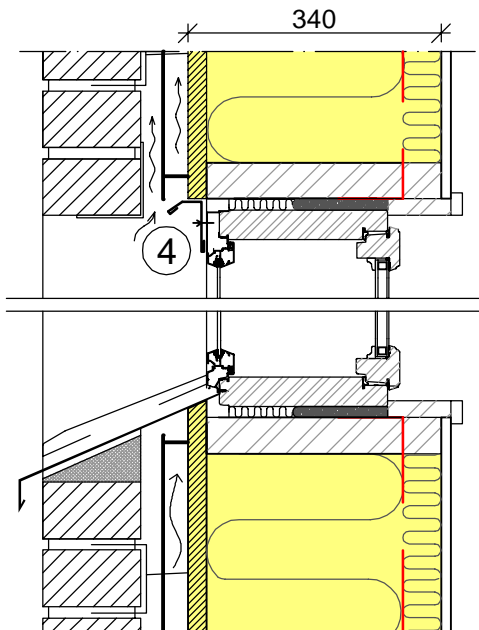


Rankarakenteiset puuseinät

PUUVERHOTTU RANKASEINÄ



KORKEAN TIILIVERHOTUN PUURANKASEINÄN SADETAKKIRATKAISU



1. Kylmäsiilan vuoksi ikkuna on sijoitettava siten, että liitoskohta tulee lähes kokonaan lämmöneristekerroksen kohdalle.
2. Eristekerroksen paksuntaminen voi vaikuttaa ikkuna- ja muiden liitosten tiiviyteen. Ikkunakarmit pitää tiivistää pu-vaahdon lisäksi myös elastisella saumamassalla. Jos sauma täytetään mineraalivillakaistalla, on sisäpuolen ilmatiiviys varmistettava esim. pohjanauhan ja elastisen saumamassan avulla tai erikoisliimanauhalla, jonka pitkäaikaiskestävyys ja tartuntakyky on riittävä.
3. Ikkunan U-arvon parantaminen voi aiheuttaa ikkunan huurtumista, kun ikkunan ulkopinnan lämpötila laskee ulkoilmaa alemmaksi vastasäteilystä johtuen. Huurtumista voi ehkäistä käyttämällä ikkunan ulkopinnassa selektiivikalvoa. Selektiivikalvojen lisääminen heikentää kuitenkin radioaaltojen etenemistä ikkunan läpi, mikä voi aiheuttaa matkapuhelimien kuuluvuusongelmia rakennuksen sisällä.
4. Saderasituksen vuoksi korkeissa puurunkoisissa rakennuksissa (yli 10 m korkeat seinät), puurunko on suositeltavaa suojata esimerkiksi tiiliverhouksen ja tuulensuojan väliin asennettavalla teräsohutlevyistä tehdyllä suojakerroksella, jonka kummallekin puolelle jätetään tuuletusväli (Vinha et al. 2012). Tässä on esitetty sadetakkiratkaisun ikkunadetaljin toteutus.

8 Erityiskohteita

8.1 Terassikatto

Terassikatoissa lämmöneristyskerros käytännössä kaksinkertaistuu nykyisenkaltaisia lämmöneristeitä käytettäessä. Ns. käännetyssä rakenteessa tulee lämmöneristeenä käyttää vain XPS-eristeitä tai muita vettymättömiä eristeitä. Lämmöneristeet eivät saa vettyä ajan kuluessa, sillä tällöin ne menettävät lämmöneristyskykyään.

Terassikaton liitoksessa ulkoseinään vedeneristys tulee viedä ulkoseinän sisäpintaan saakka, jotta mahdolliset eristetilaan päässeet vuotovedet eivät pääse valumaan rakennuksen sisäpinnoille.

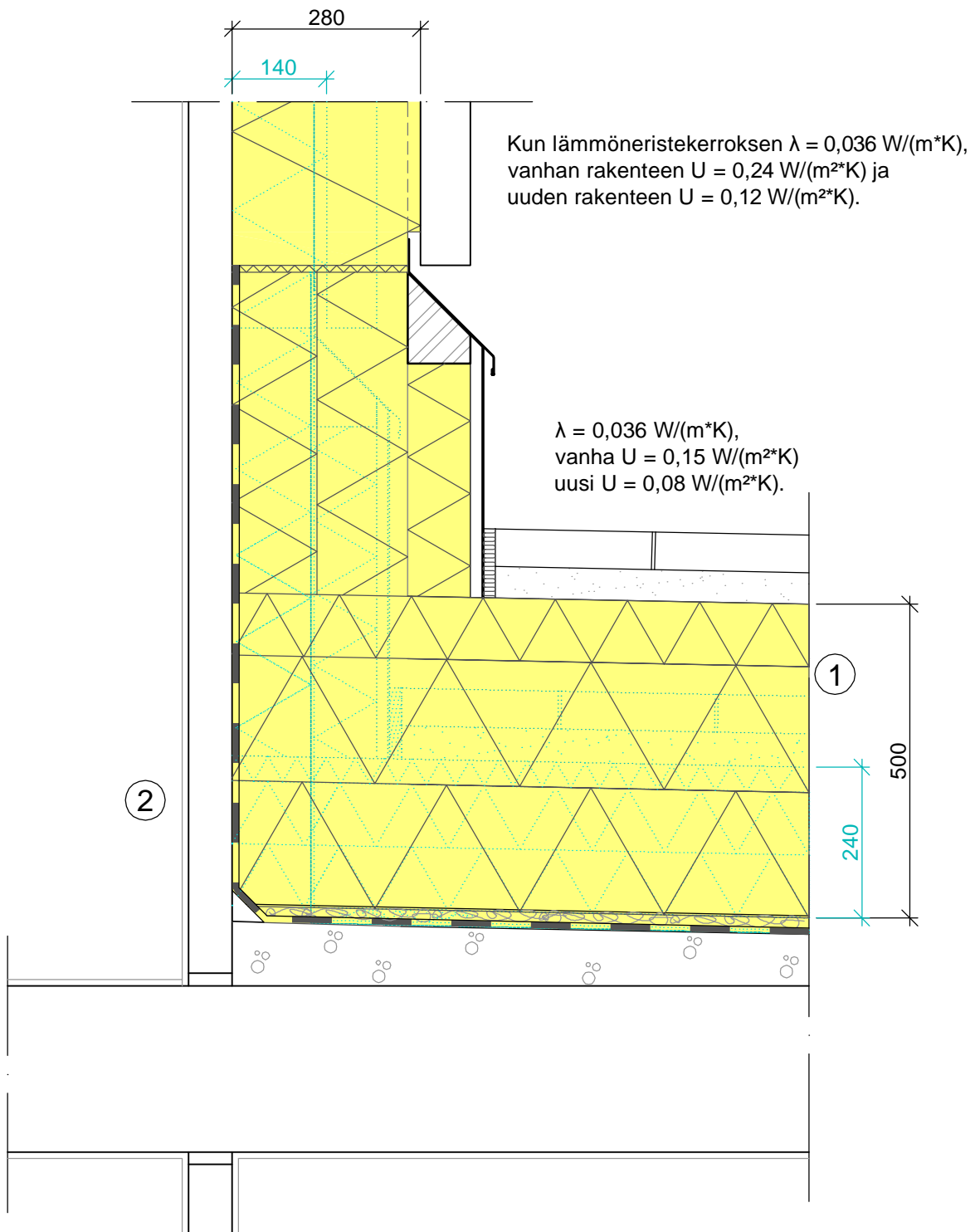


Kuva 8.1 Tyhjöeristeiden asentaminen käynnissä terassiparvekkeella (www.vacuspeed.ch)

Rakennekerrokset voidaan toteuttaa ohuempina käyttäen polyuretaanieristeitä tai muita vastaavia kuormitusta kestäviä erittäin pienen lämmönjohtavuuden eristeitä. Tällöin terassikaton vedeneristys on kuitenkin asennettava lämmöneristekerroksen päälle.

Tyhjöeristeiden, joiden lämmönläpäisykerroin on erittäin pieni, luokkaa $< 0,015 \text{ W/(mK)}$, käyttö terassikattojen lämmöneristeenä on viime aikoina yleistynyt ulkomailla. Tyhjöeristeillä on mahdollista saada aikaan huomattavasti nykykäytäntöä ohuempia ja samalla uudet vaatimukset täyttäviä

rakenteita. Tyhjöeristeiden käyttöä rajoittavat varsin korkea hankintahinta sekä eristelevyjien työnaikainen rikkoutumisvaara. Toisaalta tyypillisesti terassikatot ovat pinta-alaltaan varsin rajallisia, joten kokonaiskustannukseltaan tyhjöeristeiden käyttäminen voi olla hyvinkin perusteltua, erityisesti mikäli sisäpuolisista porrasaskelmista on mahdollista päästä eroon. Tällöin terassi saadaan lattiapinnan kanssa samaan tasoon ja sisätilojen suunnitteluun saadaan lisää vapauksia.



1. Terassikaton korkeusasema kasvaa entisestään, ellei käytetä tehokkaampia lämmöneristeitä.
2. Vedeneristys tulee ulottaa ulkoseinän sisäpintaan saakka ja nostaa terassikaton lattiatasen yläpuolelle.

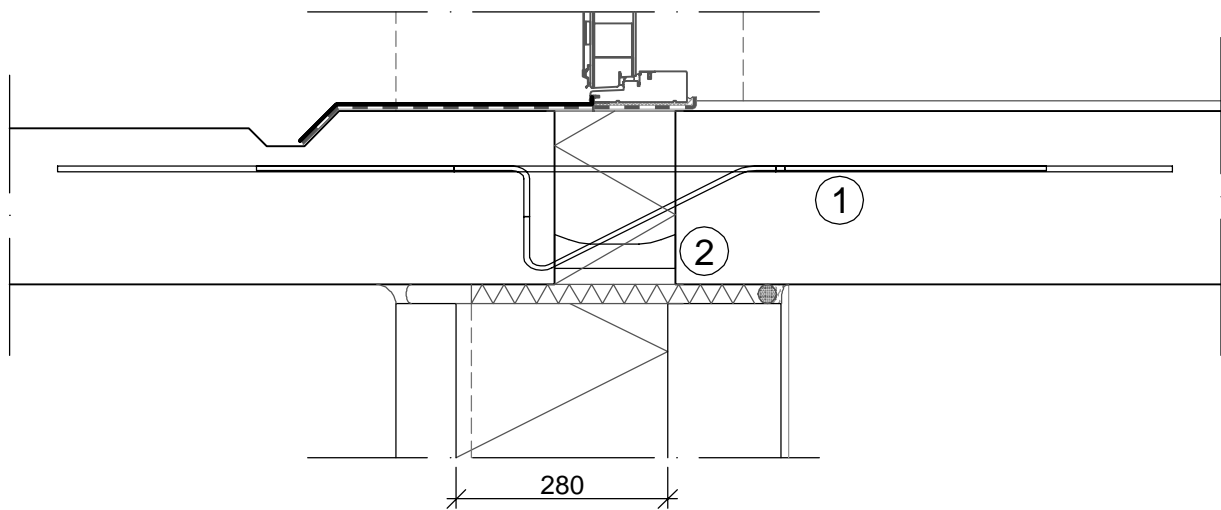
8.2 Ulokeparveke

Lämmöneristyspaksuuden kasvaessa erilaisten lämmöneristeen läpi menevien ulokkeiden ja kannakkeiden pituudet ja siten dimensiot kasvavat. Tyypillisesti erilaiset ulokkeet ja kannakkeet ovat haponkestävästä teräksestä valmistettuja, joten niiden lämmönjohtavuus on huomattavan suuri lämmöneristeisiin verrattuna. Eristeiden läpi menevien teräsosien kylmäsilta vaikutus kasvaa aiempaan verrattuna, koska rakenteet ovat muilta osin yleisesti huomattavasti paremmin eristettyjä kuin aiemmin.

Lämmöneristekerroksen läpi menevien ulokkeiden ja kannakkeiden käyttöä ei ole mahdollista kokonaan poistaa, mutta niiden sijoitteluun ja suunnitteluun tulee kiinnittää erityistä huomiota.



Kuva 8.2 Ulokeparvekkeen kannattajat katkaisevat lämmöneristekerroksen.



1. Dimensioiden kasvaessa lämmöneristeen huononnusten suhteellinen osuus kasvaa. Seurauksena voi olla esimerkiksi kondenssia ja lattiapinnan kylmyyttä. Eristehalkaisun kasvattaminen aiheuttaa teräsosien ja muiden osien kasvua.
2. Dimensioiden kasvu kasvattaa myös liitososan puristuskappaleen nurjahduspituutta vastaavasti.

9 Lähteet

Ahrmens, C. & Borglund, E. 2007. Fukt på kallvindar- en kartläggning av småhus i Västra Götalands län. Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad, Chalmers Reproservice. Göteborg.

Aho, H. & Korpi, M. (toim.), Vinha, J., Lindberg, R., Mattila, J., Lahdensivu, J., Hietala, J., Suonketo, J., Salminen, K., Lähdesmäki, K. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka, Tutkimusraportti 141. Tampere. 100s.

Boström, S. 2012. Lähiökerrostalon energiatehokkuusluvun laskenta ja lämmönkulutuksen jakautuminen. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Diplomityö. 89 s.

BY 57. 2011. Eriste- ja levyrappaus 2011. Suomen Betoniyhdistys r.y. 196 s.

ETAG 004 2008. Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering. European Organisation for Technical Approvals. Brussels. 114 p. + app. 29 p.

God bebyggd miljö – förslag till nytt delmål för fukt och mögel, Resultat om byggnaders fuktskador från projektet BETSI. Boverket, Karlskrona 2010. 144 s.

Jansson, A. Putsade regelväggar 2011. Erfarenheter från undersökningar som SP har utfört. SP Rapport 2011:61, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås 2011. 79 s.

Leivo, V. (toim.) 1998. Opas kosteusongelmiin. Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka, Julkaisu num. 95, 150 s.

Linne, S. 2012. Ulkovaipan lämpötalouteen vaikuttavat korjaustoimenpiteet käytännössä. Tampere Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. 57 s. + 50 liites.

Mäkinen, H. 2009. Energiatehokas ikkuna- ja julkisivukorjaus. [WWW]. Suomen Talokeskus. [viitattu 28.2.2012]. Saatavissa: <http://www.teeparannus.fi/attachements/2009-04-22T10-49-599785.pdf>

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

Padt, M., Tolstoy, N. & Deling J. 2004. Fukttekniska lösningar för krypgrunden med problem. Bygg & teknik 8/04, ss. 29-34.

RIL 107-2012. 2012. Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. Helsinki.

Samuelson, I. & Hägerhels Engman, L. 2006. Kalla Vindar – problem och förbättringar. Bygg & Teknik 4/06.

Samuelson, I., Jansson, A. Putsade regelväggar. SP Rapport 2009:16, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås 2009. 100 s.

Samuelson, I., Mjörnell, K., Jansson, A. Fuktskador i putsade, odränarade träregelväggar – lägesrapport oktober 2007. SP Rapport 2007:36, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås 2007. 18 s.

SBUF Informerar nro 07:17. 2007. Fuktdimensionering av krypgrund. SBUF Informerar nro 07:17. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.

SFS-EN ISO 6946 2007. Rakenne- ja rakennusosat. Lämmönvastus ja lämmönläpäisykerroin. Laskentamenetelmä. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2007.

Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Rakennuksen lämmöneristys, määräykset 2007. Ympäristöministeriö 2007. 9 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö 2012. 35 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. Lämmöneristys, ohjeet 2012. Ympäristöministeriö 2012. 47 s. (luonnos 16.3.2012)

Tutkimusselostus TTY/PALO/1950. 2011. Metallisten kevythormien paloturvallisuus. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Palolaboratorio. 78 s.

Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho., H., Salminen, M., Salminen, K., Keto, M. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 140. 148 s. + 19 liites.

Vinha, J., Lindberg, R., Pentti, M., Aaltonen, A., Aho, H., Heljo, J., Korpi, M., Lahdensivu, J., Leivo, V., Lähdesmäki, K., Mattila, J., Salminen, K., Suonketo, J. 2008. Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tutkimustuloksia ja suosituksia uusiin lämmöneristys- ja energiankulutusmääräyksiin ja -ohjeisiin. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusselostus 1706. 89 s.

Vinha, J., Laukkarinen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O., Koskenvesa, A. 2012. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 159.

Liitteet

LIITE 1 Lista workshoppeihin osallistuneista yrityksistä ja muista organisaatioista 1 s.

Fenestra Oy
Finnfoam Oy
Finnish Wood Research Oy
H+H Finland Oy
Lammi-Kivitalot Oy
NCC Oy
Profin Oy
Puuinfo Oy
RTT ry, EPS-rakennuseristeteollisuus
RTT ry, muuratut rakenteet
Ruukki Constructions Oy
Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy
Saint-Gobain Weber Oy
Skanska Talonrakennus Oy
Soklex Oy
SPU Oy
Suomen Kuitulevy Oy
Talonrakennusteollisuus ry
ThermiSol Oy
Wienerberger Oy Ab
YIT Rakennus Oy
Ympäristöministeriö

**Talonrakennustekniikan tutkimusraportit v. 1998 – 2012**

- 160 Lahdensivu, J., Suonketo, J., Vinha, J., Lindberg, R., Manelius, E., Kuhno, V., Saastamoinen, K., Salminen, K. & Lähdesmäki, K., Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita. TTY 2012. 122 s. + 1 liites. 45 €
- 159 Vinha, J., Laukkarinen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O. & Koskenvesa, A., Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. TTY 2012. xx s. + xx liites. 45 €. Julkaisematon.
- 158 Boström, S., Uotila, U., Linne, S., Hilliaho, K. & Lahdensivu, J., Erilaisten korjaustoimien vaikutuksia lähiökerrostalojen todelliseen energiankulutukseen. TTY 2012. 77 s. 34€
- 157 Bzdawka, K., Optimization of Planar Tubular Truss with Eccentric Joint Modeling. TUT 2012. 29 p. + 1 app. 34 €
- 156 Ronni, H. & Heinisuo, M., Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Biaxial Bending in Fire. TUT 2011. 34 p. + 5 app. 34 €. (in Finnish)
- 155 Perttola, H. & Heinisuo, M., Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Biaxial and Weak Axis Bending. TUT 2011. p. + 58 app. 17. 34 €
- 151 Salminen, M., Shear Buckling Resistance of Thin Metal Plate at Non-Uniform Elevated Temperatures. TUT 2010. 107 p. + 25 app. 34 €
- 150 Piironen, J. & Vinha, J., Vakiotehoisen kuivanapitolämmityksen vaikutus hirsimökkien lämpö- ja kosteustekniseseen toimintaan. TTY 2010. 79 s. + 16 liites. 34 €
- 149 Ronni, H. & Heinisuo, M., Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Strong Axis Bending. TUT 2010. 33 p. + 19 app. 34 €
- 148 Lahdensivu, J., Varjonen, S., Köliö, A., Betonijulkisivujen korjausstrategiat. TTY 2010. 79 s. 34 €
- 147 Bzdawka, K., Composite column – calculation examples. TUT 2010. 54 p. 34 €
- 146 Bzdawka, K., Optimisation of a steel frame building. TUT 2009. 104 p. + 38 app. 34 €
- 145 Leivo, V., Ohje uimahallien ja kylpylöiden lattioiden liukkauden ehkäisemiseen. TTY 2009. 20 s.
- 144 Leivo, V., Uimahallien laattalattioiden liukkaus. TTY 2009. 51 s. + 7 liites.
- 143 Vinha, J., Viitanen, H., Lähdesmäki, K., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Salminen, K., Paajanen, L., Strander, T. & Iitti, H., Rakennusmateriaalien ja rakenteiden homehtumisriskin laskennallinen arviointi. TTY 2009. xx s. + 2 liites. 42 €. Julkaisematon.
- 142 Rauhala, J., Kylliäinen, M., Eristerapatun betoniseinän ilmaääneneristävyyden eristävyys. TTY 2009. 119 s. + 83 liites. 42 €
- 141 Aho, H., Korpi, M. (toim.), Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. TTY 2009. 100 s. 42 €
- 140 Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K., Keto, M., Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. TTY 2009. 148 s. + 19 liites. 42 €
- 139 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. TTY 2006. 57 s. + 55 liites. 34 €.
- 138 Heinisuo, M., Aalto, A., Stiffening of Steel Skeletons Using Diaphragms. TUT 2006. 31 p. 7 app. 34 €
- 137 Kylliäinen, M., Talonrakentamisen akustiikka. TTY 2006. 205 s. 42 €
- 136 Varjonen, S., Mattila, J., Lahdensivu, J. & Pentti, M., Conservation and Maintenance of Concrete Facades Technical Possibilities and Restrictions. TUT 2006. 29 p.
- 135 Heinisuo, M., Ylihärsilä, H., All metal structures at elevated temperatures. TUT 2006. 54 p. + 37 app. 34 €



- 134 Aho, H., Inha, T., Pentti, M., Paloturvallinen rakentaminen EPS-eristeillä. TTY 2006. 106 s. + 38 liites. 42 €
- 133 Haukijärvi, M., Varjonen, S., Pentti, M., Julkisivukorjausten turvallisuus. TTY 2006. 25 s. + 111 liites.
- 132 Heinisuo, M., Kukkonen, J., Design of Cold-Formed Members Following New EN 1993-1-3. TUT 2005. 41 p. 34 €
- 131 Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Valovirta, I., Mikkilä, A., Jokisalo, J., Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. TTY 2005. 102 s. + 10 liites. 42 €
- 130 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Valovirta, I., Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta diffuusion kannalta tarkasteltuna. 42 €. Julkaisematon
- 129 Vinha, J., Valovirta, I., Korpi, M., Mikkilä, A., Käkelä, P., Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. TTY 2005. 101 s. + 211 liites. 42 €
- 128 Leivo, V., Rantala, J., Lattialämmitetyn alapohjarakenteen rakennusfysikaalinen toiminta. TTY 2005. 140 s. 34 €
- 127 Lahdensivu, J., Luonnonkiviverhottujen massiivitiiliseinien vaurioituminen ja korjausperiaatteet. TTY 2003. 156 s. + 9 liites. 34 €
- 126 Leivo, V., Hirsirakennuksen yläpohjan tiiviys – vaikutus lämpöenergiankulutukseen. TTY 2003. 63 s.
- 125 Kylliäinen, M., Uncertainty of impact sound insulation measurements in field. TUT 2003. 63 p. + 50 app. 34 €
- 124 Myllylä, P., Lod, T. (toim.), Pitkäikäinen puurakenteinen halli, toimiva kosteustekniikka ja edullinen elinkaari. TTY 2003. 143 s. + 6 liites. 34 €
- 123 Mattila, J., Pentti, M., Suojaustoimien tehokkuus suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa. TTY 2004. 69 s. 42 €
- 122 Leivo, V., Rantala, J., Moisture Behavior of Slab-on-Ground Structures. TUT 2003. 100 p. + 12 app. 34 €
- 121 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaiset alapohjarakenteet – kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. TTKK 2002. 33 s. + 11 liites.
- 120 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. TTKK 2003. 106 s. + 13 liites. 34 €
- 119 Lindberg, R., Wahlman, J., Suonketo, J., Pauku, E., Kosteusvirtatutkimus. TTKK 2002. 92 s. + 3 liites. 34 €
- 118 Hietala, J., Kelluvan betonilattian kaareutuminen, osa II. TTY 2003. 58 s. + 12 liites. 30 €
- 117 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Comparison of the Moisture Behaviour of Timber-Framed Wall Structures in a One-Family House. 34 € (julkaistaan lähiaikoina)
- 116 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Puurunkoisten seinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan vertailu omakotitalossa. TTKK 2002. 54 s. + 11 liites. 34 €
- 115 Junttila, T., Venäjän rakennusalan säädöstö ja viranomaishallinto, osa I ja II TTKK 2001. 97 s. 34 €
- 114 Junttila, T. (toim.), Venäjän rakennusalan tuotekortit. TTKK 2001. 63 s. 34 €
- 113 Junttila, T., Lod, T., Aro, J., Rakennusinvestointihankkeen toteuttaminen Moskovassa. TTKK 2001. 112 s. + 11 liites. 34 €
- 112 Junttila, T. (toim.), Venäjän rakentamisen oppikirja. Osa B: Talonrakennustekniikka. TTKK 2001. 174 s. 34 €
- 111 Junttila, T. (toim.), Venäjän rakentamisen oppikirja. Osa A: Liiketoimintaympäristö ja rakennushankkeen johtaminen. TTKK 2001. 173 s. + 21 liites. 34 €



- 110 Юнттила, Т. (под ред.), Управление недвижимостью в России. Теория и практические примеры. Технический университет Тампере 2001. 356 стр. + приложения на 33 стр. 34 €
- 109 Junttila, T., (toim.) Kiinteistöjohtaminen Suomessa ja Venäjällä. Edellytykset kiinteistöalan yhteistyölle. TTKK 2001. 293 s. + 54 liites. 34 €
- 108 Hietala, J., Kelluvan betonilattian kaareutuminen. TTKK 2001. 80 s. + 7 liites. 34 €
- 107 Binamu, A., Lindberg, R., The Impact of Air Tightness of The Building Envelope on The Efficiency of Ventilation Systems with Heat Recovery. TTKK 2001. 62 p. + 7 app. 25 €
- 106 Leivo, V., Rantala, J., Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. TTKK 2000. 124 s. 34 €
- 105 Junttila, T. (toim.), Venäjän federaation kaavoitus- ja rakennuslaki. TTKK 2000. 49 s. 34 €
- 104 Niemelä, T., Vinha, J., Lindberg, R., Carbon Dioxide Permeability of Cellulose-Insulated Wall Structures. TUT 2000. 46 p. + 9 app. 25 €
- 103 Vinha, J., Käckelä, P., Water Vapour Transmission in Wall Structures Due to Diffusion and Convection. TUT 1999. 110 s. 34 €
- 101 Pessi, A-M., Suonketo, J., Pentti, M., Raunio-Lehtimäki, A. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. TTKK. 1999. 88 s. + 6 liites. 42 €
- 100 Pentti, M., Haukijärvi, M., Betonijulkisivujen saumausten suunnittelu ja laadunvarmistus. TTKK 2000. 2. täydennetty painos. 78 s. + 3 liites. 42 €
- 99 Torikka, K., Hyypöläinen, T., Mattila, J., Lindberg, R., Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. TTKK 1999. 106 s. + 37 liites. 34 €
- 98 Mattila, J., Peuhkurinen, T., Lähiökerrostalon lisärakentamishankkeen tekninen esiselvitysmenettely. Korjaus- ja LVIS-tekninen osuus. TTKK 1999. 48 s.
- 97 Kylliäinen, M., Keronen, A., Lisärakentamisen rakennetekniset mahdollisuudet lähiöiden asuinkerrostaloissa. TTKK 1999. 59 s. + 37 liites. 34 €
- 96 Vinha, J., Käckelä, P., Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. TTKK 2001. 3 painos. 81 s. + 29 liites. 34 €
- 95 Leivo, V. (toim.), Opas kosteusongelmiin – rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. TTKK 1998. 157 s. 25 €
- 94 Pentti, M., Hyypöläinen, T., Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. TTKK 1999. 150 s. + 40 liites. 42 €
- 93 Lepo, K., Laatu järjestelmän kelpoisuus. TTKK 1998. 101 s. + 50 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.
- 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.
- 90 Lindberg, R., Keränen, H., Teikari, M., Ulkoseinärakenteen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. TTKK 1998. 34 s. + 26 liites.
- 89 Pentti, M., Huttunen, I., Vepsäläinen, K., Olenius, K., Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa III Korjaushanke. TTKK 1998. 124 s. + 23 liites. 42 €

Tutkimusraportin hinta: 20 € ellei toisin ole mainittu. Oikeus hinnanmuutoksiin pidätetään. Hintoihin lisätään alv 9 %, 1.1.2013 alkaen 10 %.

**Myynti: Juvenes Teknillisen Yliopiston Kirjakauppa, TTY:n
Rakennustalo, Korkeakoulunkatu 5, 33720 Tampere, Puh. 0207 600 394
ty.kampuskauppa@juvenes.fi tai TTY-Säätiö, Terttu Mäkipää, terttu.makipaa@tut.fi**

Tampereen teknillinen yliopisto
PL 527
33101 Tampere

Tampere University of Technology
P.O.B. 527
FI-33101 Tampere, Finland