

Puurankarunkoisten ulkoseinien liitosten lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Topi Moisio, Anssi Laukkarinen ja Juha Vinha
Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, rakennusfysiikka

Tiivistelmä

Tässä artikkelissa esitellään lautaverhottujen puurankaseinien liitosten lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan laskentatarkasteluja tuloksia. Esitetyt tulokset keskittyvät kipsilevytuulensuojallisten ulkoseinien nurkkaliitoksiin sekä ulkoseinä-alapohjaliitoksiin.

Tulosten perusteella liitososien lämpö- ja kosteustekninen toiminta voi poiketa huomattavasti suoraa seinää kuvaavan rakennetyypin toiminnasta. Esimerkiksi ulkoseinäliitoksen alaohjauspuun rakennusaikaisen kosteuden kuivumiseen, seinien ulkonurkan höyrinsulun asema ja ilmavuotojen vaikutukset nurkka-alueeseen ovat esimerkkejä tilanteista, joiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta voi puutteellisella suunnittelulla ja toteutuksella olla huomattavasti rakennetyypin käyttäytymistä heikompaa. Tarkastelujen perusteella artikkelissa annetaan suosituksia puurankaseinien liitosten suunnitteluun ja toteutukseen.

1. Johdanto

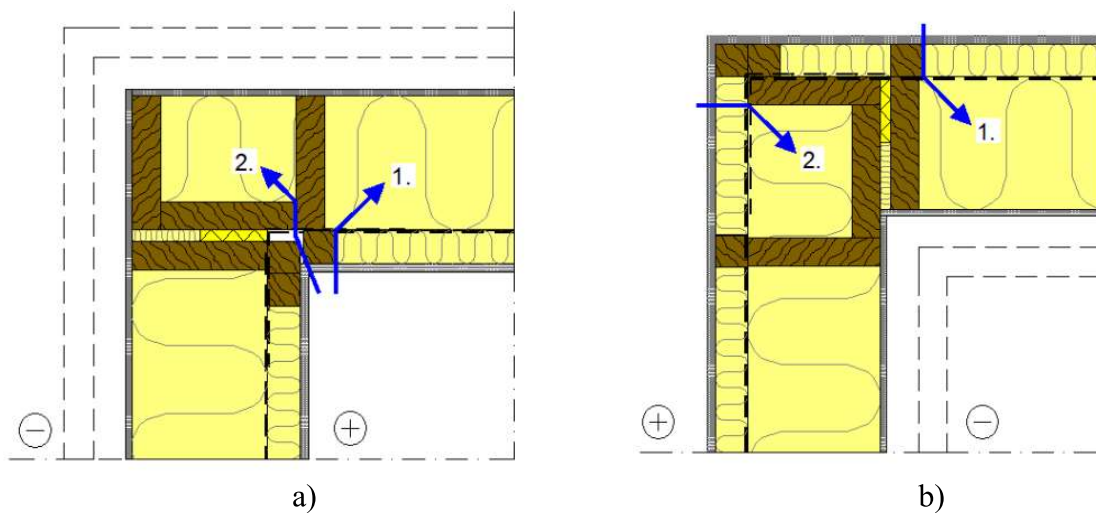
Puurankarunkoisten ulkoseinärakenteiden rakennetyyppien rakennusfysikaalista toimintaa Suomen ilmasto-olosuhteissa on tutkittu aikaisemmissa esimerkiksi tutkimuksissa [1-3]. Rakenneosien liitosten lämpöteknistä toimintaa on tutkittu kirjallisuudessa runsaasti esimerkiksi ikkuna-ulkoseinäliitosten sekä erilaisten metallirakenteiden lämpöteknisen käyttäytymisen osalta, mutta niiden kosteusteknisen toiminnan osalta yksityiskohtaista tietoa ei ole juurikaan käytettävissä.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan puurankarunkoisten pientalojen ulkoseinä-ulkoseinäliitosten sekä ulkoseinä-alapohjaliitosten lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä. Esitetyt tulokset perustuvat diplomityöhön [4], joka on ollut osa laajempaa kipsilevytuulensuojien käyttöä tarkastelevaa tutkimusprojektia [5-7]. Hanke on saanut rahoitusta Knauf Oy:ltä.

2. Tarkasteltavat rakenteet ja tarkasteluperiaatteet

Tutkimuksessa tarkasteltiin tavanomaisia pientalojen puurankaseinien ulkoseinä- ja alapohjaliitoksia. Artikkelin taustalla olevassa diplomityössä [4] on tarkasteltu sekä lauta- että tiiliverhottuja rakenteita, mutta tässä artikkelissa tarkastellaan vain lautaverhottuja rakenteita. Tiiliverhottujen ulkoseinien tulokset olivat useissa tapauksissa kriittisempiä lautaverhottujen seinien tuloksiin nähden ja näiden käyttäytymistä tulee lähtökohtaisesti arvioida omana kokonaisuutenaan. Ulkoseinien liitosten perustapaukset on esitetty kuvassa 1.

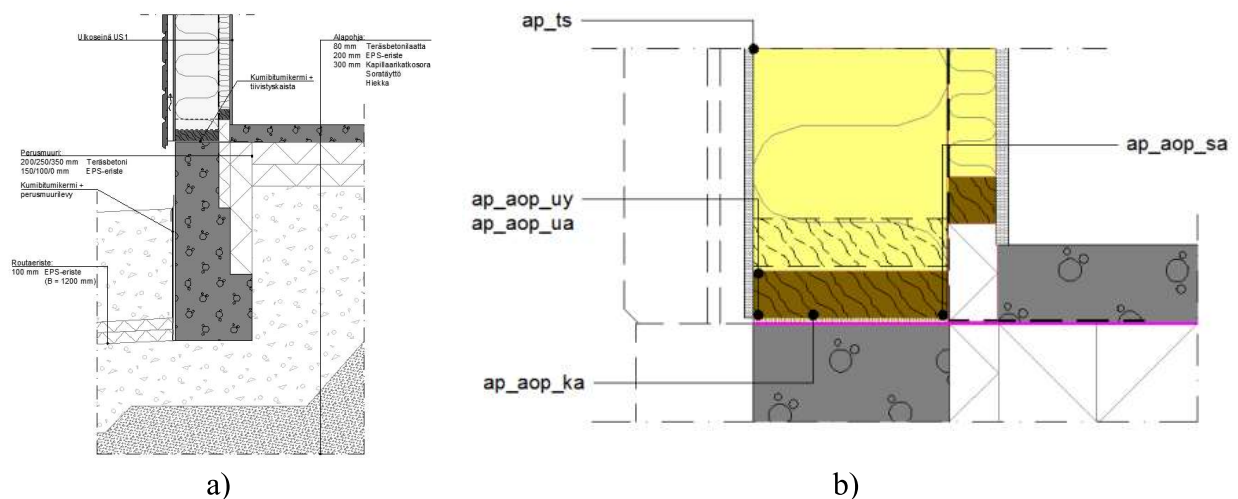
Seinien nurkkaliitosten osalta tarkasteltiin sekä sisä- että ulkonurkkaliitoksia ja niiden erilaisia tolputus-, höyrinsulku- ja tuulensuojavaihtoehtoja. Ulkoseinäliitoksia tarkasteltiin myös ilmavuotojen vaikuttaessa. Tällöin havaittiin suurimman osan paineen pudotuksesta tapahtuvan tuulensuojalevyn kohdalla, jolloin rakenteen ilmatiiviyyden vaikutuksia tarkasteltiin muokkaamalla tuulensuojalevyn ilmanläpäisevyyttä. Laskentatarkasteluja tehtiin a)



Kuva 1 Ulkoseinien ulkonurkkaliitos (a) ja sisänurkkaliitos (b). Nuolilla on merkitty laskennassa käytettyjä ilmapuotoreittejä runkotolppien väliin (1) sekä nurkkakoteloon (2).

Ilmapuodottomalle tapaukselle, b) Ilmapuodolliselle tapaukselle, kun tuulensuojan ilmanläpäisevyys on laboratoriomittauksen mukainen ja rakenteen sisäpinnassa on 1 mm rako sekä c) kuten edellä, mutta tuulensuojalevyllä käytettiin ilmanläpäisevyyden satakertaista arvoa, jolla pyrittiin ottamaan huomioon tuulensuojan asennuksen epätiivyyksiä.

Alapohjaliitosten osalta tarkasteltiin ensisijaisesti alaohjauspuun ja alajuoksun asettelua, rakennusaikaisen kosteuden vaikutuksia ja lämmöneristämistä. Seuraavassa kuvassa on esitetty tarkasteltavan alapohjaliitoksen rakenneleikkaus ja tarkastelupisteet.



Kuva 2. Ulkoseinän ja alapohjan liitoksen yleiskuva (a) ja yksityiskohtaisempi kuva alaohjauspuun kohdalta (b).

Tutkimuksessa suoritettujen laskentatarkastelujen toteutus vastaa aikaisemmassa FRAME-hankkeessa [1,2] käytettyä rakenteiden kosteusteknisen toiminnan analysointimenetelmää, jota kuitenkin täydennettiin puuttuvien suureiden osalta [4,6]. Pitkäaaltoinen säteily ja tuuletusvälin ilmanvaihtuvuus otettiin huomioon kirjallisuudessa esitettyjen kokeellisten mallien avulla [6,7]. Vaipan yli vaikuttavan paine-eron laskenta ja ilmapuotojen mallintaminen on kuvattu lähteissä [4,5].

Laskennalliset tarkastelut tehtiin Delphin 5.8.3 -ohjelmalla. Laskentaa tehtäessä hyödynnettiin Tampereen teknillisen yliopiston tieteellisen laskennan keskuksen TCSC:n ylläpitämää Narvilaskentaklusteria. Tulosten jälkikäsitteily tehtiin taulukkolaskentaohjelmalla ja Python-ohjelmointikielisten skriptien avulla. Laadunvarmistustoimenpiteenä laskentatarkastelujen alussa toistettiin muutamia FRAME-hankkeen aikaisia laskentatapauksia laskentatulosten vertailtavuuden varmistamiseksi.

3. Tulokset

3.1 Rakennetyyppien vertailut eri tutkimuksissa

Vertailtaessa tämän työn laskentatuloksia Mäkitalon [1] ja Jokelan [6] laskentatuloksiin, olivat tuloksista lasketut homeindeksin maksimiarvot hyvin samankaltaisia tuulensuojakipsilevyn sisäpinnassa, mutta Mäkitalon laskentatuloksissa puurangan ulkonurkan olosuhteet olivat nyt tehtyjä tarkasteluja kriittisemmät. Ero johtui pääosin siitä, että Mäkitalon laskentamallissa ei ollut mukana lautaverhouksen pystykoolausta, jolloin ulkoilma vaikuttaa tuuletusvälin ilmanvaihtuvuuden kautta suoraan tuulensuojan ulkopintaan, kun taas koolauksen mukaan ottaminen tuo mukaan samalla myös julkisivuverhouksen lämmönvastuksen ja suuremmat hyödyt auringonsäteilystä. Diplomitöissä [4,6] tehdyissä tarkasteluissa runkotolpan ulkopuolella olevat pystykoolaukset ovat mukana laskentamallissa, minkä seurauksena runkotolpan ulkonurkan olosuhteet olivat paremmat aikaisempaan tutkimukseen [1] verrattuna.

Laskentatulosten perusteella kipsilevytuulensuojallinen puurankaseinä täytti asetetun homeindeksin maksimiarvovaatimuksen $M_{\max} \leq 1$ nykyilmastossa ja vuoden 2050 ilmastossa, kun rakenteessa ei ollut ilmapuotoja ja kipsilevyn homehtumisherkkyyssluokka oli HHL 2 (herkkä).

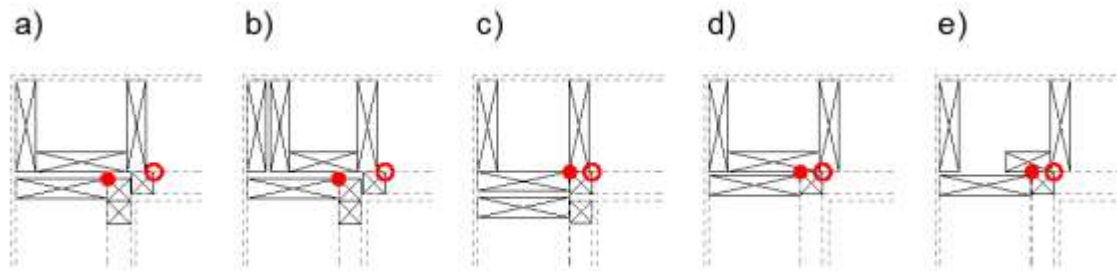
Vuoden 2100 ilmastossa homeindeksin maksimiarvot nousivat yli arvon $M_{\max} = 1$ sekä aikaisempien diplomitöiden [1,6] rakennetyyppien osalta että tässä tutkimuksessa [4] tarkasteltujen sisä- ja ulkonurkkien tapauksessa. Jos kipsilevylle käytettiin homehtumisherkkyyssluokka HHL1 (erittäin herkkä), nousivat homeindeksin maksimiarvot runkotolppien välillä tuulensuojan sisäpinnassa yli arvon $M_{\max} = 1$ 2050-ilmastossa, mutta pysyivät hyväksyttävänä nykyilmastossa. Lämmöneristekerroksen takana olevan HHL2-luokan tuulensuojalevyn sisäpinta oli jo valmiiksi kriittisempi piste, kuin saman rakenteen HHL1-luokan runkotolpan ulkonurkka.

Rakenteen U-arvon pienentäminen nykyisestä U-arvon vertailuarvosta $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ rakenteellisen energiatehokkuuden tasoon $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kasvatti homeindeksin maksimiarvoja rakenteen ulko-osissa, mutta nyt tehdyissä tarkasteluissa vaikutukset olivat kuitenkin pääosin pieniä ja arvot pysyivät hyväksytyllä alueella $M_{\max} < 1$, kun tarkasteltiin ilmapuodottoman rakenteen käyttäytymistä nykyisessä tai vuoden 2050 ilmastossa. U-arvon pienentäminen heikensi rakenteen käyttäytymistä selkeämmin vuoden 2100-ilmastossa, mutta kyseisissä olosuhteissa rakenne ei täyttänyt asetettuja vaatimuksia myöskään nykyisellä U-arvon vertailuarvolla. Ilmapuototapauksissa sisänurkan kotelon olosuhteisiin rakenteen U-arvolla oli huomattava heikentävä vaikutus (kts. seuraava luku).

Lämpöä eristävän tuulensuojan käyttö paransi rakenteen ulko-osien rakennusfysikaalista toimintaa huomattavasti myös tässä tutkimuksessa. Tarkastellun kaksikerroksisen lautaverhotun puurankaseinän tapauksessa homeindeksin maksimiarvot pysyivät asetetut vaatimukset täyttävällä tasolla myös 2100-ilmastossa ja kipsilevyn homehtumisherkkyyssluokalla HHL1.

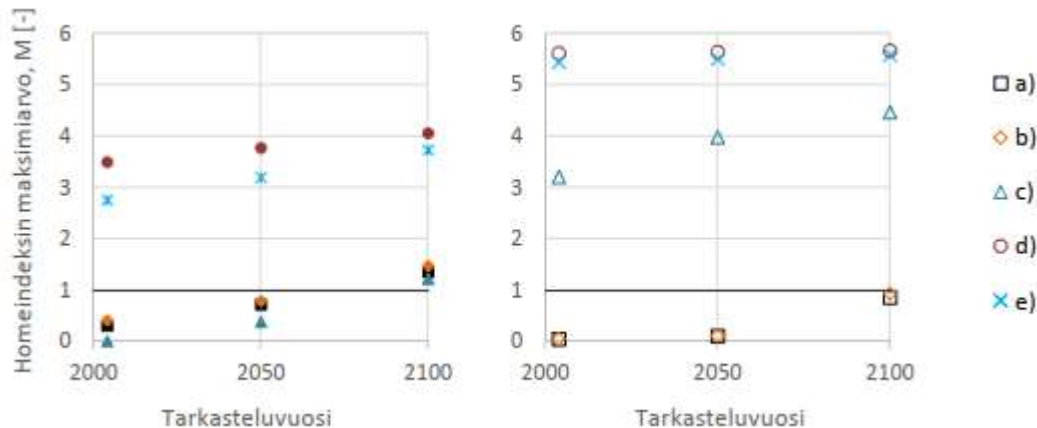
3.2 Ulkonurkat

Seuraavassa kuvassa on esitetty laskennallisesti tarkastellut ulkonurkan toteutustavat. Vaihtoehdoissa d) ja e) sisäpuoliset kipsilevyt ovat kiinni seinän sisäpuolisissa vaakakoolauksissa.



Kuva 3 Ulkonurkan eri toteutusvaihtoehtoja ja sen sisäpuolella olevan lämmöneristetyin koolauskerroksen koolauspuiden tarkastelupisteet.

Seuraavassa kuvassa on esitetty vertailusuurena käytetyt homeindeksin maksimi-arvot eri toteutustavoilla.

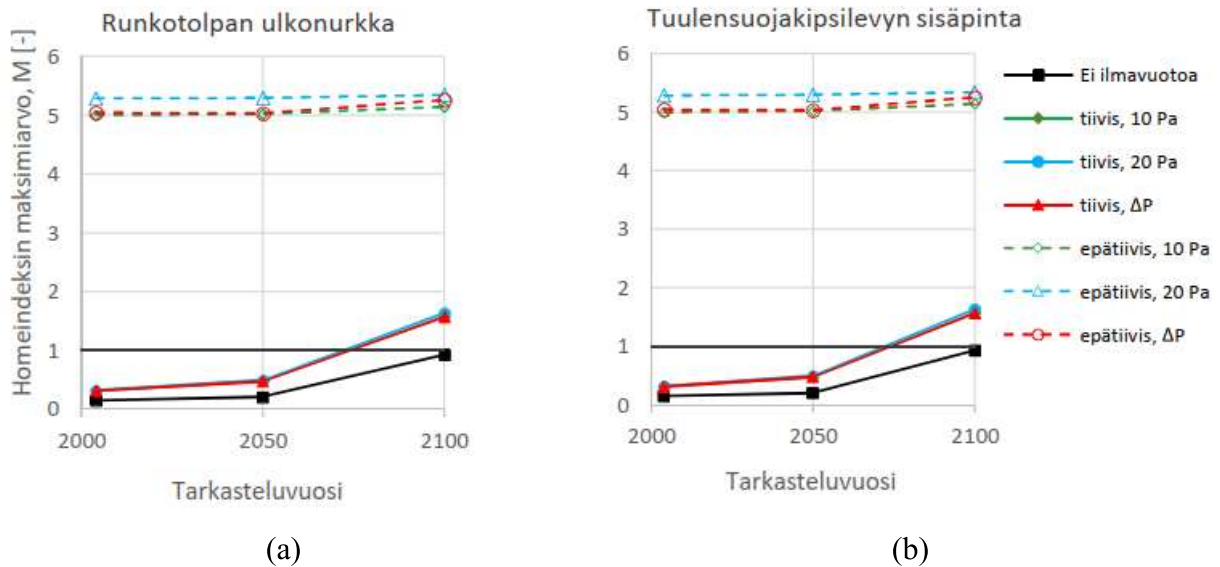


Kuva 4 Homeindeksin maksimi-arvot ulkonurkassa kuvan 3 mukaisilla nurkan toteutustavoilla. Toteutustavat a-c täyttivät asetetut vaatimukset 2050-ilmastoon asti.

Kahta ja kolmea nurkan pystysuuntaista koolauspuuta käytettäessä tulokset täyttivät homeindeksivaatimuksen $M_{\max} < 1$ 2050-ilmastoon asti. Yhden koolauspuun tapaus ei täyttänyt asetettuja vaatimuksia, koska tällöin yksittäinen koolauspuu jäi kokonaan sisäpuolisen lämmöneristeen sisään, laskien lämpötilaa höyrynsulun sisäpinnassa ja aiheuttaen kosteusteknisten riskien kasvamisen. Tästä syystä myöskään sisäpuolisen vaakakoolauksen käyttäminen ei ole suositeltavaa pystykoolaukseen verrattuna.

Höyrynsulun sisäpuolisen koolauksen toimivuutta voi parantaa siirtämällä höyrynsulku koolauksen ulkopinnasta sisäpintaan tai korvaamalla sisäpuolinen höyrynsulku ja mineraalivillaaeristys höyrynsulkutiiviillä polyuretaanieristelevyllä. Kuvassa 5 on tarkasteltu ulkonurkkaan muodostuvaan koteloon kohdistuvien ilmavuotojen vaikutuksia.

Tulosten perusteella ilmavuodot heikensivät sekä runkotolpan ulkonurkan että lämmöneristeen kohdalla olevan tuulensuojalevyn sisäpinnan olosuhteita. Vaikutukset olivat maltillisia ideaalisen tiiviin tuulensuojan (pienien ilmavirtojen) tapauksessa, mutta huomattavia asennuksen epätiiviyyttä huomioon ottavassa tilanteessa.



Kuva 5 Ilmavuotojen vaikutus seinien ulkonurkkaliitoksessa tuulensuojakipsilevyn sisäpinnan olosuhteisiin eri nykyisessä ja tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. Ilmavuoto nurkkaliitoksen ”koteloon”, seinärakenne US1.

Ideaalisen tiiviin tuulensuojan läpi tapahtuvan ilmavirtauksen tapauksessa vuotoilmavirran kuljettama absoluuttinen kosteus määrä rakenteeseen oli 163...176 g/a rakenteesta riippuen, kun taas satakertaisen tuulensuojan ilmanläpäisevyyden tapaukselle konvektiolla siirtyneen kosteuden määrä oli 12,6...14,9 kg/a (75...91 -kertainen määrä tiiviiseen tilanteeseen verrattuna). Ajan suhteen muuttuvan tai vakiosuuruisten 10 Pa tai 20 Pa paine-erotilanteiden välillä oli yllättävänkin pieni ero tuloksiin.

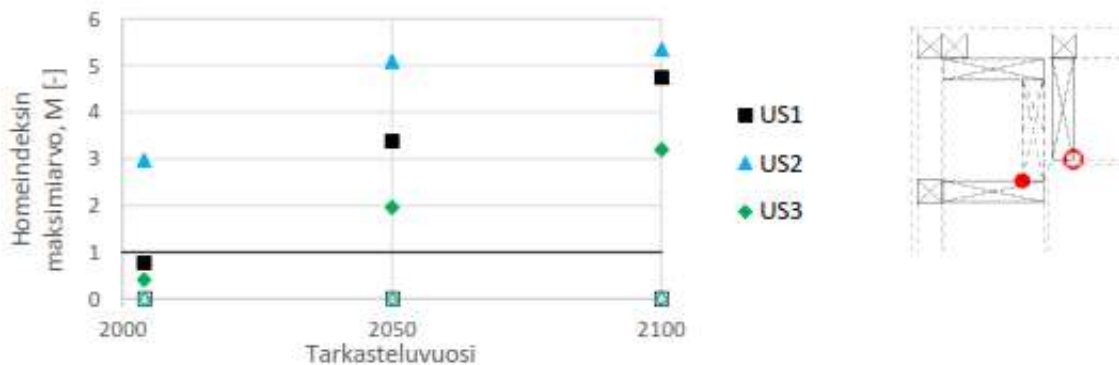
Suoran seinän kohdalla runkotolppien väliin kohdistuvan ilmavuodon vaikutukset runkotolpan ulkonurkkaan olivat huomattavasti pienemmät kuin kuvassa 3a. Tuulensuojan sisäpintaan ilmavuodolla oli kuitenkin tässä tapauksessa selvä vaikutus. Lämpöä eristävän ja vesihöyryvoimen tuulensuojan käyttäminen paransi olosuhteita myös ilmavuotojen tapauksessa.

3.3 Sisänurkat

Kuvassa 6 on tarkasteltu ulkoseinä rakenteen valinnan vaikutusta sisänurkan runkotolppien olosuhteisiin (US1 = kuvan 1 mukainen rakenne, US 2 = US1 U-arvolla 0,12 W/(m²K) ja US3 = US1 + 30 mm mineraalivillatuulensuoja). Tulosten perusteella kyseiseen liitokseen muodostuu vesihöyryn kulkua estävä kerros lämmöneristeen kylmälle puolelle, mikä näkyy kohonneina homeindeksin arvoina. Tässä liitosratkaisussa rakenteen U-arvon pienentämisellä on selvä vaikutus lämmöneristeen ulkopinnassa olevan runkotolpan olosuhteisiin nykyilmastossa ja 2050-ilmastossa.

Ilmavuodoilla runkotolppien väliin oli samankaltainen vaikutus kuin ulkonurkan osalta, mutta sisänurkassa olevaan koteloon pääsevillä ilmavuodoilla ei sen sijaan nyt käytetyssä laskentamallissa ollut käytännössä lainkaan vaikutusta. Tämä johtui siitä, että laskentamallissa ei ollut mukana runkotolppien välissä olevia rakoja, jolloin puutolpan korkea ilmanvastus esti ilmavuodot kotelon läpi lähes kokonaan. Diffuusion kannalta katsottuna lämmöneristeen kylmällä puolella oleva runkotolppa tulisi esimerkiksi poistaa tai suojata ulkopuolelta

lämmöneristyskerroksella, mutta kotelon avaaminen mahdollistaa samalla ilmavirtausten huomattavan kasvamisen.

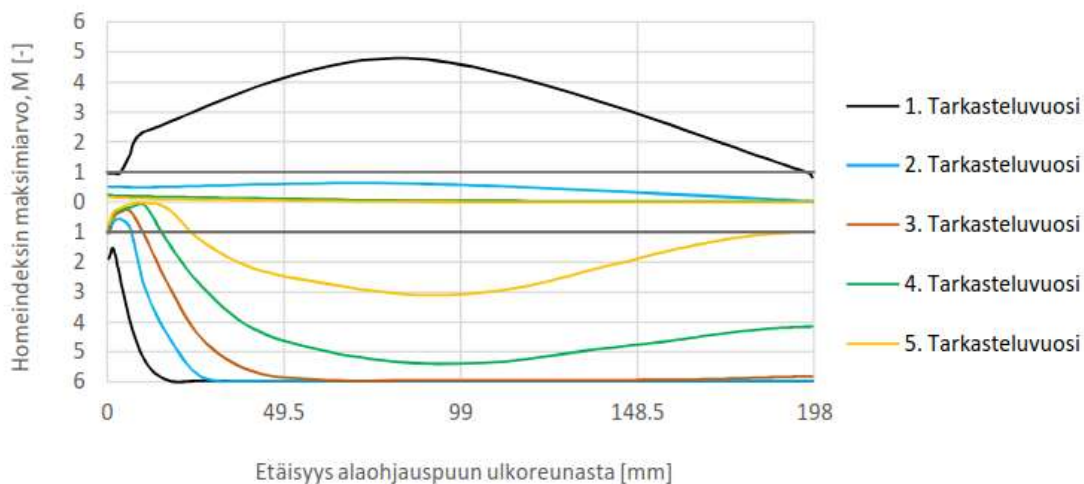


Kuva 6 Sisänurkan runkotolppien ulkonurkkien homeindeksien maksimi-arvot eri ulkoseinä-rakenteilla. Ehjän pisteen kohdalla runkotolppa toimii höyrynsulkukerroksena lämmöneristeen kylmällä puolella.

Sisänurkan tapauksessa rakenteen sisäpuolelle tulevien koolauspuiden asettelulla ei havaittu olevan vaikutusta höyrynsulun sisäpinnan olosuhteisiin, toisin kuin ulkonurkan tapauksessa.

3.4 Alapohjaliitokset

Kuvassa 7 on tarkasteltu homeindeksin maksimi-arvojen käyttäytymistä, kun alaojjauspuun alkukosteuspitoisuus vastaa kapillaarista kyllästyskosteuspitoisuutta 470 kg/m^3 .



Kuva 7 Homeindeksin maksimi-arvojen jakauma alaojjauspuun ylä- ja alapinnassa laskennan 1.-5. vuoden olosuhteista laskettuna.

Tulosten perusteella mineraalivillaa vasten oleva alaojjauspuun yläpinta sai korkeita homeindeksin arvoja laskennan ensimmäisenä vuotena, mutta ei enää toisesta vuodesta eteenpäin. Alaojjauspuun alareunassa sen sijaan esiintyi näkyvän homeen kasvun mukaisia homeindeksin maksimi-arvoja vielä laskennan viidennen vuoden olosuhteissa. Jokioisen testivuonna 2004 homeindeksin raja-arvo $M_{\text{max}} = 1$ ylittyi alaojjauspuun suhteellisen kosteuden ollessa 90 % RH, mutta ei enää arvolla 80 % RH.

Alajuoksun lisääminen alaohjauspuun päälle hidasti alaohjauspuun kuivumista huomattavasti verrattuna kuvan 7 mukaiseen tilanteeseen, mikä näkyi erityisesti alaohjauspuun yläpinnan tuloksissa. Lämmöneristeen lisääminen alaohjauspuun alapuolelle nopeutti rakennusaikaisen kosteuden poistumista vain vähän, vaikkakin olosuhteet alajuoksun alapinnassa normaalin käyttötilanteen aikana paranivatkin hieman. Lämmöneristys alaohjauspuun ja tuulensuojan välistä XPS-eristeellä tai bitumoidulla puukuitulevyllä heikensi rakennusaikaisen kosteuden kuivumista, verrattuna alapuolelle lisättyyn lämmöneristykseen.

Kuivan alaohjauspuun tapauksessa alajuoksun lisäämisellä ei ollut huomattavaa vaikutusta. Kuivien käytönaikaisten olosuhteiden kannalta alaohjauspuun olosuhteet paranivat enemmän käytettäessä lämmöneristystä alaohjauspuun ja tuulensuojan välissä, verrattuna sen asentamiseen alaohjauspuun alle. Ulkopuolelle tulevasta lämmöneristeestä bitumoitu puukuitulevy tuotti matalammat homeindeksin maksimiarvot verrattuna ulkopuoliseen XPS-eristykseen. Tarkastellut alaohjauspuun ala- ja ulkopuoliset lämmöneristyspaksuudet olivat 0-24 mm.

Ennustetun ilmastomuutoksen mukaisen testivuoden valinnalla oli vaikutusta tuloksiin. Kuivan alaohjauspuun mukaisesta tilanteesta liikkeelle lähdettäessä homeindeksin maksimiarvot pysyivät alaohjauspuussa alle raja-arvon $M_{\max} = 1$ nykyilmastossa, mutta ei enää 2050- tai 2100-ilmastoissa.

Jos alaohjauspuun kosteusolosuhteista tehdään mittauksia esimerkiksi piikkimittarilla, on hyvä huomata alkutilanteessa kastuneen alaohjauspuun korkeimpien kosteuspitoisuuksien esiintyneen noin 40...60 mm alaohjauspuun ulkoreunasta ja tapauskohtaisesti siitä sisäänpäin. Tällöin ulkoilmaa vasten tehdystä pinnasta tai alaohjauspuun yläpinnasta tehdyt mittaukset voivat antaa huomattavasti liian kuivia tuloksia verrattuna alaohjauspuun alapinnan ja keskiosien olosuhteisiin.

4. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin laskennallisesti puurankarunkoisten ulkoseinärakenteiden liitosten lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa. Tarkastelut koskivat erityisesti ulkoseinien ulko- ja sisänurkkaliitoksia sekä alaohjauspuun olosuhteita.

Yleinen huomio tuloksista on, että kukin rakenneratkaisu liittokseen tulee käsitellä omana kokonaisuutenaan, ellei eri tapausten yhdistämiselle ole erityisiä perusteita. Varsinkin liitososat voivat sisältää runsaasti yksityiskohtia, jolloin lopputuloksen arviointi voi olla vaikeaa. Tämä huomioon ottaen nyt tarkasteltujen tapausten tulokset ovat kuitenkin jälkikäteen arvioituna melko samansuuntaisia aikaisemmin kirjallisuudessa esitettyjen rakennetyyppien tarkastelujen tulosten kanssa.

Ilmavuodoton puurankaseinä, jossa oli käytetty lautaverhousta, tuulensuojakipsilevyä ja höyrynsulkumuovia, täytti homeindeksin maksimiarvolle asetetun vaatimuksen $M_{\max} < 1$ nykyisessä ja 2050 –ilmastossa U-arvotasolle 0,12 W/(m²K) asti. Rakenteella on pieni kapasiteetti ilmavuotojen kuljettamien kosteuskuormien suhteen, mutta tämä kapasiteetti on hyvin pieni. Rakenteen toimivuuden varmistaminen tulevaisuuden ilmasto-olosuhteisiin ja ilmavuotojen suhteen edellyttää rakenteellisia muutoksia, esimerkiksi vesihöyryavoimen lämmöneristykseen lisäämistä runkotolppien ja tuulensuojan ulkopuolelle. Rakenteiden sisäpuolella olevan ilmatiiviyskerroksen ja ulkopuolen tuulensuojakerroksen asennustyön laadulla on myös tärkeä merkitys rakenteen toimivuudelle.

Ulkoseinien nurkkaliitoksissa tulee välttää tilannetta, jossa sisäpuolisen koolaus- ja lämmöneristekerroksen taakse viety höyrynsulkukalvo on suoraan kylmäsilta toimivan puurangan kautta kytköksissä ulkoilmaan. Vastaavasti tulee välttää puurangan asettamista nurkka-alueella lämmöneristekerroksen ulkopintaan siten, että lämmöneristeen kylmälle puolelle muodostuu suuren diffuusiovastuksen omaava umpinainen kotelo.

Alapohjaliitoksissa perusmuurin kapillaarikatkoa vasten tuleva alaohjauspuu voi rakennusaikaisesta kosteudesta kastuessaan pysyä kosteana useita vuosia puun alapinnan keskialueelta. Alaohjauspuun lisääminen alaohjauspuun päälle pidentää kuivumisaikaa huomattavasti myös alaohjauspuun yläpinnan osalta. Märän alaohjauspuun lämmöneristyksestä ei havaittu olevan merkittävää hyötyä alaohjauspuun kuivumisnopeudelle, mutta alkutilanteessa kuivan alaohjauspuun käytönaikaisia olosuhteita ulkopuolinen lämmöneristys paransi. Rakennusaikaisen kosteuden määrä alaohjauspuussa tulee pitää hyvin pienenä, koska ylimääräinen kosteus pääsee siirtymään alaohjauspuun läpi ulkoilmaan hitaasti.

Lähdeluettelo

- [1] Mäkitalo, M. (2012). Puurunkoisten ulkoseinien kosteustekninen toimivuus nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa, Tampereen teknillinen yliopisto, 134 s. + 37 liites.
- [2] 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. (2013). Ilmastomuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden ja rakennusten rakennusfysikaalisessa toiminnassa, Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka, Tutkimusraportti 159, 354 s. + 43 liites.
- [3] Ojanen, T., Airaksinen, M. & Tuomaala, P. (2016). Energiatohokkaiden uudisrakennusten rakenteiden kosteustekninen toimivuus, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo, 28 s. + 3 liites.
- [4] Moisio, T. (2019) Puurankarunkoisten ulkoseinien liitosten lämpö- ja kosteustekninen toiminta. Diplomityö. Tampereen yliopisto, rakennustekniikan koulutusohjelma. *Julkaistaan 2019.*
- [5] Moisio, T., Laukkarinen, A. & Vinha, J. (2019) Rakennuksen ulkovaipan yli vaikuttavien paine-erojen määrittäminen rakennusfysikaalisia laskentatarkasteluja varten. Rakennusfysiikka 2019, 28.-30.10.2019 Tampere.
- [6] Jokela, T. (2018). Kipsilevytuulensuojallisten puurankarunkoisten ulkoseinien rakennusfysikaalinen toiminta, Tampereen teknillinen yliopisto, 113 s. + 29 liites.
- [7] Jokela, T., Laukkarinen, A. & Vinha, J. (2019) Ilmakehän pitkäaaltoinen säteily rakennusfysikaalisissa laskentatarkasteluissa. Rakennusfysiikka 2019, 28.-30.10.2019, Tampere.