

Lämpötila- ja kosteuskenttä puukerrostalon ulkoseinän ja välipohjan liitoksessa

Markku Sahlström

Rakenteiden Mekaniikka, Vol. 28

Mikko Kilpeläinen

No 2, 1995, s. 35-49

Tiivistelmä

Artikkelissa käsitellään lämpötilan ja kosteuden jakaantumista puukerrostalon ulkoseinän ja välipohjan liitoksessa. Niitä arvioidaan laskennallisesti vuoden eri kuukausina ja tulosten perusteella arvioidaan liitoksessa olevan puutavaran lahoamisvaaraa. Laskenta perustuu elementtimenetelmään sekä stationääriseen lämpö- ja kosteusvirtaan.

Johdanto

Puurakenteisissa kerrostaloissa, joita tullaan rakentamaan myös Suomeen, välipohjarakenteet katkaisevat ulkoseinän sisäpinnassa olevan höyrynsulun niiden liitoskohdissa. Välipohjien kohdalla ulkoseinien höyrynsulku siis puuttuu. Tästä johtuen ilman suhteellinen kosteus voi liitosalueella nousta hyvin korkeaksi. Tämä lisää liitoksessa olevan runkopuutavaran lahoamisvaaraa.

On selvää, että liitosrakenne on pitkäikäisyyden turvaamiseksi suunniteltava sellaiseksi, ettei lahoamista tapahdu.

Tarkasteltava liitoskohta ja ongelma on samankaltainen kuin nykyisin tehtävissä kaksikerroksisissa puurakennuksissa. Myös niissä välipohjan kohdalla ulkoseinän höyrynsulku rikkoutuu. Mahdollisista lahovaurioista ei ole kuitenkaan tietoa.

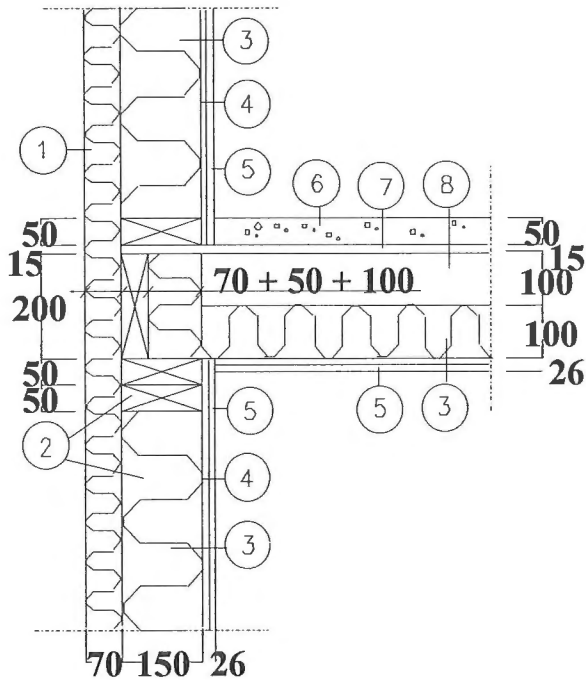
Myös vanhoissa tiilirunkoisissa kivitaloissa löytyy vastaavanlainen rakennusfysikaalinen ongelma. Niissä puurakenteisten välipohjapalkkien päät on tuettu massiivisten tiiliulkoseinien varaan upottamalla palkkien päät syvälle ulkoseinän sisälle. Korjausrakentamisen yhteydessä puupalkkien päiden on todettu useissa tapauksissa olevan enemmän tai vähemmän lahonneita.

Tämän tutkimuksen tarkoituksen on arvioida laskennallisesti lahoamisvaaraa puukerrostalon ulkoseinä- ja välipohjaliitoksessa sekä pohtia keinoja lahoamisen välttämiseksi.

Rakenne ja käytettävät materiaalit

Tarkasteltavaksi rakenteeksi valitaan kuvan 1 mukainen puukerrostalon ulkoseinän ja välipohjan liitos. Rakennuksen ulkoseinänärakenne koostuu 50·150 mm:n puutavarasta, joiden välissä on mineraalivilla. Rungon sisäpuolella on 0.2 mm:n muovikelmu, joka puuttuu välipohjan kohdalta, ja kaksinkertainen kipsilevytyys, jolla hoidetaan tarvittava palonkestävyys sekä rungon jäykistys. Rungon ulkopuolella on mineraalivillalevy, joka toimii myös tuulensuojana. Julkisivurakenne voi olla mikä tahansa eikä sitä ole esitetty kuvassa 1.

Välipohjapalkkeina on 50·200 mm:n puupalkit, joiden välissä on mineraalivillaa 100 mm. Palkkien yläpinnassa on yhtenäinen vanerilevy rungon jäykistämiseksi. Sen päälle valetaan betonilaatta 50 mm ääneneristysyistä. Lattiapäällystettä ei ole esitetty kuvassa 1. Välipohjan alapinnassa on kaksinkertainen kipsilevytyys lähinnä palonkestosyistä.



Kuva 1. Rakenneleikkaus ulkoseinän ja välipohjan liitoksesta

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. Tuulensuojalevy 70 mm | 2. Puurunko 150 mm |
| 3. Mineraalivilla | 4. Muovikelmu 0.2 mm |
| 5. Kipsilevy 2·13 mm | 6. Betonilaatta 50 mm |
| 7. Vaneri 15 mm | 8. Ilmarako 100 mm. |

Kun esimerkkirakenteen lämpötilakenttää ja vesihöyryn osapaineKenttää lasketaan, käytetään eri materiaaleille taulukon 1 mukaisia lämmönjohtavuuden ja vesihöyrynläpäisevyyden arvoja. Laskennan yksinkertaistamiseksi on seinän muovikalvo ja kipsilevyt samoin kuin välipohjan betoni ja vaneri yhdistetty keskenään. Näille yhdistelmille on määritetty keskimääräiset lämmönjohtavuuden ja vesihöyrynläpäisevyyden arvot kaavoilla

$$m = m_1 + m_2 \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{d_1 + d_2}{m} \quad (2)$$

$$z = z_1 + z_2 \quad (3)$$

$$s = \frac{d_1 + d_2}{z} \quad (4)$$

missä m on lämmönvastus [$m^2 \cdot K/W$]
 λ on lämmönjohtavuus [$W/m \cdot K$]
 d on materiaalikerroksen paksuus [m]
 z on vesihöyrynvastus [$m^2 \cdot s \cdot Pa/kg$]
 s on vesihöyrynläpäisevyys [$kg/m \cdot s \cdot Pa$].

Materiaalien laskenta-arvot otaksutaan vakioiksi eikä niiden lämpötila- ja kosteusriippuvuutta oteta huomioon.

Taulukko 1. Laskennassa käytetyt materiaaliominaisuudet.

Materiaalit	Lämmönjohtavuus [$W / m \cdot K$]	Vesihöyrynläpäisevyys [$kg / m \cdot s \cdot Pa$]
Puu	0.140	$2.0 \cdot 10^{-12}$
Kipsilevy	0.230	$25.0 \cdot 10^{-12}$
Kipsilevy + muovikalvo	0.200	$0.052 \cdot 10^{-12}$
Eriste	0.037	$125.0 \cdot 10^{-12}$
Eriste (tuulensuojalevy)	0.041	$85.0 \cdot 10^{-12}$
Betoni + vaneri	0.500	$1.90 \cdot 10^{-12}$
Ilmarako ($m = 0.20 m^2 \cdot K/W$)	0.500	$210 \cdot 10^{-12}$

Ympäristöolosuhteet

Rakennuksen ulkopuolisina lämpötiloina ja vesihöyryn osapaineina käytetään ulkoilman kuukauden keskimääräisiä lämpötiloja ja vesihöyryn osapaineita. Arvot saadaan lähteestä /1/, taulukoista 1.2 ja 1.5. Rakennuksen sijaintipaikkakunnaksi valitaan Kajaani.

Rakennuksen sisäpuolella otaksutaan ilman lämpötilan olevan vakio eli +20 °C ympäri vuoden. Sisäpuolisten kosteuslähteiden vuoksi otaksutaan sisäilman kosteuspitoisuuden olevan 4 g/m³ suuremman kuin ulkoilman ympäri vuoden /2/. Tällä perusteella voidaan lähteen /1/ taulukoja 1.1-1.5 hyväksikäyttäen laskea sisäilman vesihöyrynpaineet eri kuukausina. Laskennassa käytetyt ympäristöolosuhteiden laskenta-arvot on esitetty taulukossa 2.

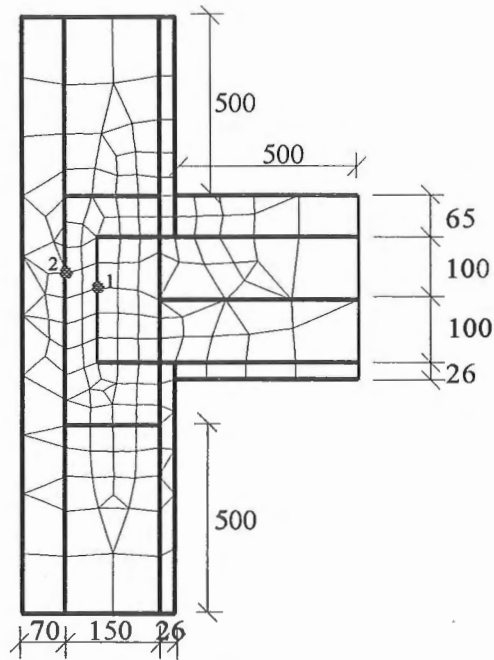
Taulukko 2. Tarkastelu- ja sisäpuolisten keskimääräiset ulkolämpötilat sekä ulko- ja sisäpuoliset vesihöyrynpaineet ja suhteelliset kosteudet.

Tarkastelu- kuukausi	Ulkolämpötila °C	Vesihöyrynpaine [Pa]		Suhteellinen kosteus [%]	
		ulkona	sisällä	ulkona	sisällä
Ta	-10.6	270	779	86	33
He	-10.6	260	776	85	33
Ma	-6.7	330	851	81	36
Hu	0.4	460	1046	75	45
To	6.9	670	1237	67	53
Ke	13.0	1000	1556	66	67
He	16.1	1220	1822	69	78
El	14.0	1210	1811	78	77
Sy	8.3	920	1499	84	64
Lo	2.1	660	1200	87	51
Ma	-2.6	460	1023	90	44
Jo	-7.0	340	870	88	37

Laskenta

Lämpötilajakauman ja vesihöyrynpainejakauman laskenta kohdistetaan liitosalueelle, joka rajataan kuvan 2 mukaisesti. Tällä alueella lämmön ja kosteuden siirtymistä käsitellään toisistaan riippumattomina kaksulotteisina stationäärisinä virtaustapauksina.

Ongelman numeerinen ratkaiseminen tapahtuu elementtimenetelmää ja siihen perustuvaa ANSYS-tietokoneohjelmaa käyttäen. Laskennassa käytetään kahdeksansolmuisia neliöelementtejä, joista osa on muutettu solmuja niputtamalla kolmioelementeiksi. Käytetty elementtiverkko on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Liitosalueen rajaus, käytetty elementtiverkko sekä tarkastelupisteet (pisteet 1 ja 2).

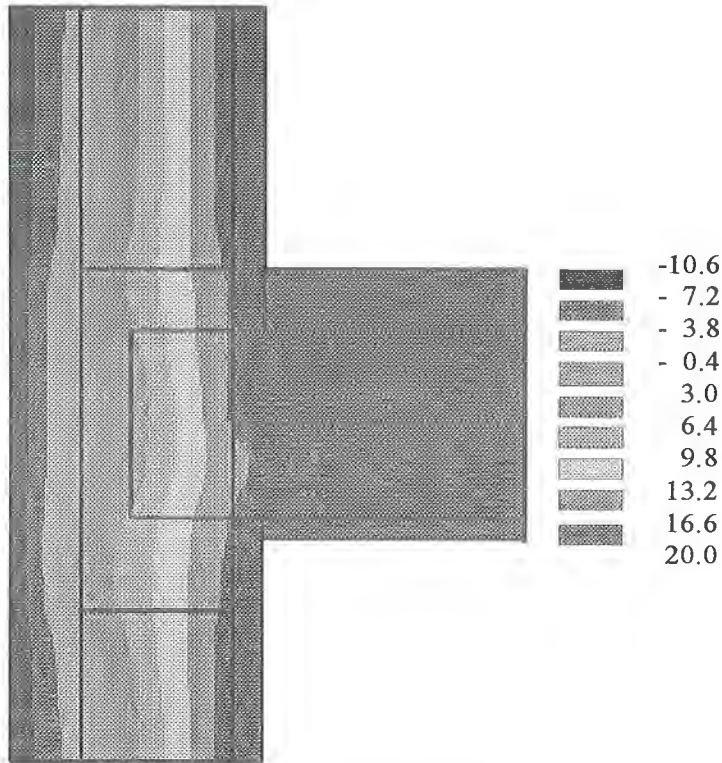
Reunaehtoina käytetään pinnan vakiolämpö- ja -kosteustiloja. Ulkopinnan lämpötilan oletetaan olevan saman kuin ulkoilman lämpötilan ja sisäpinnan lämpötilan sama kuin sisäilman lämpötilan. Samaa oletusta käytetään vesihöyryn osapaineen suhteen.

Liitosalueen rajauspinnoissa eli rakenteen katkaisukohtissa lämmön ja kosteuden virtaus katkaisupintaa kohtisuorassa suunnassa asetetaan nolllaksi.

Oletetaan, että rakennus on tehty hyvää rakennustapaa noudattaen. Tällöin materiaalien välillä ei ole rakoja ja materiaalit ovat tasalaatuisia. Erityisiksi tarkastelupisteiksi valitaan pystypalkin ulko- ja sisäpuoliset pisteet, joissa lahoamisriski on alustavien laskelmien mukaan todennäköisin (pisteet 1 ja 2 kuvassa 2).

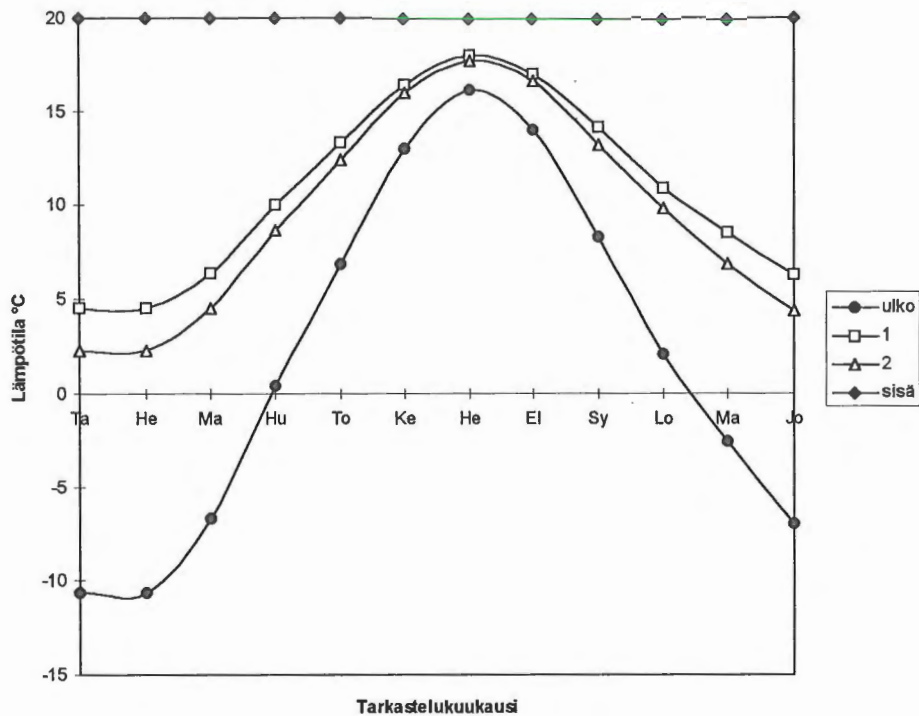
Lämpötilajakauma

Kylmimmän kuukauden eli tammikuun tai helmikuun ympäristöolosuhteiden perusteella saadaan liitosalueelle kuvan 3 mukainen lämpötilajakauma. Jakauman perusteella voidaan todeta, ettei liitos muodosta lämpötekniillisessä mielessä kylmäsiltaa ulkovaippaan. Tarkastelupisteiden 1 ja 2 lämpötilat ovat hyvin lähellä 0 °C.



Kuva 3. Lämmön jakautuminen liitosalueella tammikuussa.

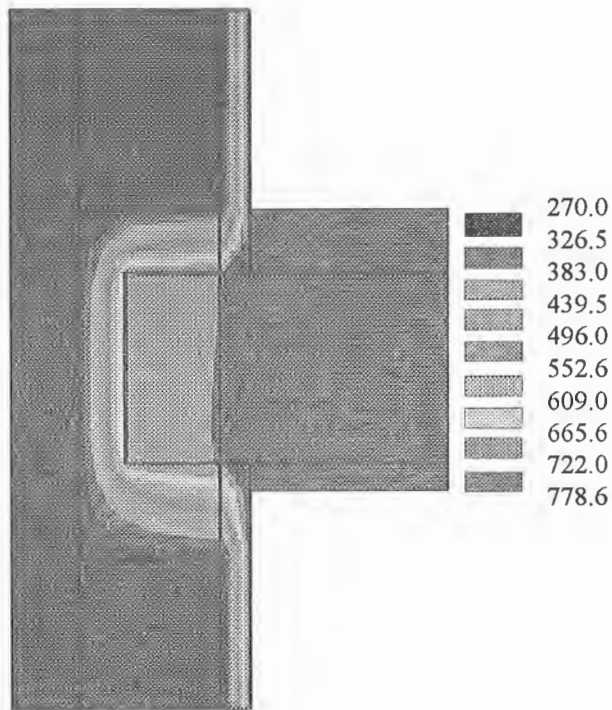
Rakenteen lämpötila muuttuu ulkoilman lämpötilan mukaan. Kuvassa 4 on esitetty tarkastelupisteiden sekä ulko- ja sisäilman lämpötilat vuoden eri kuukausina. Laskettujen lämpötila-arvojen perusteella saadaan kunkin pisteen vesihöyryn kyllästymispaineet eri kuukausina, joiden avulla saadaan edelleen pisteiden suhteelliset kosteudet.



Kuva 4. Tarkastelupisteiden sekä ulko- ja sisäilman lämpötilat eri kuukausina.

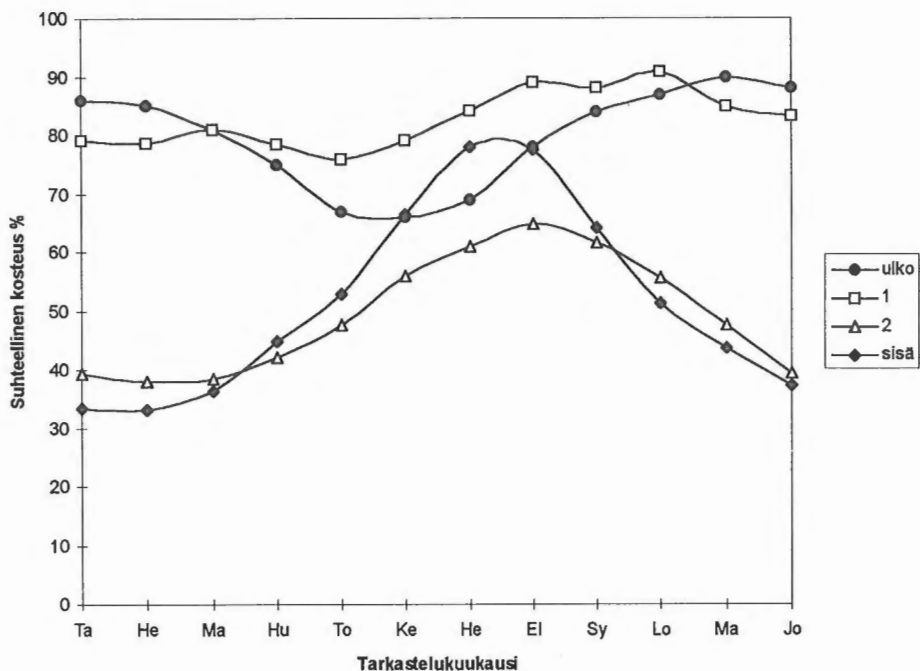
Kosteus

Tammikuun ympäristöolosuhteiden perusteella saadaan liitosalueelle kuvan 5 mukainen vesihöyrynpainejakauma. Kuvasta käy selvästi ilmi, kuinka seinässä oleva höyrynsulku rajoittaa tehokkaasti kosteuden siirtymistä seinän läpi. Toisaalta voidaan havaita myös, miten vesihöyrynpaine purkautuu seinän läpi välipohjan kohdalta höyrynsulun puuttuessa.



Kuva 5. Vesihöyrönpaineen jakautuminen liitosalueella tammikuussa.

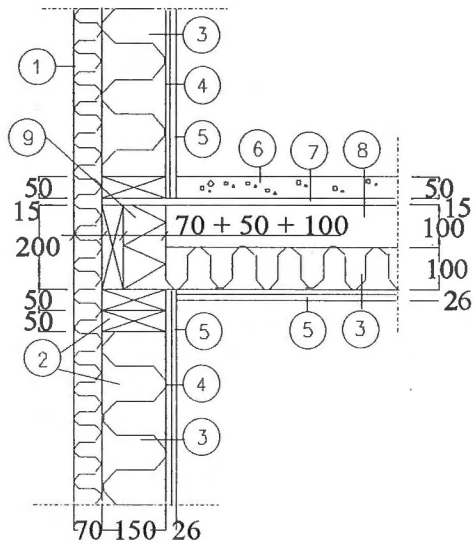
Rakenteen kosteustila muuttuu, kun sisä- ja ulkoilman kosteustilat muuttuvat. Kuvassa 6 on esitetty tarkastelupisteiden 1 ja 2 sekä ulko- ja sisäilman suhteelliset kosteudet vuoden eri kuukausina. Kuvasta voidaan todeta, että tarkastelupisteessä 1 suhteellinen kosteus ylittää kriittisen 80 %:n rajan noin heinäkuusta joulukuuhun ja on alkuvuodesta 80 % tuntumassa. Rakennerekaisu on siten lahovaaraa ajatellen riskialtis.



Kuva 6. Tarkastelupisteiden sekä ulko- ja sisäilman suhteelliset kosteudet eri kuukausina.

Korjausehdotus

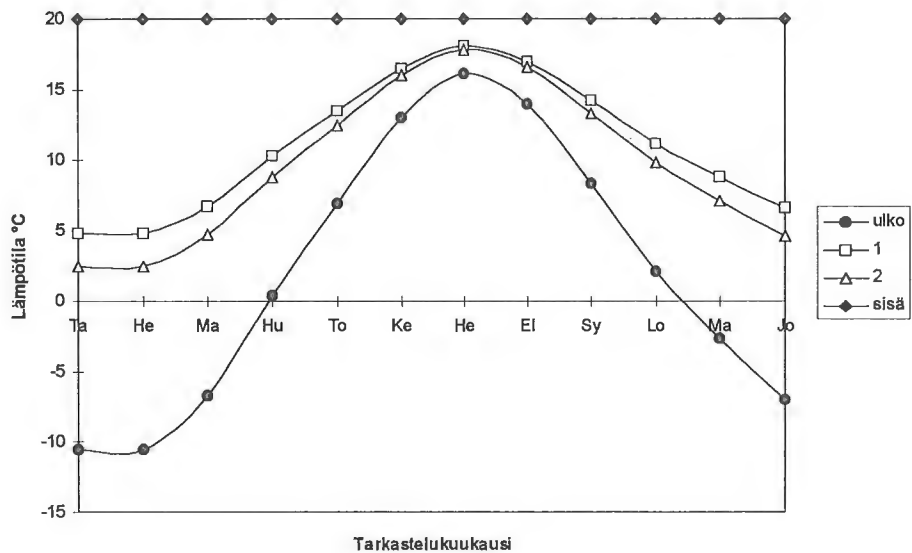
Ulkoseinän ja välipohjan liitos voidaan suunnitella hyvin monella tavalla riippuen puutavaran dimensioista ja käytettävistä materiaaleista. Kuvassa 7 on esitetty edellä tarkastellusta liitosratkaisusta muunnos, jossa seinässä välipohjapalkkien väleissä on lämmöneristeenä käytetty solumuovia. Se asetetaan PU-vaahdon avulla tiiviisti tilaansa ja sen tarkoituksena on aikaansaada seinään höyrynsulku myös välipohjan kohdalla.



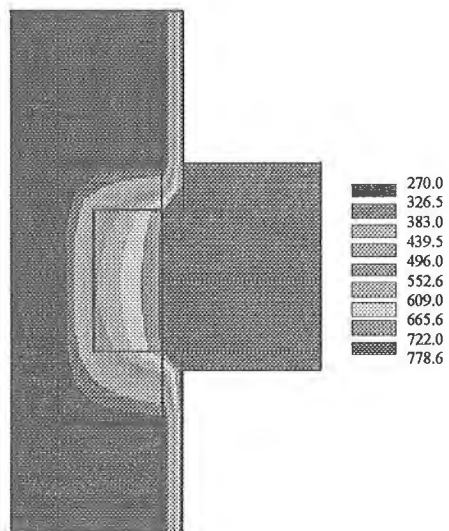
Kuva 7. Rakenneleikkaus ulkoseinän ja välipohjan liitoksesta. Vaihtoehto.

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. Tuulensuojalevy 70 mm | 2. Puurunko 150 mm |
| 3. Mineraalivilla | 4. Muovikelmu 0.2 mm |
| 5. Kipsilevy 2·13 mm | 6. Betonilaatta 50 mm |
| 7. Vaneri 15 mm | 8. Ilmarako 100 mm |
| 9. Solumuovi 100 mm. | |

Kuvassa 8 on esitetty tarkastelupisteiden sekä ulko- ja sisäilman lämpötilat eri kuukausina. Solumuovin lämmönjohtavuudelle on käytetty arvoa $0.041 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Käyrät ovat jokseenkin samat kuin kuvassa 4. Kuvassa 9 on esitetty vastaavasti vesihöyrynpainejakauma tammikuussa, kun solumuovin vesihöyrynläpäisevyysarvona on käytetty $7 \cdot 10^{-12} \text{ kg/m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}$. Kuvista käy ilmi, että rakenteen lämmöneristyskyky on edelleen hyvä ja että solumuovi toimii todella höyrynsulkuna.

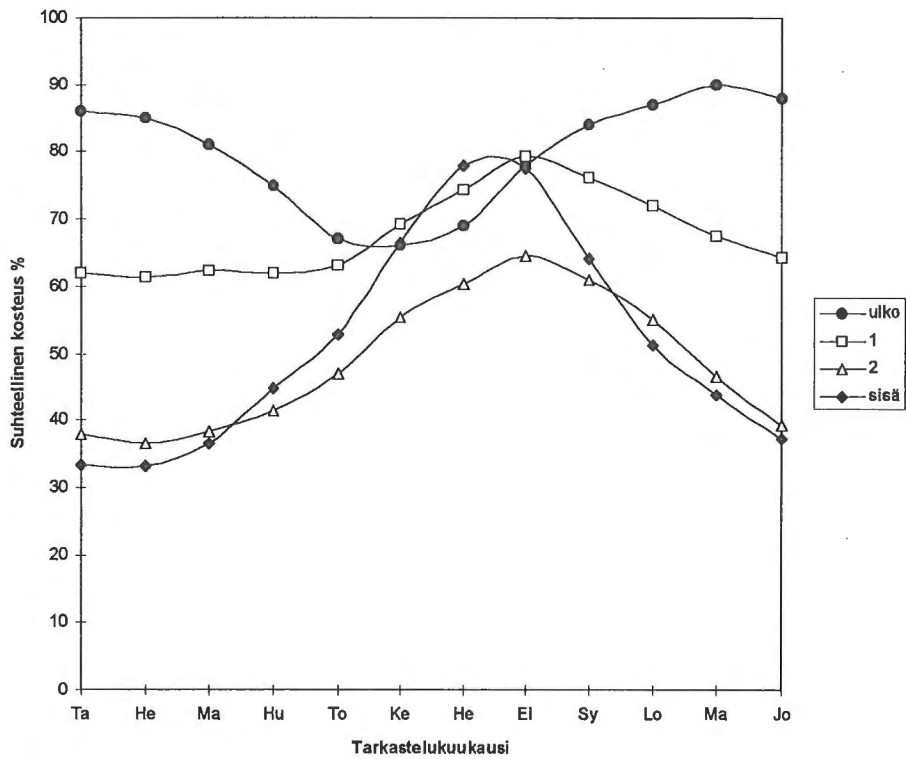


Kuva 8. Tarkastelupisteiden sekä ulko- ja sisäilman lämpötilat eri kuukausina.



Kuva 9. Liitosalueen vesihöyrönpainejakauma tammikuussa.

Kuvassa 10 on esitetty tarkastelupisteiden 1 ja 2 sekä ulko- ja sisäilman suhteelliset kosteudet vuoden eri kuukausina. Käyrästä on perusteella voidaan todeta, että nyt suhteellinen kosteus pysyy koko vuoden kriittisen 80 %:n alapuolella. Rakennerratkaisu lienee täten kosteusteknisesti varmempi.



Kuva 10. Tarkastelupisteiden sekä ulko- ja sisäilman suhteelliset kosteudet eri kuukausina.

Yhteenveto

Puu-ulkoseinien ja puuvälipohjien liitos on kosteusteknisessä mielessä ongelmallinen, koska ulkoseinän höyrünsulku katkeaa välipohjien kohdalla. Ilman suhteellinen kosteus voi liitosalueella nousta hyvin korkeaksi, mikä lisää puuosien lahoamisvaaraa. Sitä voidaan pienentää tai myöskin pahentaa erilaisilla rakenneratkaisuilla ja materiaalivalinnoilla. Seinän ja välipohjan liitoskohta voidaan toteuttaa hyvin monella eri tavalla. Liitosta suunniteltaessa on pidettävä mielessä lämpö- ja kosteusteknillisten kysymysten lisäksi paloturvallisuus, terveellisyys, pitkäikäisyys ja kosteuden kestävyys, ratkaisujen taloudellisuus, toteutettavuus sekä soveltuvuus erilaisiin ympäristöolosuhteisiin. Näiden seikkojen vuoksi erilaisia liitosvaihtoehtoja tulisi selvittää sekä laskennallisesti että kokeellisesti nykyistä enemmän.

Lähdeluettelo

1. RIL 107. Rakennusten veden ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. RIL. Helsinki 1989.
2. Leivo Mika. On the stiffness changes in nail plate trusses. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. Espoo 1991.

Markku Sahlström, DI
Oulun yliopisto
Rakentamistekniikan osasto
PL 191
90101 Oulu

Mikko Kilpeläinen, professori
Oulun yliopisto
Rakentamistekniikan osasto
PL 191
90101 Oulu