



Puisen apukarmin kosteustekninen toimivuus korkeassa tiiliverhotussa rakenteessa - Suunnitteludetailjit diffuusioavoimille eristeille

Kirjoittajat: Tuomo Ojanen

Luottamuksellisuus: Luottamuksellinen

Raportin nimi Puisen apukarmin kosteustekninen toimivuus korkeassa tiiliverhotussa rakenteessa - Suunnitteludetailjit diffuusioavoimille eristeille	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot 1. Paroc Oy Ab Susanna Tykkä-Vedder Energiakuja 3 PL 240 FI-00181 Helsinki	Asiakkaan viite Tarkennettu tilaus 24.5.2019
2. Saint-Gobain Finland Oy / Isover 3. Wienerberger Oy Ab 4. Inwido Finland Oy	Projektin numero/lyhytnimi 123726 Apukarmi
Projektin nimi Ikkunan apukarmin uusi ratkaisu	
Tiivistelmä <p>Työssä esitetään asiantuntijanäkemyks mitallistetusta kuusesta tehtyjen apukarmien uudesta rakenneratkaisusta, joka on esitetty apukarmin kuivumisen nopeuttamiseksi ja homehtumisriskin eliminoinemiseksi. Tämän ja aiemmin yleisesti käytetyn suojaustavan vaikutuksia rakennedetailjin kosteustekniseen toimivuuteen on analysoitu erillisissä laskennallisissa selvityksissä, jotka tilaaja on toimittanut VTT:lle.</p> <p>Asiantuntijanäkemyks perustuu VTT:n asiantuntijoiden kokemukseen rakenteiden rakennusfysikaalisesta toimivuudesta ja tilaajan toimittamat laskentaratkaisut ovat tukeneet näkemystä.</p> <p>Nyt esitty detailjiratkaisu mitallistetusta käsittelemättömästä kuusesta tehdyille apukarmille on kosteusteknisesti turvallisesti toimiva Suomen tulevissa kosteusrasitusoloissa (Vantaa v. 2030 sää) ja tässä käytetyin oletuksin.</p>	
Espoo, 10.06.2019 Laatija  Tuomo Ojanen Erikoistutkija	Hyväksyjä  Johanna Kuusisto Tiimipäällikkö
VTT:n yhteystiedot P.O.Box 1000, 02044 VTT	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaajat ja VTT	
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>	

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	3
1. Tausta ja tavoitteet	4
2. Nykyisen rakennedetaljin toimivuus	4
2.1 Laskennalliset tarkastelut /1 ja 2/	4
2.2 Asiantuntijanäkemys	5
3. Uuden rakenneratkaisun toimivuus	5
3.1 Laskennalliset tarkastelut /3/	9
3.2 Asiantuntijanäkemys	9
4. Kosteusvirtaus rakenteen ulkopinnasta puuhun	9
5. Riskitarkastelu	10
6. Yhteenveto	10
Lähdeviitteet	10

1. Tausta ja tavoitteet

Ikkunoiden puiset apukarmit suojataan yläpuolelta eristetilan kautta valuvulta kosteudelta yleensä niiden päälle, ylä- ja ulkopintaan asennetun kumibitumikermin avulla. Kun ikkunaa vasten olevassa tilkeraossa on lisäksi elastinen, diffuusiota läpäisemätön kitti, voi apukarmin alkukosteuden kuivuminen tapahtua vain hyvin pieneksi jäävän avoimen pintaosan kautta. Kuivuminen on siten hidasta, mistä voi seurata homeen kasvun mahdollistavat olosuhteet ja suojaamattomana puu voi alkaa homehtua. Puun kuivumista hidastaa lisäksi kosteusvirtaus sisäpuolen betonista puuhun betonin alkukosteuden kuivuessa.

On myös esitetty väittämiä, joiden mukaan kastunut ulkoverhousstiili ja diffuusiolle avoin lämmöneristyskerros edistäisivät apukarmin homehtumisriskiä etenkin korkeissa (h > 10 m) rakennuksissa.

Apukarmin kuivumisen nopeuttamiseksi ja homehtumisriskin eliminoimiseksi on esitetty uudentyypinen apukarmin suojauksen detaljirakenne. Tämän ja aiemmin yleisesti käytetyn suojaustavan vaikutuksia rakennedetaljin kosteustekniseen toimivuuteen on analysoitu erillisissä laskennallisissa selvityksissä, jotka tilaaja on toimittanut VTT:lle /1 - 3/.

Tässä työssä esitetään asiantuntijanäkemykset esitettyjen apukarmin rakennedetaljien kosteusteknisestä toimivuudesta ja homehtumisriskistä Suomen tulevaisuudessa, nykyistä vaativammassa ilmasto-oloissa, kun apukarmi on mitallistettua käsittelemätöntä kuusta. Ulkopuolelta rakenteeseen kohdistuva kosteusrasitus vastaa korkeaa rakennusta. Työ perustuu VTT:n rakennusfysikaaliseen asiantuntemukseen ja siinä on käytetty apuna tilaajan toimittamia laskennalliseen tarkasteluun perustuvia raportteja. Vertailukohtana on nykyinen tyyppinen apukarmin pintaan asennetun bitumikermin toimivuus vastaavissa oloissa. Työssä arvioidaan lisäksi lämmöneristeen tyyppin vaikutusta ulkoa päin apukarmiin kohdoistuviin mahdollisiin kosteuskuormiin.

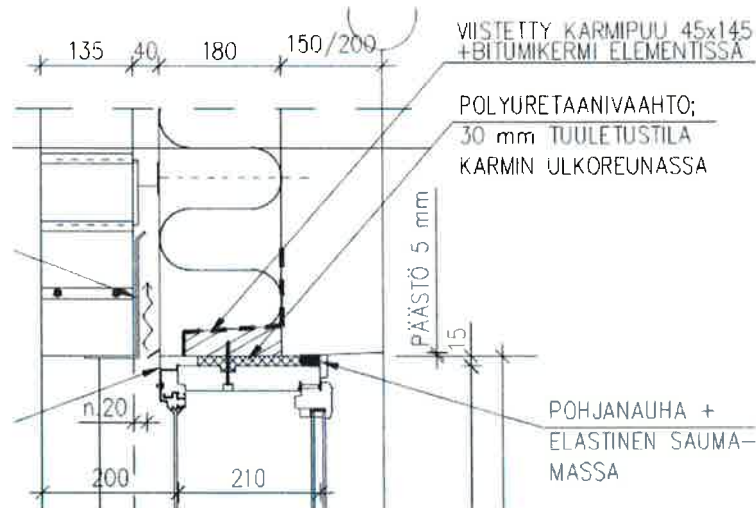
2. Nykyisen rakennedetaljin toimivuus

2.1 Laskennalliset tarkastelut /1 ja 2/

Tilaajan toimittamat laskennalliset tarkastelut perustuivat Vantaan 2030 ilmastossa olevalle rakenteelle ja oletukseen rakenteen materiaalien korkeasta alkukosteudesta - RH = 95 % (pois lukien ikkunatilkke ja ikkunakarmi). Lisäksi viistosateesta 1 % oletettiin läpäisevän julkisivupinnoitteen. Apukarmi oli mitallistettua käsittelemätöntä kuusta. Tarkastelu tehtiin rapatulle rakenteelle ja tuulettuvalle tiilijulkisivurakenteelle. Molemmissa tapauksissa rakenteen kriittinen kohta oli yläapukarmi, joka oli jokseenkin kauttaaltaan eristetty diffuusiotiiviillä pinnoitteilla ja joka oli suoraan kosketuksessa sisäpuolen betoniin (Kuva 1). Apukarmista oli kuivumiselle avoinna vain pieni osa sen alapinnasta.

Laskenta osoitti, että sekä rapatussa rakenteessa että tuulettuissa tiiliverhotussa rakenteessa homeen kasvu on mahdollista erityisesti yläapukarmissa, kun apukarmi on mitallistettua kuusta. Homeen kasvun laukaisevana tekijä on apukarmin ja betonin korkea alkukosteus sekä rakenneratkaisut, jotka merkittävästi hidastavat apukarmin kuivumista. Laskennan perusteella homekasvustoa ei muodostu enää sen jälkeen, kun alkukosteus on päässyt kuivumaan rakenteesta.

Sivuapukarmissa laskennallinen homeindeksi ylitti arvon 1 (ensimmäiset mikroskooppiset merkit homeen kasvusta) rapatulla rakenteella ikkunan suuntaan olevalla pinnalla (max 1,1) ja tiiliverhotussa rakenteessa molemmin puolin apukarmia (max 1,1 - 1,2) laskennan alkuvaiheessa.



Kuva 1. Yläapukarmin tyypillinen detajli. Tilkeraon sisäpinnassa on elastinen kitti ja yläapukarmin päällä on kumibitumikermi, joten puun kuivuminen korkeasta alkukosteudesta on hidasta.

2.2 Asiantuntijanäkemys

Yläapukarmin alkukosteuden aiheuttama homehtumisriski käsittelemättömälle puulle (kuusi) on ilmeinen, koska kosteus voi kuivua vain hyvin hitaasti lähes kauttaaltaan diffuusiotiiviisti pinnoitetusta apukarmista. Syy homehtumiseen on puun korkea alkukosteus ja sen hidas kuivuminen. Jos alkukosteus olisi riittävän alhainen (alle 80 % RH) ei homehtumisriskiä ilmeisesti olisi. Laskentatulokset tukevat tätä näkemystä.

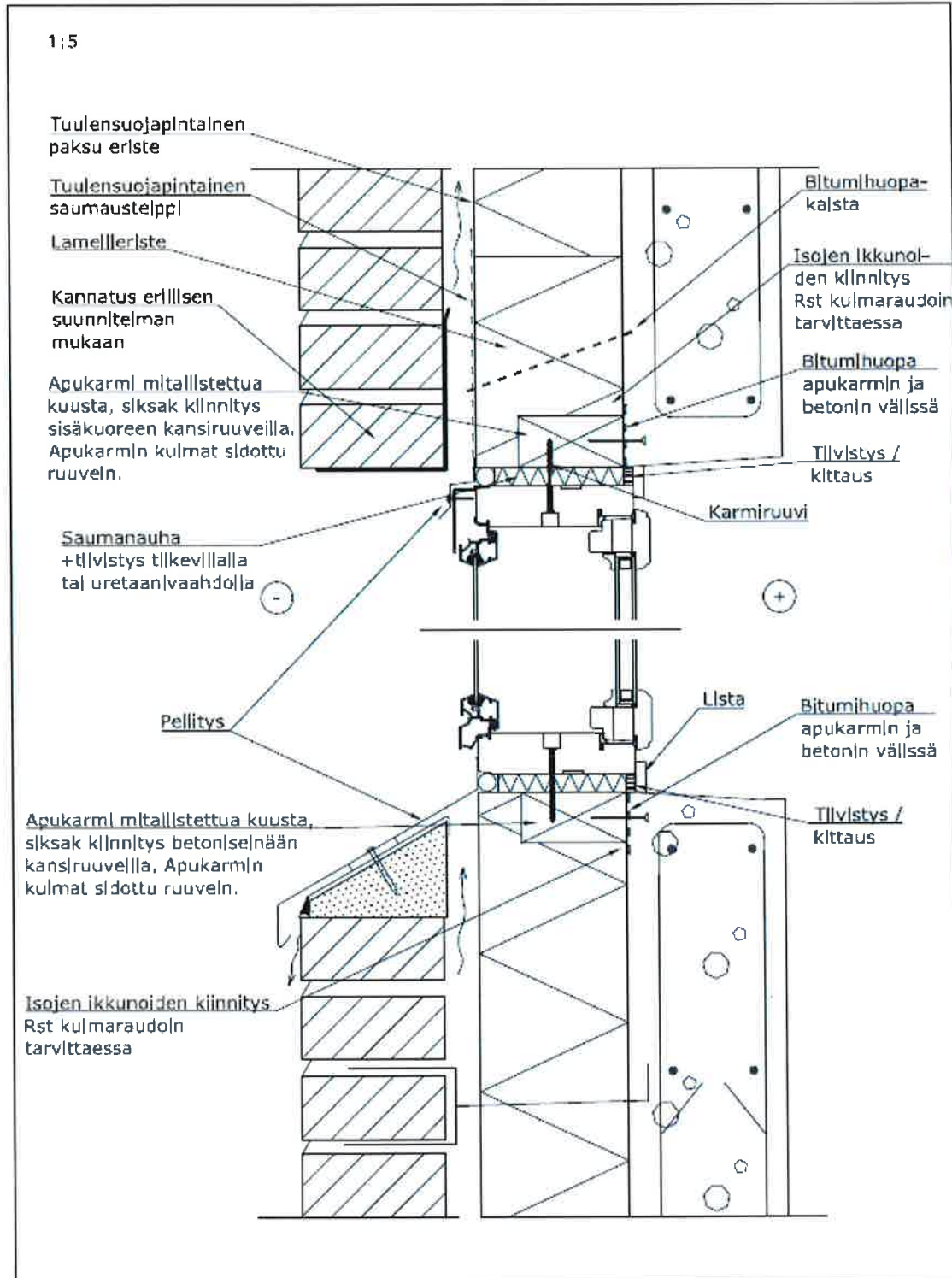
Sivuapukarmien homehtumisriski on käytännössä olematon, koska ne ovat diffuusiolle avoimen eristeen sisällä ja niiden ulkopuolella on lämmönsiirtovastus (eriste tai tuulensuojakerros), joka nostaa niiden lämpötilatasoa mahdollisesti kosteisiin ulkopinnan kerroksiin nähden. Lämpötilaero edistää rakennosan kuivumista ja estää kosteuden diffuusiomuotoisen siirtymisen ulkopinnasta puuhun päin. Laskennassa hetkelliset alimman homehtumistason ($M = 1$) lievät ylitykset eivät edusta riskiä sisäilman kannalta. Ylitykset ovat korkean alkukosteuden aiheuttamia hetkellisiä tapahtumia rakenteen sisällä, höyryn/ilmansulun ulkopuolella, jolloin niiden mahdollinen riski sisäilmalle on merkityksetön.

3. Uuden rakenneratkaisun toimivuus

Uudessa rakenneratkaisussa yläapukarmin kuivumiskykyä on parannettu huomattavasti aiempaan ratkaisuun verrattuna. Mitallistettua käsittelemätöntä kuusta oleva yläapukarmi on esitetyissä detajiratkaisuissa ulkopuolen pinnaltaan kokonaan ja yläpinnaltaan ratkaisusta riippuen suurelta osin tai kokonaan avoin diffuusiolle. Kuvat 2 - 4 esittävät uuden ratkaisun sovellutukset.

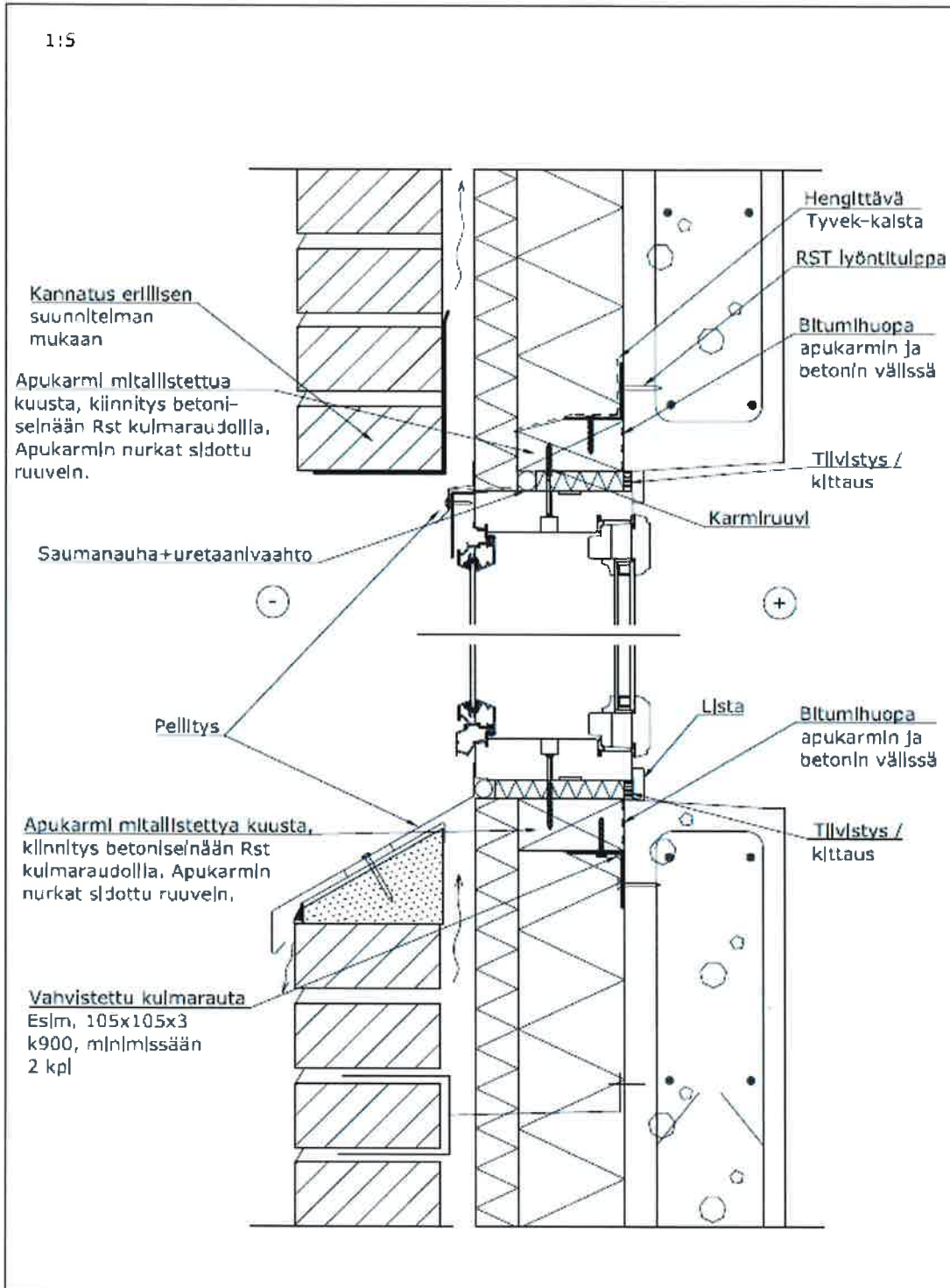
Ratkaisussa bitumihuopakaista on nostettu apukarmin pinnasta ylemmäs lämmöneristeeseen (Kuva 2) tai se on korvattu diffuusiota hyvin läpäisevällä Tyvek-kalvolla (Kuva 3). Nämä suojaavat karmikohtaa yläpuolelta valuvalla vedellä, mutta apukarmi voi kuivua vapaasti avohuokoisen lämmöneristeen kautta ulospäin. Detaljeissa on lisäksi bitumihuopakerros apukarmin ja sisäpuolisen betonin välissä, mikä estää betonin kosteuden siirtymisen apukarmiin. Kuva 4 esittää karmikenkävaihtoehtoa, mikä vastaa jokseenkin kuvan 2 tapaista ilman apukarmin puuosia.

Suunnittelija	Työnumero		DU 002
	Pöytäkirja	Tekijä	
Rakennuskoide	Sisältö TIILIULKOSEINÄRATKAISU IKKUNALEIKKAUS APUKARMIVAIHTOEHTO asennus elem.tehtaalla		



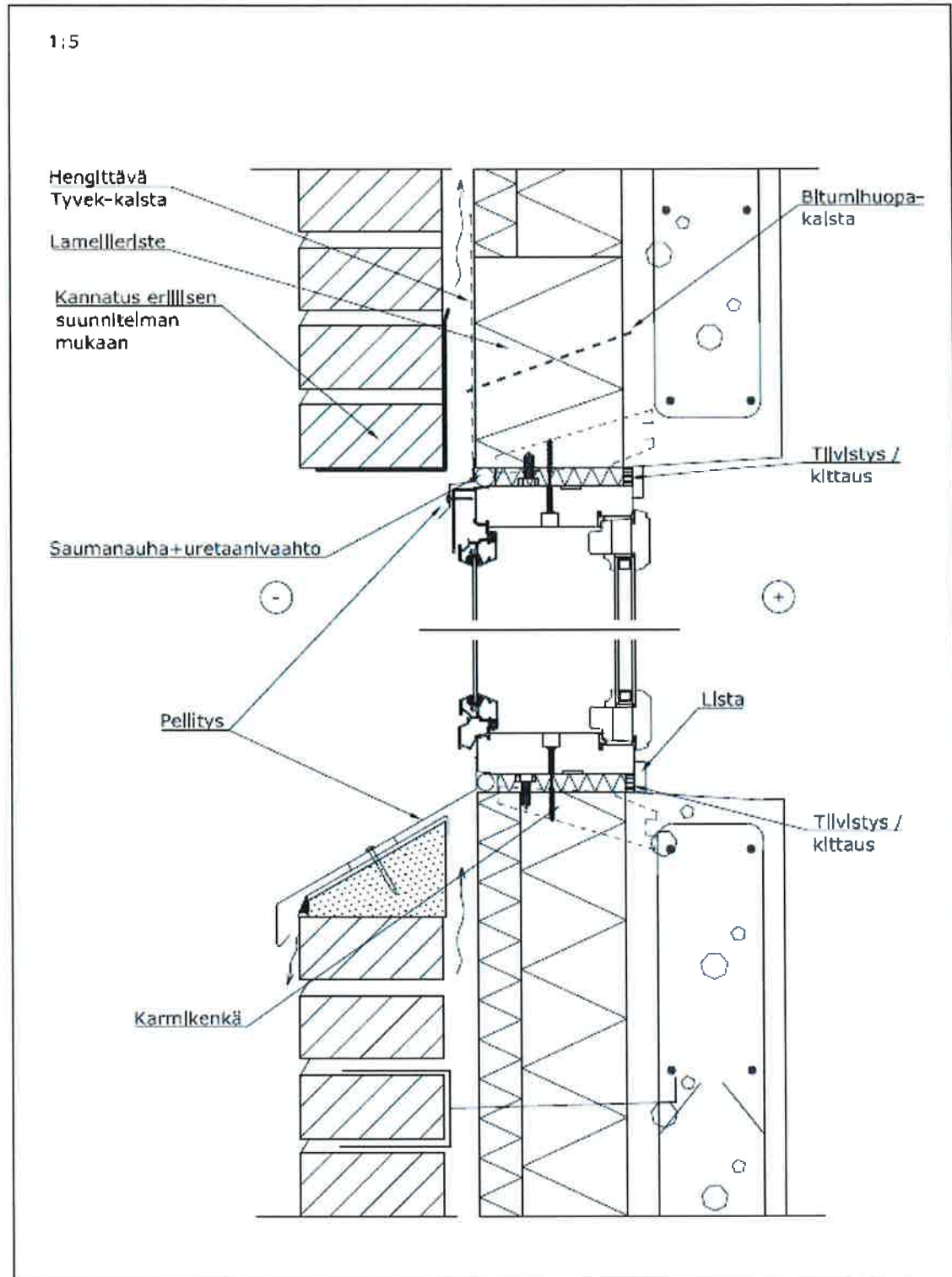
Kuva 2. Elementtitehtaalla asennettu apukarmi. Bitumihuopakaista on asennettu lämmöneristeeseen apukarmin yläpuolelle irti apukarmista.

Suunnittelija	Työnumero		DU 002b
	Päiväys	Tekijä	
Rakennuskoide	Sijäilmi TIILIULKOSEINÄRATKAISU IKKUNALEIKKAUS APUKARMIVAIHTOEHTO jälkiasennus työmaalla		



Kuva 3. Apukarmi jälkiasennettu työmaalla ja suojattu yläpinnaltaan diffuusiolle hyvin avoimella Tyvek-kalvolla.

Suunnittelija	Työnumero		DU 003
	Projekti	Tekijä	
Rakennuskohde	Sisätilä TIILIULKOSEINÄRATKAISU IKKUNALEIKKAUS KARMIKENKÄVAIHTOEHTO		



Kuva 4. Karmikenkävaihtoehto.

3.1 Laskennalliset tarkastelut /3/

Tilaaajan toimittamat laskennalliset uuden rakenneratkaisun toimivuudesta perustuivat samoihin rasisolosoihin ja alkutilaan kuin kaksi nykyistä ratkaisua kuvaavaa tarkastelua. Laskennassa tuuletetun tiilijulkisivuisen seinärakenteen apukarmi oli mitallistettua käsittelemättömästä kuusta ja se pystyi kuivumaan osasta alapintaa (kuten alkuperäisessä rakenteessa) ja lisäksi koko ulko- ja yläpinnaltaan. Sisäpuolen betonin ja apukarmin välissä ei ollut höyrytiivistä kaistaa, joten tarkastelutilanne sisältää tältä osin varmuutta (enemmän kosteuskuormia) verrattaessa tilanteeseen, jossa apukarmi on suojattu sisäpuolelta tulevalta kosteudelta.

Laskenta osoitti, että laskennallinen homeindeksin arvo ei missään vaiheessa ylittänyt arvoa $M = 1$, kun yläapukarmi on mitallistettua kuusta. Näin ollen apukarmiin ei pääse muodostumaan homekasvua käytetyillä lähtöarvoilla.

3.2 Asiantuntijanäkemykset

Uudessa rakenneratkaisussa yläapukarmin alkukosteuden kuivuminen on huomattavasti parempi kuin alkuperäisissä rakennetapauksissa, joissa apukarmin pintaan asennettu bitumihuopapinnoitus rajoitti kuivumista. Ulkosuuntaan ja yläpinnaltaan avoin puuapukarmi, jonka lämpötila on keskimääräisissä oloissa sitä ympäröivää eristettä korkeampi, voi kuivua tehokkaasti ulospäin, eikä homeen kasvuriskiä pääse syntymään. Tehty laskennallinen tarkastelu tukee tätä arviota.

Tyvek®-kalvon (DuPont™ /4/) käyttö suoraan puun pinnassa ei juurikaan muuta apukarmin kuivumiskykyä. Tyvekin vesihöyryn diffuusiovastus S_d on 0,01 m, ts. kerroksen diffuusiovastus vastaa 1 cm paksuisen paikallaan olevan ilmakerroksen vastusta, joten sen kuivumista hidastava vaikutus on hyvin pieni.

Esitetty mitallistetusta käsittelemättömästä kuusesta tehty apukarmiratkaisu on kosteusteknisesti turvallisesti toimiva.

Ikkunan karmin ja apukarmin välissä voidaan käyttää myös mineraalivillatillettä edellyttäen, että sen sisäpuolelle on diffuusiotiivis kittaus varmistamassa sauman riittävä diffuusiotiiviyys sisäilmaan ja estämässä kosteusvirtaus sisäilmasta saumaan. Ulospäin avoin villatilke edistäisi apukarmin kuivumista verrattuna tätä diffuusiotiiviimpään tilkeratkaisuun.

Karmikenkävaihtoehdossa (Kuva 4) ei ole apukarmin kuivumista edellyttäviä puuosia. Sen toimivuus on kosteusteknisesti turvallinen, kun kosteussuojaus on varmistettu detaljin mukaisesti bitumihuopakaistalla ja ulkopinnan diffuusiota hyvin läpäisevällä Tyvek®-kalvolla sekä sisäpuolisilla kittauksilla.

4. Kosteusvirtaus rakenteen ulkopinnasta puuhun

On esitetty väittämiä, että ulkopinnaltaan kastuneen rakenteen kosteus voisi siirtyä huokoisessa lämmöneristyksessä puuapukarmiin.

Puuapukarmi ei tarkastelluissa nykyisissä tai uusissa ratkaisuihin lävistä koko lämmöneristekerrosta, vaan sen ulkopuolelle jää aina kaistale eristettä tai tuulensuojakerros. Lisäksi puuapukarmi toimii kylmäsiirtana, joka edistää lämmönsiirtoa paikallisesti sisältä ulospäin, joten sen lämpötila on kylmissä ja leudoissa ilmastoissa suurimman osan vuotta korkeampi kuin siihen rajoittuvan lämmöneristeen lämpötila samalla syvyydellä tai sen ulkopuoliset rakenneosat. Lämpötilaeroista johtuen vesihöyryn osapaine on puuosissa pääsääntöisesti korkeampi kuin ulkopuolen kerroksissa. Diffuusiomuotoinen kosteudensiirto

ulkokerroksista rakenteen lämpimämpien sisäosien puukerroksiin ei siten ole pitkäkestoisesti mahdollista normaaleissa käyttöoloissa. Tyypillisessä seinärakenteessa 30 mm ulkopuolinen mineraalivillakerros on riittävä varmistamaan apukarmin lämpötilatason pysymisen sellaisena, että apukarmi ei voi olennaisesti kastua rakenteen ulkopinnasta ajoittain diffuusiona tulevan kosteusvirtauksen vaikutuksesta.

Muuta kosteudensiirtoa ulkopinnasta sisäänpäin ja puuosiin ei myöskään voi normaalioloissa tapahtua, koska rakenne on suojattu nestemäisen kosteuden valumiselta apukarmin kohdalta ja lämmöneristekerros tai tuulensuoja toimii katkona ulkopuolen kapillaariselle kosteudensiirrolle puuosiin.

5. Riskitarkastelu

Esitetyt asiantuntijanäkemykset perustuvat oletukseen normaalia hyvää, suunnitelmien mukaista rakennustapaa noudattaen toteutettuihin rakennuksiin. Muut rakennedetaljit ja esimerkiksi suojaus viistosateen tunkeutumiselta on otettu huomioon suunnittelussa ja toteutuksessa. Rakenteen läpi ei ole olennaisesti rakenteeseen kosteutta tuovia ilmavuotoja. Olennaiset puutteet em. riskikohdissa voivat johtaa kosteusteknisiin ongelmiin kaikenlaisissa rakenteissa.

Apukarmin ja tuuletusraon tai ulkopinnan rappauseroksen väliin tulee jäädä riittävä paksuus lämmöneristettä tai tuulensuojamateriaalia, jotta apukarmin lämpötilataso pysyy pääsääntöisesti niin korkeana, että kosteuden diffuusiomuotoinen siirtyminen kosteasta ulkokerroksesta apukarmiin jää korkeintaan satunnaiseksi, jolloin se ei muodosta riskiä tämän puuosan kosteustekniselle toimivuudelle.

6. Yhteenveto

Työssä esitetään asiantuntijanäkemyks mitallistetusta kuusesta tehtyjen apukarmien uusista rakenneratkaisuista, jotka on esitetty apukarmin kuivumisen nopeuttamiseksi ja homehtumisriskin eliminoimiseksi. Näiden ja aiemmin yleisesti käytetyn suojaustavan vaikutuksia rakennedetaljin kosteustekniseen toimivuuteen on analysoitu erillisissä laskennallisissa selvityksissä, jotka tilaaja on toimittanut VTT:lle.

Asiantuntijanäkemyks perustuu VTT:n asiantuntijoiden kokemukseen rakenteiden rakennusfysikaalisesta toimivuudesta, ja tilaajan toimittamat laskentareportit ovat tukeneet näkemystä.

Nyt esitetyt detaljiratkaisut mitallistetusta käsittelemättömästä kuusesta tehdyille apukarmille ovat kosteusteknisesti turvallisesti toimivia tässä käytetyin oletuksin Suomen tulevissa kosteusrasitusoloissa (Vantaan v. 2030 sää). Samoin esitetty apukarmin puuosia sisältämätön karmikenkävaihtoehto on kosteusteknisesti turvallinen esitetyin edellytyksin.

Lähteet

1. Ikkunan apukarmin kosteustekninen toiminta, eristerapattu julkisivu. Rakennusfysikaalinen mallinnus, laskentareportti. FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy 28.2.2019. 29 s.

2. Ikkunan apukarmin kosteustekninen toiminta, tiilijulkisivu. Rakennusfysikaalinen mallinnus, laskentaraaportti. FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy 28.2.2019. 25 s.
3. Ikkunan yläapukarmin kosteustekninen toiminta, tiilijulkisivu, osa2. Rakennusfysikaalinen mallinnus, laskentaraaportti. FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy 27.3.2019. 18s.
4. <http://www.dupont.co.uk/content/dam/dupont/products-and-services/construction-materials/building-envelope-systems/documents/Tyvek-Housewrap-IAB020144-2017.pdf>