

Tapani Rantala

**OMAKOTITALOJEN KATTORISTIKOIDEN KANNATUSPALKKIEN SIJAINNIN
VAIKUTUS RAKENTEIDEN RAKENNUSFYSIKAALISIIN ILMIÖIHIN**

**OMAKOTITALOJEN KATTORISTIKOIDEN KANNATUSPALKKIEN SIJAINNIN
VAIKUTUS RAKENTEIDEN RAKENNUSFYSIKAALISIIN ILMIÖIHIN**

Tapani Rantala
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Rakennusarkkitehtuurin tutkinto-oh-
jelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

Tekijä: Tapani Rantala

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Omakotitalojen kattoristikoiden kannatuspalkkien sijainnin vaikutus rakennusfysikaalisiin ilmiöihin

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Effect of location of Roof Beams in detached houses on Physical Phenomena of building

Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 27 + 34 liitettä

Rakenteiden fysikaalinen käyttäytyminen on osa rakennusten elinkaaren ja ekologisuuteen vaikuttavaa kokonaisuutta. Rakennusfysikaalinen käyttäytyminen vaikuttaa rakennusten energiankulutukseen, terveyteen ja ikään. Se on myös yksi tärkeistä sisäilman laatuun ja asumisterveyteen vaikuttavista tekijöistä.

Opinnäytetyössä selvitettiin ristikonkannatuspalkkien sijainnin merkitystä yläpohjaliittymän rakennusfysikaaliseen toimintaan. Tarkastelussa olivat etenkin liittymien energian kulutus, lämpövuodot ja mikrobien kasvuolosuhteet seinärungon ja yläpohjan liitoskohdassa. Tutkimuksessa tarkasteltiin Comsol Multiphysics 2D- ja Wufi 5-2D -ohjelmilla runkorakenteiden sisällä olevia lämpötiloja, rakenteen läpi meneviä energiavirtauksia ja ilman suhteellisen kosteuden vaikutusta rakenteeseen erilaisissa ulko- ja sisäilman olosuhteissa. Tarkasteluun valittiin rakenteen oletetut riskipaikat, jotka sijaitsevat tuulensuojan sisäpinnalla ja höyrysulkumuovin sisäpuolella. Tutkimuksesta saatiin tarvittavat tiedot homeriskianalyysiin.

Opinnäytetyössä todettiin, että vertailussa olevat palkkien sijainnit vaikuttivat jonkin verran mittauspisteiden lämpötiloihin ja energian kulutukseen. Ristikon kainalopalkkirakenteessa oli hieman pienempi lämpövirran kulutus, mutta höyrysulkumuovin sisäpuolinen lämpö oli kovilla pakkasilla alhaisempi. Suurin sisäpuolen mittauspisteen lämpötilaan vaikuttava tekijä oli seinärakenteessa höyrysulkumuovin sisäpuolella olevan materiaalin eristävyys. Höyrysulkumuovin sisäpuolella mikrobeilla ei ollut kasvuolosuhteita ja ne voitiin todeta riskittömiksi. Kipsituulensuojalevyn sisäpinnasta löytyi osaksi mikrobikasvustolle alttiita olosuhteita.

Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää rakentamisen aikatauluttamisessa ja runkorakenteiden valinnassa. Comsol Multiphysics 2D- ja Wufi 5-2D -ohjelmien avulla voidaan konkretisoida riskirakentaminen ja riskirakenteet pohjolan olosuhteissa.

Asiasanat: Ristikonkannatuspalkit, ristikonkainalokannatus, rakennusfysikaaliset sovellukset

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme, in Construction Architecture

Author: Tapani Rantala

Title of thesis: Effect of location of Roof Beams in detached houses on Physical Phenomena of building

Supervisor: Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Number of pages: 27 + 34 of appendices

The physical behaviour of structures is a part of the entirety which affect the life cycle and ecology of the structure. The structural physics affect the energy consumption of building's health, age and it is also an important factor on the quality of indoor air and living conditions.

This thesis studied how the location of the beams of roof trusses affect the functioning the attic floor joints of structural physics. Especially the energy consumption of junctions, heat leakage and growth conditions of microbes in the joint of the wall frame and attic floor were studied. Comsol Multiphysics 2D- and Wufi-software were used to study the effects of energy currents and relative humidity in the structure in different conditions. Possible risk areas were the wind shield board and vapour barrier, and they were chosen for inspection. Necessary information for the mould risk analysis was gathered from the study.

The location of the beam affected slightly to the temperature of the measure point and to the energy consumption. The beam attached to the truss had a little lower consumption of heat but the inner heat in the vapour barrier was lower during colder weather. The factor that had the most effect on the inner measure point was the insulation of the material inside the vapour barrier. During the first half year, the study showed a small increase in the growth conditions of microbes inside the vapour barrier. Conditions prone to microbe growth were found inside the exterior gypsum board.

Keywords: beams of roof trusses, structural physics, physical occurrence, mould risk analysis

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 RAKENTEEN TOIMINTAAN JA LÄMMÖN SIIRTYMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	8
2.1 Johtuminen	8
2.2 Konvektio	9
2.3 Säteily	9
2.4 U_c -Arvo	9
2.5 Lämmönjohtavuus (λ)	9
2.6 Lämmönvastus (R)	10
2.7 Sisäpuolinen ja ulkopuolinen pintavastus (R_{si} , R_{se})	10
2.8 Viivamainen lisäkonduktanssi	10
3 KOSTEUS	11
3.1 Suhteellinen kosteus (Rh)	11
3.2 Diffuusio	12
4 RISTIKON KANNATUSPALKIN SIJAINNIN VAIKUTUS RAKENNUSFYSIKAALISIIN OMINAISUUKSIIN	13
5 RAKENTEISSA KÄYTETYT RISTIKON KANNATUSPALKIT	16
6 TUTKIMUSTULOKSET COMSOL 2D -OHJELMALLA	18
7 TUTKIMUSTULOKSET WUFI 5-2D -OHJELMALLA	20
8 POHDINTA	22
LÄHTEET	25
LIITTEET	25

1 JOHDANTO

Rakennusala ja asuminen vievät ison osan maailman energiatuotannosta ja ovat merkittäviä tekijöitä ilmastonmuutoksen kehitykseen. Ilmastonmuutoksen huomioimisen olisi hyvä olla osana rakennussuunnittelua. Lämpötilojen ja sääolojen muuttuessa ilmankosteuspitoisuudet muuttuvat ja saattavat vaikuttaa tulevaisuudessa tällä hetkellä hyväksytyjen rakenteiden toimintaan. Ympäristöministeriön raportin mukaan hiilijalanjälkeen vaikuttavat etenkin energian kulutus, rakennuksiin käytettävät materiaalit, rakennusajan työt sekä asuntojen elinkaari. (Hänninen 2014, s. 7–8, 13–22; Ivanova ym. 2017.)

Tärkeä osa rakennuksissa on kattorakennetta kantava tukirakenne, joka ottaa vastaan vesikatto-/yläpohjarakenteen omapainon ja rakenteille tulevat normien mukaisen kuorman, kuten lumi- ja tuulikuorman. Normaaleissa omakotitaloissa rakenteisiin suunnitellaan kantavalle palkille paikka joko seinärunkoon tai ristikon kainaloon. Palkille leikataan lovitukset runkotolppiin tai palkille tehdään paikka ristikkorakenteeseen kattoristikkotehtaalla. Palkille tehtävä paikka lisää kattoristikon hintaa, mutta säästää aikaa ja vaivaa seinärunkotyövaiheessa, koska rungon lovitustyövaiheen poisjäännin lisäksi seinärakenteen villoittaminen helpottuu. Lähtökohtaisesti molemmilla tavoilla saadaan teknisesti riittävä kantavuus. Voi olla myös perusteltua käyttää molempia kannatustyyppäjä yhtä aikaa esimerkiksi elementtirakentamisessa, kun halutaan tukea seinäelementtejä ja kattorakennetta nostotyössä.

Rakenteiden fysikaaliseen toimintaan vaikuttavat paikalliset ilmasto-olosuhteet (Lehmann, Ghazim-Wakili, Frank, Collado & Tanner, 2013). Pohjolan pakkasilma on kuivaa, mutta rakenteen toiminnassa kylmän ja lämpimän ilman kohtaaminen tuo vesihöyryn kondensoitumisesta aiheutuvat haasteet (Siikanen 2014, s. 158–161). Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää tekijöitä, jotka vaikuttavat ristikon kannatuspalkin sijainnin vaikutusta yläpohjan liitosrakenteiden rakennusfysikaalisiin ominaisuuksiin. Lisäksi tarkoituksena on tuottaa vertailukelpoinen taulukko ristikonkannatuspalkin sijainnin vaikutuksesta lämpövirran kulutukseen ja höyrysulkumuovin sisäpinnan lämpötilaan. Opinnäytetyössä tutkimus tehdään rakennusfysikaalisin sovelluksin käyttäen Comsol Mul-

tiphysics- ja Wufi 5-2D -ohjelmia. Tutkimuksessa käytetään valmiita, yleisesti käytettyjä palkkikojoja, joilla suurin osa omakotitaloista voidaan rakentaa. Lähtökohtainen hypoteesi tutkimukselle on, että energian kulutuksen kannalta palkille parempi paikka olisi ristikon kainalossa kuin seinän rungossa.

2 RAKENTEEN TOIMINTAAN JA LÄMMÖN SIIRTYMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Rakennuksien rakenteita suunniteltaessa on huomioitava rakennusfysikaalisen toimintaan liittyvät peruseriaatteet. Rakenteiden tulee kestää itsestä ja ympäristöstä aiheutuvat kuormat. Rakenteen läpi virtaava lämpöenergian siirtyminen halutaan minimoida. Tuulta vastaan tulee olla tiivis pinta, joka kuitenkin päästää rakenteesta kosteuden pois. Sisäpuolella rakennetta tulee olla höyrysulku, jotta sisällä oleva kosteus ei siirry rakenteeseen. (Siikanen 2014, s. 14, 71.)

Rakenteen sisällä ei saa olla ilmavirtauksia. Lämpöenergiaa siirtäviä rakenteen läpi meneviä kylmäsiltoja pyritään välttämään. Sadetta vastaan tulee olla este niin, ettei rakenne pääse suoraan kastumaan. (Siikanen 2016, s. 142, 151, 167.) Rakenteen ja säätä vasten olevan kerroksen välissä olisi hyvä olla ilmaväli, jotta rakenne pääsee tuulettumaan. Sisältä tulevaa suurta kosteuskuormaa aiheuttavat toiminnot, kuten pesutilat, eristetään muusta rakenteesta. (Siikanen 2014, s. 66.)

Materiaalien ominaisuudet vaikuttavat rakenteen toimintaan. Tärkeitä ominaisuuksia ovat rakennusmateriaalien tiheys, huokoisuus, lämmönvastus- ja johtumiskyky, kyky ottaa kosteutta vastaan ja luovuttaa sitä edelleen sekä vesihöyryn läpäisykyky. Osaksi edellä mainitut tekijät vaikuttavat toisiinsa, sillä materiaalin kosteuskäyttäytyminen vaikuttaa myös kykyyn johtaa lämpöenergiaa. (Siikanen 2014, s. 40–59.)

2.1 Johtuminen

Johtumisessa tapahtuva lämmönvirtaus tarkoittaa molekyylien liike-energian siirtymistä molekyylistä toiseen. Lämpö pyrkii tasoittumaan materiaalissa. Puurunkoisessa mineraalivillalla eristetyssä seinässä liittymäkohdissa läpi rungon olevat puuliitokset johtavat lämpöenergiaa enemmän kuin ympäröivä rakenne aiheuttaen niin sanotun kylmäsiltilmiön. (Björkholtz 1997, s. 12.)

2.2 Konvektio

Nestemäisen aineen tai kaasun mukana siirtyvää energiaa kutsutaan konvektioksi, joka voi olla pakotettua tai luonnollista. Luonnollisen konvektion aiheuttavat lämpötilojen tiheyserot. Pakotettua konvektiota sisätiloissa aiheuttaa esimerkiksi koneellinen ilmanvaihto ja viemäriin poistettava vesi, ulkona taas tuulen virtaukset. Rakenteissa on harvoin pakotettua konvektiota. (Björkholtz 1997, s. 13.)

2.3 Säteily

Kaikki lämpötilaltaan absoluuttisen nollapisteen yläpuolella olevat kappaleet lähettävät eli emittoivat säteilyä. Säteily tapahtuu valon nopeudella sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Mustan kappaleen on todettu säteilevän muun värisiä kappaleita enemmän. (Björkholtz 1997, s. 12.)

2.4 U_c -Arvo

Lämmönläpäisykerroin eli U -arvo (kaava 1) kertoo jatkuvuustilassa rakenteen eri puolilla lämpövirrantiheyden yhden asteen lämpötilaerolla. Rakennuksien lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytetään $U_c \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ -arvoa, jolla tarvittaessa huomioidaan rakenteissa olevat pistemäiset kylmäsiltojen korjaustekijät, kuten mekaaniset kiinnikkeet, käännettyjen kattojen korjaustekijät ja lämmöneristeiden ilmarakojen korjaustekijät. (Saari, Nyman, Kokko, Vuolle, Kalliomäki, & Haakana, 2017, s. 9.) U_c -arvo lasketaan SFS-EN ISO 6946 -standardin mukaan (Ylihirsilä, Lehtoviita & Alitalo 2020, s. 8). Lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla 1 (Siikanen 2014, s. 51).

KAAVA 1. Lämmönläpäisykerroimen kaava

$$U = \frac{1}{R_T}$$

R_T = Rakenteen kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön (YM 2002, s. 5)

2.5 Lämmönjohtavuus (λ)

Lämmönjohtavuus (λ) kertoo tasa-aineisen ja pituusyksikön paksuisen kerroksen läpi menevästä lämpövirran tiheydestä (W/mk) jatkuvuustilassa, kun ainekerroksen pintojen välinen lämpötilaero on yksikön suuruinen (Siikanen 2014, s. 41).

2.6 Lämmönvastus (R)

Lämmönvastuksella R (m^2K/W) tarkoitetaan jatkuvuustilassa yhden lämpötilayksikön erolla tasa-paksuisen tai kerroksellisen rakenteen lämmönvastusta. Se ilmoittaa ko. rakenteen tai kerroksen eri puolilla olevien isothermisten pintojen lämpötilaeron ja rakenteen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen. (Siikanen 2014, s. 46.)

2.7 Sisäpuolinen ja ulkopuolinen pintavastus (R_{si} , R_{se})

Rakennusosan sisäpuolinen ja ulkopuolinen pintavastus R_{si} ja R_{se} tarkoittavat rakenteen ja sisäpuolisen tai ulkopuolisen ympäristön välisen rajakerroksen lämmönvastusta (m^2K/W) (taulukko 1) (Siikanen 2014, s. 47).

TAULUKKO 1. Tuulettuvan rakenteen pintavastukset (Siikanen 2014, s. 46)

Pintavastus m^2K/W	Lämpövirran suunta		
	Ylöspäin	Vaakasuoraan	Alaspäin
Sisäpuolen pintavastus (R_{si})	0,10	0,13	0,17
Ulkopuolen pintavastus (R_{se})	0,04	0,04	0,04

2.8 Viivamainen lisäkonduktanssi

Viivamainen lisäkonduktanssi Y ($W/(mK)$) ilmoittaa rakennusosassa olevan pituusyksikön mittaisen viivamaisen kylmäsillan (esimerkiksi seinän ala- ja yläohjauspuun) aiheuttaman lisäyksen jatkuvuustilassa rakennusosan läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on lämpöasteen suuruinen (Heikkinen, Rantala & Leivo 2012, s. 6).

3 KOSTEUS

3.1 Suhteellinen kosteus (Rh)

Suhteellinen kosteus ilmoittaa prosentteina ilmankosteuden määrän tietyn lämpötilan maksimikosteuspitoisuudesta. Ilman saavuttaessa suhteellisen kosteuden maksimipitoisuuden vesihöyry kondensoituu vedeksi. Ilman kyky sitoa kosteutta on lämpötilasta riippuvainen. Taulukossa 2 näkyvät eri lämpötilojen maksimivesihöyrypitoisuudet. (Siikanen 2014, s. 69.) Pakkasella -10 °C:ssa, Rh:n ollessa 90 %, voidaan laskea maksimi vesihöyrymäärästä $0,9 \times 2,36 \text{ g/m}^3 = 2,12 \text{ g/m}^3$, kun taas kesällä 10 °C:ssa, Rh:n ollessa 70 %, veden määrä kuutiometreissä on $0,7 \times 9,39 \text{ g/m}^3 = 6,57 \text{ g/m}^3$ (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Ilman maksimivesihöyrypitoisuudet eri lämpötiloissa (kaava 2, kaava 3)

Lämpötila [°C]	Lämpötila [K]	V_{max} [g/m ³]	p_{max} [Pa]
-20	253,15	1,07	125
-19	254,15	1,16	137
-18	255,15	1,26	149
-17	256,15	1,37	162
-16	257,15	1,48	176
-15	258,15	1,60	191
-14	259,15	1,73	207
-13	260,15	1,87	225
-12	261,15	2,02	244
-11	262,15	2,19	264
-10	263,15	2,36	286
-9	264,15	2,54	310
-8	265,15	2,74	335
-7	266,15	2,95	362
-6	267,15	3,17	391
-5	268,15	3,41	421
Lämpötila [°C]	Lämpötila [K]	V_{max} [g/m ³]	p_{max} [Pa]
-4	269,15	3,66	454
-3	270,15	3,93	490
-2	271,15	4,22	528
-1	272,15	4,52	568
0	273,15	4,85	611

Lämpötila [°C]	Lämpötila [K]	V_{max} [g/m ³]	p_{max} [Pa]
0	273,15	4,85	611
1	274,15	5,19	657
2	275,15	5,56	706
3	276,15	5,95	758
4	277,15	6,36	813
5	278,15	6,79	872
6	279,15	7,26	935
7	280,15	7,75	1001
8	281,15	8,27	1072
9	282,15	8,81	1148
10	283,15	9,39	1227
11	284,15	10,01	1312
12	285,15	10,66	1402
13	286,15	11,34	1497
14	287,15	12,06	1598
15	288,15	12,82	1705
Lämpötila [°C]	Lämpötila [K]	V_{max} [g/m ³]	p_{max} [Pa]
16	289,15	13,62	1818
17	290,15	14,47	1937
18	291,15	15,36	2063
19	292,15	16,30	2197
20	293,15	17,28	2337

Ilman maksimivesihöyrypitoisuus (V_{max}) voidaan laskea kaavoilla 2 ja 3 (Björkholtz 1997, s. 44).

KAAVA 2. Ilman maksimivesihöyrypitoisuus (Björkholtz 1997, s. 44)

$$P_{max} = 101,325 \cdot 10^3 \cdot e^{\left(70,4347 - \frac{7362,7}{T} + 6,95208 \cdot 10^{-3} \cdot T - 9 \cdot \ln T\right)}$$

KAAVA 3. Ilman maksimivesihöyrypitoisuus (Björkholtz 1997, s. 43)

$$V_{max} = 461,4 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot v$$

T = ilman lämpötila (K)

v = ilman vesihöyrypitoisuus (g/m³)

P_a = Kyllästyspaine

3.2 Diffuusio

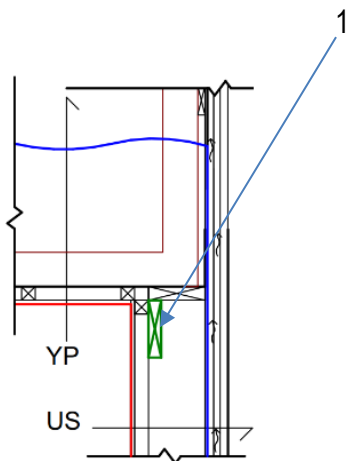
Vesihöyrykaasut pyrkivät ympäröivän ympäristön kanssa tasaantumaan tasaiseksi jakaantuneeksi kaasuseokseksi. Tätä kaasumolekyylin liikkumista kutsutaan diffuusioksi. Rakennustekniikassa diffuusiolla tarkoitetaan vesihöyryn kulkemista rakenteiden läpi. (Siikanen 2014, s. 70–71.)

4 RISTIKON KANNATUSPALKIN SIJAINNIN VAIKUTUS RAKENNUSFYSIKAALISIIN OMINAISUUKSIIN

Opinnäytetyössä tutkittiin ristikon kannatuspalkkien sijainnin vaikutusta rakennuksen yläpohjaliittymärakenteen rakennusfysikaalisiin ominaisuuksiin. Ristikonkannatuspalkin sijainti määritellään yleensä työteknisistä syistä. Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin siihen, löytyisikö vertailurakenteissa merkityksellisiä rakennusfysikaalisia eroja, joita voisi ottaa huomioon rakenteiden suunnittelussa. Lähtökohtainen hypoteesi tutkimukselle oli, että energiankulutuksen kannalta palkille parempi paikka olisi ristikonkainalossa kuin seinän rungossa.

Palkkirakenteista mallinnettuja kuvia tutkittiin Comsol Multiphysics 2D- ja Wufi 5-2D -ohjelmilla. Tarkastelussa olivat jatkuvuustilassa rakenteiden sisällä olevat lämpötilat ja niiden läpi vuotavat lämpövirrat. Työssä tutkittiin myös viiden vuoden aikana tunnin välein rakenteisiin kohdistuvia lämpötiloja ja kosteuskuormia, jotka voivat aiheuttaa mikrobikasvustolle alttiita olosuhteita rakenteissa (Siikanen 2014, s. 79). Rakenteen sisältä otetuista mittauspisteistä saadut lämpötilat ja ilman suhteellisen kosteuden arvot analysoitiin VTT:n ja TTY:n kehittämällä Suomen homelaskurilla (Hukka & Viitanen, 1999; Tampereen yliopisto 2021).

Tutkimuksessa tehtiin vertailutaulukko, josta nähdään palkkien sijainnin vaikutukset mittauspisteisiin. Oletuksena tutkimuksessa oli virheetön rakenne, johon käytännön työelämässä ei päästä. Tutkimuksessa käytettiin kahdenlaista seinärunkorakennetta ja kahdenlaista ristikonkannatuspalkin sijaintipaikkaa (kuva 1; kuva 2).



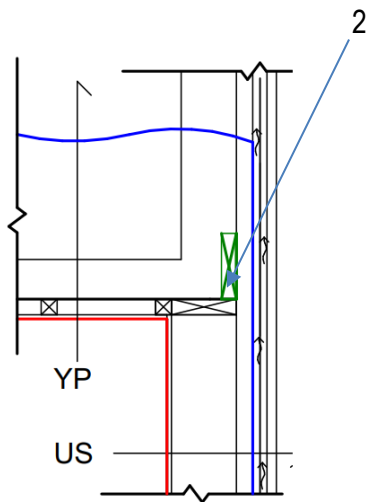
KUVA 1. Ristikon kannatuspalkin sijainti seinärungossa (1)

US-rakenne 1 on rakenteen sisäpinnasta ulospäin seuraava:

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 mm vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrystulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-rakenne on sisäpinnasta ylöspäin seuraava:

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrystulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.



KUVA 2. Ristikon kannatuspalkin sijainti ristikon kainalossa (2)

US-rakenne 2 on rakenteen sisäpinnasta ulospäin seuraava:

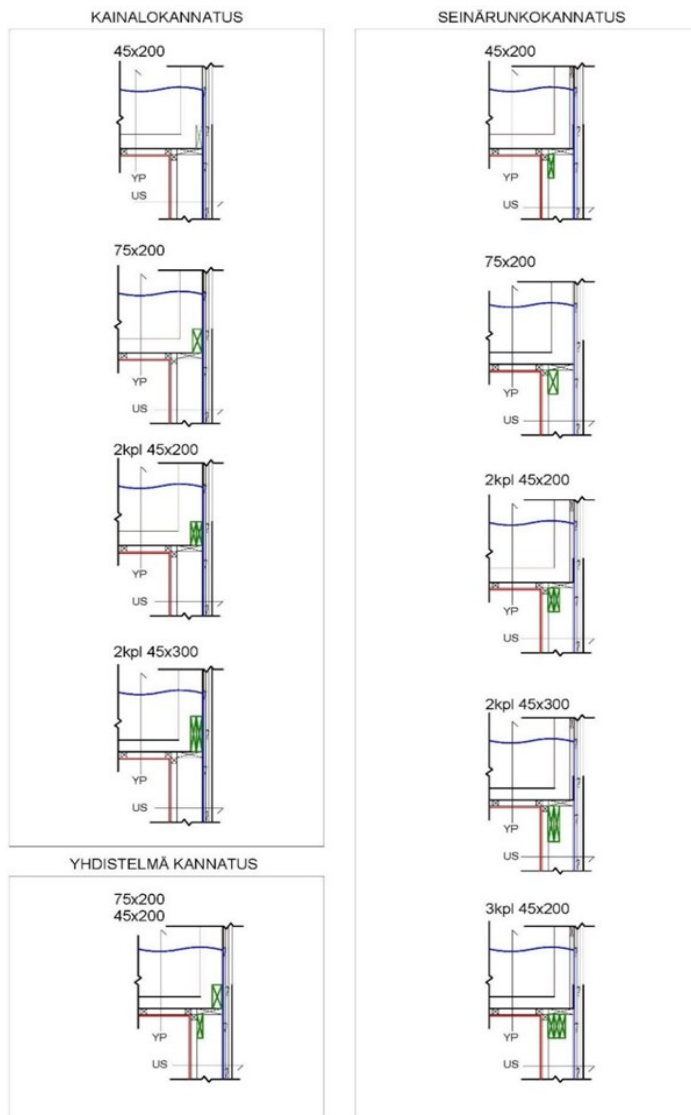
- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-rakenne on sisäpinnasta ylöspäin seuraava:

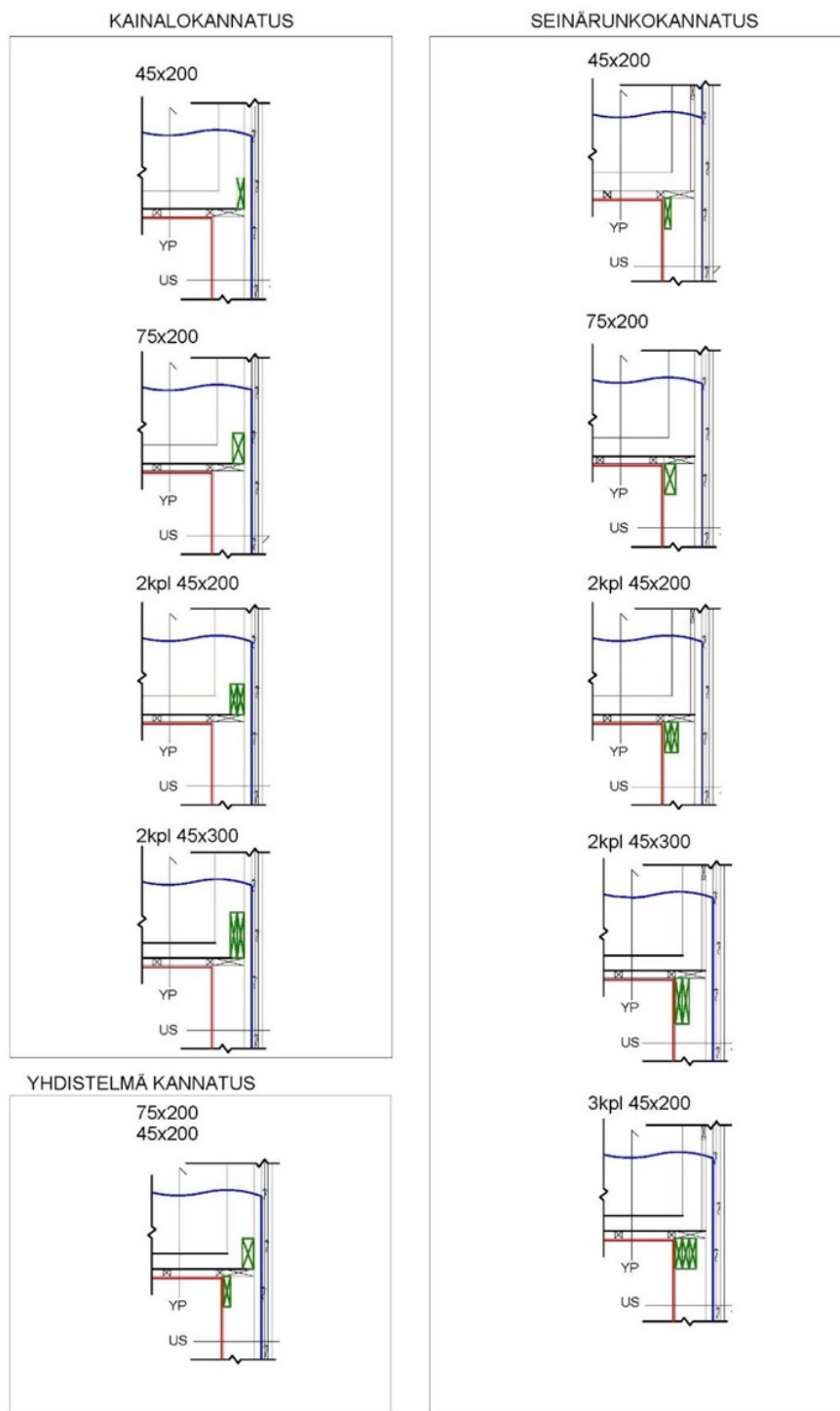
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

5 RAKENTEISSA KÄYTETYT RISTIKON KANNATUSPALKIT

Opinnäytetyössä tehtyyn vertailuun otettiin mukaan erikokoisia ristikon kannatuspalkkeja seinärunkoon ja ristikon kainaloon sijoitettuna (kuvat 3–4). Palkkien koot esitetään kuvissa millimetreinä.



KUVA 3. Tutkimuksessa käytetyt ristikon kannatuspalkit kipsisellä tuulensuojalevyllä ja sisäpuolisella 48 x 48 mm:n vaakakoolauksella (sininen = ulkoilma, punainen = sisäilma, vihreä = ristikon kannatuspalkki)



KUVA 4. Tutkimuksessa käytetyt ristikon kannatuspalkit 50 mm puukuituisella tuulensuojalevyllä (sininen = ulkoilma, punainen = sisäilma, vihreä = ristikon kannatuspalkki)

6 TUTKIMUSTULOKSET COMSOL 2D -OHJELMALLA

Yläpohjan liittymät mallinnettiin Comsol 2D -ohjelmalla. Ohjelmalla tutkittiin liittymistä lämpötiloja ja liittymien virrankulutusta. Taulukossa 3 näkyvät tutkimuksesta saadut lämpötila-arvot mittauspisteestä, joka oli höyrysulkumuovin sisäpinnassa. Rakennuksen sisälämpötila oli jatkuvuustilassa 22 °C ja ulkolämpötilat olivat -10 °C ja -20 °C. Lisäksi tutkimuksesta saadut liittymien lämpövirrankulutusten arvot (W/m) ulko- ja sisälämpötilan eron ollessa 1 °C esitellään taulukossa 3 (liitteet 1–21).

TAULUKKO 3. Tutkimustuloksena vertailuarvot liittymien mittauspisteen lämpötiloista ja lämpövirran kulutuksista

Palkki seinärungossa				Palkki ristikonkainalossa			
PALKKI	W/m	-10°C	-20°C	PALKKI	W/m	-10°C	-20°C
ap_45x200_k	0,270	10,5°C	6,3°C	yp_45x200_k	0,269	8,9°C	4,8°C
ap_45x200_p	0,282	16,7°C	15,2°C	yp_45x200_p	0,281	16,8	15,2
ap_75x200_k	0,279	10,1°C	6,2°C	yp_75x200_k	0,271	8,5°C	4,5°C
ap_75x200_p	0,287	17,1°C	15,35°C	yp_75x200_p	0,280	16,7°C	15,2°C
ap_2kpl_45x200_k	0,280	9,6°C	6,1°C	yp_2kpl_45x200_k	0,272	8,3°C	4,0°C
ap_2kpl_45x200_p	0,289	16,9°C	15,4°C	yp_2kpl_45x200_p	0,282	15,4°C	13,4°C
ap_2kpl_45x300_k	0,285	9,9°C	6,2°C	yp_2kpl_45x300_k	0,272	8,2°C	3,9°C
ap_2kpl_45x300_p	0,296	16,9°C	15,3°C	yp_2kpl_45x300_p	0,283	15,4°C	13,3°C
ap_3kpl_45x200_k	0,288	9,4°C	5,4°C				
ap_3kpl_45x200_p	0,300	16,8°C	15,3°C				
ap_45x200_yp75x200k	0,278	9,2°C	5,3°C				
ap_45x200_yp75x200p	0,288	16,3°C	14,5				

ap = palkki seinärungossa

yp = palkki ristikon kainalossa

k = seinärakenne 1 (KUVA 1, s. 14)

p = seinärakenne 2 (KUVA 2, s. 15)

Cosol Multiphysics 2D -ohjelmalla mallinnetuista yläpohjaliittymistä voitiin päätellä, että lämpövirran kulutus oli ristikon kainalokannatuksella hieman pienempi kuin seinärunkoon lovitetuissa kannatuksissa. Lämpövirran kulutuksen eron todettiin kasvavan palkin koon kasvaessa.

Rakennusfysikaalisesti merkittävämpää on ero lämpötiloissa höyrystykumuovin sisäpinnassa olevassa mittauspisteessä. Sisälämpötilan ollessa 22 °C ja ulkolämpötilan ollessa -20 °C lämpötila ristikon kainalokannatuksella tehdyissä liittymissä (US-rakenne 1, kuva 1) oli keskimäärin 1,9 °C alhaisempi kuin seinärunkoon lovitetuissa palkkiratkaisuissa. Alhaisimmillaan, 2 kpl 45 x 300 mm ristikon kainalokannatuspalkkirakenteella lämpötila laski 3,9 °C:seen, kun taas seinärunkopalkilla lämpötila oli 6,2 °C. Lämpötilaero oli siis 2,3 °C.

Ulkoilman lämpötilan ollessa -20 °C yläpohjaliittymissä, joissa ei ollut seinärungon sisäpuolista eristettä (Us-rakenne 2, kuva 2) vaan ainoastaan 48 x 48 mm:n kattokoolaus, muovin sisäpuolelta otetuissa tarkastelupisteissä lämpötila oli kaikissa yli 13,3 °C. Pienemmissä palkeissa palkin sijainnilla ei ollut juuri merkitystä, mutta isoimmissa palkkirakenteissa kainalokannatuksessa höyrystykumuovin pinta oli noin 2 °C kylmempi kuin ristikonkainalokannatuksella tehdyissä liittymissä.

Tuloksista voitiin päätellä, että suurempi merkitys alhaisiin lämpötila-arvoihin liittymäkohdassa oli seinäarakenteella kuin palkin sijainnilla. Sisäpuolen vaakakoolauksella ja kipsisellä tuulensuojalevyllä olevilla seinäarakenteilla (US-rakenne 1, kuva 1) lämpöenergia johtui ulospäin yläjuoksua ja ristikonkannatuspalkkia pitkin jäädyttäen rakennetta. Samalla muovin sisäpuolinen mineraalieriste eristi lämpimän sisäilman vaikutusta mittauspisteeseen.

Rakenteissa, joissa sisäpuolen kattokoolaus johti lämpöä liitoskohtaan (US-rakenne 2, kuva 2) ja kylmää ulkoilmaa vasten ja joissa oli eristävä 50 mm:n puukuituinen tuulensuojalevy, vertailulämpötilat olivat 9–10 °C lämpimämmät verrattuna US-rakenne 1:een (kuva 1), jossa höyrystykumuovin sisäpuolella oli vaakakoolaus ja mineraalivillaeriste.

7 TUTKIMUSTULOKSET WUFI 5-2D -OHJELMALLA

Rakenteiden sisällä tapahtuvat lämpötilamuutokset laskettiin Wufi 5-2D -ohjelmalla. Tutkimuksessa käytettiin Luulajan lämpö- ja ilman suhteellisen kosteuden arvoja, jotta saatiin pohjoiset olosuhteet tutkimukseen. Arvot otettiin tunnin välein viiden vuoden ajalta (taulukko 4, liitteet 22–34).

TAULUKKO 4. Maksimihomeindeksitaulukko yläpohjaliittymien maksimihomeindekseistä, höyrysulkumuovin sisäpuolelta ja tuulensuojan sisäpinnasta

Palkki seinärungossa			Palkki ristikonkainalossa		
PALKKI	Hs. sisp. maksimi. homeindeksi	Ts. sisp. maksimi. homeindeksi	PALKKI	Hs. sisp. maksimi. homeindeksi	Ts. sisp. maksimi. homeindeksi
Ap_45x200_k	0,428	0,811	Yp_45x200_k	0,519	0,001
Ap_45x200_p	0,285	0,271	Yp_45x200_p	0,447	0,237
Ap_2kpl_45x200_k	0,400	0,837	Yp_2kpl_45x200_k	0,575	0,002
Ap_2kpl_45x200_p	0,261	0,000	Yp_2kpl_45x200_p	0,447	0,238
Ap_2kpl_45x300_k	0,402	2,894	Yp_2kpl_45x300_k	0,561	0,002
Ap_2kpl_45x300_p	0,259	0,000	Yp_2kpl_45x300_p	0,399	0,001

Ap = seinärunkoon upotettu ristikon kannatuspalkki

Yp = ristikon kainalokannatuspalkki

k = rakenne 1 (kuva 1)

p = rakenne 2 (kuva 2)

45 x 200 = palkin koko millimetreinä

Hs. sisp. = mittauspiste seinän ja katon liittymäkohdasta höyrysulkumuovin sisäpinnasta

Ts sisp. = mittauspiste tuulensuojalevyn sisäpinnasta

Tutkittavat pinnat otettiin oletetuista riskipaikoista, jotka olivat höyrysulkumuovin sisäpinta ja tuulensuojalevyn sisäpinta. Höyrysulkumuovin sisäpinnan mittauspisteestä ilmeni, että maksimihomeindeksi oli suurempi ristikon kainalokannatuksella olevissa liittymissä. Comsol 2D -ohjelmalla tehdyssä tutkimuksessa ristikon kainalokannatuksella olevissa yläpohjaliittymissä lämpötilat olivat -20 °C:n pakkaskelillä noin 2 °C alhaisemmat kyseessä olevassa mittauspisteessä, mikä oli ilmeinen selittävä tekijä korkeammille maksimihomeindeksi-arvoille. Arvot olivat kuitenkin alle 1:n, eli liittymien höyrysulkumuovin sisäpinnan mittauspisteet voitiin todeta mikrobien kasvun suhteen vähäriskisiksi (Hukka & Viitanen 1999; Tampereen yliopisto 2021).

VTT:n ja TTY:n kehittämän Suomalaisen homemallin mukaan (Hukka & Viitanen 1999; Tampereen yliopisto 2021) tuloksista voitiin päätellä, että mitä enemmän seinärunkopalkki vuosi lämpöenergiaa rungon läpi, sitä suurempi oli kipsisen tuulensuojalevyn sisäpinnalla kasvava mikrobin kasvuerkkyys. Palkin koon ollessa suurin, mikä tässä tutkimuksessa oli (2 kpl 45 x 300 mm) rakenteella 1 (kuva 1), tehdyn tutkimuksen mukaan mikrobin kasvu olisi kipsisen tuulensuojalevyn sisäpinnassa silmin havaittavissa. Muissa palkkirakenteissa homeindeksi-arvo jäi alle 1:n eli tutkimuspaikat voitiin todeta vähäriskisiksi.

Kipsilevyssä oleva paperi kuuluu Suomalaisen homemallin mukaan herkimpään homeherkkyysluokkaan. Vertailurakenteessa oleva puukuitutuulensuoja kuuluu herkkyysluokkaan 2. (Hukka & Viitanen 1999; Tampereen yliopisto 2021.)

Ristikonnatuspalkkiliittymissä kipsilevyn sisäpinta ei mittauspisteessä tutkimuksen mukaan ollut mikrobikasvustolle altis.

8 POHDINTA

Opinnäytetyössä selvitettiin ristikon kannatuspalkin sijainnin vaikutusta yläpohjaliittymärakenteiden lämpövirran kulutukseen, höyröyksen sisäpinnan lämpötiloihin sekä tuulensuojan sisäpinnan ja höyröyksen sisäpuolella olevan materiaalin mikrobikasvuherkkyyteen (Hukka & Viitanen 1999; Tampereen yliopisto 2021).

Lämpövirran kulutuksissa erojen todettiin olevan kohtuullisen pieniä. Tosin palkin koon kasvaessa ristikon kinalossa sijaitsevassa palkkirakenteessa virrankulutus ei mainittavasti lisääntynyt, kun taas seinärunkopalkkirakenteessa virrankulutus lisääntyi, kun palkin koko kasvoi. Lämpövirran kulutuksellisia eroja yleensä tasaa se, että ristikon kinalopalkkirakenteissa asennetaan samankokoinen palkki koko kattorakenteen pituisesti. Palkki on mitoitettu suurimpien aukotusten ja nostettavan katon kuormien mukaan, kun taas seinärunkoon asennettavat palkit mitoitetaan optimimitoituksella. Isoihin aukotuksiin laitetaan iso palkki ja normaaliin seinärunkoon riittää pienempi palkki.

Höyröyksen pinnassa liittymäkohdassa olevassa mittauspisteessä lämpötila-arvoissa havaittiin eroja palkkien sijainnin mukaan. Ristikon kinalopalkkiliittymissä lämpötila oli noin 2 °C alhaisempi suhteessa seinärunkoon sijoitettuun palkkirakenteeseen. Alin mittaustulos oli 3,9 °C ulkoilman ollessa -20 °C ja sisäilman ollessa 22 °C.

Lämpötilojen laskettua höyröyksen sisäpinnalla lähelle 0 °C:a alkaa rakenne olemaan riskialtis, koska suhteellinen kosteusprosentti kasvaa lämpimän sisäilman kohdatessa kylmän pinnan. Luvun 3 taulukossa 2 näkyy ilman maksimivesihöyröytpitoisuus.

Kosteuslisä rakennuksissa on aina tapauskohtainen ja riippuu monesta tekijästä, kuten ilmanvaihtuvuudesta, ihmismäärästä ja eri kosteuslähteistä (Björkholtz 1997, s. 48–49). Wufi 5-2D -ohjelmalla tehdyssä tutkimuksessa käytettiin kosteuslisää 2 g/m³, jolla saatiin vertailuarvot palkkien sijainnin vaikutuksesta mikrobikasvuherkkyyteen. Ristikon kinaloon sijoitetuissa palkkirakenteissa maksimihomoindeksi-arvot olivat suurempia, mutta kaikki rakenteet voitiin todeta sisäpuolen mittauspisteessä riskittömiksi.

Rakenteiden suurin riski on rakennusvaiheessa, jolloin rakenteissa on vielä rakennekosteutta ja kosteuskuormaa tulee esimerkiksi betonivalusta sekä tasoite- ja maalaustöistä. Kuivuvat rakenteet luovuttavat kosteutta ja lämmin ilma sitoo haihtuvaa vesihöyryä. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa esimerkiksi 65 % sisäilman ollessa 20 °C on ilmassa vesihöyryä $0,65 \times 17,28 \text{ g} = 11,32 \text{ g/m}^3$ (taulukko 2). Höyry kondensoituu vedeksi pinnoilla, joiden lämpötila on noin 13 °C tai vähemmän. Björkholtzin (1997, s. 64–66) mukaan sisäpuolen mittauspaikassa rakennusaikana kovilla pakkasilla vesihöyryn kondensoituminen on todennäköistä.

Tutkimus rakennusfysikaalisista ilmiöistä vahvisti käsitystäni rakennusten rakentamisen ja asumisen aikana olevista riskitekijöistä. Rakennustöissä sisäpuolen levytys- ja villoitustöiden oikean aloittamisajankohdan määrittäminen on tärkeää, jotta vältetään mikrobikasvulle alttiilta olosuhteilta. Lisäksi rakennusvaiheessa on ensisijaisen tärkeää huolehtia kosteuden poistamisesta sisäilmasta. Kuivatus onnistuu parhaiten pitämällä sisällä olevaa lämpötilaa suhteellisen korkeana ja vaihtamalla riittävästi ilmaa ulkoa tulevaan kuivaan ilmaan. Kesäolosuhteissa lämpimässä ulkoilmassa on itsessään niin paljon kosteutta, ettei rakenteiden kuivatus onnistu hyvin. Koneellisella kosteudenerottimella ja kohdistamalla lämpö lattiabetoniin suoraan lattialämmityksellä saadaan nopeutettua prosessia. (Siikanen 2014, s. 79.)

Talon valmistuessa ilmanvaihdon koneet joutuvat kovalla pakkasella koetukselle. Ilmavaihtokoneissa huolto ja tarkistus ennen kovia pakkasia on tärkeää. Esimerkiksi tukkeutunut suodatin saattaa muuttaa tilan ylipaineiseksi ja lisätä kosteusriskiä rakennuksen sisällä. Tämä saattaa ilmetä esimerkiksi siten, että ikkunapinnoille kondensoituu vettä.

Suomalaiset pohjoiset sääolot tuovat rakenteille haasteita. Alle -20 °C:n lämpötiloja ei ole pitkiä ajanjaksoja, kun taas alle -10 °C:n pakkasjaksoja saattaa olla Suomen olosuhteissa useita kausia. Muovin sisäpuolella oleva 50 mm:n eriste estää sisäpuolisen lämmön siirtymistä höyrystykseen muovin pinnalle, jossa lämpötila laskee tutkimuksen mukaan 8,2–10 °C:seen, sisälämmön ollessa 22 °C. Yläpohjaliittymään tulee puuliitoksia, joissa saattaa olla pieniä ilmarakoja höyrystykseen muovista tuulensuojalevyyn. Tämä lisää liittymän kylmän altistumista ja riskiä ilman vesihöyryn kondensoitumiseen muovin sisäpinnalla. Ulkoseinärakenteessa 2 (luvun 4 kuvassa 2) eristävä tuulensuoja vähentää edellä mainittua riskiä.

Sisäpuolisella vaakakoolauksella olevissa rakenteissa eristeenä oleva mineraalivilla ei ole Suomalaisen homemallin (Hukka & Viitanen 1999; Tampereen yliopisto 2021) mukaan materiaalina niin herkkä homeelle verrattuna puuhun, mutta puu johtaa sisältä tulevaa lämpöenergiaa muovin pinnalle, jolloin lämpötila sisäpuolen mittauspisteessä kohoaa ja vesihöyry sisäilmassa ei ole niin herkkä kondensoitumaan. Mielestäni yläpohjaliittymän tutkimuspisteessä höyrysulkumuovin sisäpinnassa lämpötilan laskua alle 10 °C:seen tulisi pyrkiä välttämään. Ratkaisuna voisi olla esimerkiksi ulkoseinärakenteessa 2 (kuva 2) kyseessä olevan mittauspaikan lämpötilan saaminen kohtuulliselle tasolle.

LÄHTEET

Björkholtz, Dick 1997. Lämpö ja kosteus rakennusfysiikka. 2. Saarijärvi: Rakennustieto Oy Gummerus Kirjapaino.

Comsol Multiphysics versio 5.6. Hakupäivä 15.12.2020. www.comsol.com.

Heikkinen, Jorma, Rantala, Jukka & Leivo, Virpi 2012. Viivamaisen lisäkonduktanssin laskentaopas. Hakupäivä 27.3.2021. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Viivamaisten-lisakonduktanssien-laskentaopas-0708E7A2_7EE5_4DA5_AEF2_2801630E2300-30996.pdf/895973ff-752c-fb4c-8496-4f13b954d6c9/Viivamaisten-lisakonduktanssien-laskentaopas-0708E7A2_7EE5_4DA5_AEF2_2801630E2300-30996.pdf?t=1603260205020.

Hukka, Antti & Viitanen, Hannu 1999. A Mathematical Model of Mould Growth on Wooden Material. Wood Science and Technology, Vol. 33, pp. 475–485. Hakupäivä 15.4.2021 <https://doi.org/10.1007/s002260050131>.

Hänninen, Pekka 2014. Ekologisesti kestävä pientaloasuminen. 13 pientalon vertailu. Ympäristöministeriön raportteja 20/2014. Hakupäivä 25.5.2021. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/135887/YMra_20_2014.pdf?sequence=2.

Ivanova, Diana, Vita, Gibran, Steen-Olsen, Kjartan, Stadler, Konstantin, Melo, Patricia C, Wood, Richard & Hertwich, Edgar G 2017. Mapping the carbon footprint of EU regions. Environmental Research Letters 12 (5), 054013. Hakupäivä 23.5.2021 <https://10.1088/1748-9326/aa6da9>.

Lehmann, Beat, Ghazim-Wakili, Karim, Frank, Thomas, Collado, Vera & Tanner, Ch 2013. Effects of individual climatic parameters on the infrared thermography of buildings. Applied Energy 110, 29–43. Hakupäivä 23.5.2021. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.066>.

Saari, Mikko, Nyman, Mikko, Kokko, Erkki, Vuolle, Mika, Kalliomäki, Pekka & Haakana, Maarit 2017. YM. Tasauslaskentaopas 2018. Hakupäivä 23.2.2021. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-)

97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-
8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564.

Siikanen, Unto 2014. Rakennusfysiikka, perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Siikanen, Unto 2016. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Tampereen yliopisto 2021. Suomalainen homemalli. Suomalainen homemalli- ja laskentatiedosto.
Hakupäivä 15.04.2021. <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli>.

Wufi 5-2D -ohjelma. Hakupäivä 15.12.2020. <https://wufi.de/en/>.

Ylihirsilä, Heikki, Lehtoviita, Timo & Alitalo, Sanna 2020. Lämpö, Rafnet 2020-oppimateriaalin teoriaosan osio L. Hakupäivä 23.2.2021. <http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/lampoo-sio27092004.pdf>.

Ympäristöministeriö 2002. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä C4. Hakupäivä 23.2.2021. <https://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>.

LIITTEET

Tutkimus yläpohjaliittymistä COMSOL 2D -ohjelmalla liite 1

Yläpohjaliittymä 1 liite 2

Yläpohjaliittymä 2 liite 3

Yläpohjaliittymä 3 liite 4

Yläpohjaliittymä 4 liite 5

Yläpohjaliittymä 5 liite 6

Yläpohjaliittymä 6 liite 7

Yläpohjaliittymä 7 liite 8

Yläpohjaliittymä 8 liite 9

Yläpohjaliittymä 9 liite 10

Yläpohjaliittymä 10 liite 11

Yläpohjaliittymä 11 liite 12

Yläpohjaliittymä 12 liite 13

Yläpohjaliittymä 13 liite 14

Yläpohjaliittymä 14 liite 15

Yläpohjaliittymä 15 liite 16

Yläpohjaliittymä 16 liite 17

Yläpohjaliittymä 17 liite 18

Yläpohjaliittymä 18 liite 19

Yläpohjaliittymä 19 liite 20

Yläpohjaliittymä 20 liite 21

Yläpohjaliittymien tarkastelu WUFI 5 -2D -ohjelmalla liite 22

Yläpohjaliittymä 1 homeindeksi liite 23

Yläpohjaliittymä 2 homeindeksi liite 24

Yläpohjaliittymä 3 homeindeksi liite 25

Yläpohjaliittymä 4 homeindeksi liite 26

Yläpohjaliittymä 9 homeindeksi liite 27

Yläpohjaliittymä 10 homeindeksi liite 28

Yläpohjaliittymä 11 homeindeksi liite 29

Yläpohjaliittymä 12 homeindeksi liite 30

Yläpohjaliittymä 13 homeindeksi liite 31

Yläpohjaliittymä 14 homeindeksi liite 32

Yläpohjaliittymä 15 homeindeksi liite 33

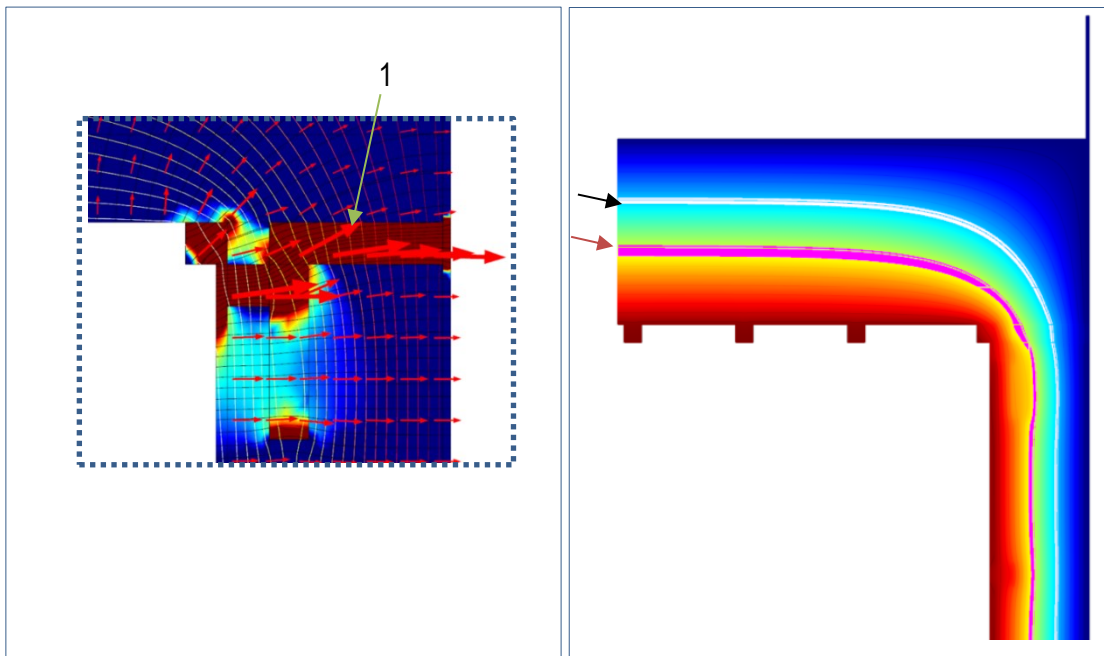
Yläpohjaliittymä 16 homeindeksi liite 34

Yläpohjaliittymät mallinnettiin Comsol 2D- ohjelmalla niin, että laskentaan tuli yläpohjaliittymän lisäksi kattorakennetta metrin pituudelta seinän sisäpinnasta ja seinää metrin verran kattorakenteen sisäpinnasta.

Laskennassa tarkasteltiin lämpövirran kulutusta yhden celsiusasteen lämpötilaerossa, sekä 0 °C, -10 °C ja -20 °C ulkolämpötilassa sisälämpötilan ollessa 22 °C.

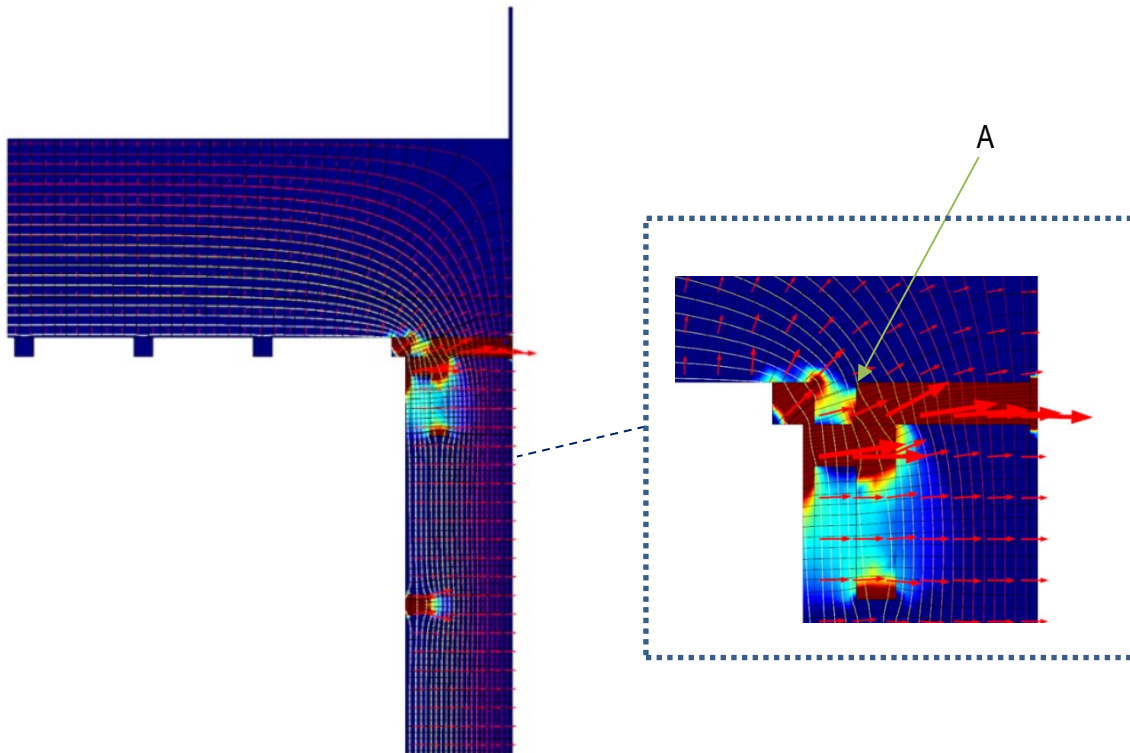
Yläpohjaliittymistä otettiin lämpövirtakuvaajat (kuva 1). Kuvaajasta voidaan päätellä, mikä osa rakennetta johtaa eniten lämpöenergiaa. Punaisten nuolten (1) koko kertoo lämpövirran kulutuksen suhteessa muuhun rakenteeseen.

Lämpötilakuvaajasta (kuva 2) voidaan tarkastella rakenteen sisällä olevia lämpötiloja väreinä. Lämpötilakuvaajiin on lisätty 0 °C (valkoinen) ja 8–10 °C:n (magenta) lämpötilakäyrät. Lämpötilakuvaajat on otettu -10 °C ja -20 °C ulkolämpötiloissa sisälämpötilan ollessa 22 °C.



KUVA 1 ja 2. Mallikuvaajat lämpövirtakuvaajasta ja lämpötilakuvaajasta

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 1 lämpövirtakuvaajat (kuva 4) Taulukossa 1 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrystyksen pinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

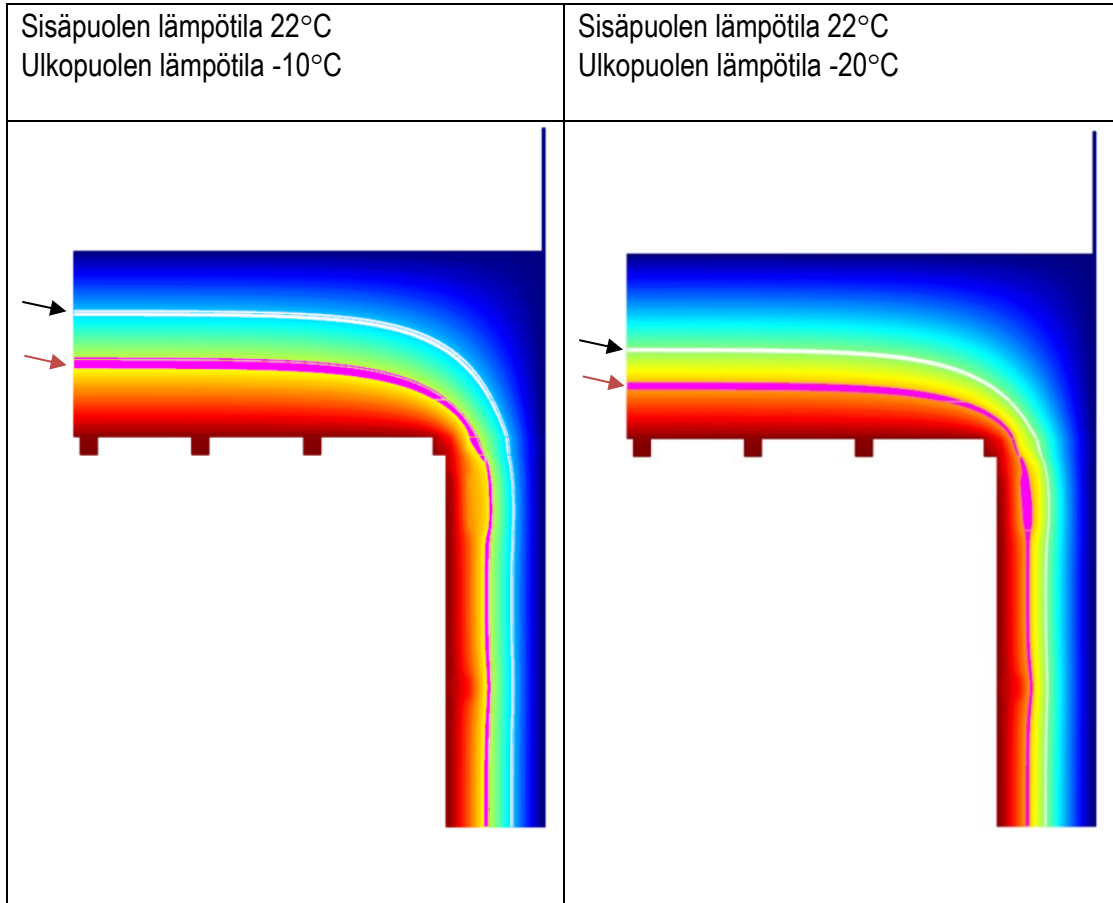


KUVA 4. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 1

TAULUKKO 1. Yläpohjaliittymä 1. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

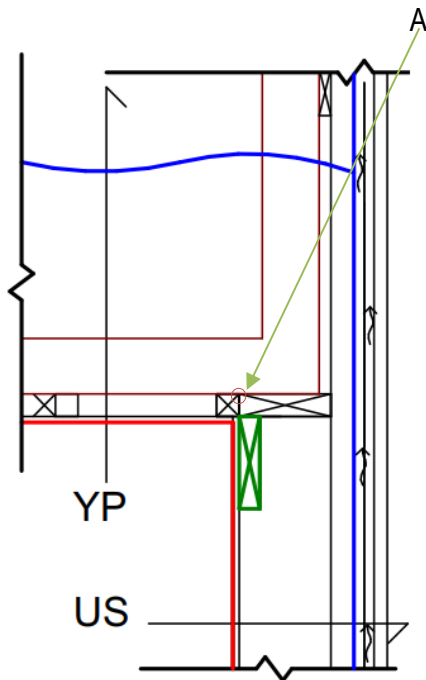
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,27 W/m	6,02 W/m	8,75 W/m	11,48 W/m
A				6,3°C
A			10,5°C	
A		13,8°C		

Cmsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 1 lämpötilakuvaajat (kuvat 5 ja 6). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 5 ja 6. Lämpötilakuvaajat 1 ja 2

Kuvassa 7 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 2 leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seurantapaikka, joka on yläpohjan ja seinän liittymässä, höyrysulkumuovin sisäpinnassa.



KUVA 7. Seinärunkoon sijoitettu 45 x 200 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

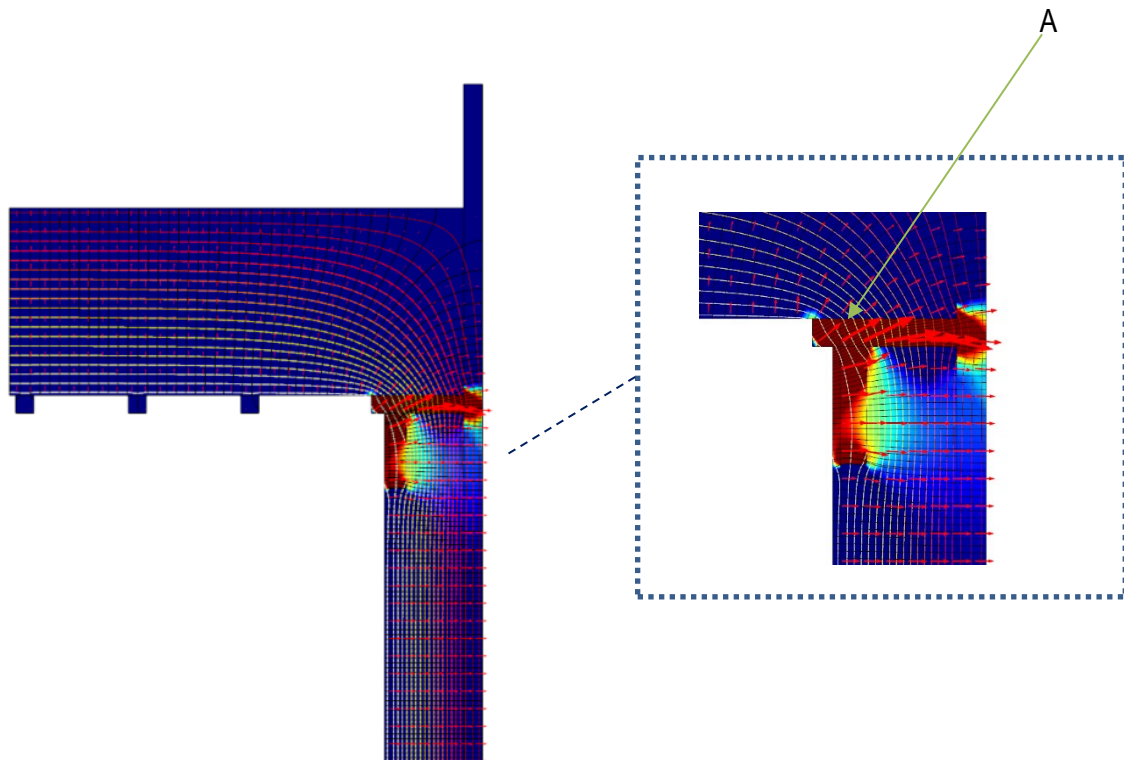
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 2 lämpövirtakuvaaja (kuva 8). Taulukossa 2 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyröyksen pinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

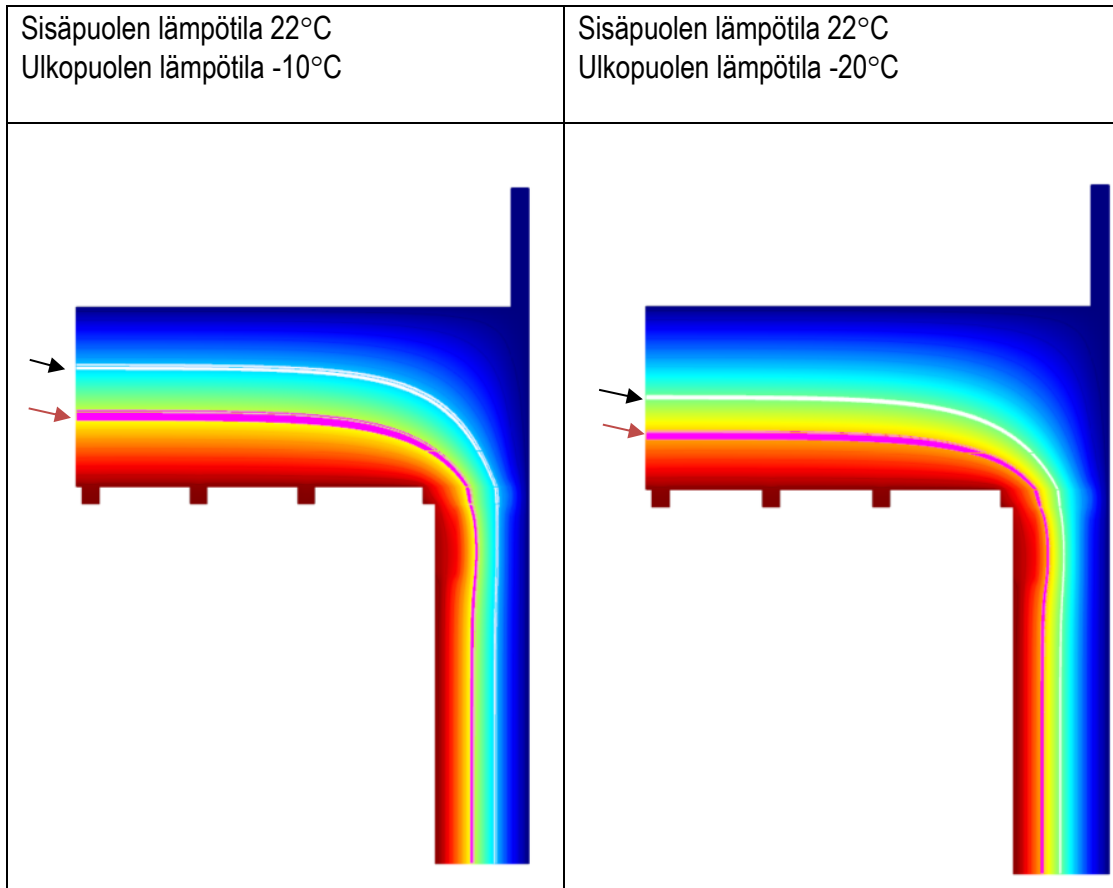


KUVA 8. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 2

TAULUKKO 2. Yläpohjaliittymän 2 lämpövirtalukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

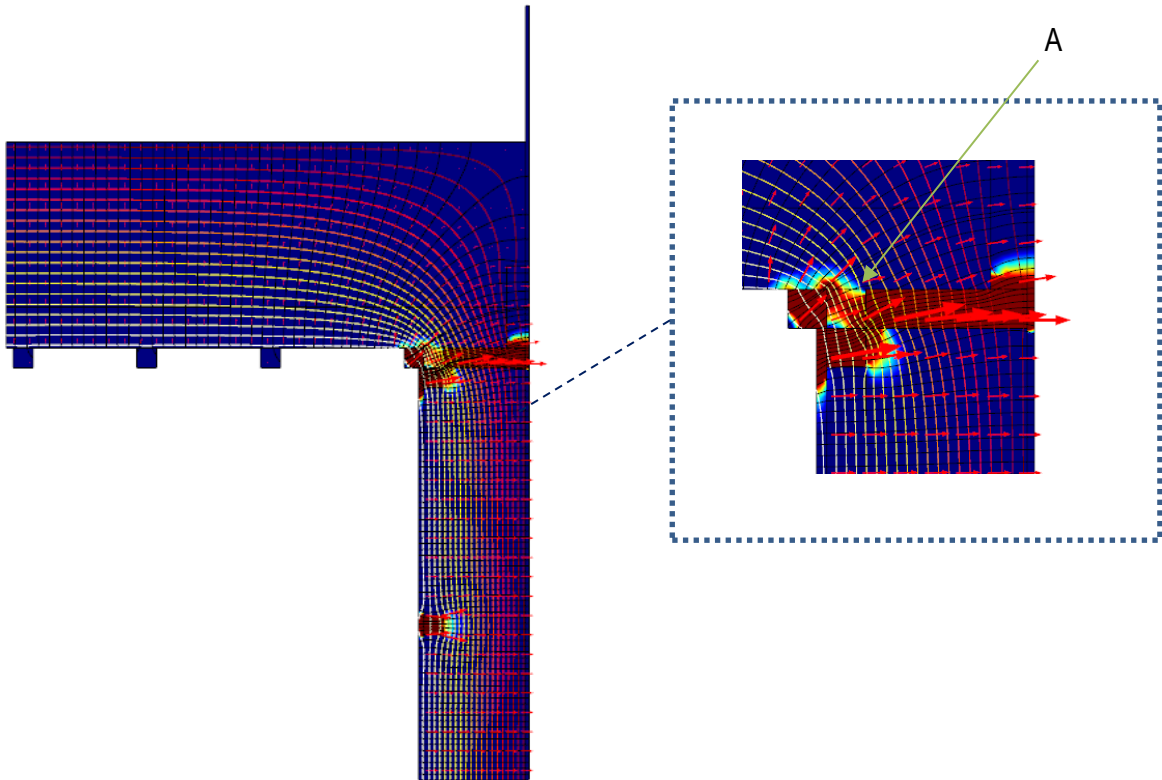
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,282 W/m	6,21 W/m	9,03 W/m	11,85 W/m
A				15,2°C
A			16,7°C	
A		18,4°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 2 lämpötilakuvaajat (kuvat 9–10). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVA 9 ja 10. Lämpötilakuvaajat 3 ja 4

Cmsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 3 lämpövirtakuvaaja (kuva 12). Taulukossa 3 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

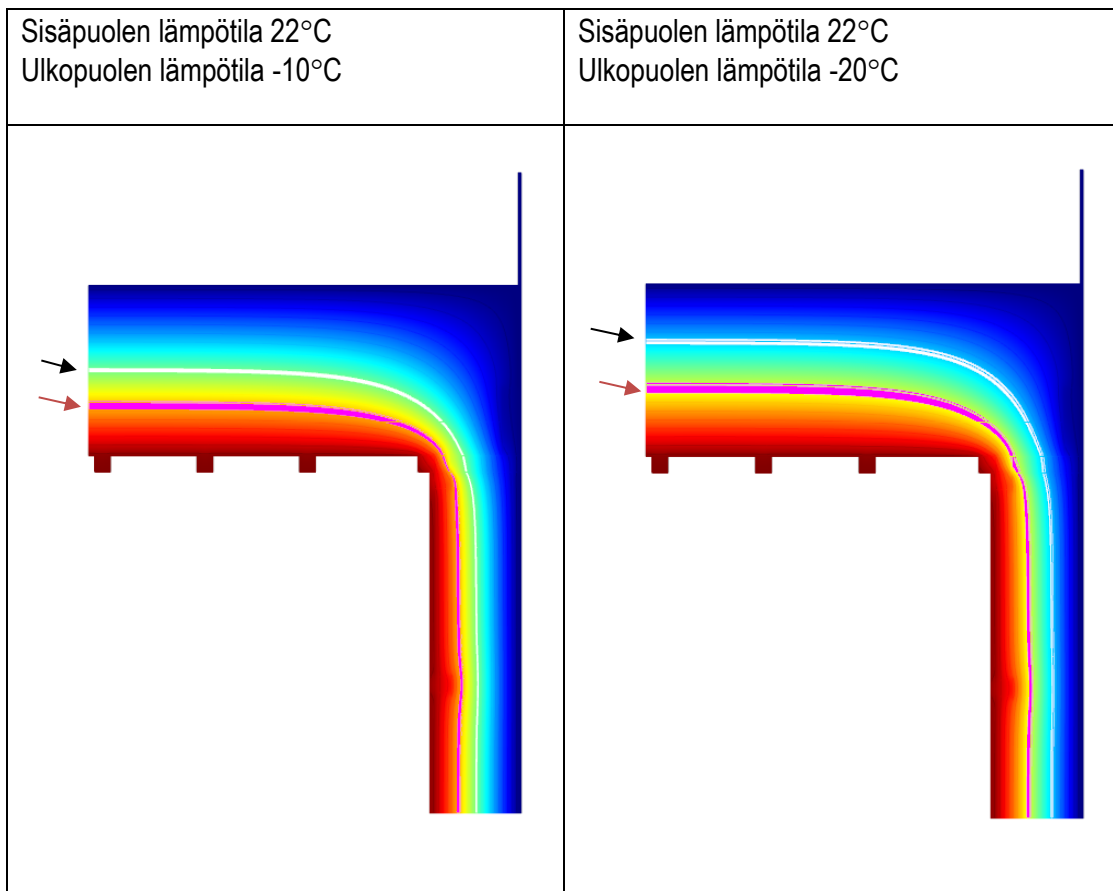


KUVA 12. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 3

TAULUKKO 3. Yläpohjaliittymän 3. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä

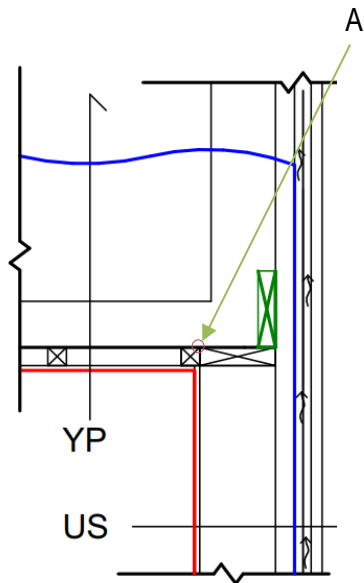
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,269 W/m	5,92 W/m	8,6 W/m	11,3 W/m
A				4,8°C
A			8,9°C	
A		13,0°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 3 lämpötilakuvaajat (kuvat 13 ja 14). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 13 JA 14. Lämpötilakuvaajat 5 ja 6

Kuvassa 15 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 4 leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seuranta- ja kosteuden mittauspaikka, joka on yläpohjan ja seinän liittymässä, höyrystysmuovin sisäpinnoissa.



KUVA 15. Ristikon kainaloon sijoitettu 45 x 200 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

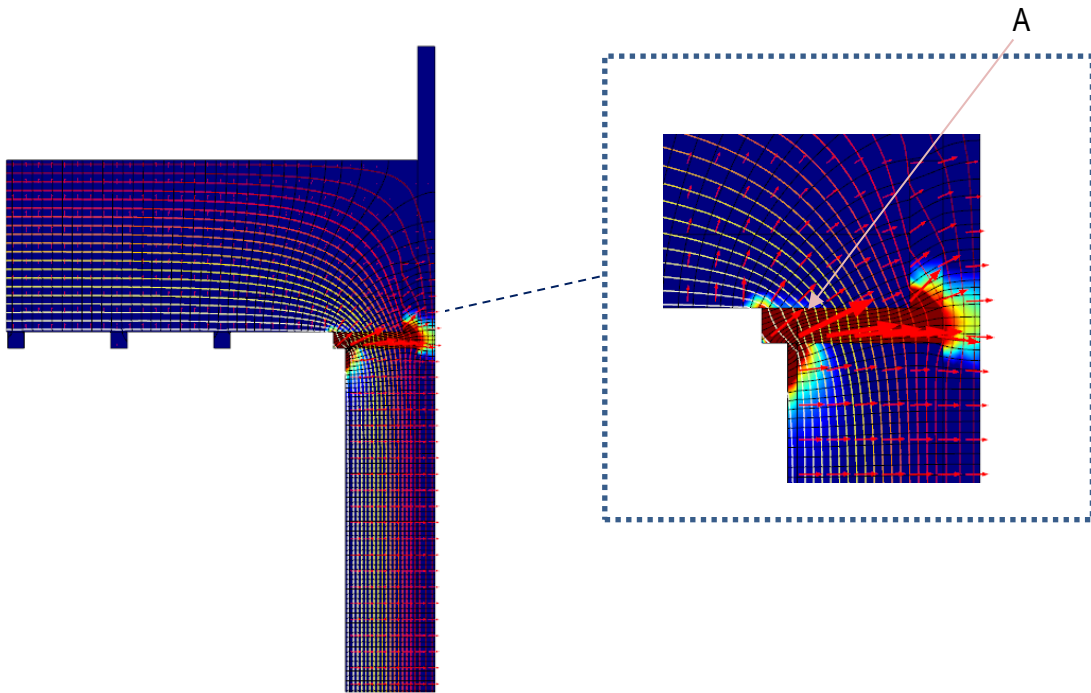
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrystysmuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrystysmuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 4 lämpövirtakuvaaja (kuva 16). Taulukossa 4 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

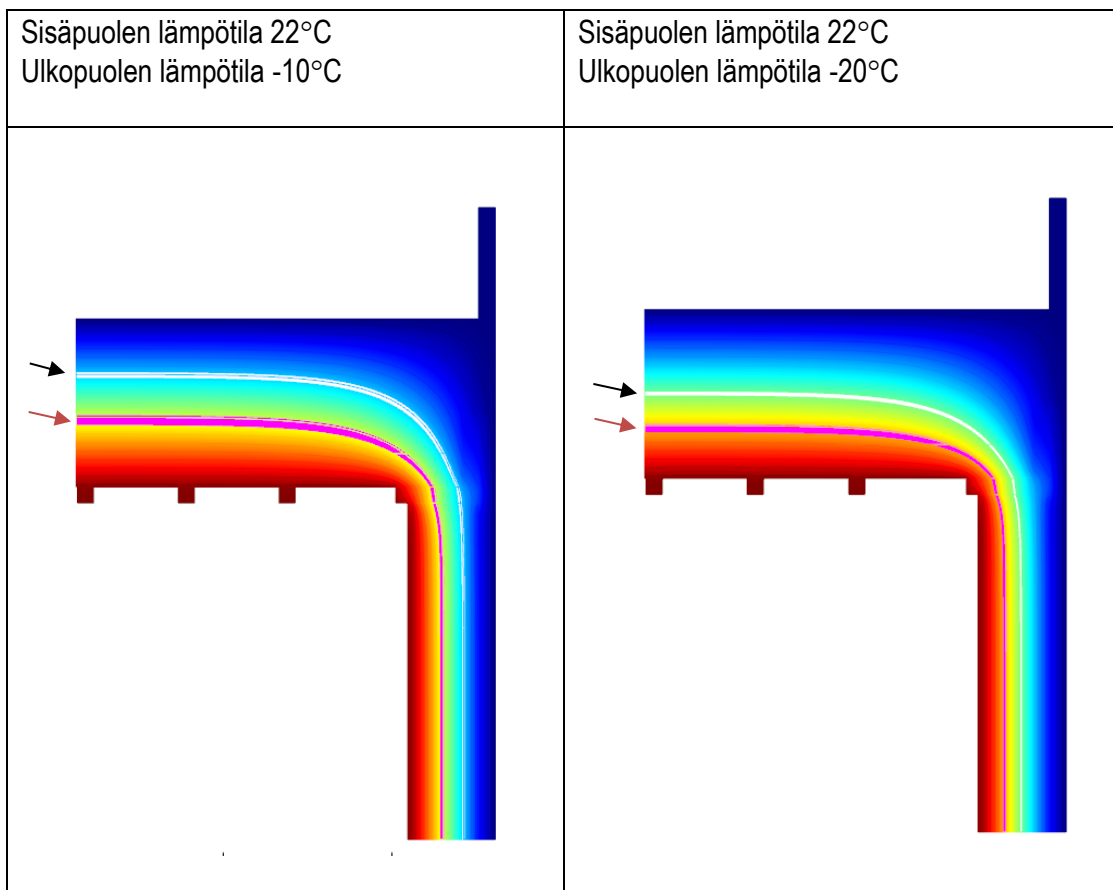


KUVA 16. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 4

TAULUKKO 4. Yläpohjaliittymä 4. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

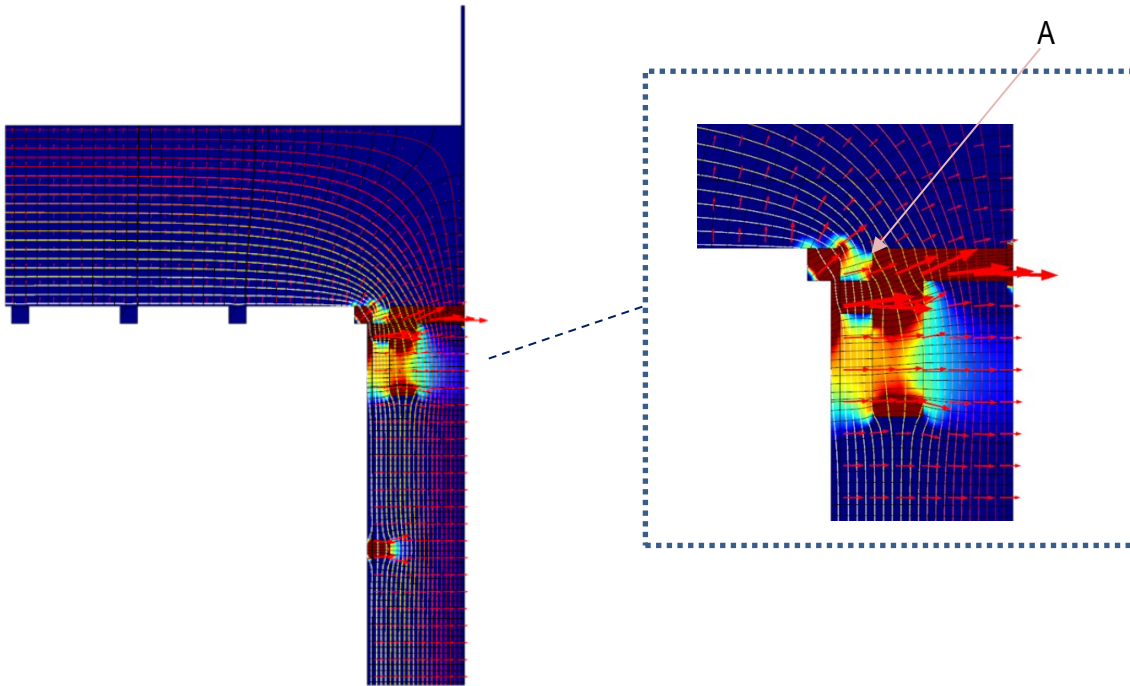
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,281 W/m	6,18 W/m	9,00 W/m	11,81 W/m
A				15,2°C
A			16,8°C	
A		18,4°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 4 lämpötilakuvaajat (kuvat 17 ja 18). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVA 17 ja 18. Lämpötilakuvaajat 7–8

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 5 lämpövirtakuvaaja (kuva 20). Taulukossa 5 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa kohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

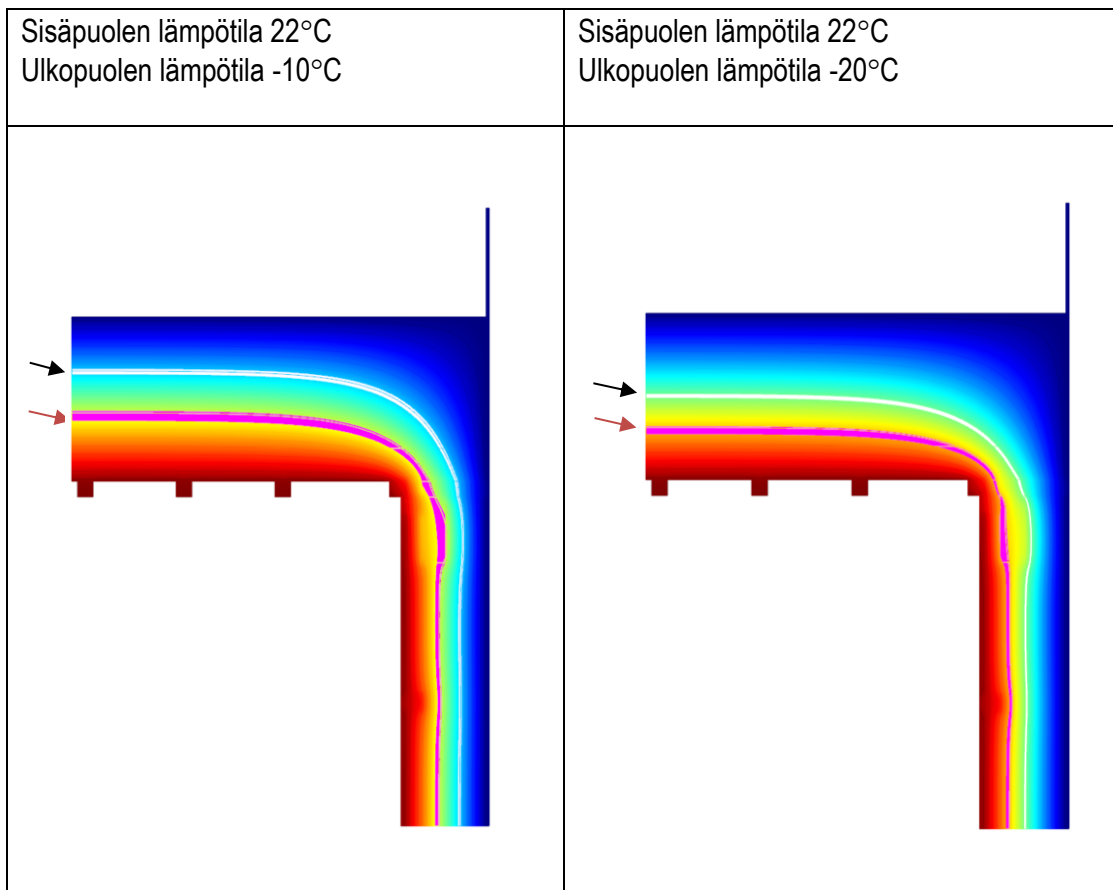


KUVA 20. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 5

TAULUKKO 5. Yläpohjaliittymä 5. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

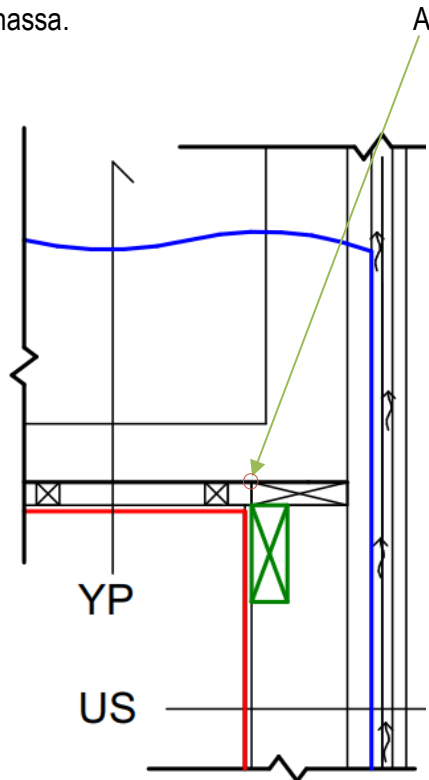
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,279 W/m	6,11 W/m	8,90 W/m	11,67 W/m
A				6,2°C
A			10,1°C	
A		13,8°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 5 lämpötilakuvaajat (kuva 21). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVA 21. Lämpötilakuvaajat 9–10

Kuvassa 22 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 6 leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seuranta- ja kosteuden mittauspaikka, joka on yläpohjan ja seinän liittymässä, höyrystysmuovin sisäpinnassa.



KUVA 22. Seinärunkoon sijoitettu 75 x 200 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

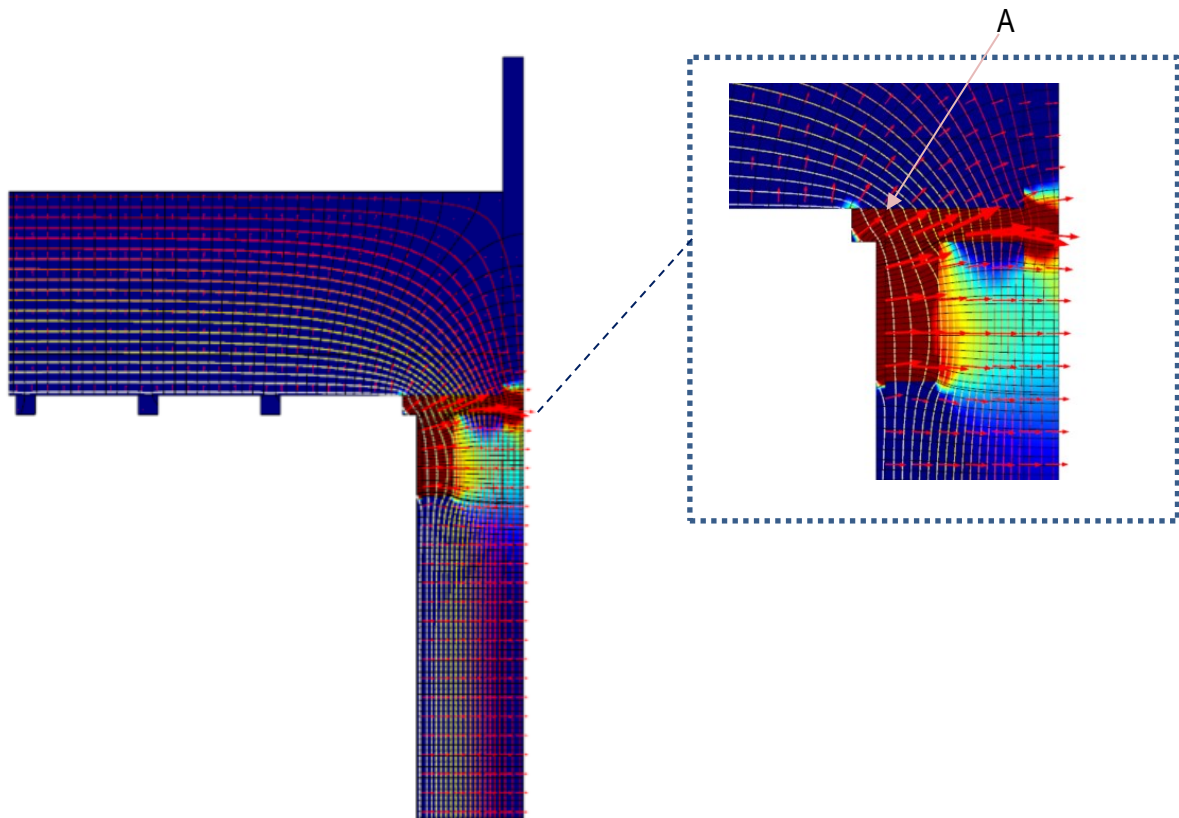
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrystysmuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrystysmuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 6 lämpövirtakuvaaja (KUVA 23). Taulukossa 6 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrystulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa(A) olevat lämpötilalukemat.

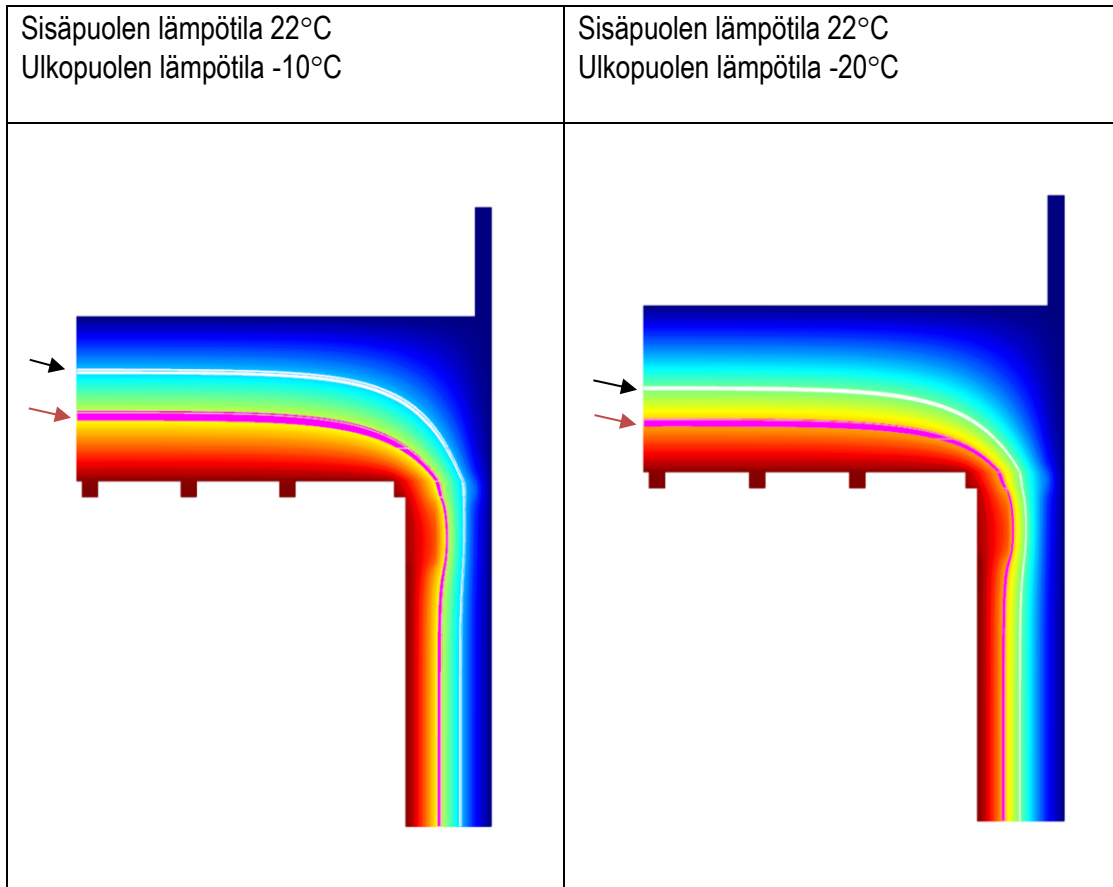


KUVA 23. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 6

TAULUKKO 6. Yläpohjaliittymä 6. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

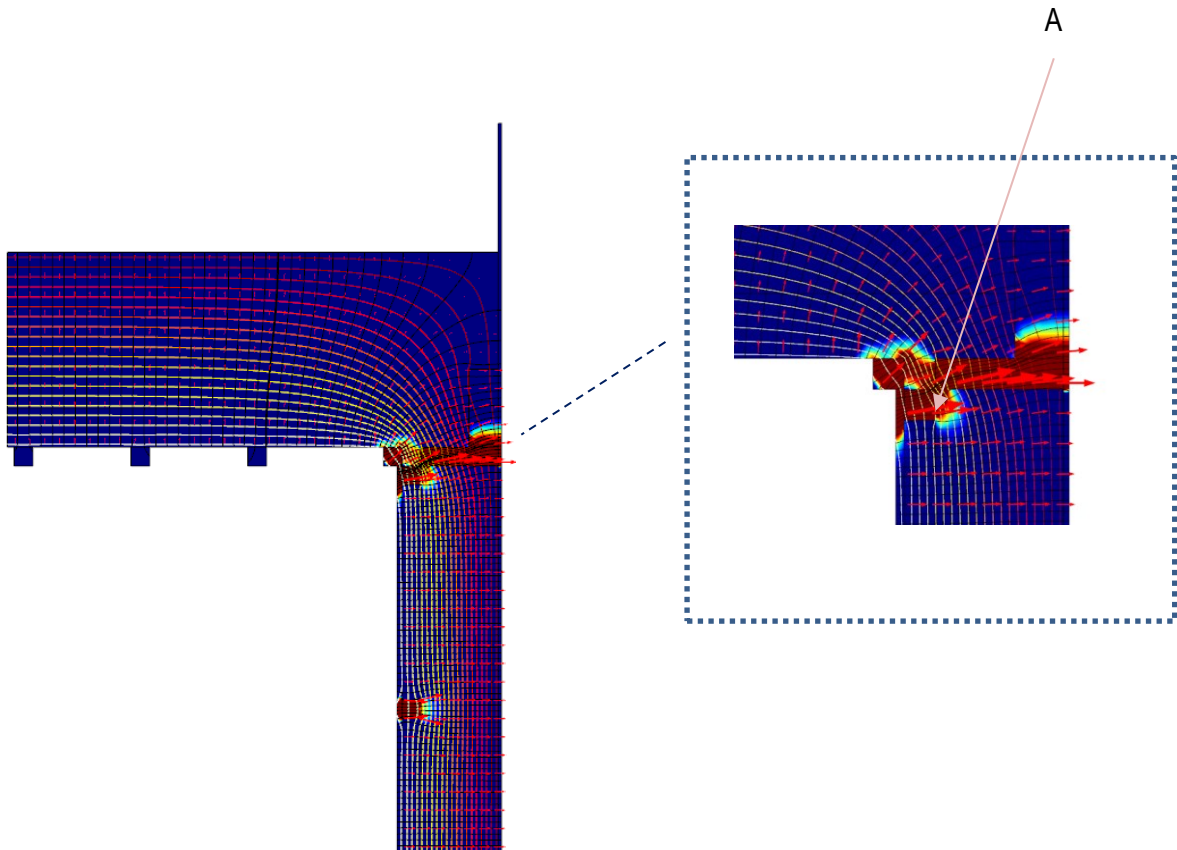
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,287 W/m	6,32 W/m	9,20 W/m	12,07 W/m
A				15,35°C
A			17,1°C	
A		18,5°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 6 lämpötilakuvaajat (kuvat 24 ja 25). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 24 JA 25. Lämpötilakuvaajat 11–12

Cosol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 7 lämpövirtakuvaaja (kuva 27). Taulukossa 7 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

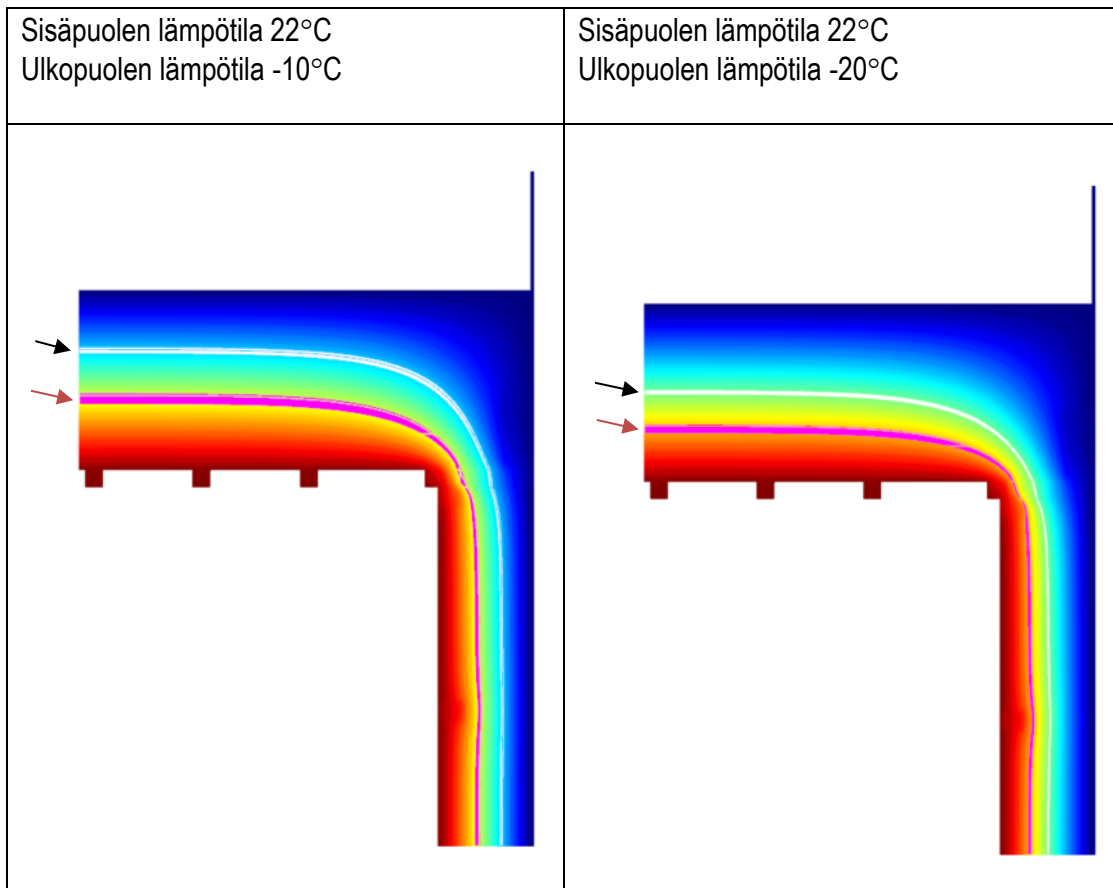


KUVA 27. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 7

TAULUKKO 7. Yläpohjaliittymä 7. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

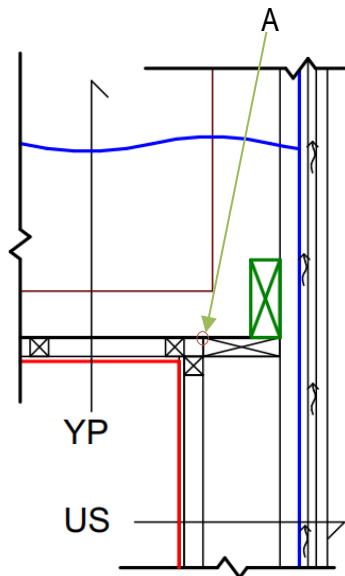
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,271 W/m	5,96 W/m	8,67 W/m	11,38 W/m
A				4,5°C
A			8,5°C	
A		12,7°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 7 lämpötilakuvaajat (kuvat 28 ja 29). Musta nuoli osoittaa 0°C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 28 ja 29. Lämpötilakuvaajat 13–14

Kuvassa 30 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 8 leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seuranta- ja kosteuden mittauspaikka, joka on yläpohjan ja seinän liittymässä, höyrysulkumuovin sisäpinnassa.



KUVA 30. Ristikon kainaloon sijoitettu 75 x 200 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

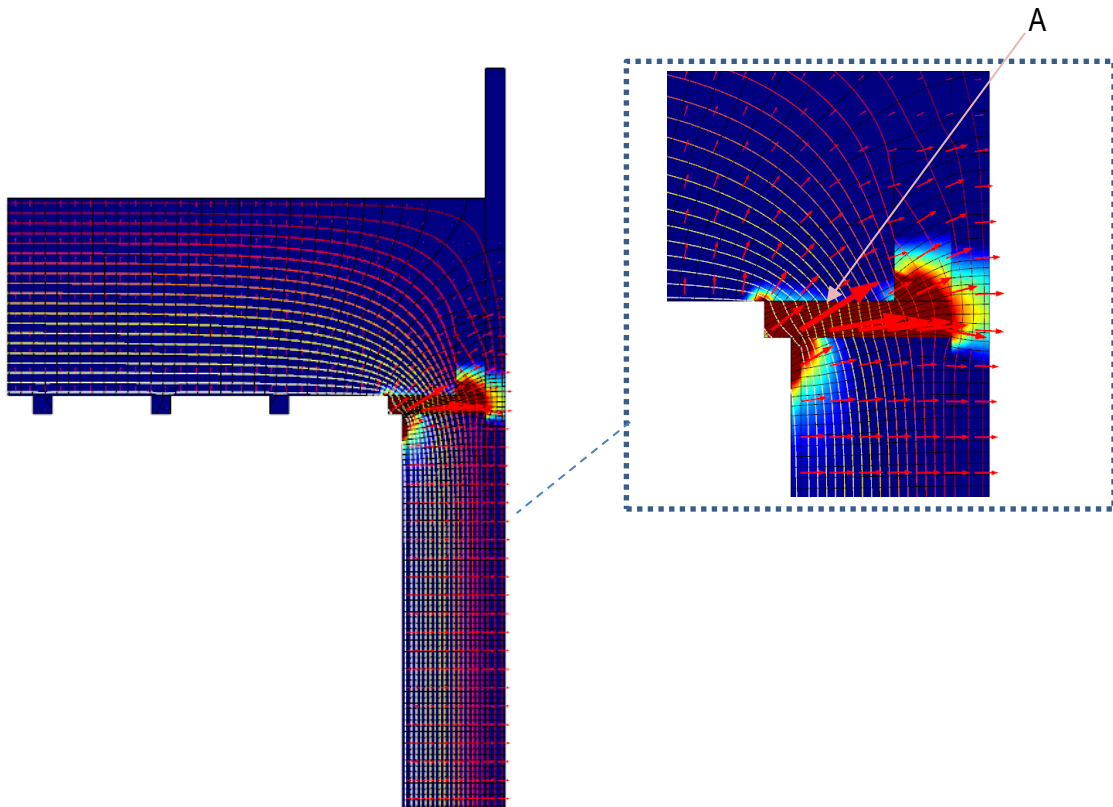
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Cmsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 8. lämpövirtakuvaaja (kuva 31). Taulukossa 8 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrystulupinnasta yläpohjan liitoskohdassa(A) olevat lämpötilalukemat.

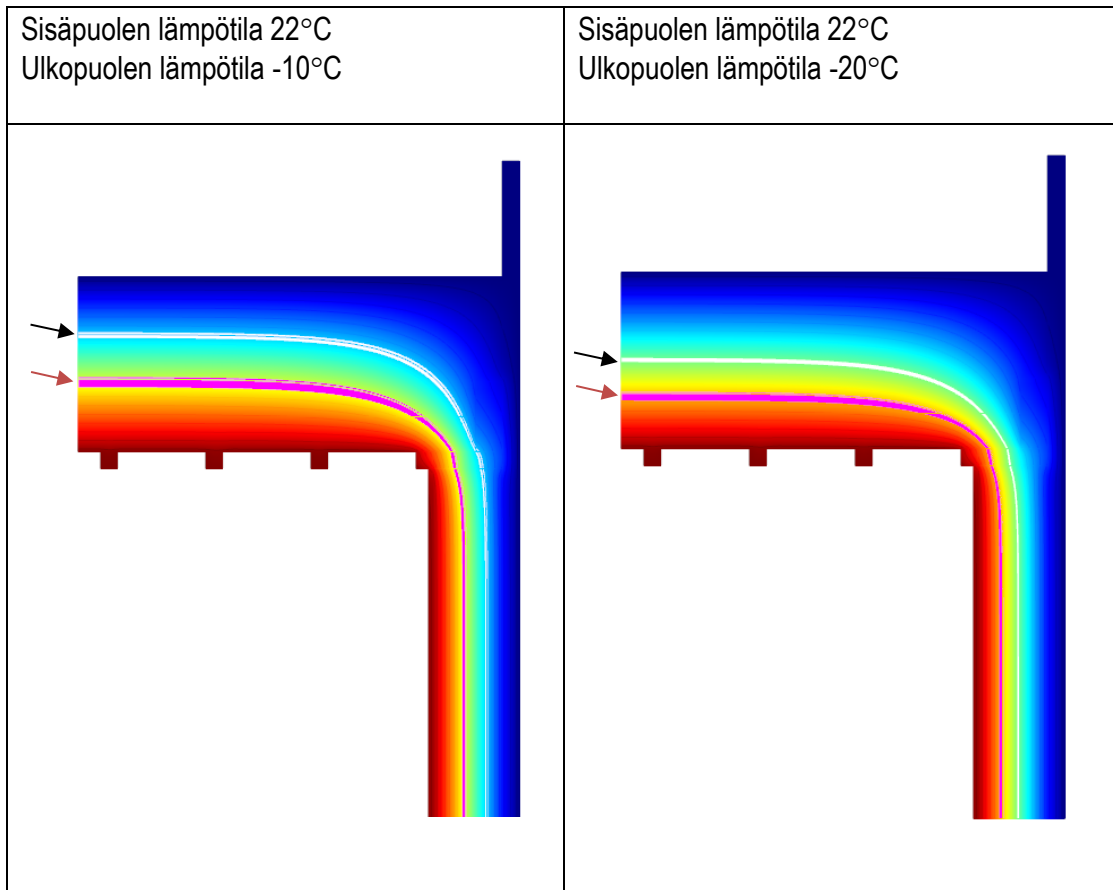


KUVA 31. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 8

TAULUKKO 8. Yläpohjaliittymä 8. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

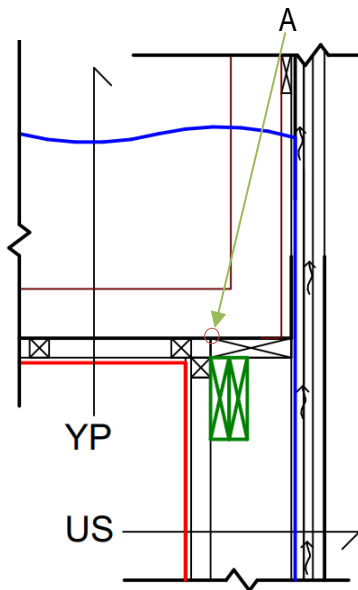
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,28 W/m	6,18 W/m	8,99 W/m	11,81 W/m
A				15,2°C
A			16,7°C	
A		18,4°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 8. lämpötilakuvaajat (kuvat 32 ja 33). Musta nuoli osoittaa 0°C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 32 ja 33. Lämpötilakuvaajat 15–16

Kuvassa 34 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 9 leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seuranta- ja höyry- ja tuulensuojalevyjen liityksessä, höyry- ja tuulensuojalevyjen sisäpinnoissa.



KUVA 34. Seinärunkoon sijoitettu 2 kpl 45 x 200 mm:n puupalkki 9 mm:n kipsisellä tuulensuojalevyllä

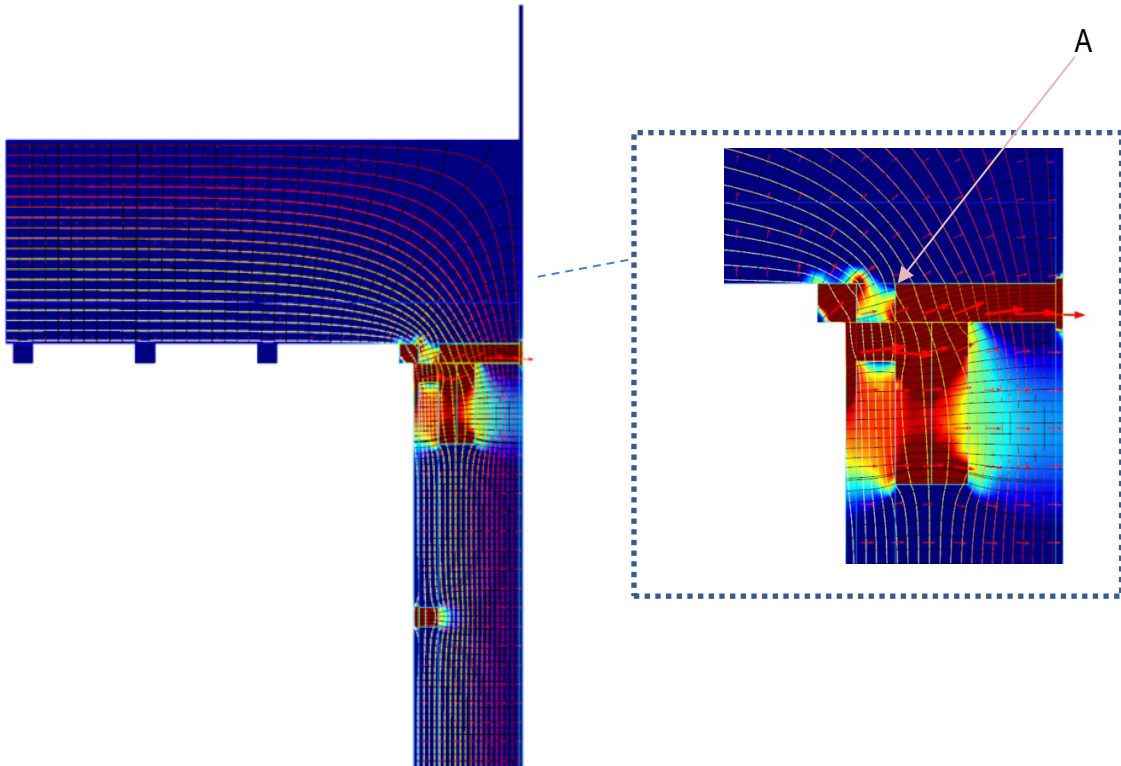
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyry- ja tuulensuojalevy
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyry- ja tuulensuojalevy
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 9. lämpövirtakuvaaja (kuva 35). Taulukossa 9 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

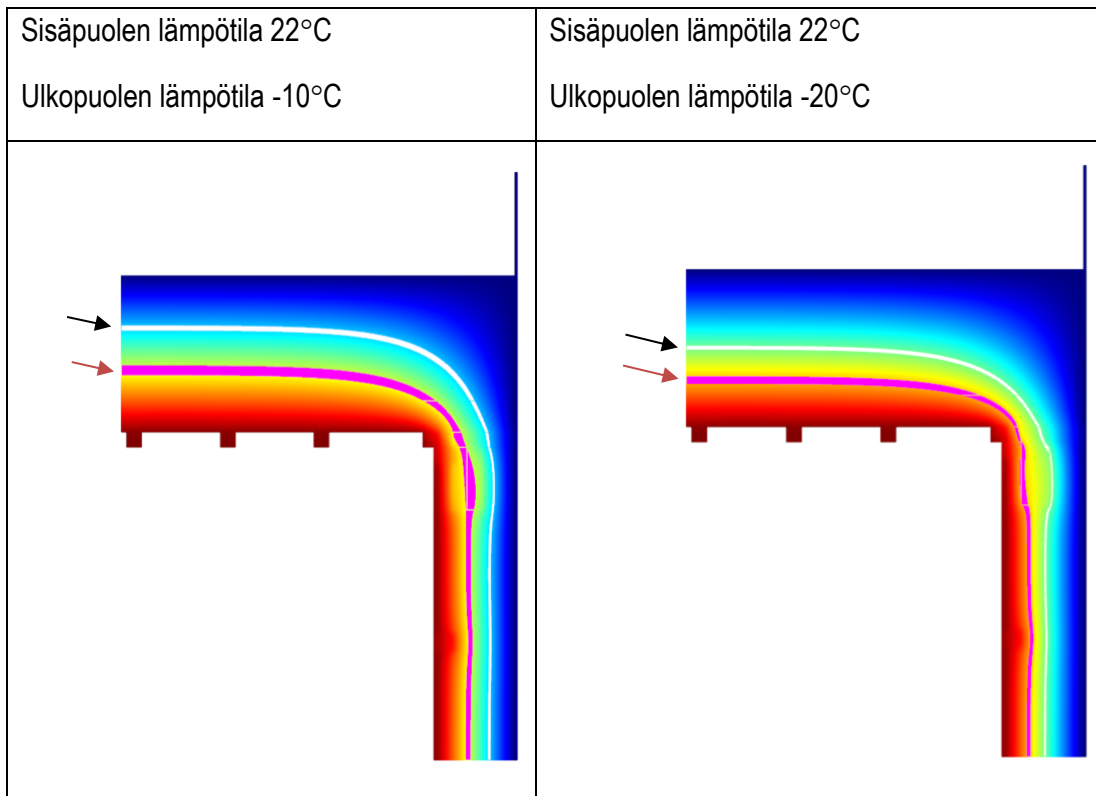


Kuva 35. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 9

TAULUKKO 9. Yläpohjaliittymän 9 lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

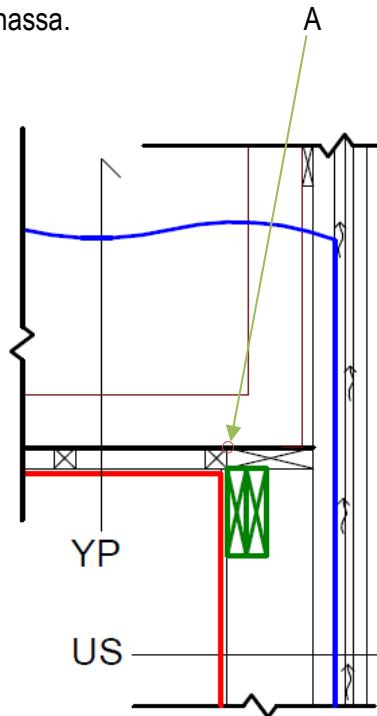
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,280 W/m	6,16 W/m	8,97 W/m	11,77 W/m
A				6,1°C
A			9,6°C	
A		13,9°C		

Cosol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 9. lämpötilakuvaajat (kuvat 36 ja 37). Musta nuoli osoittaa 0°C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 36 ja 37. Lämpötilakuvaajat 17–18

Kuvassa 38 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 10 leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seuranta- ja höyrysulkumuovin sisäpinna.



KUVA 38. Seinärunkoon sijoitettu 2 kpl 45 x 200 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

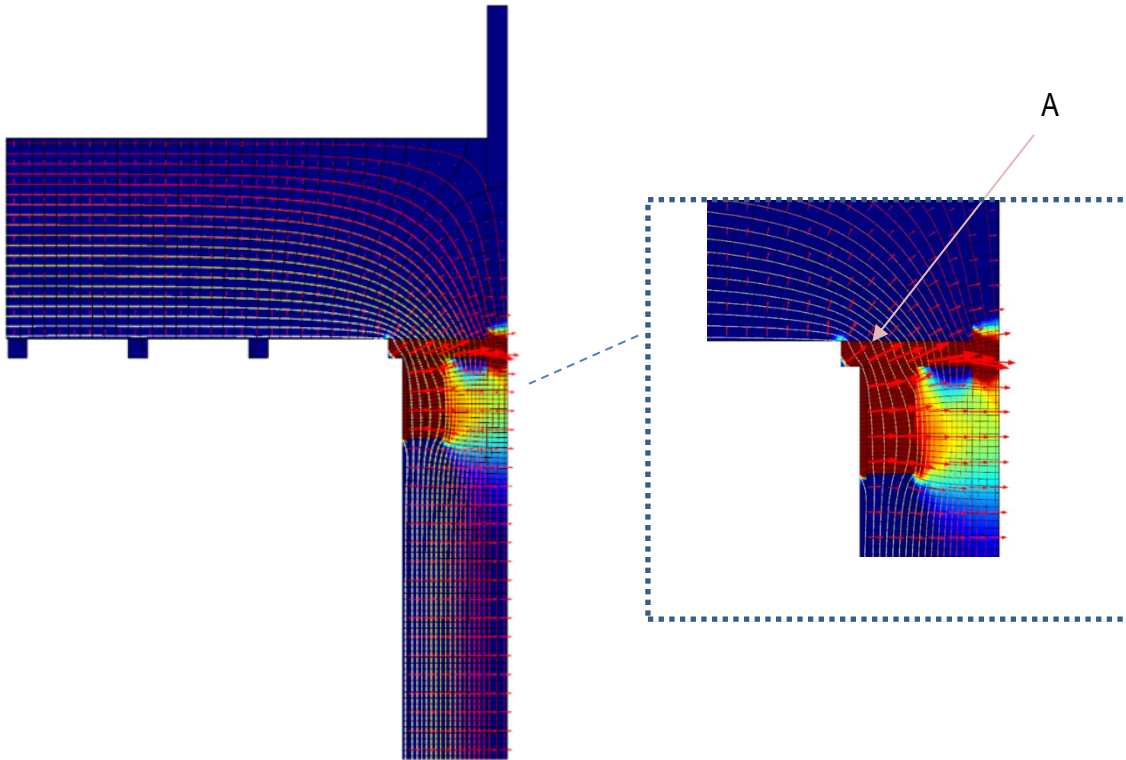
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Cosol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 10. lämpövirtakuvaaja (kuva 39). Taulukossa 10 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

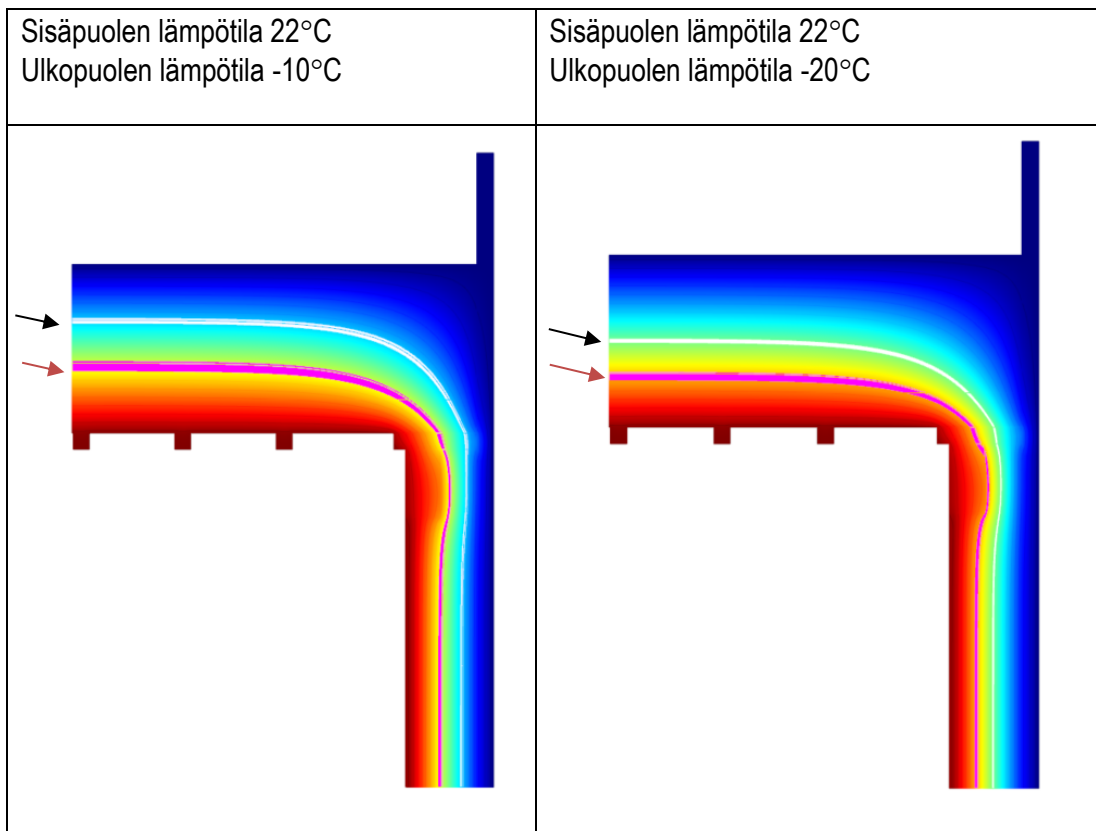


KUVA 39. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 10

TAULUKKO 10. Yläpohjaliittymä 10. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

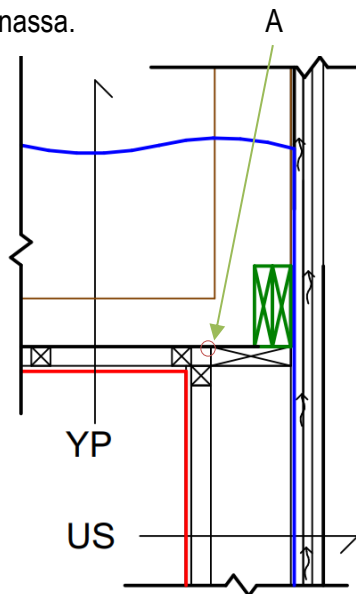
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,289 W/m	6,37 W/m	9,26 W/m	12,16 W/m
A				15,4°C
A			16,9°C	
A		18,4°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 10. lämpötilakuvaajat (kuvat 40 ja 41). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 40 ja 41. Lämpötilakuvaajat 19–20

Kuvassa 42 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 11. leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seurantapaikka, joka on yläpohjan ja seinän liittymässä, höyrysulkumuovin sisäpinnassa.



KUVA 42. Ristikon kainaloon sijoitettu 2 kpl 45 x 200 mm:n puupalkki 9 mm:n kipsisellä tuulensuojalevyllä

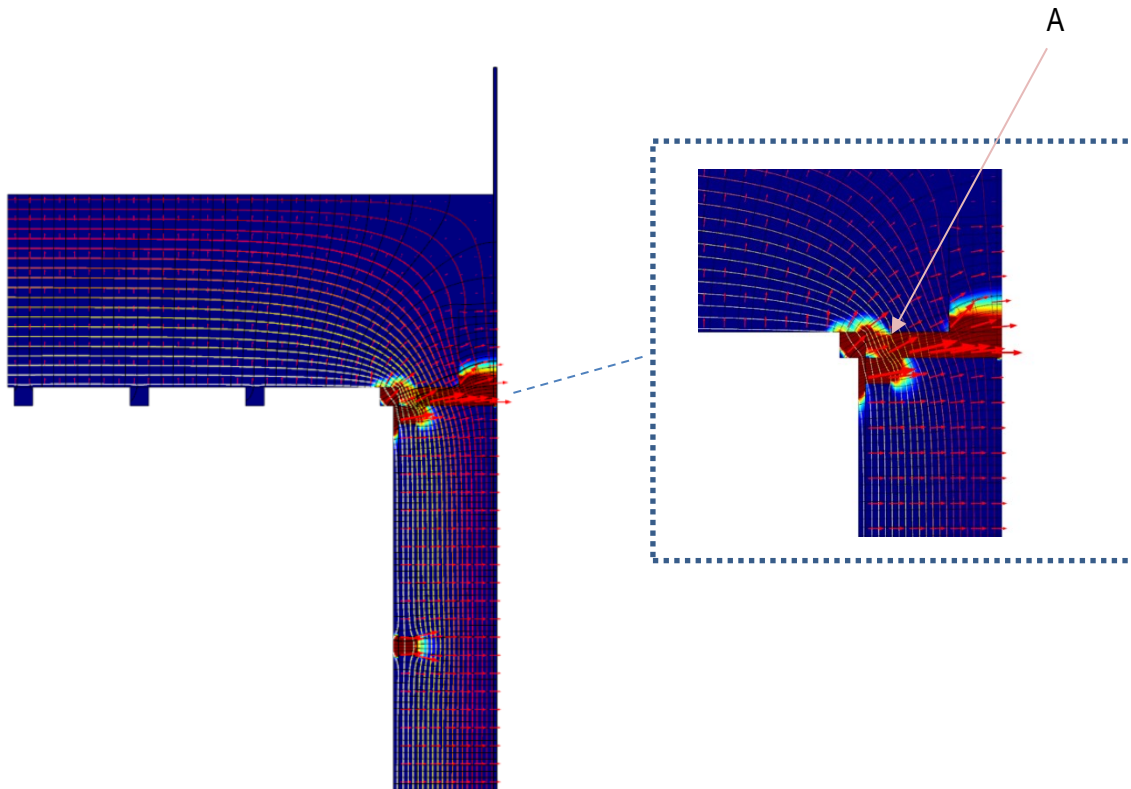
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 11. lämpövirtakuvaaja (KUVA 43). Taulukossa 11 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

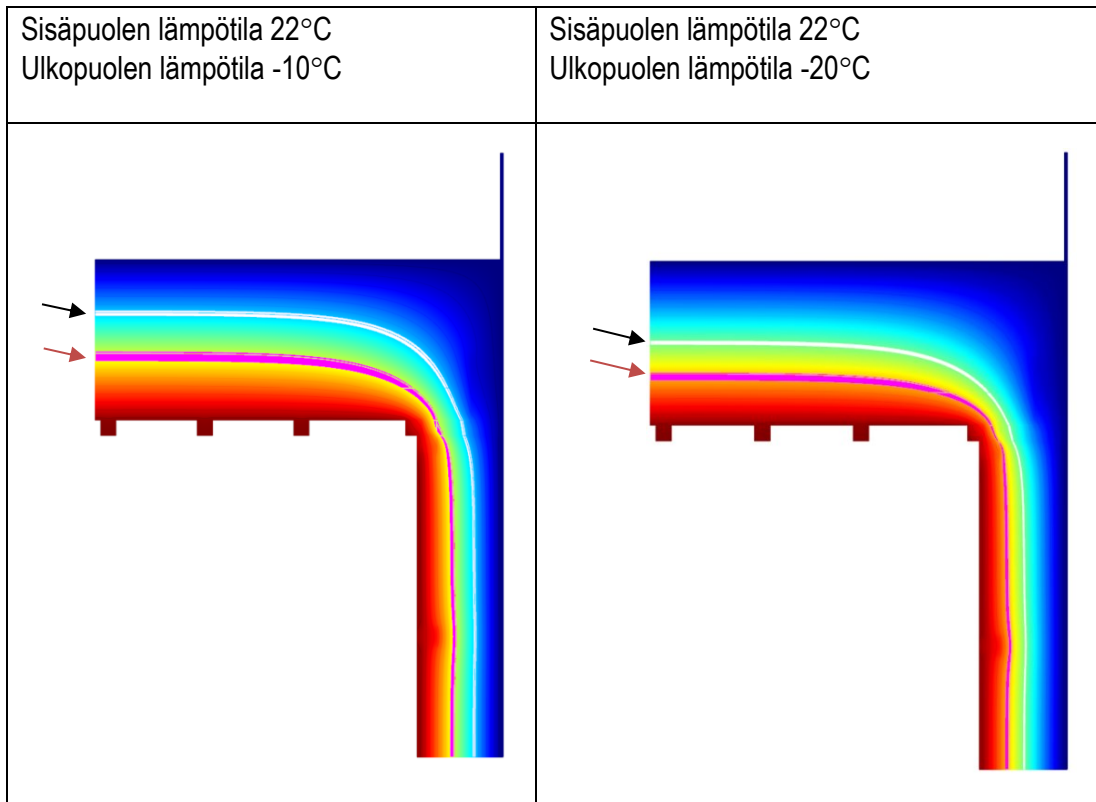


KUVA 43. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 11

TAULUKKO 11. Yläpohjaliittymän 11. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

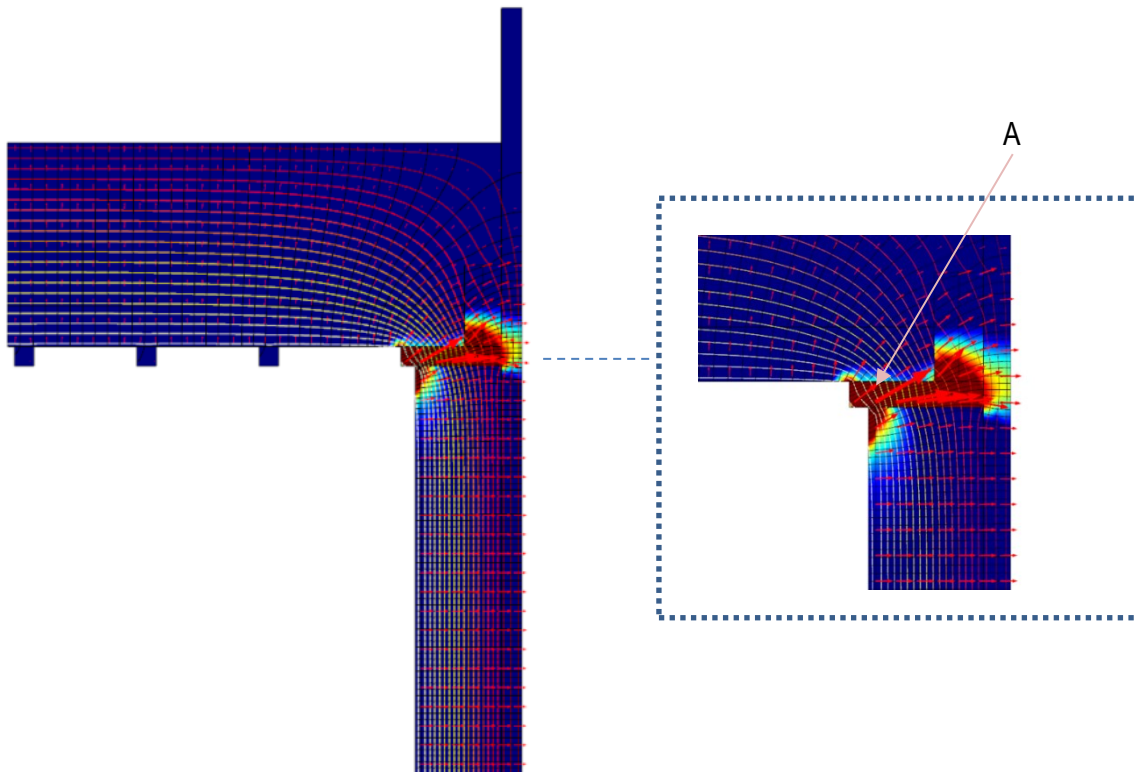
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,272 W/m	6,00 W/m	8,72 W/m	11,44 W/m
A				4,0°C
A			8,3°C	
A		12,6°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 11. lämpötilakuvaajat (44 ja 45). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVA 44 ja 45. Lämpötilakuvaajat 21–22

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymän 12 lämpövirtakuvaajat (kuva 47). Taulukossa 12 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

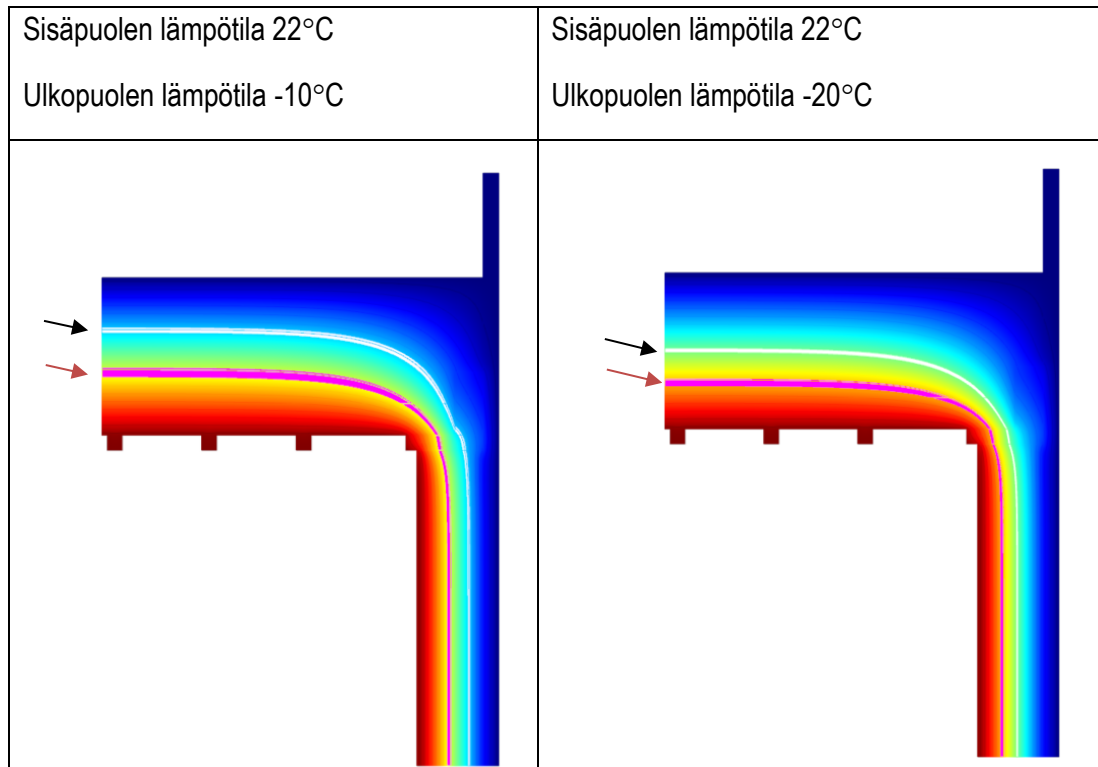


KUVA 47. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 12.

TAULUKKO 12. Yläpohjaliittymä 12. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

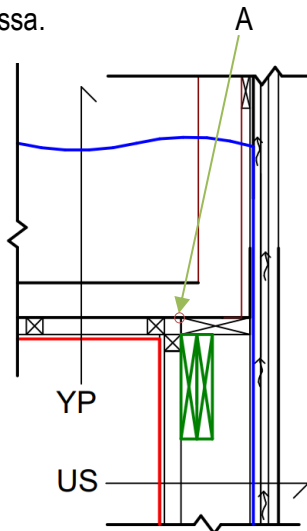
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,282 W/m	6,21 W/m	9,04 W/m	11,86 W/m
A				13,4°C
A			15,4°C	
A		17,4°C		

Cmsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 12. lämpötilakuvaajat (kuvat 48 ja 49). Musta nuoli osoittaa 0°C asteen (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 48 ja 49. Lämpötilakuvaajat 23–24

Kuvassa 50 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 13 leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seurantapaikka, joka on yläpohjan ja seinän liittymässä, höyrysulkumuovin sisäpinna.



KUVA 50. Seinärunkoon sijoitettu 2 kpl 45 x 300 mm:n puupalkki 9 mm:n kipsisellä tuulensuojalevyllä

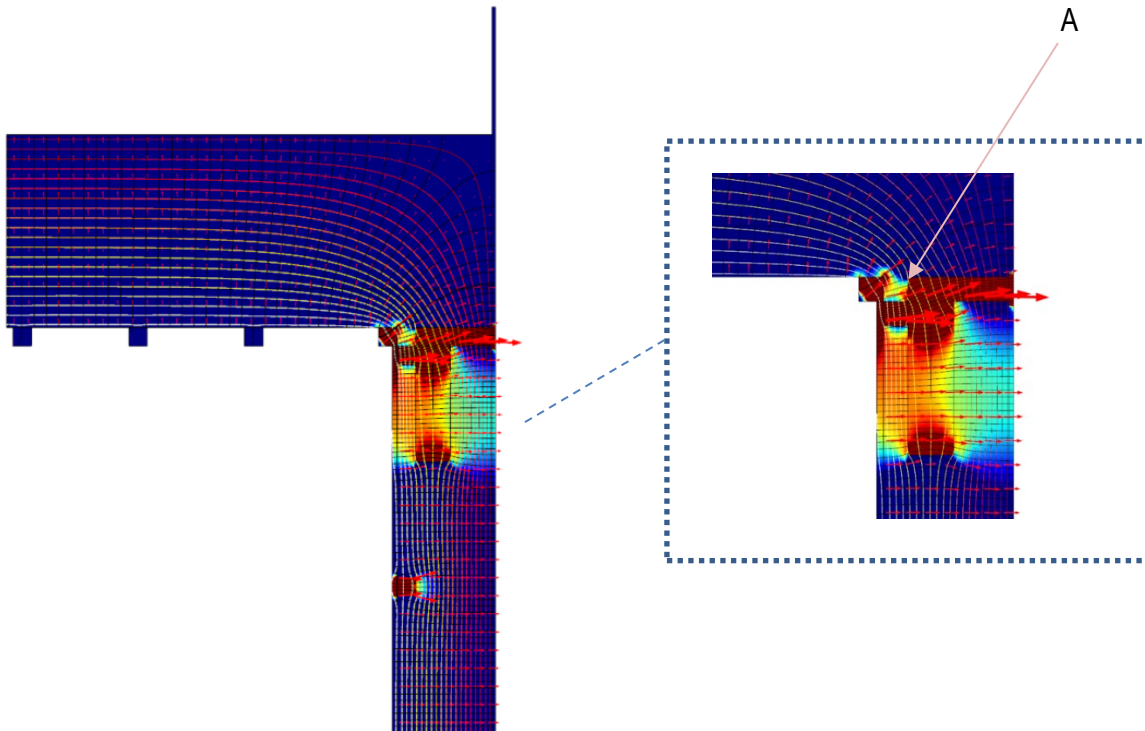
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Cmsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 13. lämpövirtakuvaajat (kuva 51). Taulukossa 13 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

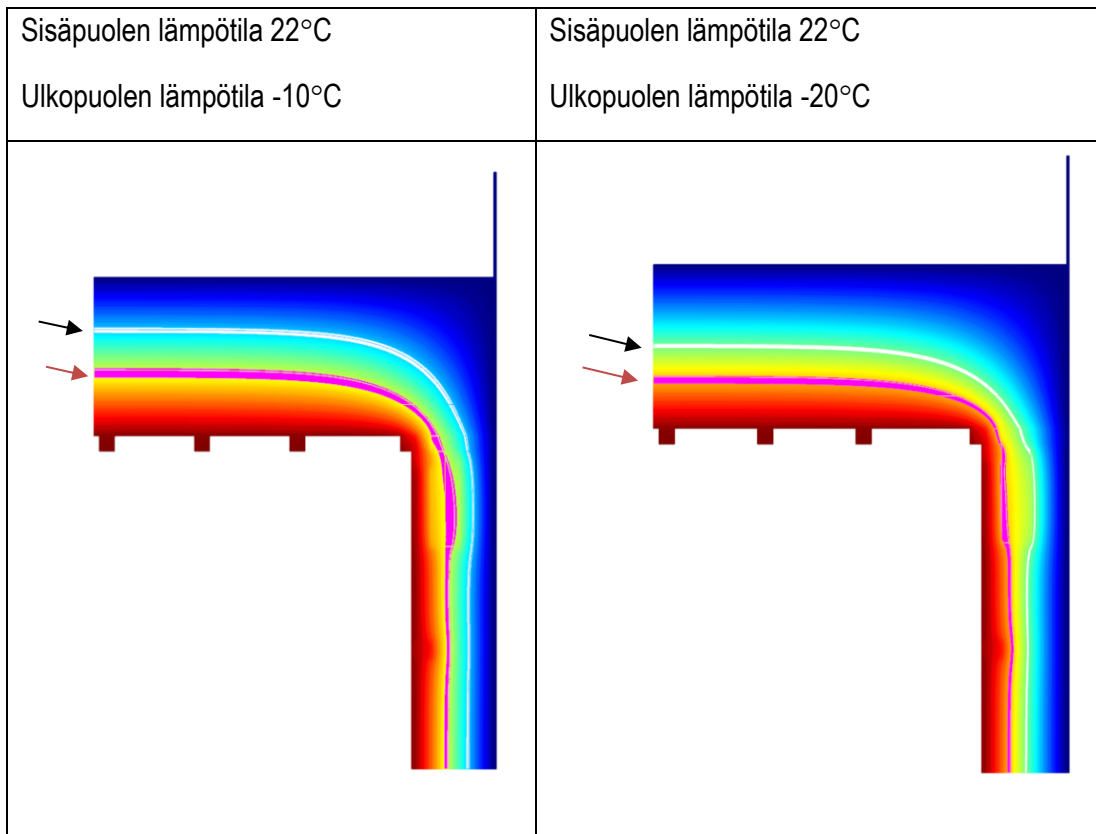


KUVA 51. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 13

TAULUKKO 13. Yläpohjaliittymä 13. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

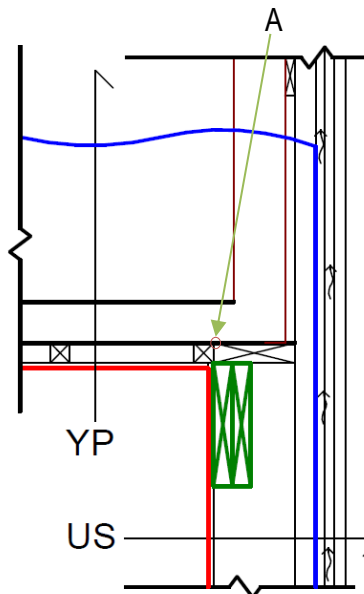
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,285 W/m	6,27 W/m	9,12 W/m	11,97 W/m
A				6,2°C
A			9,9°C	
A		13,7°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 13. lämpötilakuvaajat (kuvat 52 ja 53). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 52 ja 53. Lämpötilakuvaajat 25–26

Kuvassa 54 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 14 leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seuranta- ja kosteuden mittauspaikka, joka on yläpohjan ja seinän liittymässä, höyrystysmuovin sisäpinnassa.



KUVA 54. Seinärunkoon sijoitettu 2 kpl 45 x 300 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

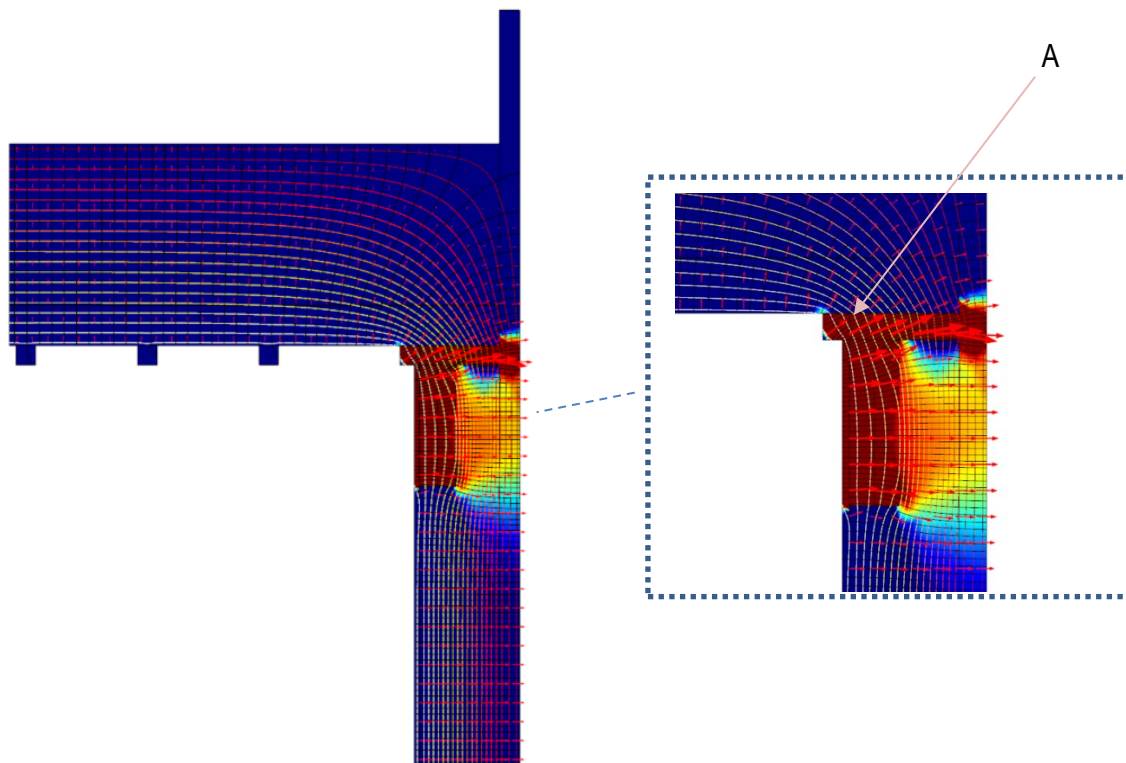
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrystysmuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrystysmuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Cosol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 14. lämpövirtakuvaajat (kuva 55). Taulukossa 14 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

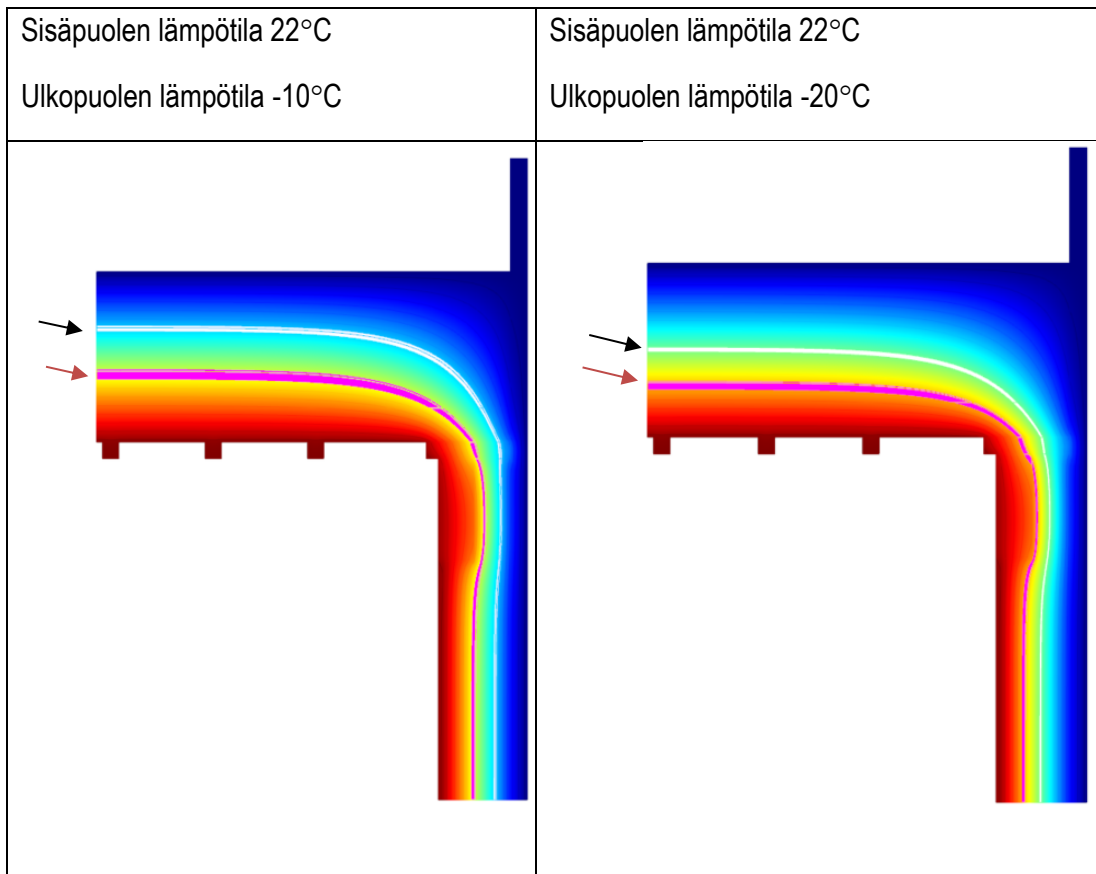


KUVA 55. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 14

TAULUKKO 14. Yläpohjaliittymä 14. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

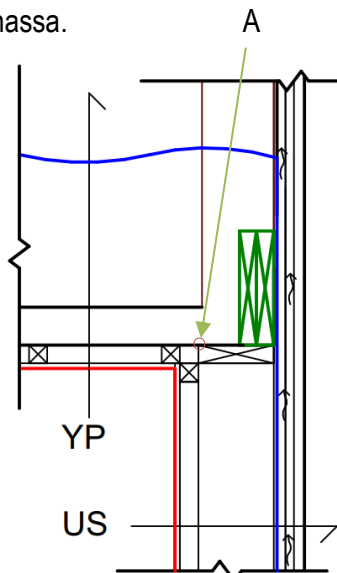
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,296 W/m	6,51 W/m	9,47 W/m	12,43 W/m
A				15,3°C
A			16,9°C	
A		18,5°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 14. lämpötilakuvaajat (kuvat 56 ja 57). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 56 ja 57. Lämpötilakuvaajat 27–28

Kuvassa 58 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 15. leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seurantapaikka, joka on yläpohjan ja seinän liittymässä, höyrysulkumuovin sisäpin-
nassa.



KUVA 58. Ristikon kainaloon sijoitettu 2 kpl 45 x 300 mm puupalkki 9 mm kipsisellä tuulensuojalevyllä

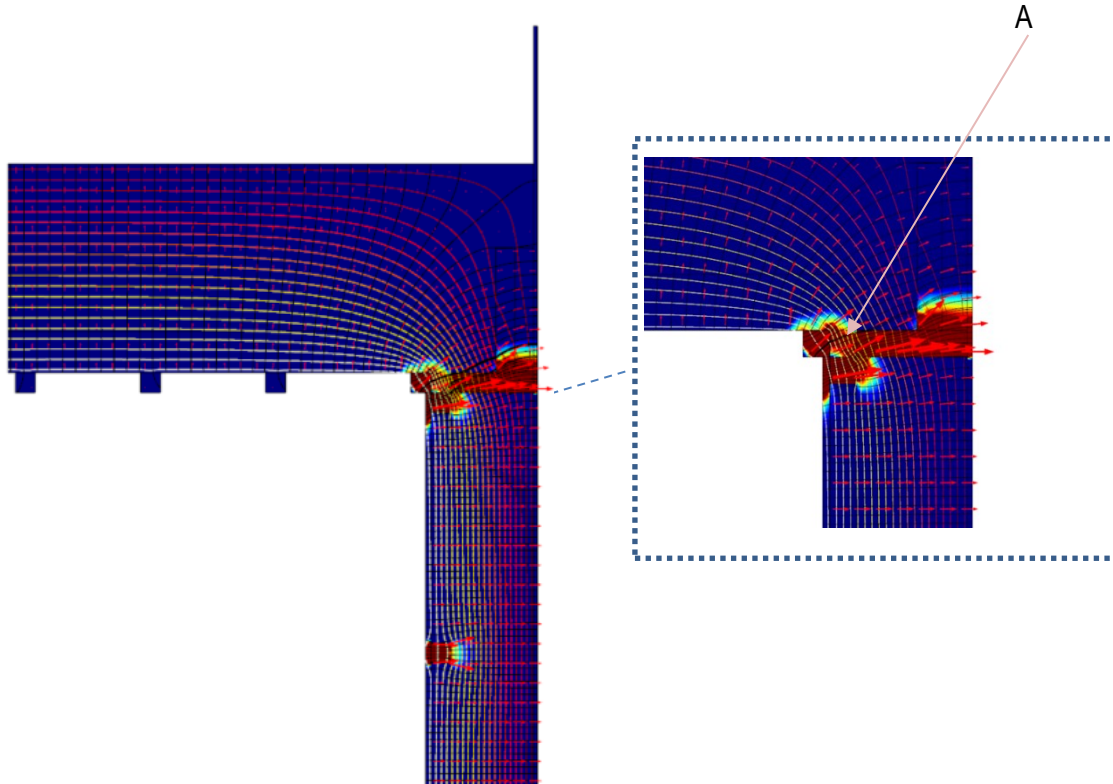
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Cmsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 15. lämpövirtakuvaajat (kuva 59). Taulukossa 15 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrystulupinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

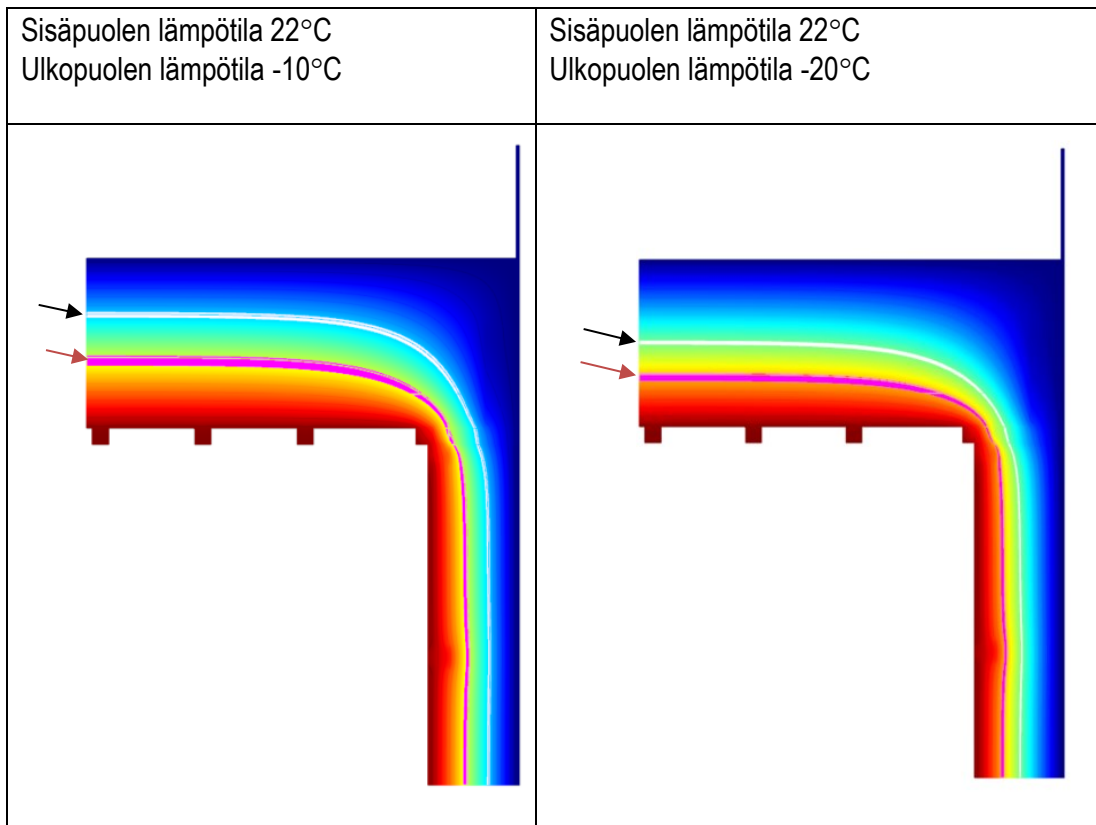


KUVA 59. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 15

TAULUKKO 15. Yläpohjaliittymä 15. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

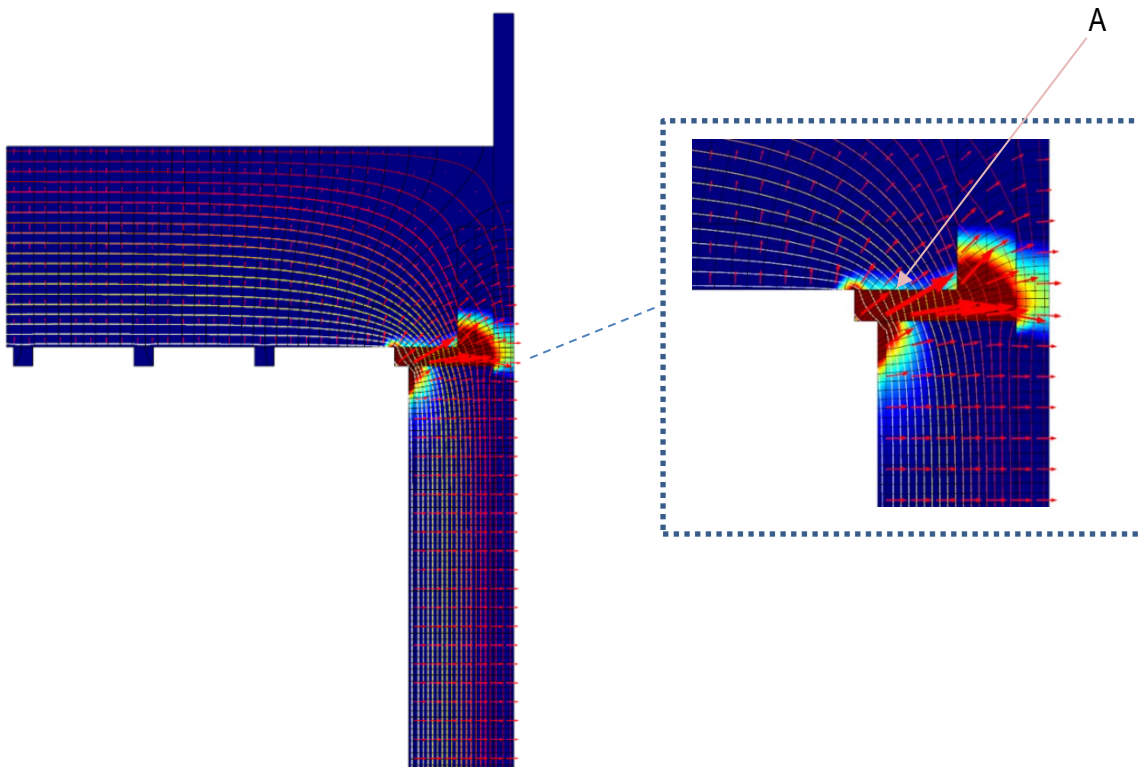
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,272 W/m	6,00 W/m	8,72 W/m	11,44 W/m
A				3,9°C
A			8,2°C	
A		12,5°C		

Cosol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 15. lämpötilakuvaajat (kuvat 60 ja 61). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVA 60-61. Lämpötilakuvaajat 29–30

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 16. lämpövirtakuvaajat (kuva 63). Taulukossa 16 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrystulupinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

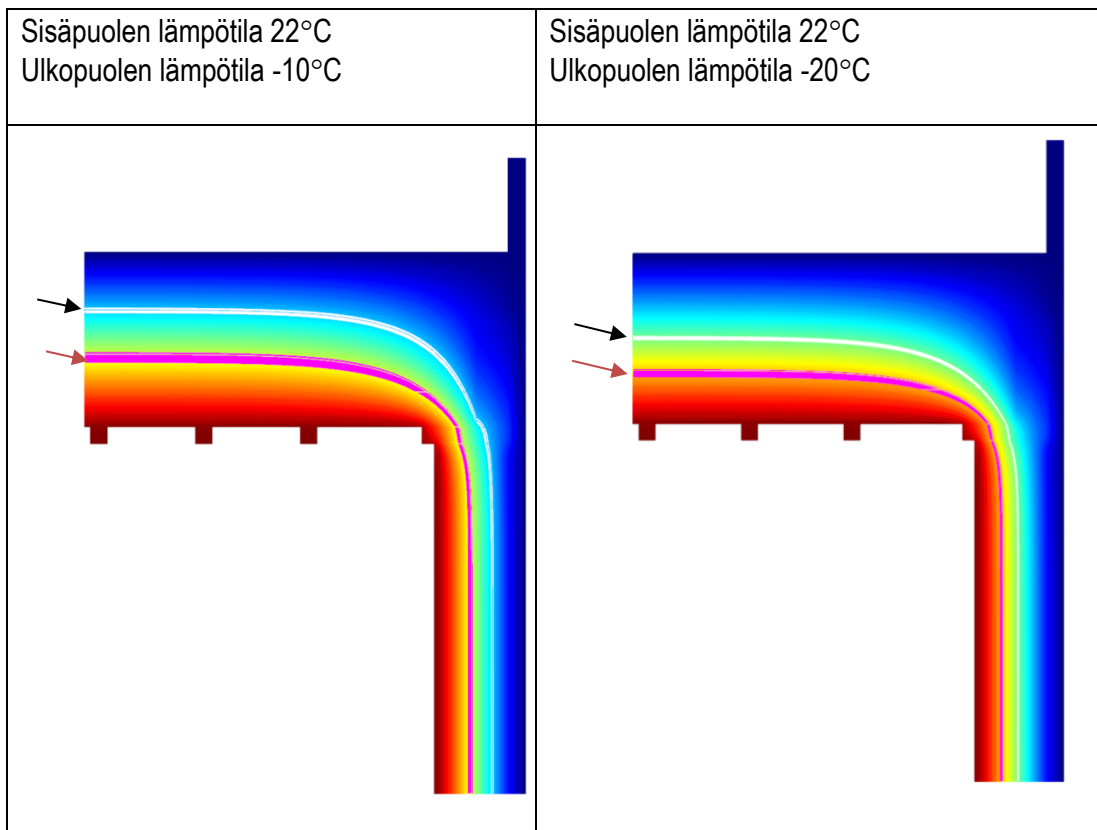


KUVA 63. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 16

TAULUKKO 16. Yläpohjaliittymä 16. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

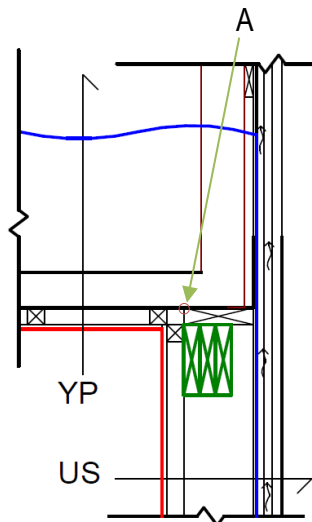
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,283 W/m	6,22 W/m	9,06 W/m	11,89 W/m
A				13,3°C
A			15,4°C	
A		17,4°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 16. lämpötilakuvaajat (kuvat 64 ja 65). Musta nuoli osoittaa 0°C asteen (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 64 ja 65. Lämpötilakuvaajat 31–32

Kuvassa 66 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 17. leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seuranta- ja höyrysulkumuovin sisäpinnassa.



KUVA 66. Seinärunkoon sijoitettu 3 kpl 45 x 300 mm:n puupalkki 9 mm:n kipsisellä tuulensuojalevyllä

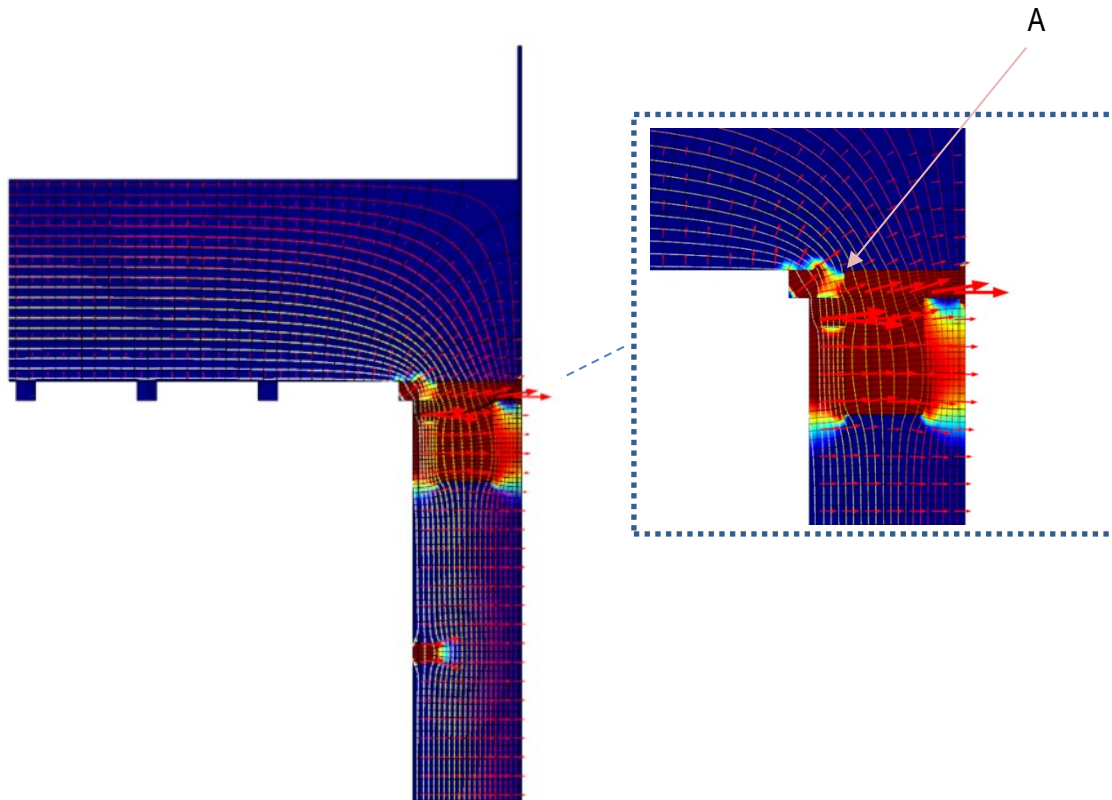
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 17. lämpövirtakuvaajat (kuva 67). Taulukossa 17 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

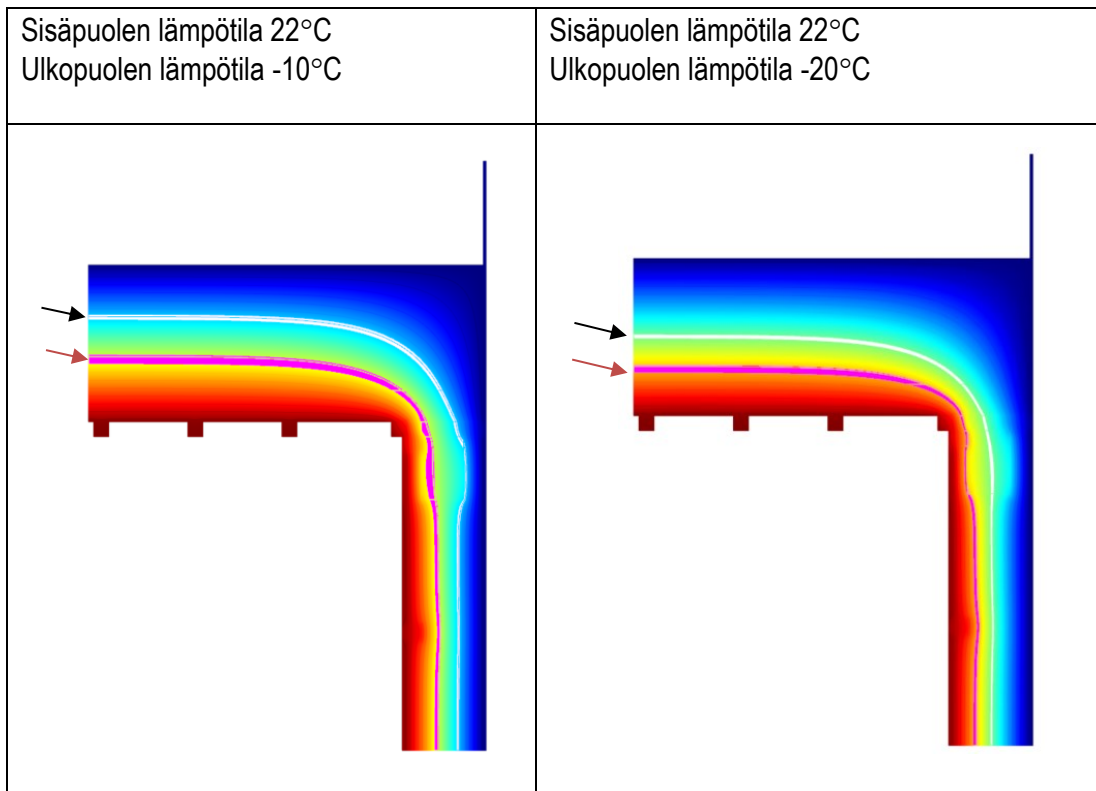


KUVA 67. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 17

TAULUKKO 17. Yläpohjaliittymä 17. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

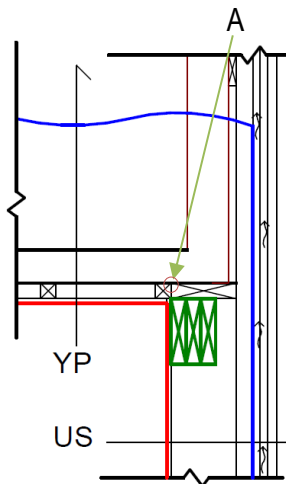
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,288 W/m	6,34 W/m	9,23 W/m	12,11 W/m
A				5,4°C
A			9,4°C	
A		13,3°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 17. lämpötilakuvaajat (kuvat 68 ja 69). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVA 68 ja 69. Lämpötilakuvaajat 33–34

Kuvassa 70 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 18. leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seuranta- ja kosteuden mittauspaikka, joka on yläpohjan ja seinän liittymässä, höyrystysmuovin sisäpinnalla.



KUVA 70. Seinärunkoon sijoitettu 3 kpl 45 x 300 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

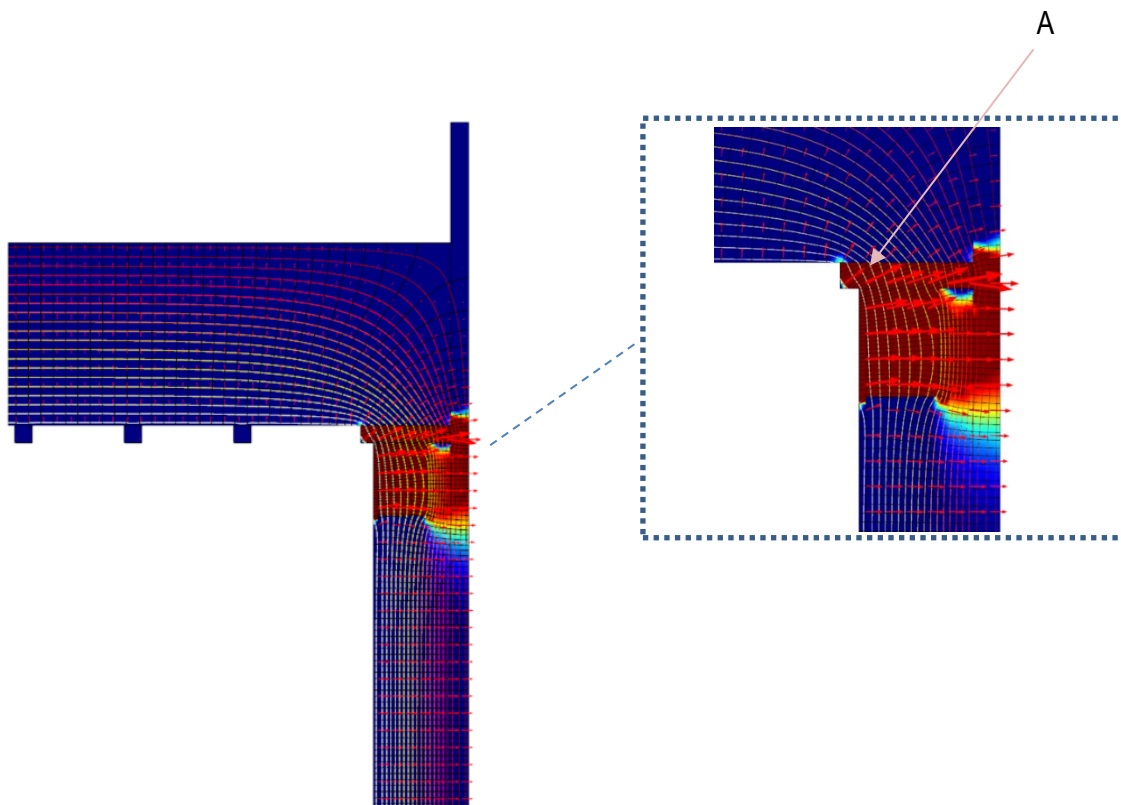
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrystysmuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrystysmuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 18. lämpövirtakuvaajat (kuva 71). Taulukossa 18 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

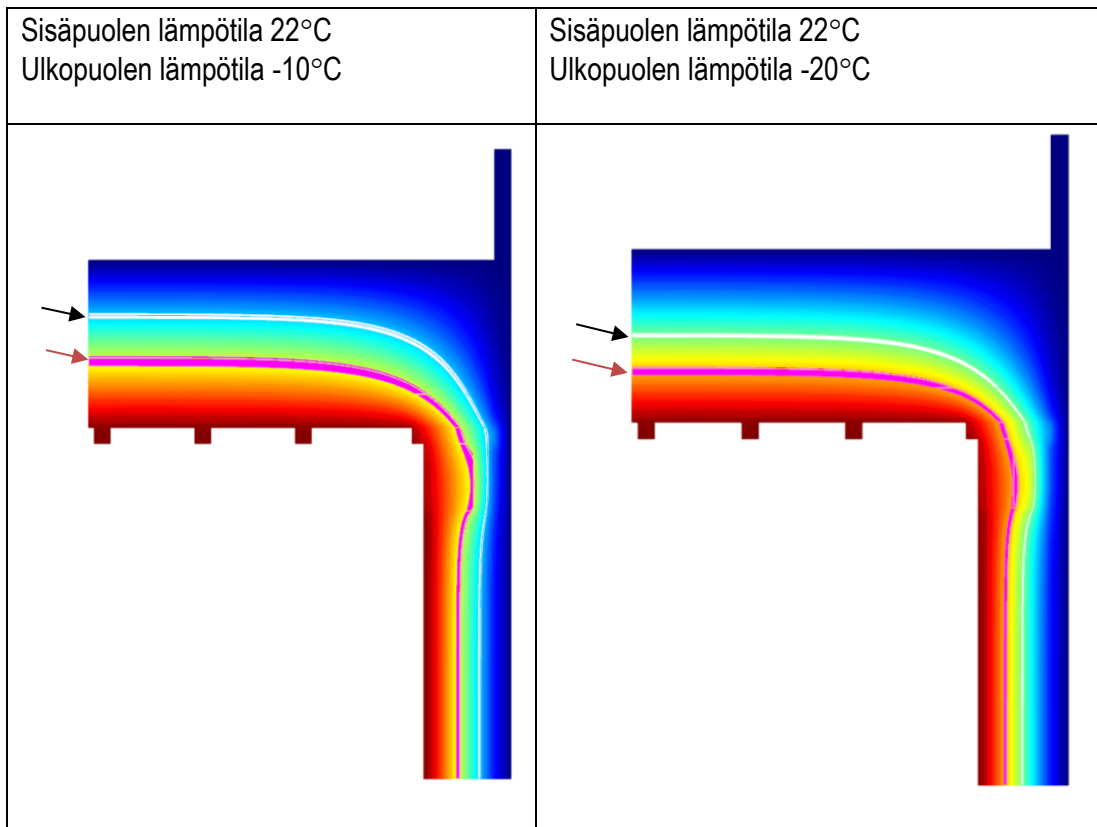


KUVA 71. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 18

TAULUKKO 18. Yläpohjaliittymä 18. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

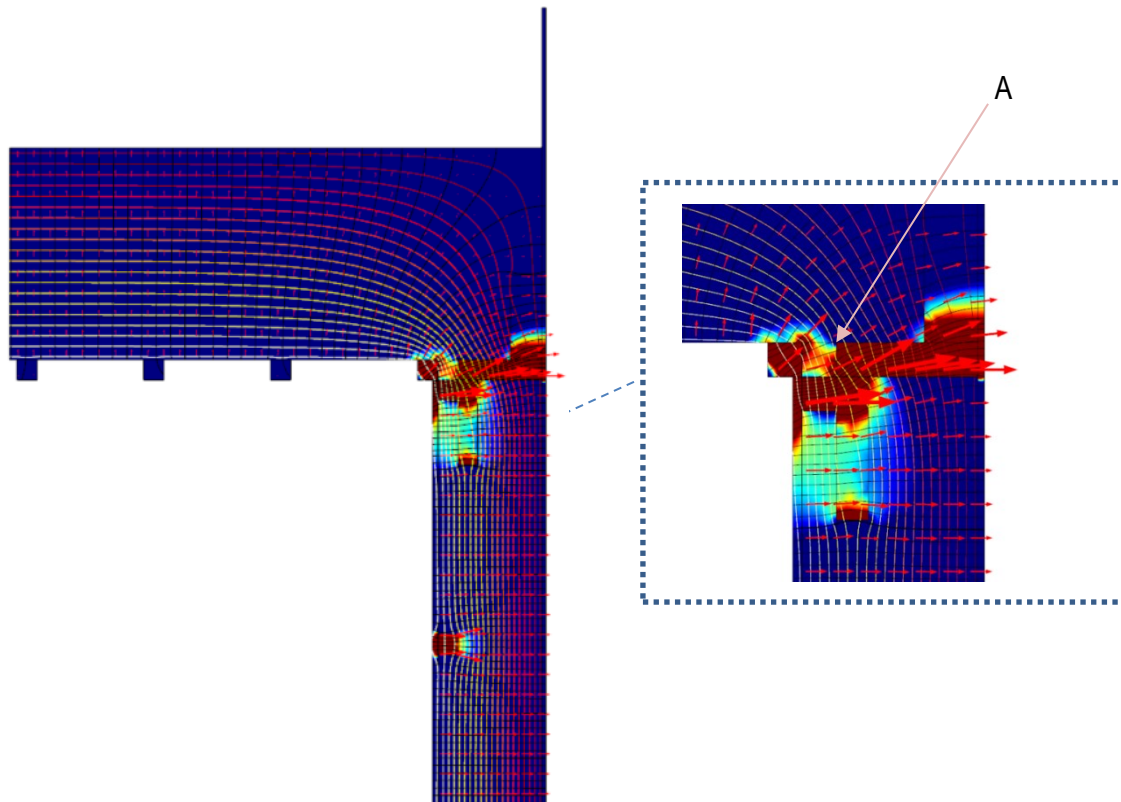
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,300 W/m	6,6 W/m	9,61 W/m	12,61 W/m
A				15,3°C
A			16,8°C	
A		18,44°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 18. lämpötilakuvaajat (kuvat 72 ja 73). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVAT 72 ja 73. Lämpötilakuvaajat 35–36

Cmsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 19. lämpövirtakuvaajat (kuva 75). Taulukossa 19 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

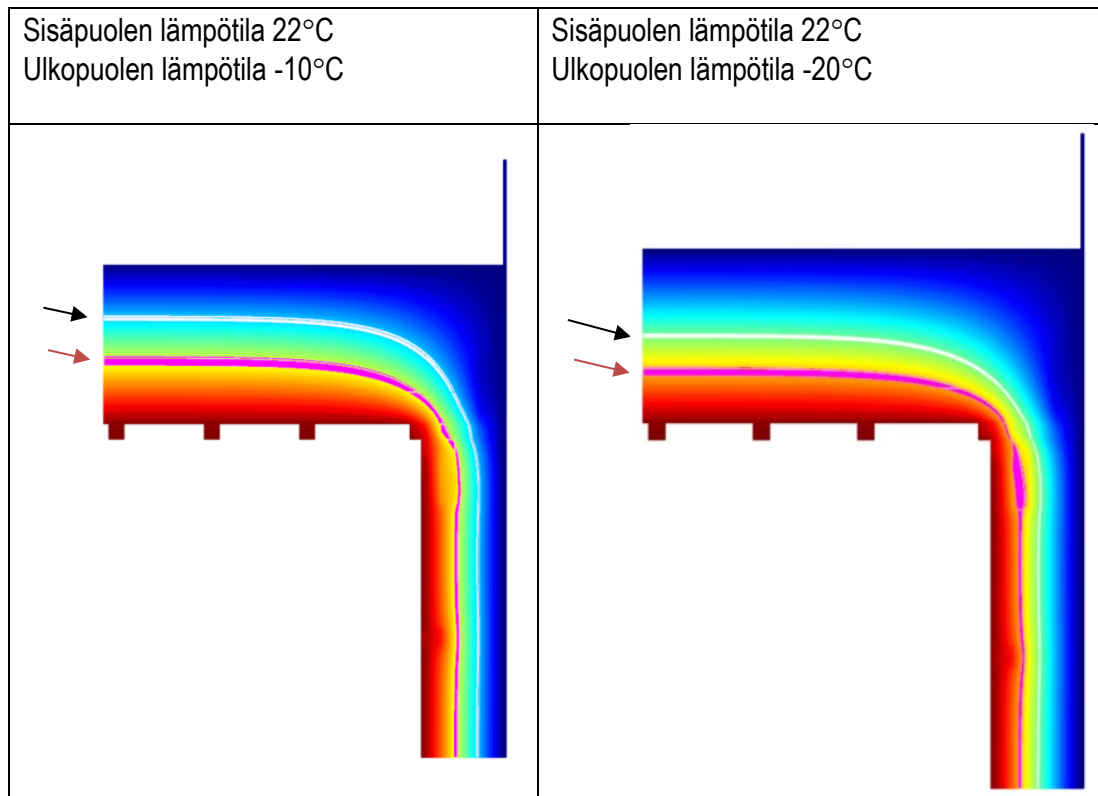


KUVA 75. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 19.

TAULUKKO 19. Yläpohjaliittymä 19. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

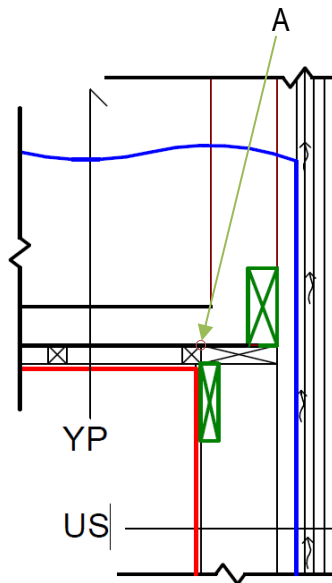
	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,278 W/m	6,11 W/m	8,89 W/m	11,67 W/m
A				5,3°C
A			9,2°C	
A		13,2°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 19. lämpötilakuvaajat (kuva 76 ja 77). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



KUVA 76 ja 77. Lämpötilakuvaajat 37–38

Kuvassa 78 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 20. leikkauskuva, jossa A = rakenteessa oleva lämpötilan seuranta- ja höyrysulku paikka, joka on yläpohjan ja seinän liittymässä, höyrysulku muovin sisäpin-
nassa.



KUVA 78. Seinärunkoon sijoitettu 45 x 200 mm:n sekä ristikon kinaloon sijoitettu 75 x 200 mm: n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

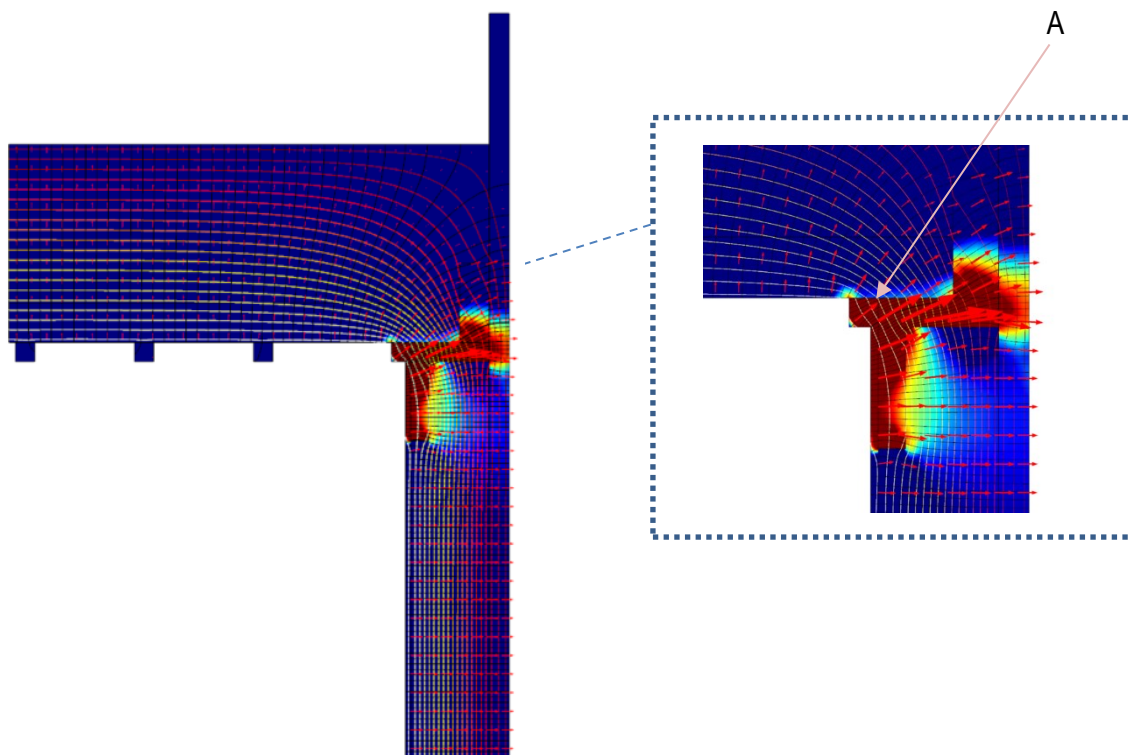
US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulku muovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulku muovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 20. lämpövirtakuvaajat (kuva 79). Taulukossa 20 esitetään liittymän lämpövirran kulutus ja höyrysulunpinnasta yläpohjan liitoskohdassa (A) olevat lämpötilalukemat.

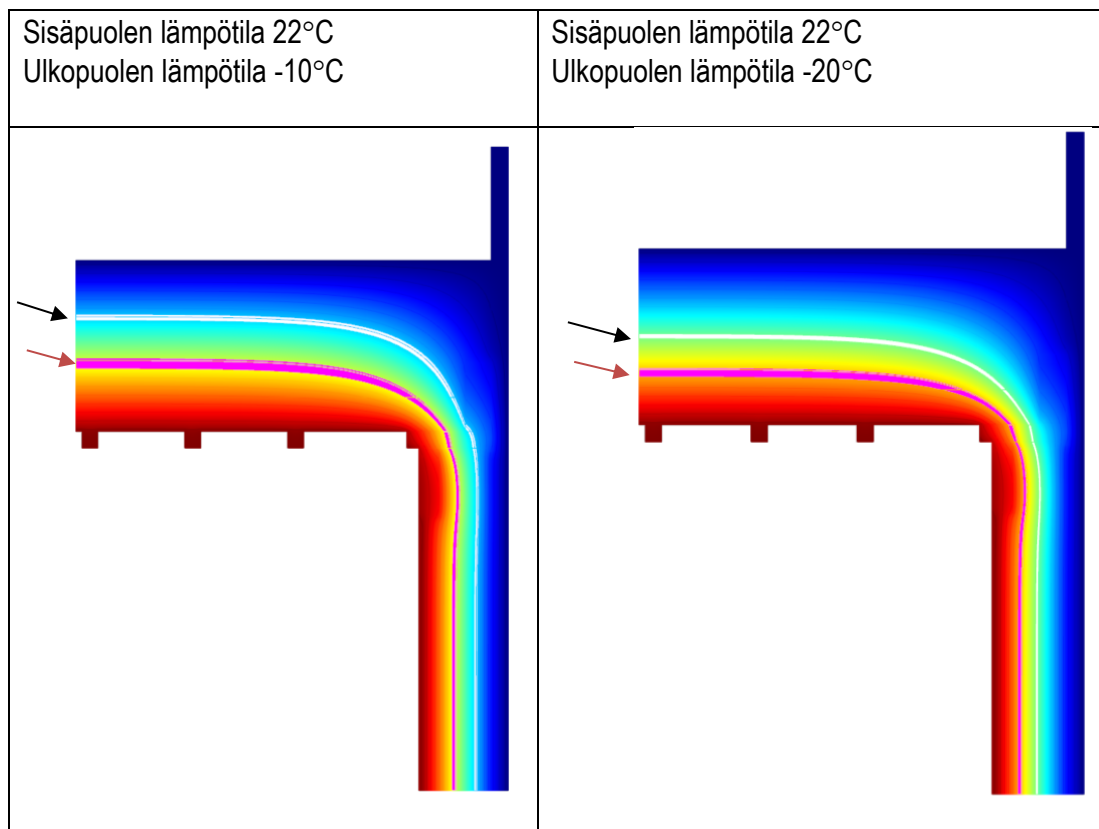


KUVA 79. Yläpohjaliittymän lämpövirtakuvaaja 20

TAULUKKO 20. Yläpohjaliittymä 20. lämpövirralukemat sekä lämpötilat mittauspisteestä A

	0°C -1°C	T IN 22°C T OUT 0°C	T IN 22°C T OUT -10°C	T IN 22°C T OUT -20°C
Lämpövirta	0,288 W/m	6,32 W/m	9,20 W/m	12,077 W/m
A				14,5°C
A			16,3°C	
A		18,1°C		

Comsol 2D -ohjelmalla mallinnetut yläpohjaliittymä 20. lämpötilakuvaajat (kuvat 80 ja 81). Musta nuoli osoittaa 0 °C (valkoinen alue) ja ruskea nuoli 8–10 °C (magenta alue) lämpötilaa rakenteessa.



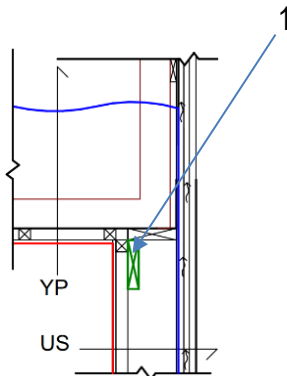
KUVAT 80 ja 81. Lämpötilakuvaajat 38–39.

Wufi 5-2D ohjelmalla tutkittiin yläpohjaliittymät viiden vuoden ajanjaksolla, jolla saatiin lämpötila-
arvojen lisäksi ilman suhteellisen kosteuden vaikutukset rakenteen toimintaan. Tutkimuksessa käy-
tettiin valmiita Luulajan sääarvoja, jotka olivat valmiina Wufi 5-2D -ohjelmassa. Tutkimus ajaksi
valittiin vuosien 2015–2020 välinen jakso. Lopuksi valittiin rakenteen liittymäkohdasta tutkimuspis-
teet höyrysulkumuovin sisäpuolelta ja tuulensuojalevyn sisäpinnasta, joista saatiin numeroarvoina
lämpötilat ja suhteellinen kosteus pitoisuus arvot tunnin välein viiden vuoden ajalta.

Saadut numerot syötettiin VTT:n ja TTY:n kehittämään Suomen homemallilaskuriin. Lopputulok-
sena saatiin homemallista mittauspisteiden homeindeksit kuvaajana ja maksimihomeindeksit nu-
meroina. Homemalli huomioi tutkittavan materiaalin homehtumisherkkyden ja homeen taantumaa.
Tutkimuksesta saatiin yläpohjaliittymien tarkastelupisteistä vertailtavat maksimihomeindeksiarvot
ja homeindeksikäyrät.

Homeindeksin laskentaan valittiin ristikon kannatuspalkkirakenteeksi 45 x 200 mm, 2 kpl 45 x 200
mm ja 2 kpl 25 x 300 mm puumateriaalista valmistetut palkit, jotka olivat ristikon kainalokannatuk-
sena ja seinärunkoon upotettuna.

Kuvassa 82 esitetään leikkauspiirustuksena seinärunkoon sijoitetun palkin sijainti. Palkki on lovitettuna 48 x 198 runkotolppaan yläohjauspuun alapuolelle sisäpuolelle runkoa.



KUVA 82. Ristikonkannatuspalkin sijainti seinärungossa (1)

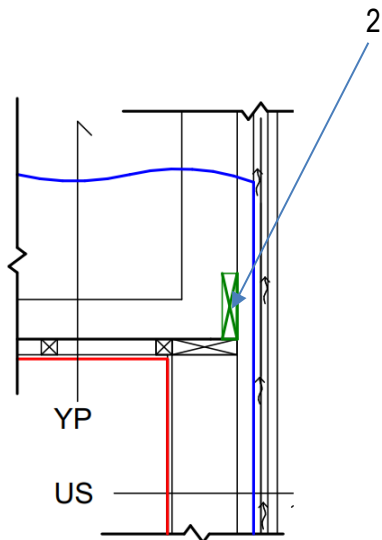
US-RAKENNE 1

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 mm vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Kuvassa 83 esitetään leikkauspiirustuksena ristikonkainaloon sijoitetun palkin sijainti. Palkille on tehty ristikkorakenteeseen paikka, joka on ulkoreunassa ristikon runkoa seinärungon yläohjauspuun yläpuolella.



KUVA 83. Ristikonnakannatuspalkin sijainti ristikon kainalossa (2)

US-RAKENNE 2

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

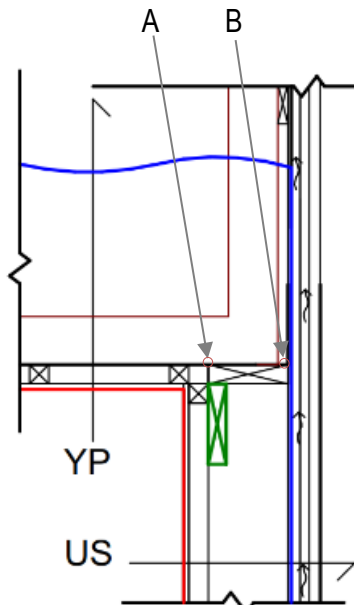
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

Taulukossa 21 esitetään tutkimuksessa käytettyjä materiaaleja, jotka ovat Wufi 5-2D -ohjelman sisäisestä kirjastosta.

TAULUKKO 21. Tutkimuksessa käytetyt materiaalit WUFI 5-2 D -ohjelman sisäistä kirjastosta

Nimi	Tiheys (kg/m ³)	Huok. (m ³ /m ³)	L.kap (J/kgK)	lämm.joht. (W/mK)	Diff.vas.ker.
Mineral Wool	60	0,95	850	0,04	1,3
Cellulose Fi- ber	70	0,95	2500	0,04	1,5
Gypsum- board, exterior	675	0,71	850	0,2	8,33
Gypsum- board, interior	625	0,73	850	0,2	8,33
Spruce, tange- tial	430	0,73	1600	0,14	83,3
Woodfibrebo- ard,soft	270	0,83	1700	0,06	6,25
Vapour, retar- der	130	0,001	2300	2,3	50000

Kuvassa 84 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 1 tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta.



KUVA 84. Seinärunkoon sijoitettu 45 x 200 mm:n puupalkki 9 mm:n kipsisellä tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 mm vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalivilla
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

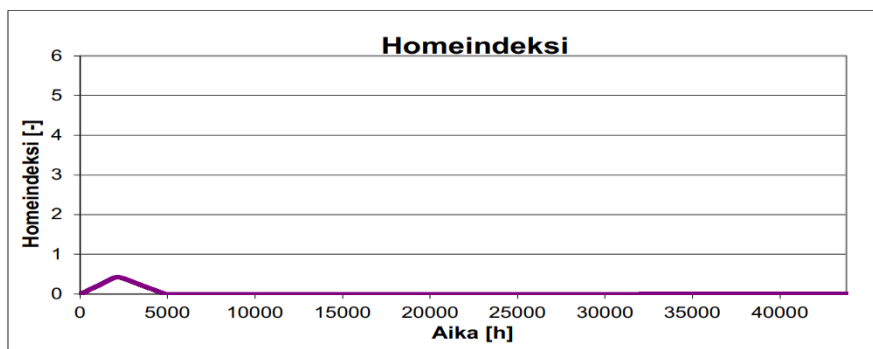
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymän 1 höyrysulkumuovin rajapinnassa mineraalivillasta oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyyssluokka mineraalivillalla on 3, jonka taantumakerroin on 0,25

-Maksimi homeindeksi 0,428

Kuvassa 85 esitetään yläpohjaliittymän 1. mittauspisteen A:n mineraalivillan homeindeksiarvot kuvaajana viiden vuoden ajalta.



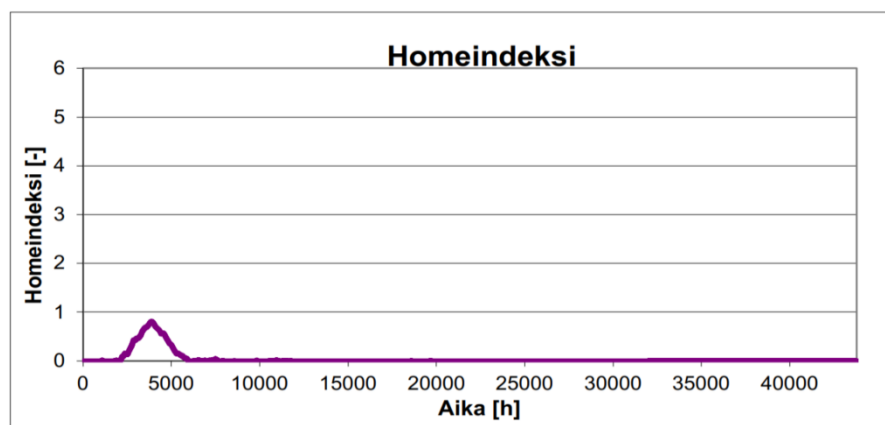
KUVA 85. Yläpohjaliittymä 1. höyrysulun sisäpuolelta mineraalivillan homeindeksi

B. Yläpohjaliittymän 1 homelaskenta kipsituulensuojalevyn sisäpinnasta

-Homeherkkyyssluokka paperipinnalla on 1 ja taantumakerroin 1

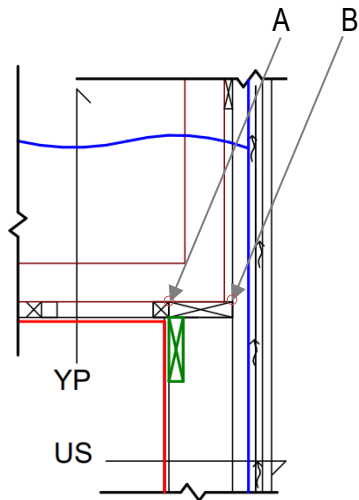
-maksimihomeindeksi 0,811

Kuvassa 86 esitetään yläpohjaliittymän 1. mittauspisteen B:n kipsisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiarvot kuvaajana viiden vuoden ajalta



KUVA 86. Yläpohjaliittymä 1. kipsisen tuulensuojalevyn sisäpinnan homeindeksi

Kuvassa 87 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 2. tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta.



KUVA 87. Seinärunkoon sijoitettu 45 x 200 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

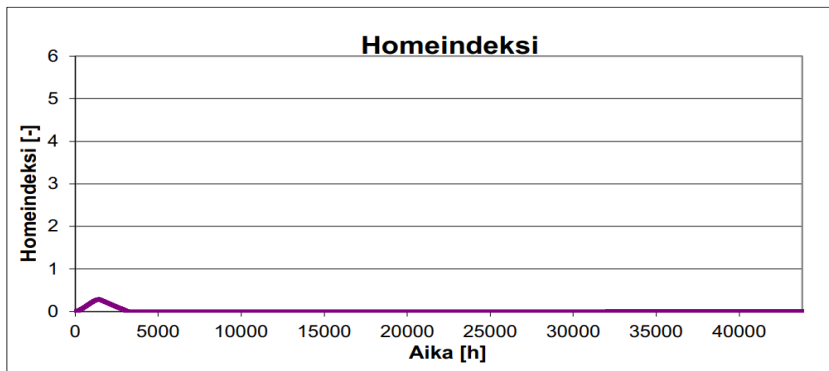
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymä 2. höyrysulkumuovin rajapinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka höylätyllä puulla on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

-maksimi homeindeksi on 0,285

Kuvassa 88 esitetään yläpohjaliittymän 2. mittauspisteen A:n höylätyn puun sisäpinnan homeindeksiä arvoja kuvaajana viiden vuoden ajalta.



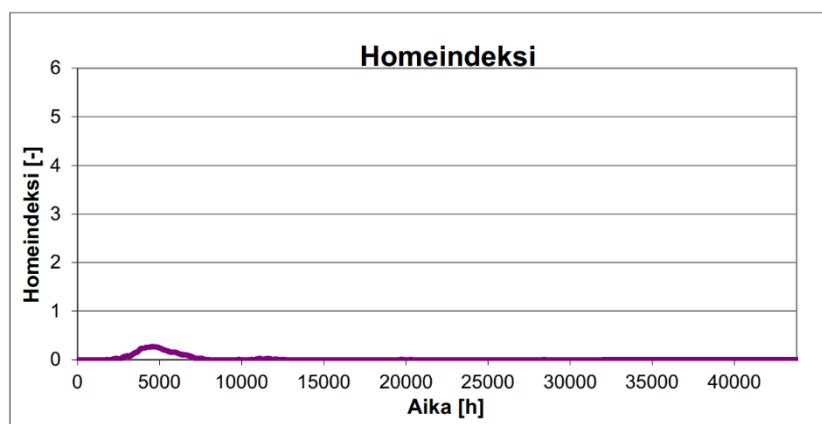
KUVA 88. Yläpohjaliittymä 2. höyrysulun sisäpuolelta höylätyn puun homeindeksi.

B. Yläpohjaliittymä 2. puukuituisen tuulensuojalevyn sisäpinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka puukuitulevyllä on 1, jonka taantumakerroin on 1

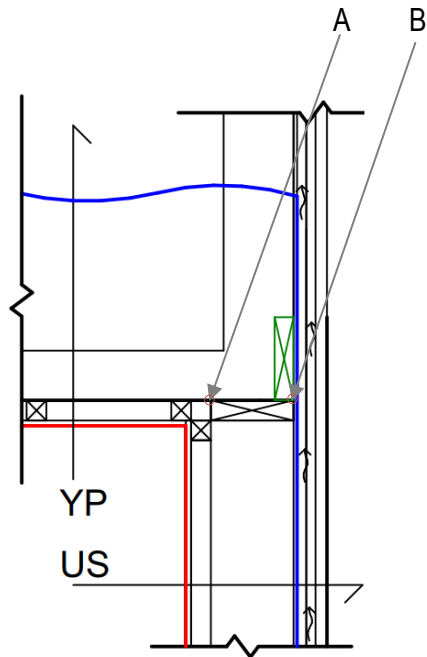
-maksimi homeindeksi on 0,271

Kuvassa 89 esitetään yläpohjaliittymän 2. mittauspisteen B:n puukuituisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiä arvoja kuvaajana viiden vuoden ajalta.



KUVA 89. Yläpohjaliittymä 2. puukuituisen tuulensuojalevyn sisäpinnan homeindeksi

Kuvassa 90 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 3 tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta.



KUVA 90. Ristikon kainaloon sijoitettu 45 x 200 mm:n puupalkki 9 mm:n kipsisellä tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

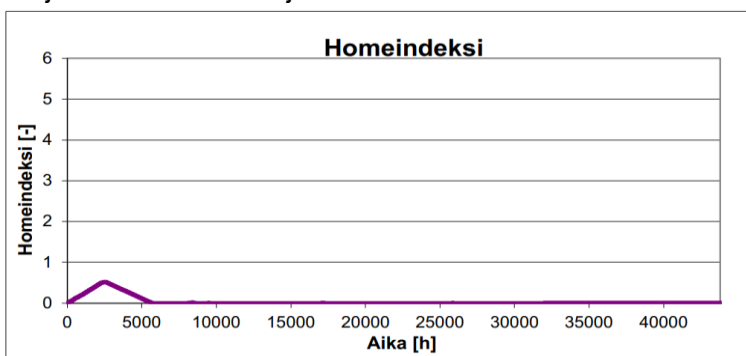
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymä 3. höyrystulkumuovin rajapinnassa mineraalivillasta oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka mineraalivillalla on 3, jonka taantumakerroin on 0,25

-Maksimi homeindeksi 0,519

Kuvassa 91 esitetään yläpohjaliittymän 3. mittauspisteen A:n mineraalivillan homeindeksiä viiden vuoden ajalta.



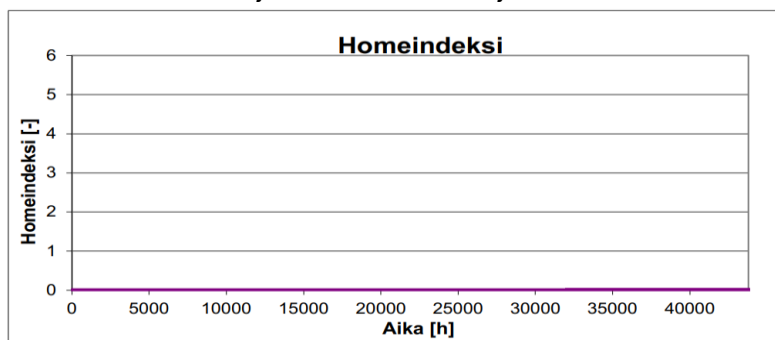
KUVA 91. Yläpohjaliittymä 3. höyrystulkumuovin sisäpuolella mineraalivillan homeindeksi

B. Yläpohjaliittymän 3 kipsisen tuulensuojalevyn sisäpuolelta oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka paperipintaisella kipsilevyllä on 1, jonka taantumakerroin on 1

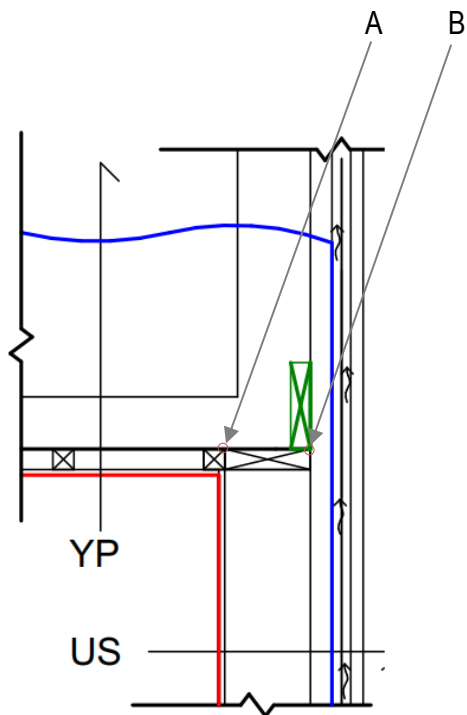
-Maksimi homeindeksi 0,002

Kuvassa 92 esitetään yläpohjaliittymän 3. mittauspisteen B:n kipsisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiä viiden vuoden ajalta.



KUVA 92. Yläpohjaliittymä 3. kipsisen tuulensuojalevyn sisäpinnan homeindeksi

Kuvassa 93 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 4. tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta.



KUVA 93. Ristikon kainaloon sijoitettu 45 x 200 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

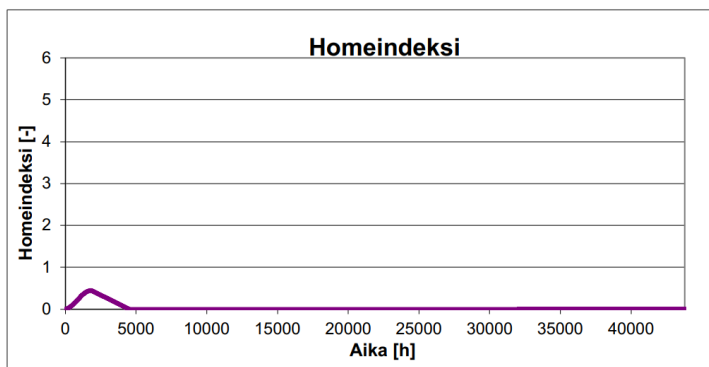
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymä 4. höyrysulkumuovin rajapinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka höylätyllä puulla on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

-maksimi homeindeksi on 0,447

Kuvassa 94 esitetään yläpohjaliittymän 4. mittauspisteen A:n höylätyn puun sisäpinnan homeindeksiarvot kuvaajana viiden vuoden ajalta.



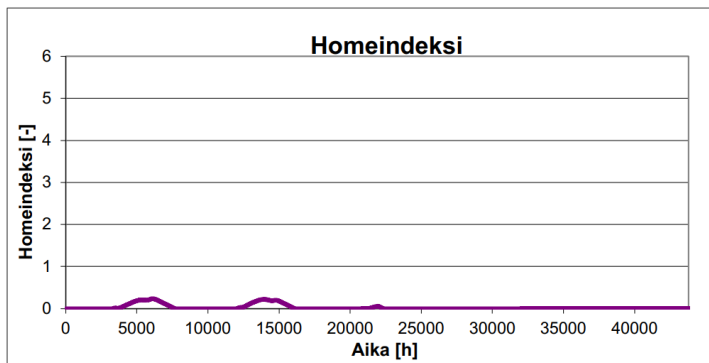
KUVA 94. Yläpohjaliittymä 4. höyrysulun sisäpinnasta höylätystä puusta(kuusi/mänty) (A) homeindeksi

B. Yläpohjaliittymä 4. Puukuituisen tuulensuojalevyn sisäpinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka puukuitulevyllä on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

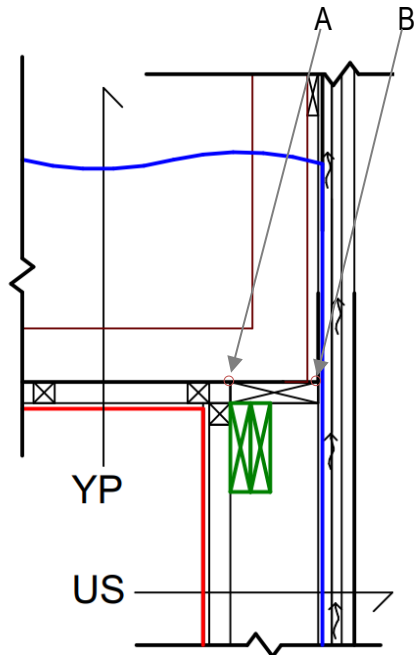
-maksimi homeindeksi on 0,237

Kuvassa 95 esitetään yläpohjaliittymän 4. mittauspisteen B:n puukuituisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiarvot kuvaajana viiden vuoden ajalta.



KUVA 95. Yläpohjaliittymä 4. puukuituisen tuulensuojalevyn sisäpinnan homeindeksi

Kuvassa 96 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 9. tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta



KUVA 96. Seinärunkoon sijoitettu 2 kpl 45 x 200 mm:n puupalkki 9 mm:n kipsisellä tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

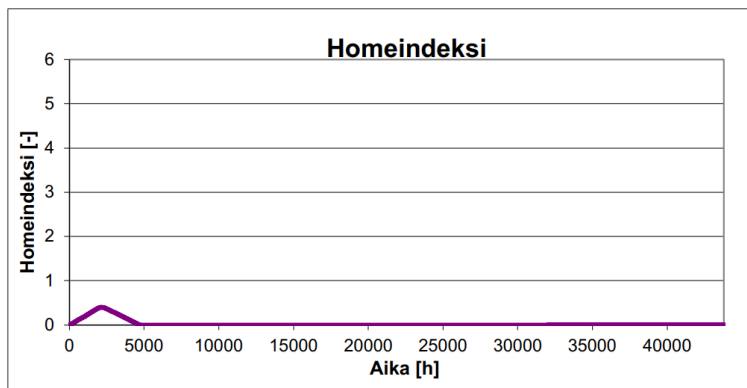
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymä 9. höyrysulkumuovin rajapinnassa mineraalivillasta oleva homelaskenta.

-Homehtumisen herkkyysluokka mineraalivillalla on 3, jonka taantumakerroin on 0,25

-Maksimi homeindeksi 0,4

Kuvassa 97 esitetään yläpohjaliittymän 9. mittauspisteen A:n mineraalivillan homeindeksiä arvoita kuvaajana viiden vuoden ajalta.



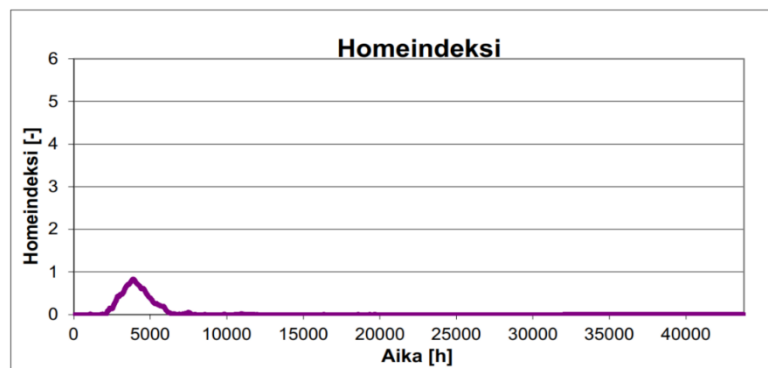
KUVA 97. Yläpohjaliittymä 9. höyrysulkumuovin sisäpinnan/mineraalivillan homeindeksi

B. Yläpohjaliittymä 9. kipsisen tuulensuojalevyn sisäpuolelta oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka kipsisellä tuulensuojalevyllä on 1, jonka taantumakerroin on 1

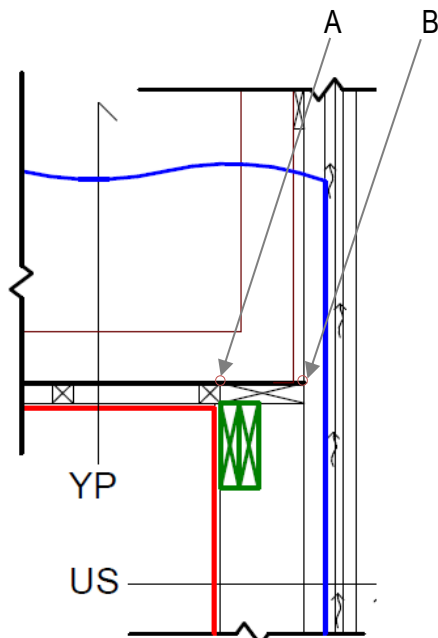
-Maksimi homeindeksi 0,837

Kuvassa 98 esitetään yläpohjaliittymän 9. mittauspisteen B:n kipsisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiä arvoita kuvaajana viiden vuoden ajalta.



KUVA 98. Yläpohjaliittymä 9. kipsisen tuulensuojalevyn sisäpinnan homeindeksi

Kuvassa 99 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 10. tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta.



KUVA 99. Seinärunkoon sijoitettu 2 kpl 45 x 200 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm.

YP-RAKENNE

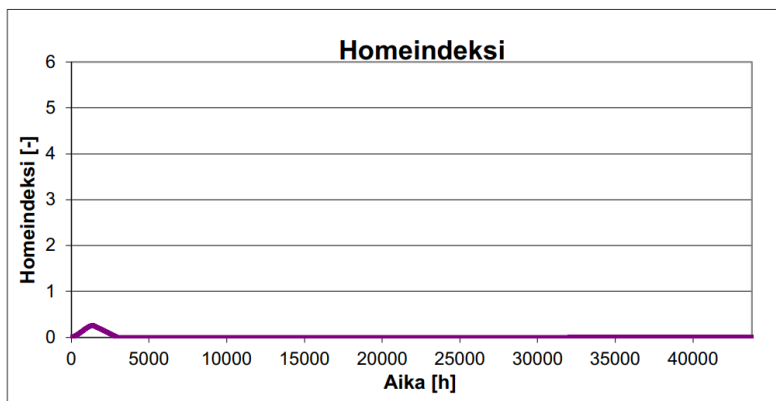
- verhou levy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymä 10. höyrysulkumuovin rajapinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka höylätyllä puulla on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

-maksimi homeindeksi on 0,261

Kuvassa 100 esitetään yläpohjaliittymän 10. mittauspisteen A:n höylätyn puun sisäpinnan homeindeksiä arvoja kuvaajana viiden vuoden ajalta.



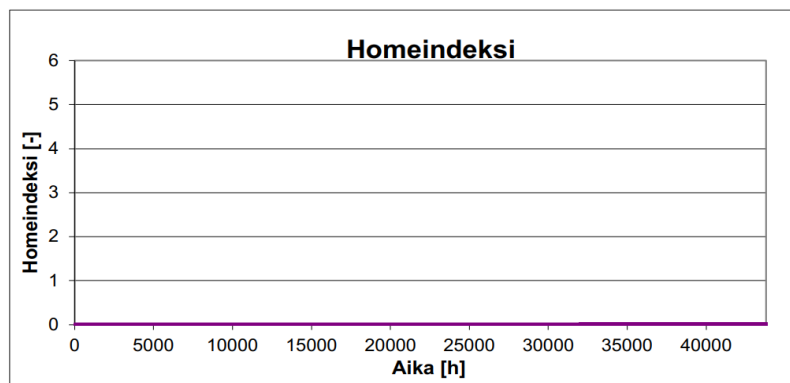
KUVA 100. Homeindeksi yläpohjaliittymästä 10 höylätyn puun pinnasta

B. Yläpohjaliittymän 10. puukuituisen tuulensuojalevyn sisäpinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka puukuitulevyllä on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

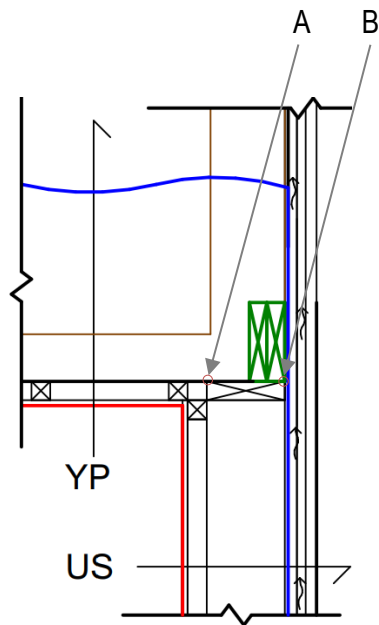
-maksimi homeindeksi on 0,000

Kuvassa 101 esitetään yläpohjaliittymän 10. mittauspisteen B:n puukuituisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiä arvoja kuvaajana viiden vuoden ajalta.



KUVA 101. Homeindeksi yläpohjaliittymästä 10 puukuituisen tuulensuojalevyn sisäpinnasta

Kuvassa 35 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 11. tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta.



KUVA 102. Ristikon kainaloon sijoitettu 2 kpl 45 x 200 mm:n puupalkki 9 mm:n kipsisellä tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko k600 + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

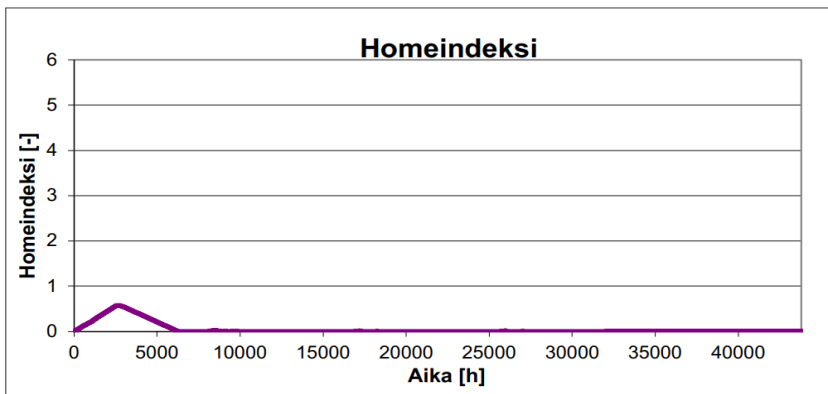
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymän 11 höyrysulkumuovin rajapinnassa mineraalivillasta oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyyssluokka mineraalivillalla on 3, jonka taantumakerroin on 0,25

-Maksimi homeindeksi 0,575

Kuvassa 103 esitetään yläpohjaliittymän 11. mittauspisteen A:n mineraalivillan homeindeksiarvot kuvaajana viiden vuoden ajalta.



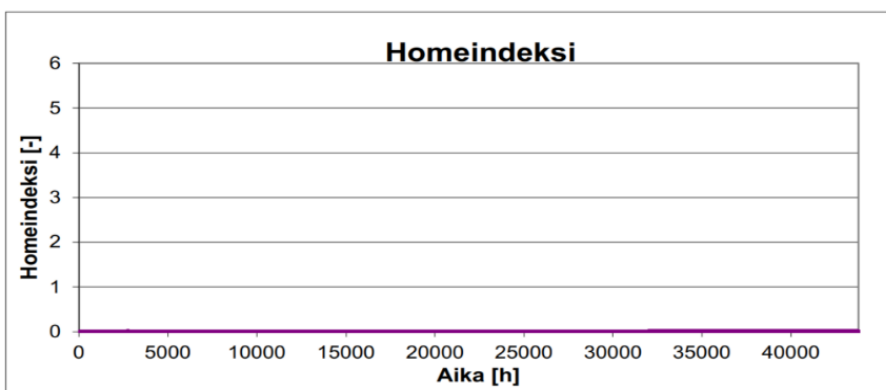
KUVA 103. Yläpohjaliittymä 11. höyrysulkumuovin sisäpuolelta mineraalivillan(B) homeindeksi.

B. Yläpohjaliittymän 11 kipsisen tuulensuojalevyn sisäpuolelta oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyyssluokka kipsisellä tuulensuojalevyllä on 1, jonka taantumakerroin on 1

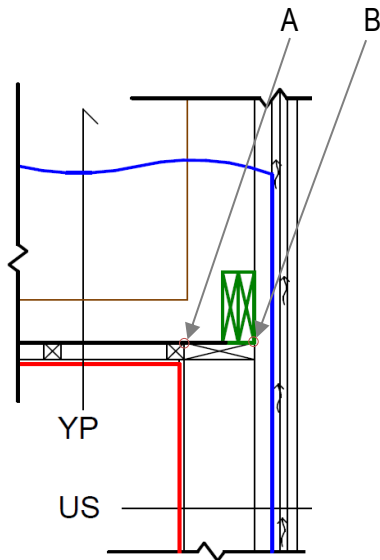
-Maksimi homeindeksi 0,002

Kuvassa 104 esitetään yläpohjaliittymän 11. mittauspisteen B:n kipsisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiarvot kuvaajana viiden vuoden ajalta



KUVA 104. Homeindeksi yläpohjaliittymä 11. kipsisen tuulensuojalevyn sisäpinnasta.

Kuvassa 105 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 12 tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta.



KUVA 105. Ristikon kainaloon sijoitettu 2 kpl 45 x 200 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

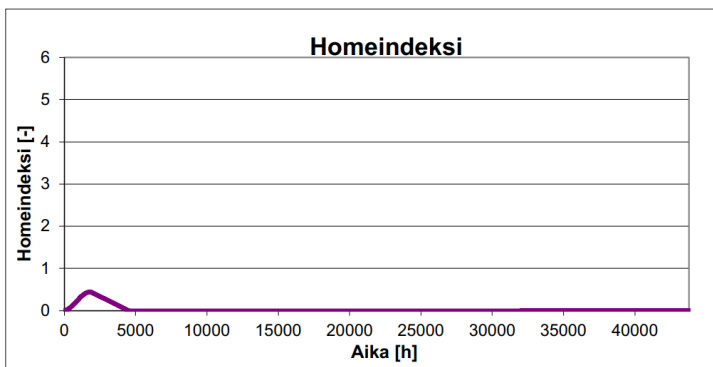
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymän 12 höyrysulkumuovin rajapinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyyssluokka höylätyllä puulla on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

-maksimi homeindeksi on 0,447

Kuvassa 106 esitetään yläpohjaliittymän 12. mittauspisteen A höylätyn puun sisäpinnan homeindeksiä arvoita kuvaajana viiden vuoden ajalta



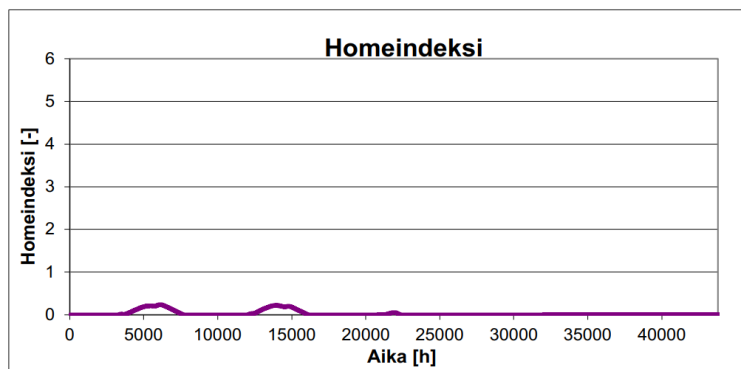
KUVA 106. Homeindeksi yläpohjaliittymästä 12 höyrysulkumuovin sisäpuolelta höylätyn puukoolauksen pinnasta.

B. Yläpohjaliittymä 12. puukuituisen tuulensuojalevyn sisäpinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyyssluokka puukuitulevyllä on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

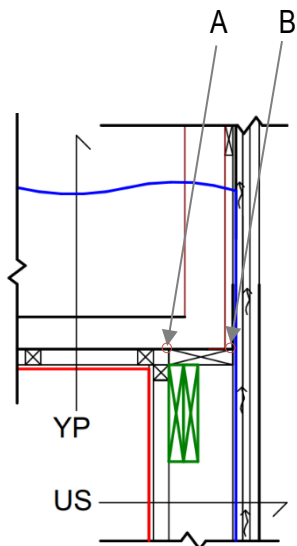
-maksimi homeindeksi on 0,238

Kuvassa 107 esitetään yläpohjaliittymän 12. mittauspisteen B puukuituisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiä arvoita kuvaajana viiden vuoden ajalta.



KUVA 107. Homeindeksi yläpohjaliittymästä 12 puukuitutuulensuojan sisäpinnasta

Kuvassa 108 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymä 13. tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta.



KUVA 108. Seinärunkoon sijoitettu 2 kpl 45 x 300 mm:n puupalkki 9 mm:n kipsisellä tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

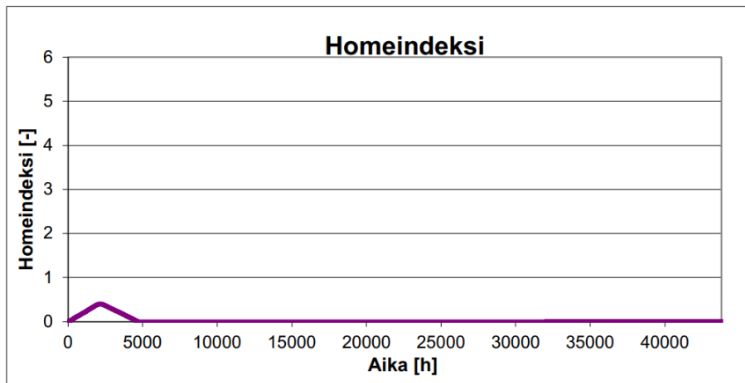
- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

- A. Yläpohjaliittymän 13 höyrysulkumuovin rajapinnassa mineraalivillasta oleva homelaskenta
-Homehtumisen herkkyyssluokka mineraalivillalla on 3, jonka taantumakerroin on 0,25
-Maksimi homeindeksi 0,402

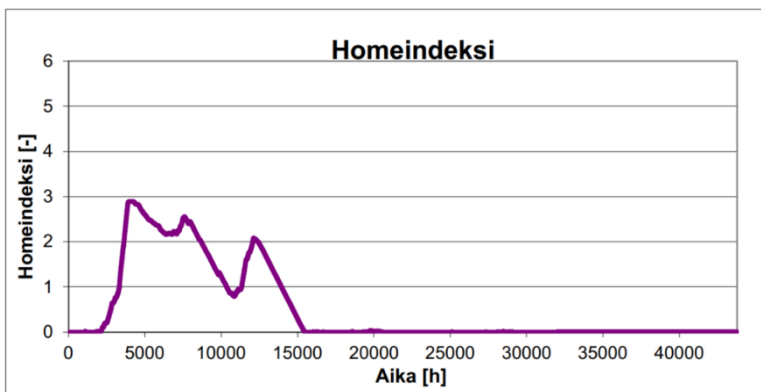
Kuvassa 109 esitetään yläpohjaliittymän 13. mittauspisteen A:n mineraalivillan homeindeksiä kuvajana viiden vuoden ajalta



KUVA 109. Yläpohjaliittymä 13. höyrysulkumuovin sisäpuolelta mineraalivillan homeindeksi

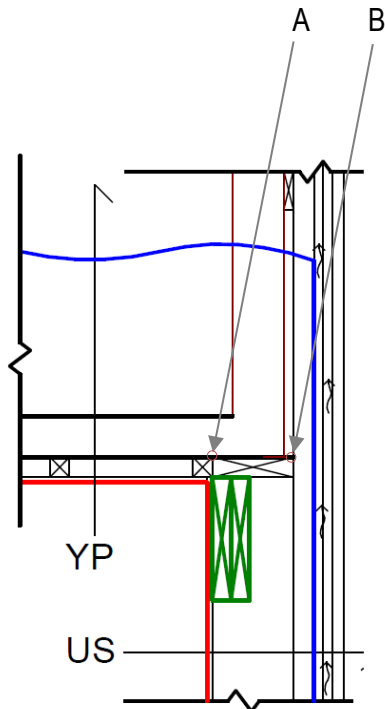
- B. Yläpohjaliittymä 13. kipsisen tuulensuojalevyn sisäpuolelta oleva homelaskenta
-Homehtumisen herkkyyssluokka kipsisellä tuulensuojalevyllä on 1, jonka taantumakerroin on 1
-Maksimi homeindeksi 2,894

Kuvassa 110 esitetään yläpohjaliittymän 13. mittauspisteen B:n kipsisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiä kuvajana viiden vuoden ajalta



KUVA 110. Homeindeksi yläpohjaliittymä 13. kipsisen tuulensuojalevyn sisäpinnasta.

Kuvassa 111 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 14 tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta



KUVA 111. Seinärunkoon sijoitettu 2 kpl 45 x 300 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

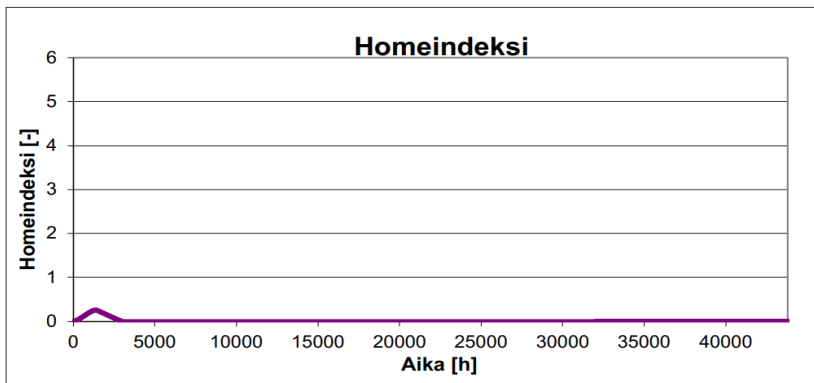
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymä 14. höyrysulkumuovin rajapinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka höylätyllä puulla on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

-maksimi homeindeksi on 0,259

Kuvassa 112 esitetään yläpohjaliittymän 14. mittauspisteen A:n höylätyn puun sisäpinnan homeindeksiä arvoja kuvaajana viiden vuoden ajalta



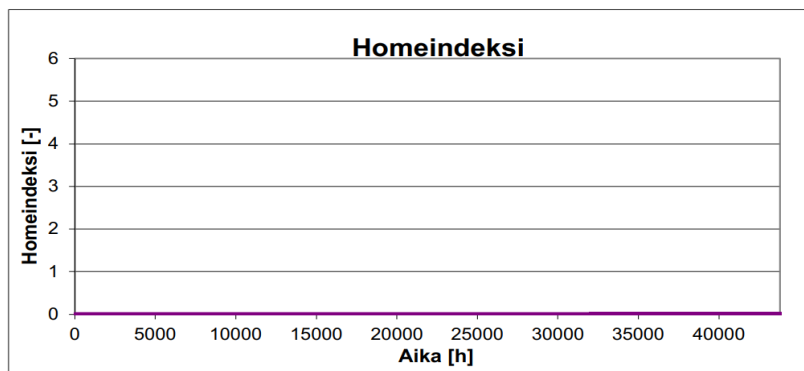
KUVA 112. Homeindeksi yläpohjaliittymästä 14. höyrysulkumuovin sisäpuolelta höylätyn puukoolauksen pinnasta

B. Yläpohjaliittymä 14. puukuituisen tuulensuojalevyn sisäpinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka puukuitulevyllä on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

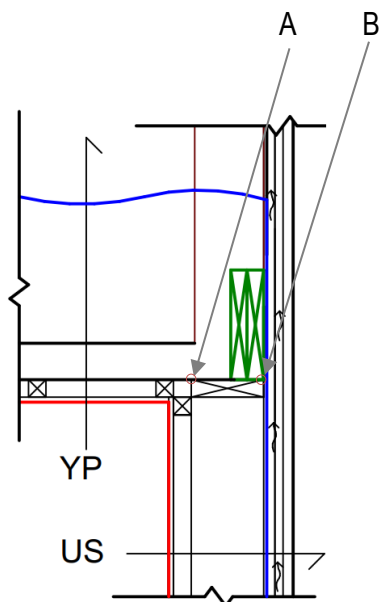
-maksimi homeindeksi on 0,00

Kuvassa 113 esitetään yläpohjaliittymän 14. mittauspisteen B:n puukuituisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiä arvoja kuvaajana viiden vuoden ajalta



KUVA 113. Homeindeksi yläpohjaliittymästä 14. puukuituisen tuulensuojalevyn sisäpinnasta.

Kuvassa 114 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 15 tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta.



KUVA 114. Ristikon kainaloon sijoitettu 2 kpl 45 x 300 mm:n puupalkki 9 mm:n kipsisellä tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- 48 x 48 vaakakoolaus k600 + 50 mm mineraalieriste
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- kipsinen tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

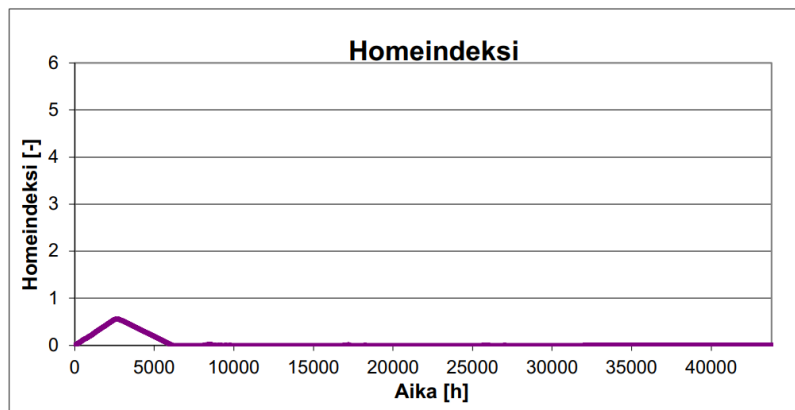
- verhouslevy
- 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymän 15 höyrysulkumuovin rajapinnassa mineraalivillasta oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyysluokka mineraalivillalla on 3, jonka taantumakerroin on 0,25

-Maksimi homeindeksi 0,561

Kuvassa 115 esitetään yläpohjaliittymän 15. mittauspisteen A:n mineraalivillan homeindeksiarvot kuvaajana viiden vuoden ajalta



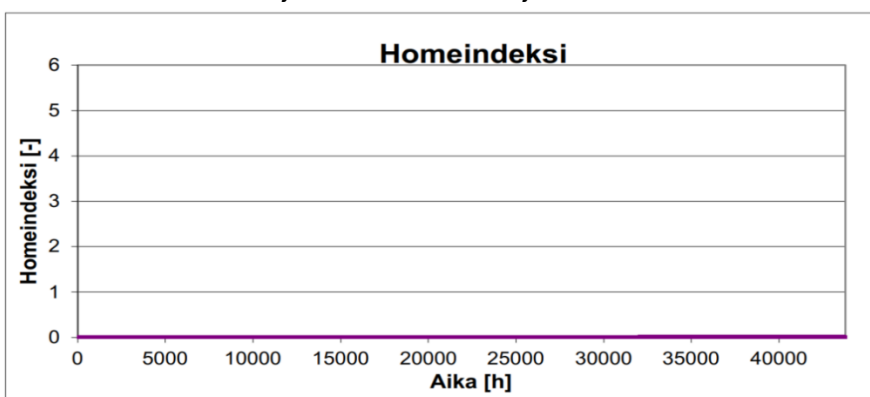
KUVA 115. Yläpohjaliittymä 15. höyrysulkumuovin sisäpuolelta mineraalivillan homeindeksi

B. Yläpohjaliittymä 15. kipsisen tuulensuojalevyn sisäpuolelta oleva homelaskenta.

-Homehtumisen herkkyysluokka kipsisellä tuulensuojalevyllä on 1, jonka taantumakerroin on 1

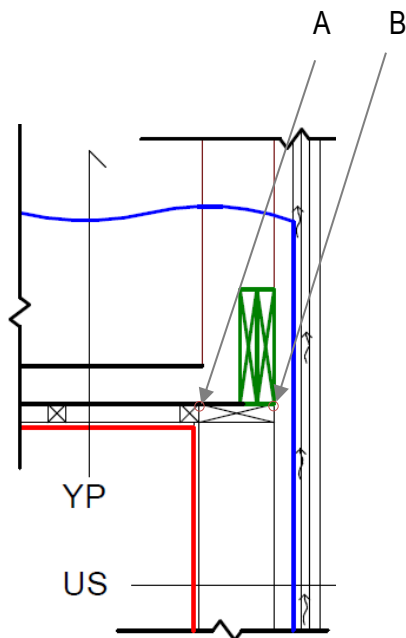
-Maksimi homeindeksi 0,002

Kuvassa 116 esitetään yläpohjaliittymän 15. mittauspisteen B:n kipsisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiarvot kuvaajana viiden vuoden ajalta



KUVA 116. Homeindeksi yläpohjaliittymä 15. kipsisen tuulensuojalevyn sisäpinnasta.

Kuvassa 117 esitetään tutkittavan yläpohjaliittymän 16 tarkastelupisteet, A = yläpohjan liittymäkohta, höyrysulkumuovin sisäpinta. B = Yläpohjan liittymäkohta, tuulensuojan sisäpinta.



KUVA 117. Ristikon kainaloon sijoitettu 2 kpl 45 x 300 mm:n puupalkki 50 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä

US-RAKENNE

- kipsilevy 13 mm
- höyrysulkumuovi
- 48 x 198 mm runko + 200 mm mineraalieriste
- puukuituinen tuulensuojalevy 50 mm
- tuuletusrako 44 mm
- ulkoverhouspaneeli.

YP-RAKENNE

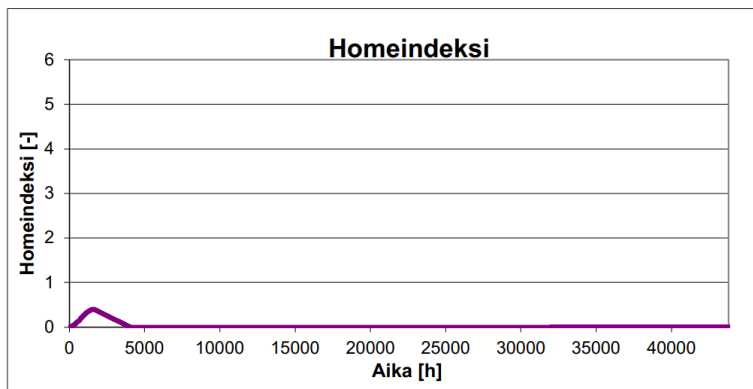
- verhouslevy 48 x 48 mm koolaus k300
- höyrysulkumuovi
- mineraalieriste 100 mm
- puhallusvilla 400 mm.

A. Yläpohjaliittymän 16 höyrysulkumuovin rajapinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyyssluokka höylätyllä puulla on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

-maksimi homeindeksi on 0,399

Kuvassa 118 esitetään yläpohjaliittymän 16. mittauspisteen A:n höylätyn puun sisäpinnan homeindeksiä arvoja kuvaajana viiden vuoden ajalta



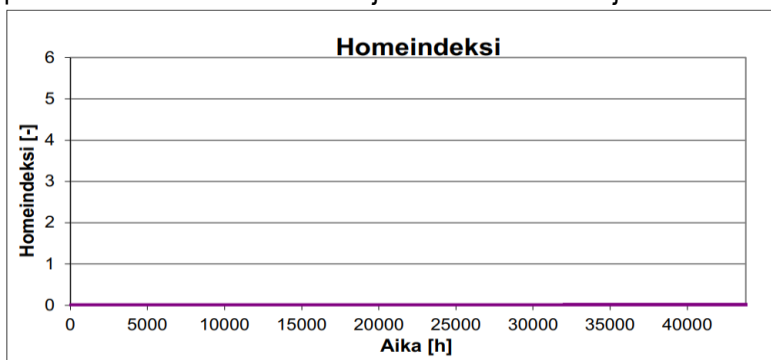
KUVA 118. Homeindeksi yläpohjaliittymästä 16. höyrysulkumuovin sisäpuolelta höylätyn puukoolauksen pinnasta.

B. Yläpohjaliittymä 16. puukuituisen tuulensuojalevyn sisäpinnassa oleva homelaskenta

-Homehtumisen herkkyyssluokka puukuitulevyllä on 2, jonka taantumakerroin on 0,25

-maksimi homeindeksi on 0,001

Kuvassa 119. esitetään yläpohjaliittymän 16. mittauspisteen B:n puukuituisen tuulensuojan sisäpinnan homeindeksiä arvoja kuvaajana viiden vuoden ajalta



KUVA 119. Homeindeksi yläpohjaliittymästä 16 puukuitutuulensuojan sisäpinnasta