

Nyein Chan

Kiilapalaeristeiden käytettävyys Suomessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

1.11.2018

Tekijä Otsikko	Nyein Chan Kiilapalaeristeiden käytettävyys Suomessa
Sivumäärä Aika	40 sivua + 6 liitettä 1.11.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jouni Kalliomäki Suunnittelupäällikkö Keijo Järvi
<p>Insinööriyön aiheena oli tutkia kiilaeristepalojen käyttömahdollisuuksia Suomessa loivien kattojen kallistusratkaisuina. Tutkimusta tehtiin Insinööritoimisto Kimmo Kaitila Oy:n toimeksiantona ja tutkimuksen tuloksena on pystyttävä suunnittelemaan loivia kattorakenteita käyttämällä kiilapalaeristekappaleita. Työssä kiilapalayläpohjarakennetyyppejä kehitettiin käyttämällä hyväksi nykyisiä toimivaksi todetun loivan katon yläpohjatyyppejä. Soveltamalla saadun yläpohjaratkaisun, toteutuskelpoisuutta tutkittiin selvittämällä lain määräyksien täytymistä, lämmöneristävyyden näkökulmasta sekä kosteusteknisestä toimivuudesta. Tutkimusta tehtiin tutkimalla kirjallisuutta ja simuloimalla kehitettyä rakennetta.</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin määräyksiä kiilaeristeen käytön hyväksyttämistä ja mahdollisia ohjeistuksia rakennesuunnittelijoille. Lämmöneristystä tutkittiin selvittämällä kiilaeristeille soveltuvaa lämmönläpäisykerroimen U-arvon laskutapaa eurokoodista. Selvityksessä esitettiin eri dimensioita omaavien kappaleiden U-arvo kaavoja ja mahdollisia korjaustermejä sekä kiinnikkeiden vaikutusta. Kosteusteknistä toimivuutta tutkittiin käyttämällä simulointiohjelmaa WUFI:a. Ohjelmalla tutkittiin eri eristemateriaalien kosteuspitoisuusarvon vaihtelua viiden vuoden tutkimusajanjakson aikana. Tutkimuksessa simuloitiin eristepaksuuden lisäyksen vaikutusta rakenteiden kosteuspitoisuuksiin ja samalla selvitettiin myös yläpohjan tuuletustarpeen muutosta.</p> <p>Tutkimustuloksena saatiin selville, että kiilapalaeristeillä on mahdollista toteuttaa yläpohjia Suomessa. Tutkielma osoittaa loivalle katolle määrätyt määräykset soveltuvat kiilapalaeriste-yläpohjille. Lämmöneristykseen näkökulmasta on mahdollista saada pienempää lämmönläpäisykerrointa. WUFI-simulaatio osoittaa myös kehitetyn rakennetyypin toimivan kosteusteknisesti ja tuloksissa näkyy kosteusarvon pienenemistä tutkimusajanjakson aikana.</p>	
Avainsanat	Loivat katot, kiilapalaeriste, yläpohjaratkaisu, kosteussimulaatio

Author Title	Nyein Chan Usability of Tapered Insulations in Finland
Number of Pages Date	40 pages + 6 appendices 1 November 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Jouni Kalliomäki, Senior Lecturer Keijo Järvi, Planning manager
<p>The study presented in this thesis explores the possibilities of using tapered insulation in the roofs in Finland. The research was commissioned by Insinööritoimisto Kimmo Kaitila Oy. The purpose of the project was to assist structural engineers in designing low-sloped roof structures by using tapered insulation. In the study, a tapered roof sample was developed by utilizing the existing working low-slope roof solutions. The feasibility of developed roof solutions is reviewed by examining the provisions of the laws, performance of thermal insulation and hygrothermal performance. The research was done by studying literature and simulating developed roof structure samples.</p> <p>The thesis presents building regulations related to low-slope roofs and other tapered roof structure instructions for structural engineers. Thermal insulations were examined by investigating the appropriate methods for calculating the thermal transmittance U-value from the Eurocode. In the survey, U-value calculation methods are presented for a different shape of tapered insulations, including possible correction methods, as well as the methods to take fastening of insulation to roofs into account. Hygrothermal performance was examined by using the simulation program WUFI. The program was used to evaluate the change in the moisture content of insulation over a period of 5 years of exam times. In the study, insulation was thickened to see the effect of increased insulation on moisture content as well as examine the necessity of increasing ventilation on roof structures.</p> <p>The results of this thesis suggest that the regulations for low-slope roof suit tapered solutions and the use of tapered roofs is possible in Finland. From the thermal insulating efficiency point of view, it is possible to get lower thermal transmittance value. The simulation also suggests that tapered roof samples work and the moisture value on insulation decreases over the period of the research time.</p>	
Keywords	Tapered roof, Tapered insulation, Roof solution, Moisture simulation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rajaus	2
3	Määritelmät	2
3.1	Määräykset	2
3.1.1	Lämmöneristys	3
3.1.2	Kosteuden eristyseristys	4
3.2	Loivat katot	4
4	Lämmöneristävyys	6
4.1	U-arvo määrittäminen	6
4.2	Kiilaeristeen U-arvo eurokoodin mukaan	7
4.2.1	Suorakulmaisen muotoinen alue	8
4.2.2	Kolmion muotoinen alue, paksuin kärjessä	9
4.2.3	Kolmion muotoinen alue, ohuin kärjessä	10
4.2.4	Kolmion muotoinen alue, kärjet eripaksuisia	11
4.2.5	Laskenta menettelytapa	12
4.3	Korjaus lämmönläpäisevyyteen	13
4.3.1	Ilmatilan korjaustermi	14
4.3.2	Mekaanisen kiinnikkeen korjaustermi	16
4.3.3	Käännetty yläpohjan korjaustermi	17
5	Kosteuden eristävyys	18
5.1	Kosteudensiirto	20
5.1.1	Kosteus ilmassa	21
5.2	Tuuletus	22
5.2.1	Tuuletusraot	23
6	Yläpohjat	24
6.1	Betonilaattayläpohja	24
6.2	Poimulevy-yläpohja	27

7	Kiilaeristeyläpohja	28
7.1	Käyttökohde	28
7.2	Ratkaisut ja käyttöperiaate	28
7.3	Tyypillinen rakenne	29
8	Simulointi	30
8.1	WUFI	30
8.2	Lähtöarvot	30
8.2.1	Simulaation lähtötiedot	32
8.2.2	Ulkoilmasto	33
8.2.3	Sisäilma olosuhde	34
8.2.4	Tuuletus	35
8.3	Tulosten tulkinta	35
8.4	Huomioitavat	37
9	Kiilapala-yläpohjatyypit	38
9.1	Ehdotus	38
9.2	Lisäselvitystarve	38
10	Yhteenveto	39
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Polyuretaanieriste	
	Liite 2. Mineraalivillaeriste	
	Liite 3. Fenolieriste	
	Liite 4. EPS-eriste	
	Liite 5. XPS-eriste	
	Liite 6. Polyuretaanieriste ilman kantavaa rakennetta	

Lyhenteet ja sanasto

Diffuusiovastuskerroin μ

μ on suhdeluku, joka kertoo kuinka paljon suurempi aineen diffuusiovastus, on verrattuna saman paksuinen ilmakerros samassa lämpötilassa.

Faasimuutos

Tarkoittaa aineen olomuodon muuttumista olosuhteiden muuttuessaan

Huokoisuus Kertoo, kuinka tiheästi materiaali on pakkautunut. Huokoisuutta ilmoitetaan kiinteän aineen suhteena aineen kokonaismäärä.

Kiilaeriste Tässä opinnäytetyössä termillä tarkoitetaan lämmöneristettä, joka on muodoltaan kiilamaista. Eristeellä on tarkoitus tehdä kallistuksia ja kaatoja muun muassa yläpohjan vedenpoistokaivoihin.

Raakatiheys Materiaalin kiintotiheys, yksikkönä (kg/m^3)

SD-arvo Kuvaa materiaalin suhteellista vesihöyryvastusta. Arvoa ilmoitetaan ilmakerroksen paksuutena

U-arvo On lämmönläpäisykerroin, jota yleensä lasketaan koko rakenteelle yhtenä arvona. U-arvo kuvaa rakenteen läpi kulkevaa lämpövirran tiheyttä, kun rakenteen eri puolilla on yksikön suuruinen lämpötilaero.

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä selvitetään kiilaeristeen käyttömahdollisuuksia Suomessa. Kiilapaloilla toteutettuja yläpohjia on tehty Euroopassa ja Suomessa niiden käyttöä suunnitellaan eri toimijoiden aloitteesta. Työssä tutkitaan kiilaeristeen käyttöön liittyviä määräyksiä ja ohjeita. Kiilapalaeristeen käytön tutkimisen tueksi tarkastellaan yleisiä kattoratkaisuja, kattotyypeissä esiintyviä haastavia kohtia ja hyväksi todettuja ratkaisumenetelmiä. Näitä yleisiä yläpohjaratkaisuja sovelletaan kiilaeristeille soveltaviksi yläpohjiksi ja tarkastellaan niiden toimivuutta. Työn perusteella on pystyttävä suunnittelemaan kiilaeristeyläpohjia ja tehdä mahdollisia lämmöneristystarkasteluja ja kosteusteknisiä tarkasteluja. Työssä ensisijaisena tutkittavana eristemateriaalina toimii polyuretaani kiilaeriste.

Opinnäytetyötä tehdään Insinööritoimisto Kimmo Kaitila Oy:n toimeksiantona. Kaitila Oy on osa RE Group:ia, joka on monialainen konsultti- ja suunnittelutoimisto. Kaitila Oy:n erityisosaamisalueeseen kuuluvat toimitila ja asuintilarakentamiset, elintarviketeollisuuden tuotantolaitokset, oppilaitosrakentamiset ja muut vaativat teollisuuskohteet sekä korjausrakentaminen kuuluvat Kaitila Oy:n osaamisalueisiin.

Kiilapalaeristeestä on vähäistä tietoa Suomeksi ja etsiessään lisätietoja kyseisistä yläpohjatyypeistä, löytyy vain mainintoja kiilapalaeristeiden olemassaolosta. Omassa työpaikassakin eristeen käytöstä on keskusteltu moneen otteeseen ja kuitenkin ratkaisua ei ole päädytty käyttämään. Tutkimukselle on näin ollen ollut tarvetta. Tutkimus tulee olemaa apuna ainakin kerrostalojen ja teollisuuden tuotantolaitoksien suunnittelijalle etsiessään vaihtoehtoisia yläpohjaratkaisuja. Innovatiivisena suunnittelutoimistona Insinööritoimisto Kimmo Kaitila Oy on mukana tässä selvittämässä uusia mahdollisuuksia suunnitella ja toteuttaa uuden tyyppisiä yläpohjaratkaisuja. Samoin Kaitila Oy:n yhteistyökumppani Kingspan Insulation Oy:lla on tarvetta saada tietoja kyseisen yläpohjatyypin suunnittelun ja toteutuksen mahdollisuuksista.

2 Rajaus

Yläpohjia tehdään erikokoisina, eri käyttö kohteina ja erilaisina muotoina, mutta tässä työssä rajataan tutkimusalueeksi vain tietyn tyyppiseen yläpohjaan. Kiilapalaeristeillä ei ole järkevä toteuttaa jyrkkiä kallistuksia, joten rajataan jyrkät katot pois tutkimusalueelta ja tutkitaan vain loivia kattoja. Loivan katon yläpohjan kantavat rakenteen ovat yleensä betonilaattoja ja poimulevyjä. Tästä johtuen tarkastellaan ainoastaan betoniyläpohjan ja poimulevy-yläpohjan yhteydessä käytettyjä eristeratkaisuja.

3 Määritelmät

3.1 Määräykset

Suomessa rakentamiseen liittyviä määräyksiä on säädetty Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999, MRL), joita käytetään pääsääntöisesti uudisrakentamisessa. Korjaus ja muutosrakentamisessa lakia sovelletaan toimenpiteen laadun ja laajuuden edellyttämällä tavalla.

Yläpohjarakenteille on määrätty ohjeita ja määräyksiä Suomen rakentamismääräyskoelmassa. Lisäksi eri rakennekerroksien suunnittelulle on RIL:in ohjeita ja RT-kortteja. RIL:in julkaisu RIL 107-2012 antaa ohjeita rakenteiden veden- ja kosteudeneristykselle. RT-ohjekortteja löytyvät yläpohjarakenteen eri osille. Ohjeet löytyvät vedenpoistolle, tiiveydelle ja tuuletukselle. Lisäksi on Eurokoodi standardeja, joissa on kerrottu hyväksytyjä laskentamenetelmiä suunnittelijoiden käytettäväksi. Loivista katoista ja erityisesti kiilamaisesta eristetyypeistä eurokoodi antaa ohjeita koodissa SFS-EN ISO 6946:2007. Samoin kattoliiton tekemät julkaisut kuten Toimivat katot 2013, toimivat suunnittelijan tukena.

3.1.1 Lämmöneristys

Rakennushankkeessa rakennesuunnittelijalla on velvollisuus osoittaa rakenteen energiatehokkuuden täyttymistä laskelmilla. Laskelmille on annettu ohjeet Suomen säädös-kokoelma 1010/2017 ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Ohjeessa on kerrottu muun muassa laskentatavan, jolla voidaan todeta U-arvo vaatimuksien täyttymistä. Määräyksiä voidaan täyttää myös muilla keinoilla, kun laskelmat ovat vähintään yhtä tarkkoja. Samoin koetuloksia hyväksytään, jos on todettavissa, että koetulokset ovat tarkempia. [6.]

Loivilla katoilla käytettävillä lämmöneristeillä on omia tuotevaatimuksia eristemateriaali-kohtaisesti. Vaatimuksien täyttymistä todistetaan käyttämällä hyväksytyjä eurokoostandardin testausmenetelmiä. Standardivaatimuksien lisäksi on olemassa kohdekohtaiset vaatimukset rakennuskohteen kuormituksen ja rasituksen perusteella. Rasitusluokkien perusteella on suositeltu käyttämään erilaisia puristuslujuuden omaavia eristeitä. Voimassa olevia rasitusluokkia on kolmea luokkaa, jotka ovat R2, R3, R4. Rasitusluokka R1 on poistettu käytöstä. R2 luokassa rasitukset ovat normaalit ja rakennuksena ne ovat tavanomaiset asuin- ja toimistotilat. R3 luokassa rasitukset ovat raskaita ja ne tuleva teollisuusrakennuksista. R4 luokassa rasitukset ovat erittäin raskaita ja tyypillisesti kohteet ovat poikkeukselliset teollisuuskohteet, jossa vallitsee korkeita lämpötiloja ja/tai korkeita suhteellista kosteutta. [2.]

Taulukko 1. RIL 107-2012 Lämmöneristelevyn valintasuositus puristuslujuudelle. [2.]

Rakenteen käyttö-tapa	Pohjakerros teräs-poimulevyn päällä	Ala- ja välikerrokset	Pintakerros
Rasitusluokka R2	≥ 50 kPa	≥ 30 kPa	≥ 50 kPa
Rasitusluokka R3	≥ 50 kPa	≥ 50 kPa	≥ 60 kPa
Rasitusluokka R4	Mitoitetaan tapauskohtaisesti		

3.1.2 Kosteuden eristyseristys

Rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta on säädetty laki (782/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta). Asetuksessa on määrätty suunnittelijalle selvitettäväksi rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden olennaiset tekniset vaatimukset ja niiden täyttymistä. Olennaiset tekniset vaatimukset ovat muun muassa, että rakenne toimii suunnittelun iän ajan ja eikä vaurioitu siinä aikana. Lisäksi rakenne ei saa aiheuttaa terveyshaittaa rakennuksessa oleskeleville käyttäjille. Korjaus- ja muutostyössä kosteustekniseen toimivuuteen ei tarvitse tehdä muutoksia, kun rakennus toimii kosteusteknisesti oikein. Kuitenkin uutta asetusta on noudatettava uudisrakentamisessa tai sellaisessa korjausrakentamisennä, joissa rakenne aiheuttaa vaurioita rakenteen kosteustekniselle toimivuudelle tai haittaa käyttäjän terveydelle.

Yläpohjarakenteissa on estettävä kosteuden kertymistä ilmavirtauksen tai vesihöyryn diffuusiosta johtuvista syistä. Katon tuuletuksen on pystyttävä estämään kosteuskertymien muodostumia ja suunnittelijan on suunniteltava tuuletusta kohdekohtaisesti. Tuuletuksessa otettava eristyksestä huomioon, ettei tuuletustilaan jää tuulettumattomia suljettuja alueita. Kosteuden eristyksen lisäksi on huomioitava rakenteen kuivumista, eteenkin betonilaatoissa on varmistettava sen kuivumismahdollisuutta muiden rakennekerroksien asennuksen jälkeen. [9.]

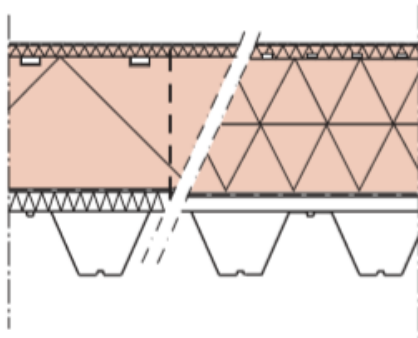
Rakentamisessa kosteus tarkoittaa vettä eri olomuodossa, itsenäisenä vesihöyrynä, nestemäisenä tai jäätyneenä. Kosteudenpitoisuutta ilmaistaan suhteellisena kosteutena (RH %) joka kertoo veden osapaineen suhdetta kyllästysosapaineeseen. Lisäksi voidaan ilmoittaa veden määrää ilmassa (g/m^3) ja vesihöyryn osapainetta. [5.]

3.2 Loivat katot

Kattorakenteet, joiden kaltevuudet ovat 1:10 – 1:80 pidetään loivana kattona. Loivan katon toteutuksessa tarvitaan yksityiskohtaiset suunnitelmat, jossa on esitetty rakenteet, käytetyt materiaalit ja kiinnikkeet asennustäpöinen. Vedeneristeenä käytetään yleensä erilaisia kermejä korkean vedenpaineen kestävyysvaatimuksien seurauksena. Vedeneristysrakenteet tulee olla jatkuvia ja saumat vedenpaineenkestäviä. Suunnitelmassa pitää olla myös selvitetty vedeneristyksen liittymät rakenteisiin ja kattokaivoihin. [1.]

Vesikaton toteutuksissa kaltevuudet tulee olla suunnitelmien mukaisia ja ovat riittävän kaltevia. Kattokallistuksia suunnitellaan pääsääntöisesti suoraan kantavilla rakenteilla. Sen lisäksi tehdään jiirikallistuksia, joiden kaltevuudet ovat vähintään 1:80. Jiirikallistuksia voidaan tehdä betoni ja kevytsorabetonivaluina. Kattokaivolinjalla jiirikallistus tehdään yleensä samoista materiaaleista kuin yläpohjan kantavat rakenteet ja ne tehdään suoraan kantavan rakenteen päälle. Läpivientejä ei sijoiteta jiirikallistuksen alueella. Kallistuksia tehdään myös irtonaisella materiaaleilla kuten kevytsoralla, siporex murskeella tai foamit-vahtolasilla. Kiilamaista lämmöneristyslevyä hyväksytään myös kallistuksen tekemiseen. [3.]

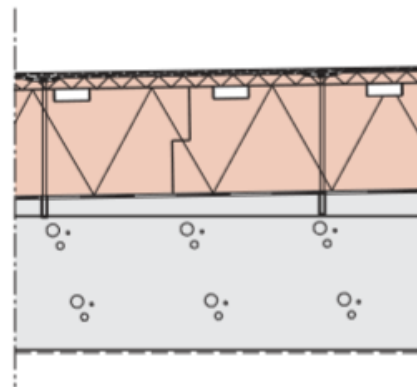
Poimulevykatto



Rakennekerrokset ylhäältä lukien:

- vedeneristys
- lämmöneristys
 - laakerointikerros, kova mineraalivillalevykerros
 - uritettu mineraalivillaeristys, polystyreenilevy- tai polyuretaanilevyeristys
- höyrynsulku (esimerkiksi bitumikermi)
- kova mineraalivilla tai soveltuva rakennuslevy
- kantava rakenne
- pintarakenne ja -käsittely

Betonilaattakatto



Rakennekerrokset ylhäältä lukien:

- vedeneristys
- lämmöneristys
 - laakerointikerros, kova mineraalivillalevykerros
 - uritettu mineraalivillaeristys, polystyreenilevy- tai polyuretaanilevyeristys
- höyrynsulku
- kantava rakenne
- pintarakenne ja -käsittely

Kuva 1. Yläpohja bitumikermikatteella. [3.]

4 Lämmöneristävyys

Suomen säädöskokoelma 1010/2017 ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta on määrätty maksimi U-arvoja tiloille, jotka ovat kosketuksessa ulkoilman. Yläpohjarakenteelle U-arvo ei saa ylittää $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja arvo on koko yläpohjalle laskettu vertailuarvo. Puolilämpimälle tiloille yläpohjan U-arvo ei saa ylittää $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$. [6.]

4.1 U-arvo määrittäminen

U-arvo kertoo laskettavan kerroksen lämmönläpäisyarvoa, jonka yksikkö on $\text{W/m}^2 * \text{K}$. Arvo kuvaa lämpövirran tiheyttä, joka kulkee laskettavan kerroksen läpi, kun kerroksen eri puolilla on yhden yksikön suuruinen lämpötilaero. U arvoa lasketaan seuraavan kaavan mukaisesti. [4.]

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (1.)$$

Missä

U on lämmönläpäisykerroin

R_{tot} on kokonaislämmönvastus

Lämmönläpäisykerroimen (U) laskussa tarvitaan lämmönvastusarvoa (R), joka riippuu aineen lämmönjohtavuudesta ja sen paksuudesta. Homogeeniselle ainekerroksella R-arvoa saadaan seuraavasti. [4.]

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2.)$$

Missä

R on lämmönvastus, yksikkönä $\text{m}^2 * \text{K/W}$

d on materiaalin paksuus, yksikkönä m

λ on lämmönjohtavuus, yksikkönä $W/m * K$

Kun kerroksia on enemmän kuin yksi, niin lasketaan jokaiselle homogeeniselle aineelle kukin kerroksen R-arvoa erikseen ja summataan niitä yhteen seuraavasti.

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (3.)$$

Missä

R_{tot} on kokonaislämmönvastus

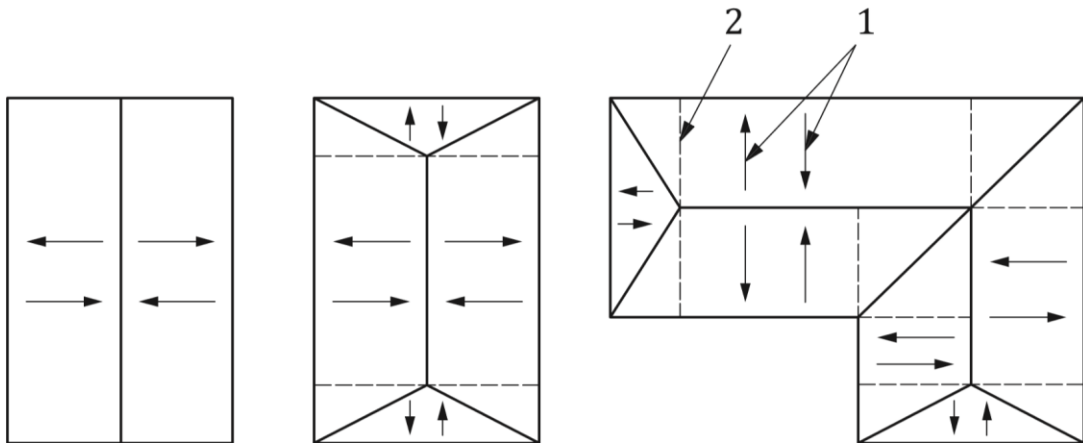
R_{si} on sisäpinnan pintavastus, yksikkönä $m^2 * K/W$

$R_1, R_2 \dots R_n$ ovat kerroksien lämmönvastuksia, yksikkönä $m^2 * K/W$

R_{se} on ulkopinnan pintavastua, yksikkönä $m^2 * K/W$

4.2 Kiilaeristeen U-arvo eurokoodin mukaan

Kiila eristeessä lämmöneristeen paksuus vaihtelee ja lämmöneristävyys pienenee paksummasta päästä ohuempaan. Tällaisesta rakenteesta U-arvon laskemisesta on eurokoodi standardi ”ISO6946:2017 Rakennusosat ja rakennuselementit. Lämmöneristävyys ja lämmönläpäisevyys. Laskentamenetelmät.” Alla on standardin mukainen laskentamenetelmä, joka on käännetty englannin kielisestä versiosta ” Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation methods (ISO 6946:2017)”. [4.]



Kuva 2. Kiilaeristeen mahdolliset kallistussuunnat.

1. Kallistussuunta
2. Vaihtoehtoinen osion jako

Kiilaeristeen yleisessä muodossa U-arvoa saadaan seuraavasti.

4.2.1 Suorakulmaisen muotoinen alue

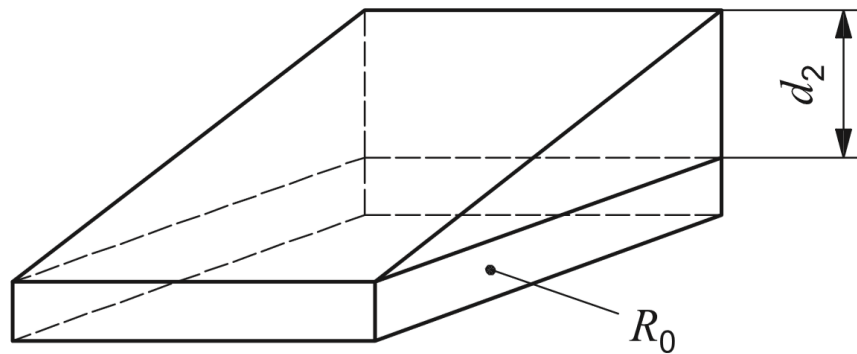
$$U = \frac{1}{R_2} \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) \quad (4.)$$

Missä

U Lämmönläpäisykerroin

R_0 Lämmönvastuksen suunnitteluarvo jäljellä jäävästä ehjästä eristepaksuudesta, mukaan lukien molempien pintojen pintavastukset, yksikkönä $m^2 \cdot K/W$.

R_2 Maksimi lämmönvastuksen suunnitteluarvo.



Kuva 3. Suorakulmaisen muotoinen kiilapala. [4.]

d_2 Maksimi kiilapalan korkeus

R_0 Lämmönvastuksen suunnitteluarvo jäljellä jäävästä ehjästä eristepaksuudesta, mukaan lukien molempien pintojen pintavastukset, yksikkönä $m^2 * K/W$.

4.2.2 Kolmion muotoinen alue, paksuin kärjessä

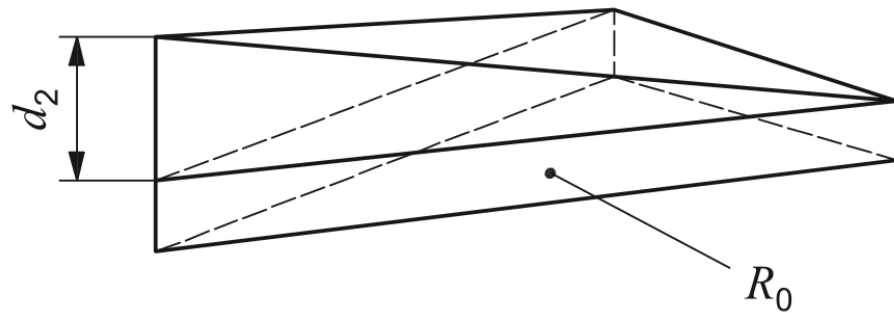
$$U = \frac{2}{R_2} \cdot \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_2} \right) * \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - 1 \right] \quad (5.)$$

Missä

U Lämmönläpäisykerroin

R_0 Lämmönvastuksen suunnitteluarvo jäljellä jäävästä ehjästä eristepaksuudesta, mukaan lukien molempien pintojen pintavastukset, yksikkönä $m^2 * K/W$.

R_2 Maksimikorkeuden lämmönvastuksen suunnitteluarvo.



Kuva 4. Kolmion muotoinen kiilapala, jossa kärki on paksuin. [4.]

d_2 Maksimi kiilapalan korkeus

R_0 Lämmönvastuksen suunnittelu-arvo jäljellä jäävästä ehjästä eristepaksuudesta, mukaan lukien molempien pintojen pintavastukset, yksikkönä $m^2 \cdot K/W$.

4.2.3 Kolmion muotoinen alue, ohuin kärjessä

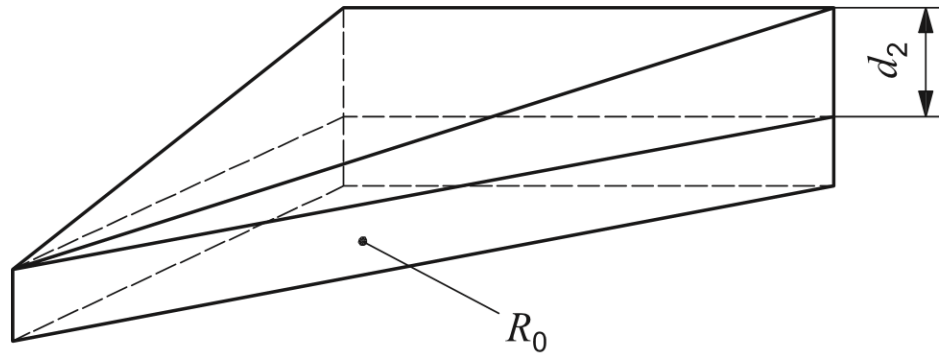
$$U = \frac{2}{R_2} \cdot \left[1 - \frac{R_0}{R_2} \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) \right] \quad (6.)$$

Missä

U Lämmönläpäisykerroin

R_0 Lämmönvastuksen suunnittelu-arvo jäljellä jäävästä ehjästä eristepaksuudesta, mukaan lukien molempien pintojen pintavastukset, yksikkönä $m^2 \cdot K/W$.

R_2 Maksimikorkeuden lämmönvastuksen suunnittelu-arvo.



Kuva 5. Kolmion muotoinen kiilapala, jossa kärki on ohuin. [4.]

d_2 Maksimi kiilapalan korkeus

R_0 Lämmönvastuksen suunnitteluarvo jäljellä jäävästä ehjästä eristepaksuudesta, mukaan lukien molempien pintojen pintavastukset, yksikkönä $m^2 * K/W$.

4.2.4 Kolmion muotoinen alue, kärjet eripaksuisia

$$U = 2 \left[\frac{R_0 * R_1 * \ln\left(1 + \frac{R_2}{R_0}\right) - R_0 * R_1 * \ln\left(1 + \frac{R_1}{R_0}\right) + R_1 * R_2 * \ln\left(\frac{R_1 + R_2}{R_0 + R_1}\right)}{R_1 * R_0 * (R_2 - R_1)} \right] \quad (7.)$$

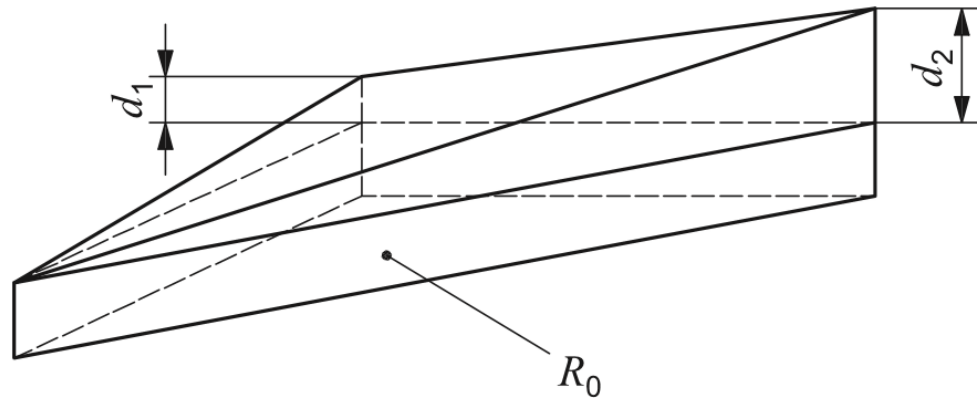
Missä

U Lämmönläpäisykerroin

R_0 Lämmönvastuksen suunnitteluarvo jäljellä jäävästä ehjästä eristepaksuudesta, mukaan lukien molempien pintojen pintavastukset, yksikkönä $m^2 * K/W$.

R_1 Keskitason korkeuden lämmönvastuksen suunnitteluarvo.

R_2 Maksimikorkeuden lämmönvastuksen suunnitteluarvo.



Kuva 6. Kolmion muotoinen kiilapala, jossa kärjet eripaksuisia. [4.]

d_1 Keskitason kiilapalakärjen korkeus

d_2 Maksimi kiilapalakärjen korkeus

R_0 Lämmönvastuksen suunnitteluarvo jäljellä jäävästä ehjästä eristepaksuudesta, mukaan lukien molempien pintojen pintavastukset, yksikkönä $m^2 * K/W$.

4.2.5 Laskenta menettelytapa

Laskentaa suoritetaan seuraavasti

1. Laske R_0 lämmönvastusta tasapaksuisesta lämmöneristepaksuudesta.
2. Jaa laskettava alue yksittäisiksi kiilapaloiksi kuvan 2 mukaan.
3. Laske R_1 ja R_2 jokaiselle kiilapalatasoille käyttäen seuraavia kaavoja

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_t} \quad (8.)$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_t} \quad (9.)$$

Missä

d_1 Keskitason kiilapalakärjen korkeus, yksikkönä metri (m)

d_2 Maksimi kiilapalakärjen korkeus, yksikkönä metri (m)

R_1 Keskitason kiilapalan kärjenkorkeuden lämmönvastuksen suunnitteluarvo, yksikkönä $m^2 * K/W$.

R_2 Kiilapalan maksimikorkeuden lämmönvastuksen suunnitteluarvo, yksikkönä $m^2 * K/W$.

4. Laske lämmönläpäisykerroin jokaiselle jaetulle kiilapaloille arvo U_j , oma muodon ja kaavan mukaan.

5. Laske lämmönläpäisykerroin koko alueelle käyttäen seuraavaa kaavaa

$$U = \frac{\sum U_i * A_i}{\sum A_i} \quad (10.)$$

4.3 Korjaus lämmönläpäisevyyteen

Lämmönläpäisevyyteen vaikuttaa muitakin seikkoja kuin eristeen paksuus ja materiaalit. Rakenteissa esiintyy monia kerroksia ja liitoksia jotka vaikuttavat kokonaislämmönläpäisevyyteen. Samoin toteutusvaiheessa aiheutetut materiaalin heikennykset ja työkuorimat lisäävät lämmönläpäisevyyden heikentymistä. [4.]

Suunnitteluvaiheessa yläpohjan lämmönläpäisyarvoon vaikuttavat eristekerroksessa esiintyvät tyhjät tilat, mekaaniset kiinnikkeet tai muut eristettä läpäisevät objektit ja käännytyissä yläpohjissa lämmöneristeen ja vesieristeen väliin pääsevät verimäärät. Laskelmassa U-arvoa korjataan lisäämällä korjaustermit. Korjattu lämmönläpäisykerroin U_c saadaan seuraavasti. [4.]

$$U_c = U + \Delta U \quad (11.)$$

Korjaustermien summa ΔU saadaan

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad (12.)$$

Missä

ΔU_g on korjaustermi eristekerroksessa esiintyvistä ilmatilasta

ΔU_f on korjaustermi mekaanisesta kiinnityksestä

ΔU_r on korjaustermi käännetyistä yläpohjasta

4.3.1 Ilmatilan korjaustermi

Tässä työssä ilmatilalla tarkoitetaan vapaata tilaa yläpohjarakenteessa ja ne voivat olla kahdenlaista, ilmatilan orientaation mukaan. Tila voi olla eristeiden sisällä, eristeiden tai rakenteiden välissä. Ilmatilan suunta voi olla lämmön kulkusuunnassa tai kohtisuorassa lämmön kulkusuunnasta. Eristekerroksessa oleva ilmatila voi lisätä lämmön kulkua kerroksen läpi konvektion ja lämmönsäteilyn avulla. Näin se suurentaa U-arvoa ja sen suuruus vaihtelee ilmatilan koon, paikan ja suunnan mukaan. [4.]

Korjaustermiin olennaisesti vaikuttava tapaus on, kun ilmatila on lämmön kulkusuunnassa. Varsinaisessa rakenteessa tämä esiintyy eristelevyjien saumoissa. Kuitenkin asentaessaan useampia eristekerroksia, korjaustermin merkitys pienenee merkittävästi. Tässä tapauksessa korjaustermin lisäystä kannattaa tehdä vain ainoastaan, kun ilmatila muodostuu kylmän tilan ja lämpimän tilan välillä. Yleensä korjaustermin suuruus on hyvin pieni. [4.]

Toinen tapaus missä ilmatilaa esiintyy yläpohjassa, jossa ilmatilan suunta on kohtisuorassa lämmön kulkusuunnan kanssa ovat kolot eristeessä tai rakenteen ja eristeen välissä. Kolot esiintyvät eristemateriaalin joustamattomuudesta, yläpohjamateriaalien toleranssipoikkeamista ja muista työmaaolosuhteissa tapahtuvien työvaiheiden seurauksena. Tässä tapauksessa pientä korjaustermiä voi joutua lisäämään. [4.]

Molempia tapauksia esiintyessään on mahdollista, että lämpöhäviötä tapahtuu massan siirron vaikutuksesta ja korjaustermin merkittävää lisäystä joudutaan tekemään. Oletuksena on myös, että työmaalla työnlaatu on asianmukainen. [4.]

Korjaustermin laskutavan helpottamiseksi on tehty alla olevaa taulukkoa, josta valitaan yksi vaihtoehto ja lasketaan korjaustermi ΔU_g . [4.]

Taulukko 2. Yksinkertaistettu korjaustermiarvot ilmatilasta. [4.]

Level	Description	$\Delta U''$ W/(m ² ·K)
0	No air voids within the insulation, or where only minor air voids are present that have no significant effect on the thermal transmittance.	0,00
1	Air gaps bridging between the hot and cold side of the insulation, but not causing air circulation between the warm and cold side of the insulation.	0,01
2	Air gaps bridging between the hot and cold side of the insulation, combined with cavities resulting in free air circulation between the warm and cold sides of the insulation.	0,04

Taulukossa korjaustermiä varten käytettävää ΔU saadaan yläpohjan ilmatilan tyypin ja määrän mukaan. Tilat on jaettu kolmeen eri tasoon 0, 1 ja 2. Taso nolla on tila jossa oletuksena ilmatilaa ei ole tai on merkityksettömän pieni, että se aiheuttaisi lämmön siirtymistä ilmatilan seurauksena. Tasossa 0 ΔU arvona käytetään yllä olevan taulukon mukaan nollaa, jolloin koko korjaustermin arvoksi tulee nolla, joka tarkoittaa ettei ilmatila aiheuta lämmönläpäisevyyden heikkenemistä. Tasossa 1 esiintyy ilmatilaa kylmällä ja lämpimällä puolella, mutta ilma ei liiku eristekerroksen läpi lämpimästä kerroksesta kylmään ja toisinpain. Tasossa 1 ΔU arvona käytetään 0,01 W/m² * K. Tasossa 2 käytetään ΔU arvona taulukon mukaan 0,04 W/m² * K, joka on suurin arvo taulukon arvoista. Oletuksena tasolla 2 on, että ilmatilaa esiintyy eristeen molemmilla puolella ja niiden välillä on ilmasilta, josta ilma pääsee kulkeutumaan lämpimästä puolesta kylmään ja toisinpain. [4.]

Korjaustermi saadaan seuraavaan kaavaan mukaan.

$$\Delta U_g = \Delta U'' \times \left(\frac{R_1}{R_{tot}} \right)^2 \quad (13.)$$

R_1 on laskettavan yhden kerroksen lämmönvastus

R_{tot} on komponentin kokonaislämmönvastus ilman kylmäsilta vaikutuksia

$\Delta U''$ saadaan taulukosta

4.3.2 Mekaanisen kiinnikkeen korjaustermi

Mekaaniset kiinnikkeet toimivat kylmäsiirtimänä lämmöneristekerroksessa ja sen vaikutusta huomioidaan käyttämällä ISO 10211 standardin kaavaa. Standardissa on kerrottu piste-maisen lämmönläpäisevyysarvon X yhdelle kiinnikkeelle. Korjaustermi saadaan kertomalla arvo kiinnikkeiden lukumäärällä neliömetrin alueelta n_f . [4.]

$$\Delta U_f = n_f * X \quad (14.)$$

Korjaustermiä likimääräistä arvoa voidaan laskea myös seuraavalla metodilla, kun kiinnikkeiden lämmöneristysvaikutusta ei ole huomioitu muulla tavalla. [4.]

$$\Delta U_f = \alpha * \frac{\lambda_f * A_f * n_f}{d_1} * \left(\frac{R_1}{R_{tot}} \right)^2 \quad (15.)$$

Missä α kerroin saadaan,

$$\alpha = 0,8 * \frac{d_1}{d_0}, \text{ kun kiinnike on upotettu}$$

$$\alpha = 0,8, \text{ kun kiinnikkeen läpäisee kokoeristeen läpi}$$

λ_f Kiinnikkeen lämmönjohtokyky

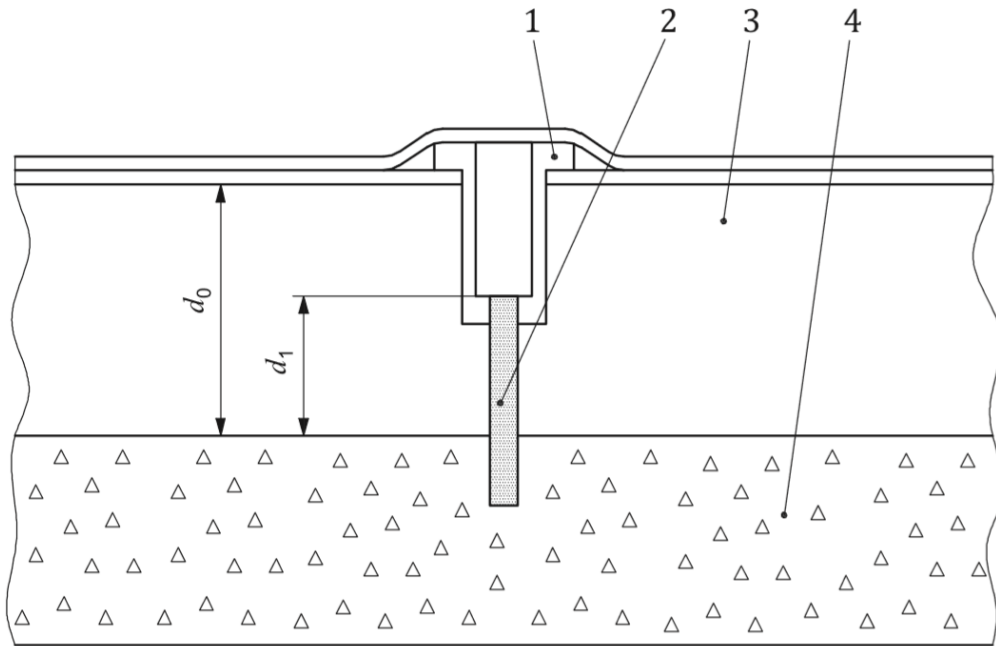
n_f Kiinnikkeiden lukumäärä neliömetrin alueelta

A_f Yhden kiinnikkeen poikkipinta-ala, yksikkönä m.

d_1 Eristeen läpäisevä kiinnikkeen pituus eristeen sisällä, yksikkönä m.

R_1 Kiinnikkeen läpäisemä eristeen lämmönvastus, yksikkönä $m^2 * K/W$.

R_{tot} Ehjä eristeen lämmönvastus, yksikkönä $m^2 * K/W$.



Kuva 7. Mekaaniset kiinnikkeet. [4.]

1. Eristekiinike muoviosa
2. Eristekiinike teräsosa
3. Lämmöneriste
4. Kantava yläpohjarakenne

d_0 on lämmöneristeen paksuus

d_1 on kiinnittimen lämmöneristekerroksen sisään jäävä teräsosa.

4.3.3 Käännetty yläpohjan korjaustermi

Käännetyssä katoissa vesi kulkee lämmöneristekerroksen läpi, kun vedeneriste on lämmöneristeen alapuolella. Tästä ilmiöstä johtuvaa lämmön häviö otetaan huomioon ΔU_r termin avulla. ΔU_f termin yksikkönä on $W/m^2 * K$ ja termiä lasketaan seuraavasti. [4.]

$$\Delta U_f = p * f * x * \left(\frac{R_1}{R_{tot}}\right)^2 \quad (16.)$$

Missä

ΔU_f on korjaustermi käännetystä yläpohjasta

p on keskimääräinen sädemäärä lämmityskaudella, yksikkönä mm/päivä

f on vedenpoistokerroin, joka kuvaa vesieristeeseen asti pääsevä veden määrää

x on tekijä, joka kuvaa vesivirtauksen aiheuttamaa lämpöhäviötä vedeneristekalvossa

R_1 on laskettavan yhden kerroksen lämmönvastus

R_{tot} on komponentin kokonaislämmönvastus ilman korjaustermien vaikutuksia

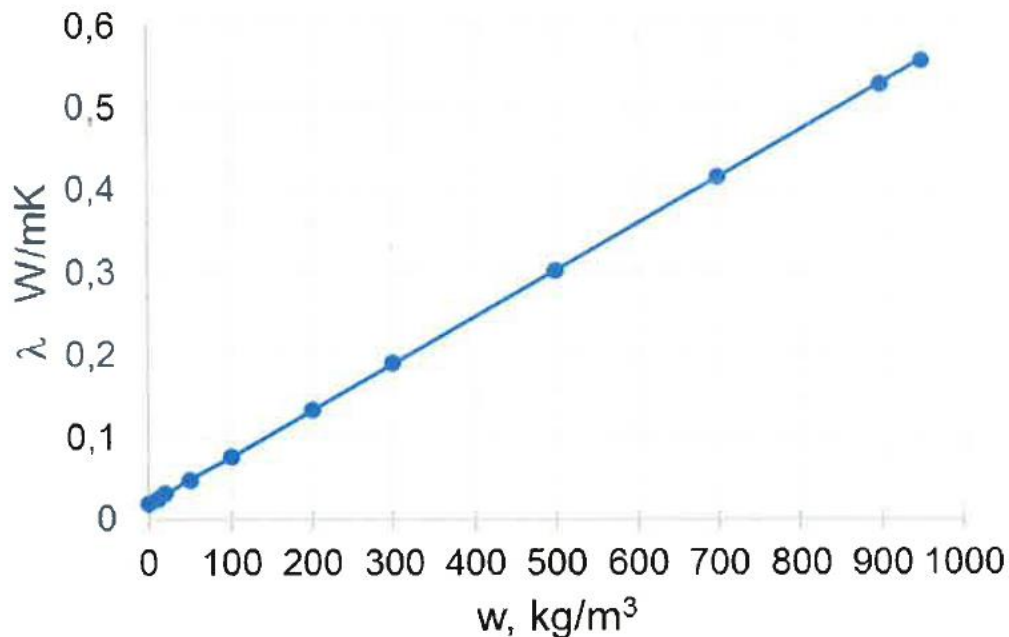
Lämmityskauden sädemääräksi voidaan käyttää Eurokoodin mukaan $p = 3\text{mm/päivä}$ tai sitä voidaan laskea lämmityskauden keskiarvosädemäärän mukaan. Suomessa ilmatieteenlaitos julkaisee tilastoja sädemääristä ja niistä voidaan laskea yhden päivän sädemäärää. [4.]

Suurin ΔU arvo saadaan, kun $f*x$ saa arvoksi 0,04, joka on huonoin mahdollinen yhdistelmä käännetyssä katoissa. Arvon saa muun muassa käyttämällä kevytsoraa vedeneristeen päällä, jossa vesi pääsee soran läpi vedeneristeeseen parhaiten. Käyttämällä aluslevyjä tai muita vedenpoiston parantamiskeinoja päästään pienempään $f*x$ arvoon. $f*x$ arvoista on tehtävä riippumaton tutkimus ja siitä on oltava dokumentoitu tutkimustulos, jonka perusteella voidaan käyttää pienempiä arvoja kuin 0,04. [4.]

5 Kosteuden eristävyys

Yläpohjan pääasiallinen tarkoitus on kosteuden eristäminen ja eristää ulkoilma sisäilmästä. Ulkoilma on jatkuvasti muuttuva ja rasittaa rakenteita erilaisilla kuormilla. Kosteus on haastava aihe rakennusinsinööreille, kun kosteus kulkeutuu monella eri tavalla ja aiheuttaa haasteita sen kontrolloimiselle. Samoin mitoituksessa esiintyy haasteita, kun

muuttujia on paljon ja rakennesuunnittelija joutuu tekemään monia oletuksia, jotka sitten muuttuessaan vaikuttavat mitoituksen lopputulokseen ratkaisevasti. Esimerkkinä tällaisesta tapauksesta ovat tiiviit rakenteet, jotka toimivat mainiosti laskettuna ja kontrolloidussa testeissä, mutta kun toteutetaan oikeissa työmaaolosuhteissa voi esiintyä kosteusvaurioita. Tästä syystä rakennesuunnittelijan on otettava huomioon myös työmaaolosuhteen tekijät jotka lisäävät rasituksia kosteuseristykselle.



Kuva 8. Erään fenolieristeen lämmönjohtavuuden riippuvuus kosteuden pitoisuudesta. [11.]

Lämmöneristys ja kosteus liittyvät toisiinsa ja vaikuttavat olennaisesti toistensa toimivuuteen. Tästä syystä on hyvin tärkeä suunnitella lämmöneristys- ja kosteuseristysratkaisuja pitäen mielessään niiden yhteistoimivuus. Kosteus heikentää lämmöneristystä merkittävästi ja tyypillisesti kosteuden kasvaessa lämmöneristeiden lämmönjohtavuudet heikenevät suoraan verrannollisesti. Kosteudella on lämmöneristyksen heikkenemisen vaikutuksen lisäksi, muitakin vaikutuksia. Kosteuden pitkäaikaisaltistumat voivat rasittaa rakennusmateriaaleja ja liitoskomponentteja. Tällaisia tapauksia näkyy muun muassa maalien hilseilemisenä, lattiapinnoitteiden irtoamisena ja teräsosien korroosiona. Kivirakenteilla kosteus voi saada aikaan pakkasvaurioita ja vähentävät rakenteiden käyttöikä. Vauriot myös lisäävät kosteusvaurion riskejä ja nopeuttavat rakenteiden rappeutumista entisestään. Lisäksi se voi aiheuttaa terveysongelmia käyttäjille, kun kosteuden vaikutuksena rakenteiden pintoihin muodostuu mikrobikasvustoja. [10.]

Kosteutta tarkasteltaessa on aina hyvä tarkastella muuttuvissa olosuhteissa ja pitkällä aikavälillä vähintään vuoden verran, koska pelkät teoreettiset laskelmat eivät kuvaa todellista kosteusteknistä toimintaa rakenteen sisällä. On myös toivottavaa, että kosteus-toimintaan tarkastellaan rakenteen suunnittelun iän verran. Kosteusongelman ilmestyessään on hyvä ryhtyä korjaustoimenpiteisiin ja poistaa kosteus- ja mikrobivauriot. Samalla on poistettava vaurion aiheuttavat syyt. Jos toimenpiteisiin ei ole ryhdytty on ympäristölautakunnalla oikeus estää tai rajoittaa tilan käyttöä. [7.]

Rakennuksen yläpohjasta on vedenpoisto suunniteltava niin, ettei se vahingoita rakennusta. Myös vesikatteen pitää olla riittävän tiiviistä ja kaltevuudelle sopiva. Vedenpoistosuunnitelmissa estetään veden jäähtyminen katon kylmissä osissa ja jokaisella veden kertymäalueelle sijoitetaan vähintään kaksi kaivoa. Ulkopuolisessa vedenpoistosuunnittelussa estetään haitalliset jääpatomuodostumat. [3.]

Kiilaeristeyläpohjassa kosteudenhallinnan kannalta huomioonotettavat seikat ovat samoja kuin muissakin loivissa katoissa. Samat määräykset ja ohjeet pätevät vesieristeiden, läpivientien asennuksessa ja toteutustavoissa. Kuitenkin tässä tutkimuksessa tarkastellaan mahdollisia poikkeamia kosteuden käyttäytymisessä kiila eristeestä johtuvista syistä.

5.1 Kosteudensiirto

Yläpohjassa kosteusrasituksena toimii pääsääntöisesti sadevesi, lumi ja jää. Lisäksi tuuli kuljettaa vettä ylös seiniä pitkin ja kostuttaa räystäitä alapinnalta. Tämä on erityisesti korkeissa rakennuksessa esiintyvä ilmiö. Kosteus siirtyy myös rakennuksen sisältä konvektion avulla tai rakenteen kosteuden avulla. Myös rakentamisessa käytetyt huokoiset materiaalit ja rakennusta ympäröivät aineet sisältävät kosteutta vaihtelevasti. Näin rakennus on aina alttiina kosteudelle. Pitää myös muistaa, että kosteus sinällään ei ole ongelma. Kosteusvauriot ilmestyvät, kun kosteus kondensoituu yläpohjan rakennusmateriaalin pinnoissa. Kosteuden esiintyessään ei toivotulla tavalla suunnittelu- ja toteutusvirheiden seurauksena, rakennusosan vanhetessa, huollon puutteesta tai käyttövirheistä voi pitkällä aikavälillä aiheutua suuria vahinkoja. [5.] [7.]

5.1.1 Kosteus ilmassa

Kaikki rakenteet ovat kosketuksessa jonkinasteisen kosteuden kanssa. Kosteutta on ulkoilmassa ja sisäilmassa. Se on myös maan ja rakennusmateriaalien huokosissa. Kosteaa ilma sisältää ilmaa ja vesihöyryä. Rakennesuunnittelijalle yksi tärkeä yksikkö kosteudelle on suhteellinen kosteus RH. Se kertoo ilmassa olevan kosteuden määrän suhdetta kyllästyskosteuteen ja usein sitä ilmaistaan prosentteina. Suhteellisen kosteutta käytetään kosteustarkasteluissa ja sen avulla rakennesuunnittelija voi myös arvioida vaurioriskejä rakenteessa. Ulkoilman kosteus- ja lämpötila-arvoja tarvitaan rakenteen kosteustarkasteluissa ja Suomessa ilmatieteenlaitos pitää tilastoja niistä. Sisäilman kosteudet riippuvat ulkoilman kosteudenpitoisuudesta, sisällä päästetyn kosteuden määrästä ja ilmapaihdon suuruudesta. Yksinkertaisuuden vuoksi voidaan myös käyttää Standardeja EN 13788 ja EN 15026, joissa sisäilman lämpötiloja on yksinkertaistettu vakioksi kokovuodelle tai tietyille ajanjaksoille. [11.]

Rakennusmateriaalit ovat aina jossain seuraavista olosuhteista. Ne ovat Absorptio-, desorptio- ja tasapainotilassa ympäristön kanssa. Absorptiossa rakennusaine ottaa kosteutta ympäristöstä ja desorptiossa rakennusaine luovuttaa kosteutta ympäristöön. Tasapainotilassa nimensä mukaan rakennusaine ei luovuta, eikä vastaanota kosteutta ympäristöstä. Yläpohjarakenteille pääasialliset kosteuslähteet ovat sadevesi, diffuusion aiheuttama kosteus ja konvektion kuljettama vesihöyry. Diffuusiota aiheuttaa paine-ero rakennusaineen molemmilla puolella. Diffuusion arvo riippuu aineen vesihöyryn läpäisevyydestä, kosteuserosta ja diffuusiomatkastasta. Konvektiossa vesihöyry siirtyy ilmapaikkien mukana. Tyypillisesti ilmapaikkien aikaansaamiseksi tarvitaan ilmapaikkien kulkureitti, joka voi olla reikä rakenteessa. Lisäksi tarvitaan ilmapaine-ero rakenteen eri puolilla. Paine-eroa aiheuttaa tuuli ja lämpötilaero. Lisäksi ilmanvaihtojärjestelmät aiheuttavat paine-eroja. Ilmapaine pyrkii tasoittamaan paine-eroa ja kuljettaa ilmaa korkeapaineesta matalaan kuljettaen mukaan myös vesihöyryä. Yläpohjarakenteessa konvektiota pysäytetään höyrynsululla. Se on olennainen ja tärkeä rakennekerros ja sen ehjänä pitämisestä on pidettävä huolta rakentamisvaiheessa. [10.]

Vesihöyry tiivistyy vedeksi rakenteiden pintoihin ja sisään kun se joutuu kosketukseen seinämiin, jotka ovat lämpötilaltaan pienempiä kuin ympäröivän ilman kastepiste. Nykyisin lämmöneristyskerrokset ovat paksuntuneet niin, että eristeen ulkopuolella on suurin piirtein kokonaan kylmä tila ja rakennuksen sisälämpö ei juuri pääse lämmittämään tuuletustilaa. Näin se vähentää kosteuden tiivistymistä rakenteen sisäpintaan. Olennaisinta

on varmistaa, ettei kosteus kerry vuosi vuodelta suuremmaksi. Tämä varmistetaan rakenteissa niin, että kuivumisajanjaksona kosteutta poistuu rakenteesta vähintään saman verran kuin tiivistymisjaksona. [10.]

5.2 Tuuletus

Tuuletus on tärkeä seikka rakenteiden kosteustekniselle toimivuudelle. Se on toistaiseksi ainoa keino poistaa kosteutta rakenteen sisältä. Kosteus poistuu yleensä kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa rakenteen pinta on kostea ja tässä vaiheessa kuivuminen tapahtuu vakionopeudella. Rakenteen pinta on kostea niin pitkään kuin sen kosteuspitoisuus on suurempi kuin sen kriittinen kosteuspitoisuus. Kuivumista hidastaa rakenteen kapillaarinen imukyky. Kriittinen kosteuspitoisuus ja kapillaarinen imukyky ovat aineelle ominaisia ominaisuuksia ja yläpohjarakenteessa eri eristemateriaalit kuivuvat eri nopeudella. Lisäksi kuivumisen nopeuteen vaikuttaa kosteusolosuhteet rakenteessa ja ympäristössä. Toisessa vaiheessa aineen kuivumisen nopeus heikkenee. Mitä kuivemmaksi se on kuivunut, sitä hitaammaksi se kuivuu, sillä kosteudet ovat syvemmillä rakenteessa. [10.]

Yläpohjarakenne voi joko olla perinteinen tuulettuva rakenne tai heikosti tuulettuva rakenne. Perinteisesti yläpohjassa on riittävän iso tuuletusväli, joka tarkoittaa vähintään 100 mm tuuletusväliä ja loivissa katoissa jopa 200-300 mm. Tässä opinnäytetyössä tutkittavat rakenteet ovat sellaisia, joissa ei ole niin suurta tuuletusväliä ja vedeneristys on suoraan lämmöneristeen päällä. Tämä tarkoittaa, että rakenne on heikosti tuulettuva. Kuitenkin tässäkin tapauksessa kattorakenteen kuivumismahdollisuus on varmistettu käyttämällä uritettuja lämmöneristeitä. [1.]

Kattorakenteista kosteutta poistetaan tyypillisesti räystäältä. Tapauskohtaisesti tuuletusta lisätään alipainetuulettimilla. Tarvittaessa tuuletustehoa voidaan myös lisätä koneellisella ilmanpoistolla. Kuitenkin ensisijainen vaihtoehto on suurentaa tuuletusaukkojen kokoa tai lisätä alipainetuulettimien määrää. Alipainetuulettimien toiminta perustuu ilmapainevirtausten synnyttämään ilmapaine-eroon. Tästä syystä tuulettimien teho riippuu ulkoilman tuulen nopeudesta. Tyypillisesti Suomessa pidetään ”nyrkkisääntönä”, että yhtä halkaisijaltaan 110 mm alipainetuuletin sijoitetaan joka 100-150 m² alueelle. Loivissa katoissa alipainetuulettimia sijoitetaan tiiviimmin ja se tarkoittaa tässä tapauksessa, että käytetään vaihteluvälin pienempää arvoa. [1.]

5.2.1 Tuuletusraot

Rakenteissa on tyypillisesti tuuletukselle tarkoitettua kerros. Se voidaan toteuttaa myös tuuletusraon avulla. Niillä on samaa tarkoitus, eli kuljettaa ilmaa rakoja pitkin ja poistaa kosteutta sitä kautta. Poistaakseen kosteutta, rakojen pitää olla yhteydessä ulkoilmaan ja näistä syistä yläpohjan suunnittelussa kaikki ilmaroot pitää suunnitella niin, että ovat avoimia ulkoilmalle. Suljetussa ilmaraossa ilma kulkee rakoja pitkin, mutta kosteudet pysyvät suljetun tilan sisällä. Tuuletuksessa pitää myös varmistaa, että liikkuva ilma sitoo kosteutta itseensä rakenteista. Näin tapahtuu, kun ilman vesihöyrypitoisuus on pienempi kuin materiaalipinnan vesihöyrypitoisuus. [11.]

Loivissa katoissa tuuletusraot toteutetaan tyypillisesti käyttämällä uritettuja lämmöneristelevyjä. Vaihtoehtoisesti voidaan myös käyttää kevytsoraa, joka on ilmaa läpäisevä kerros. Paloteknisistä syistä levyt ovat yleensä mineraalivillaa ja levyt sijoitetaan suoraan eristekerroksen päälle. Urat sijoitetaan mahdollisimman lähelle lämmöneristeitä ja ne ovat yhteydessä tuuletusrakoihin. Urat johdetaan katon harjalle, jossa kokoojakanava vie ilmaa poistoilma-aukkoihin, tässä tapauksessa tyypillisesti alipaineventtiileihin.

Tuuletuksen poistoaukot on sijoitettava mahdollisimman korkealle ja vastaavasti korvausilma-aukot mahdollisimman matalaan sijaintiin. Tuuletusaukon koolle on määrätty minimileveys, joka on vähintään 20 mm. Tärkeä syy näihin on saada mahdollisimman suuri korkeusero poisto- ja sisäänottoilma-aukoille ja mahdollisimman paljon ilmaa vaihtuu. Loivilla katoilla on haastava saada suuria korkeuseroja ilma-aukkojen välillä, kuitenkin ilma-aukkojen pitkät jännevälit auttavat tuuletuksen toimivuuteen. Lisää tehoa saadaan myös käyttämällä mahdollisimman korkeita alipainetuulettimia. [2.]

Taulukko 3. RIL 107-2012 Loivan katon tuuletuksen mitoitusohje.

Kattokaltevuus	Tuuletustilan korkeuden minimiarvo 1)	Ilmanottoaukot promillea/katto- m^2	Poistoaukot Promillea/katto- m^2
1:40 tai loivempi	300 mm	2,5	2,5
1:20-1:40	200 mm		

- 1) Minimituuletustilan korkeus ottaen huomioon lämmöneristeen muodonmuutokset ja työtoleranssit. Pienillä katoilla tai katon osilla tuuletusväli voi olla pienempi kuin taulukon arvo, mikäli poisto- ja korvausilma-aukoilla on riittävä korkeusero (> 500 mm) ja ilman

virtausmatka tuuletusvälissä on lyhyt (alle 3 m). Tällöinkin tuuletusvälin täytyy olla vähintään 100 mm.

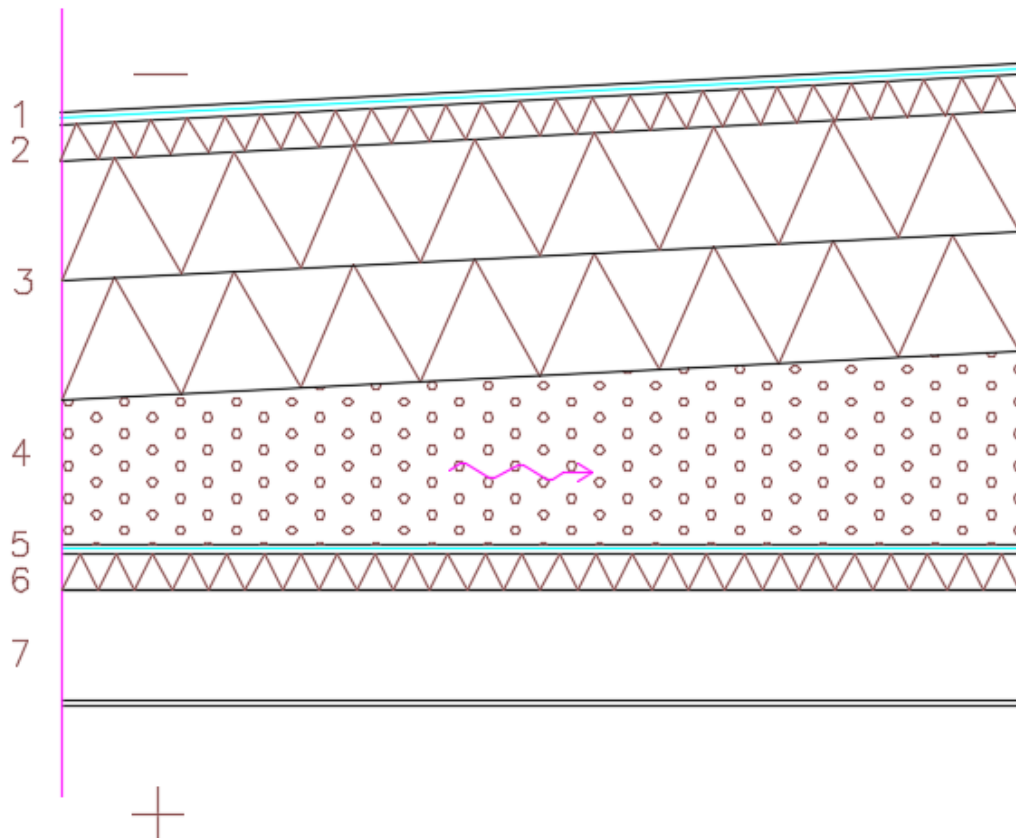
6 Yläpohjat

Yläpohja on rakennusteknisesti tärkein julkisivu koko rakennuksessa ja samalla sen ulkonäöllä on suurta merkitystä. Yläpohjiin kuuluu kantavarakenne, ilmasulku/höyrynsulku, vettä ja lämpöä eristävä rakenne, ja päällysrakenne. Päällysrakenteella erotetaan rakennuksen ylintä kerrosta ulkoilmasta. Lisäksi yläpohjassa esiintyy läpivientejä, veden poistorakenteita ja mahdollisesti myös tuuletustilaa. Tärkein ehto yläpohjan suunnittelussa on, että kaikki yläpohjarakenteen osat toimivat yhdessä moitteettomasti. [1.]

6.1 Betonilaattayläpohja

Yleisempiä betonilaattayläpohjia ovat ontelolaattayläpohja ja TT-laattayläpohja. Niiden käyttö on nopea ja eteenkin ontelolaatta on taloudellinen vaihtoehto suomessa kerrostalo rakentamisessa. Lisäksi kattoja tehdään myös paikallavalettuna betonista.

Betonilaattayläpohja ovat jäykkiä ja tukevia kattorakenteita ja samalla ovat hyvin höyrytiivisiä. Kuitenkin laattaan joudutaan tekemään läpivientejä ja muita aukkoja, jotka vähentävät tiiveyttä ja samalla höyrynsulun käytön tarve lisääntyy. Betonilaattayläpohjissa höyrynsulun materiaalien kestävyydelle esiintyy haasteita laattaan esiintyvien epätasaisuuksien, raudoituksien ja juotosbetonien karkeiden kohtien seurauksena. Ohuet höyrynsulut vaurioituvat helposti karkealla betonipinnalla jo asennusvaiheen aikana. Tällöin on parempi käyttää luotettavampia paksumpia bitumisia höyrynsulkuja. [1.]



Kuva 9. Mahdollinen betonilaattayläpohjarakenne.

1. Vedeneriste
2. Vesikatteen alusta
3. Lämmöneriste
4. Kallistukset
5. Höyrynsulku
6. Eristelevy (höyrynsulun alusrakenne)
7. Kantava rakenne

Tyypillisessä betonilaattayläpohjarakenteessa on Kuvan.8 mukaisia kerroksia. Rakenteessa materiaalit voivat vaihdella, kuitenkin niin, että toimivat tarkoituksen mukaisesti. Yläpohjan ylimpänä pintakerroksena voi olla kumibitumikermikate tai muovikate. Tärkeintä tälle kerrokselle on, että se pysyy kiinni yläpohjarakenteessa. Seuraavaksi on vedeneristeiden alustana toimiva kerros. Vesikatteen alustana toimii hyvin usein jäykkä mineraalivillakerros. Tälle vesikatteen alustakerrokselle on tärkeää, ettei se muodosta

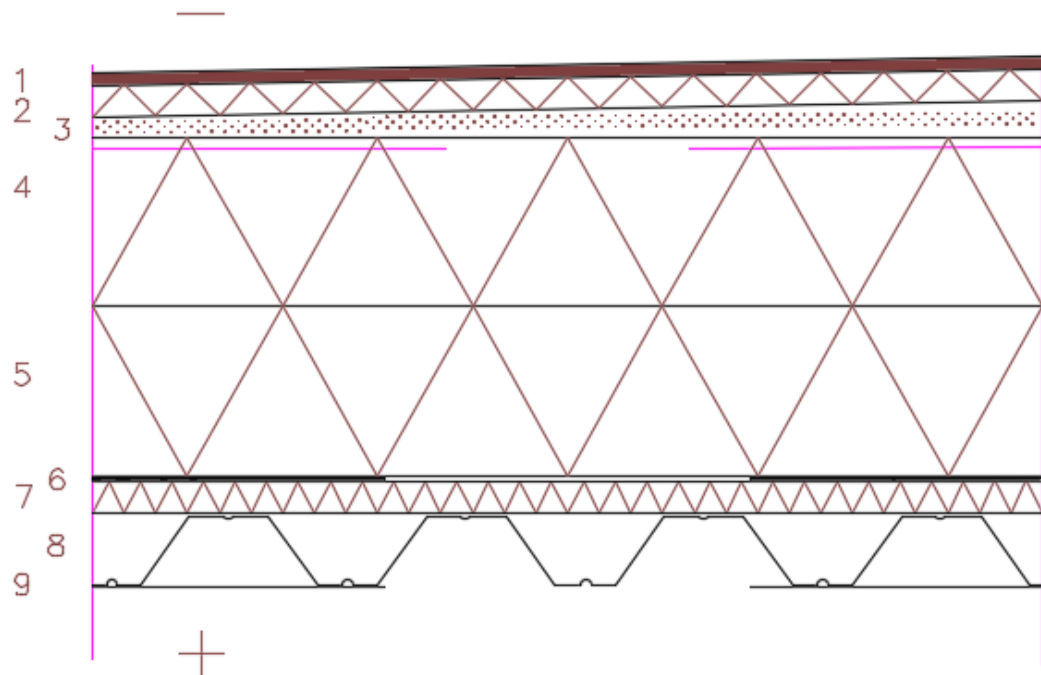
kuoppia ja muita tasaisuuksia, jottei vedeneriste pääse muodostamaan syvennyksiä aiheuttaen lammikoita. Hyvin usein vesikatteen alustan alla on tuuletustilaa, mutta loivissa katoissa, missä vedeneriste kiinnitetään suoraan eristeen päälle, on tuletus olematonta. Tällaisia rakenteita pidetään heikosti tuulettuvana rakenteena ja höyrynsululla on erityisesti merkitystä. Tästä syystä rakenteen kuivuminen pitää varmistaa muilla tavoilla kuin tuuletuksella. [1.]

Lämmöneristekerros sijoitetaan tyypillisesti tuuletustilan alle tai suoraan vedeneristekerroksen alle. Lämmöneristeenä käytetään hyvin monenlaisia eristemateriaaleja. Tässä opinnäytetyössä tarkistetaan vain PIR, EPS, XPS, mineraalivilla ja fenolilla valmistetut eristemateriaalit. Eristelevyt asennetaan siten, ettei niiden saumat kohdistu samoihin kohtiin ja limittämällä levyjä. Eristekerroksen alla voi olla yläpohjan kallistuskerros. Tässä kerroksessa tehdään katon kallistuksia ja vastakallistuksia perinteisesti työmaalla. Höyrynsulkukerroksessa saumat pitää olla höyryntiiviitä. On myös suositeltavaa käyttää bitumisia höyrynsulkuja betonilaatan päällä, koska muut muoviset materiaalit rikkoutuvat helposti betonilaatan päällä. Höyrynsulkumateriaalit ja vesieristeen pitää myös kestää mahdollisia yläpohjan liikkeitä. Alimmaisena on kantava betonilaatta ja mahdollisesti pintaverhoukset katossa. [1.]

Betonilaattayläpohjaan on hyvä rakentaa kattorakennetta, kun jäykkyys sallii monia erilaisia rakenteita. Se voi olla myös liikennöity alue, kun suunnitellaan liikenteelle. Tällöin kyseessä on käännetty kattorakenne missä vesieriste sijoitetaan eristekerroksen alle. Käännetyissä katoissa päällimmäisenä pintakerroksena toimii suunnittelukohteelle sopiva materiaali. Materiaali voi olla betonilaatta, kivetys, istutusmultakerros tai muu tarkoitukseen sopivaa pintamateriaalikerros. Tällä kerroksella suojellaan alempia yläpohjarakenteita ja on ensisijaisesti tärkeää, että tämä päällysrakenne kestää sille määrättyjä rasituksia. Pintakerroksen alla on tasauskerros ja betonilaatta ennen eristekerrosta. Tässä kerroksessa käytetään asennushiekkaa, maakostea betonia, kevytsoraa tai muita käyttöön soveltuvia materiaaleja. Tarvittaessa käytetään myös salaojaa. Eristekerroksen yllä oleva betonilaatta pitää olla säänkestävää betonia ja laatussa pitää olla tarvittavaa määrää saumoja. Lämmöneristemateriaalit sijoitetaan betonilaatan alle ja siihen kerrokseen kuuluu olla joko uritus vedenpoistoa varten tai vedenpoistokerros. Lämmöneristeiden tulee olla myös tarkoituksen mukaisia puristuskestävyyden suhteen. Eristeen alla on vedeneristys, kallistusbetoni ja kantavaa betonilaattaa. [8.]

6.2 Poimulevy-yläpohja

Poimulevy-yläpohja on kevytrakenne, jolla pääsee pitkiin jänneväleihin vähällä materiaalilla. Tämä yläpohjatyyppi on hyvin yleinen ratkaisu halli rakentamisessa. Yläpohjarakenteena poimulevy-yläpohja ei eroa paljon betoniyläpohjasta rakennusfysikaalisesti, kun oletuksena höyrynsulku erottaa kantavan rakenteen yläpuolisesta kerroksesta.



Kuva 10. Mahdollinen poimulevy-yläpohjarakenne.

1. Vedeneriste
2. Lämmöneriste / laakerikerros
3. Kallistukset
4. Lämmöneriste
5. Lämmöneriste
6. Höyrynsulku
7. Lämmöneriste (höyrynsulun alusrakenne)
8. Kantava rakenne
9. Pintamateriaali

7 Kiilaeristeyläpohja

7.1 Käyttökohde

Kiilamaista eristettä voidaan käyttää kaikissa kohteissa, jossa tarvitaan yläpohjan kallistuksia vedenpoistoa varten. Tyypilliset kohteet Euroopassa ovat olleet kerrostalot ja teollisuushallit, joissa on suuria kattopinta-aloja. Kohteissa esiintyy toistuvia vastakallistuskohtia ja ovat suhteellisen symmetrisiä kallistusmuotoja. Tyypillistä on myös, että suunnittelussa päätetään jo eristepalojen sijainti. Toteutuksessa noudatetaan vain asennusjärjestystä.

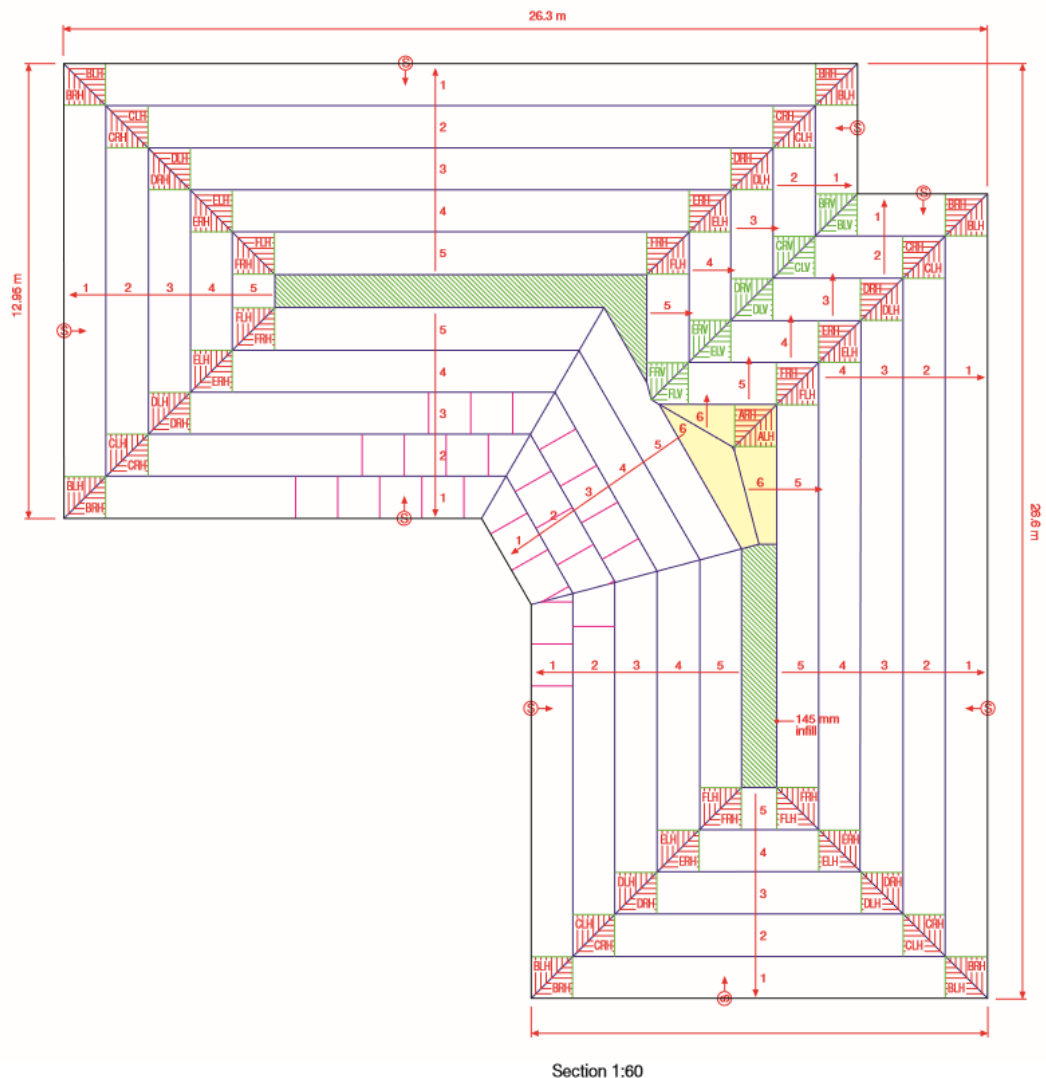
7.2 Ratkaisut ja käyttöperiaate

Yläpohjassa esiintyvistä haasteista yksi on saada vedet pois katolta halutulla tavalla. Kuitenkin yläpohjiin tulee vesilammikkoja syystä tai toisesta ja ajan kuluessa ne rasittavat yläpohjarakenteita. Yksi syy vesilammikkojen syntymiseen on yläpohjarakenteen epähomogeenisuus, joita muodostuu, kun kallistuksia tehdään eri materiaalista kuin eristeet, aiheuttaen eri vahvuusalueita yläpohjiin. Lumikuormat sitten rasittavat koko rakennetta ja seurauksena osa yläpohjasta painuu, jolloin syntyy kuoppia. Tällaisia tapauksia voidaan vähentää käyttämällä tasalujuuksista rakennetta ja vähentää epätasaista painumista. Tästä syystä vastakallistukset tehdään pääsääntöisesti samasta materiaalista, kuin kantavat rakenteet. Työmaalla toteutus voi kuitenkin osoittautua hankalaksi.

Kiilaeristekäyttökohteen toteutus on suunnittelupainotteinen ja työmaalla soveltamista on pyritty vähentää. Suunnittelulla pyritään minimoimaan työmaalla työstön osuuksia ja vähentää epätarkkuuksia toteutuksessa. Suunnitelmassa kerrotaan eristepalojen sijainti ja asennusjärjestys. Eri eristepaloille annetaan oma tunnus ja niiden paikat merkitään suunnitelmiin. Asentajat pystyvät laittamaan eristekappaleet oikeille paikoille suunnitelman perusteella ja samalla kallistukset muodostuvat suunnitelulla tavalla.

7.3 Tyypillinen rakenne

Yläpohjarakenteet pysyvät samanlaisina verrattuna muihin tavanomaisiin yläpohjaratkaisuihin. Ainoana erona on kallistuskerroksen vaihtuminen eristeeksi toimien samalla kallistusmateriaalina. Suomessa yläpohjarakenne voi olla seuraava. Kantava rakenne, joka voi olla tasainen tai valmiiksi kallistettu. Sen päällä voi olla tasaus kerros joka antaa suojaa höyrynsululle tai voi myös olla ilman höyrynsulkua, kun kantava rakenne on tarpeeksi tiivis. Niiden päällä on eristekerros, jossa kallistukset on valmiiksi tehty. Tuuletukset toteutetaan myös tässä kerroksessa. Eristeen päällä on tarvittava vesikatteen alusta ja vesieriste sen päällä.



Kuva 11. Tyypillinen kiilapalaeriste yläpohjan toteutussuunnitelma.

8 Simulointi

8.1 WUFI

WUFI (Wärme- Und Feuchtetransport Instationär) on saksalainen kosteusanalyysiohjelma. WUFI tekee realistisia simulointeja kosteuden ja lämmön siirtymisestä rakenteissa ottaen huomioon todellisia olosuhteita. Simuloinnissa olosuhteet ovat dynaamisia ja ilmastorasitukset muuttuvia eri ajanjaksona. Simuloinnilla voidaan arvioida kriittisiä kosteuskertymiä, riskialueita rakenteissa ja riskialttiita vuodenaikoja kosteuden kertymiselle. Simulointiin käytetään Wufi Pro 5 -ohjelmaa ja sen tulokset pätevät eurokoodin EN 15026 vaatimuksia. [12.]

WUFI:n tulokset eivät kerro rakenteen toimivuudesta, vaan niitä pitää tulkita muilla rakennusfysiikan tiedoilla. WUFI kertoo faasimuutoksia, kosteus ja lämpöarvoja eri ajanyksikköinä rakenteissa ja niitä tuloksia pitää osata tulkita. esimerkiksi homeen muodostumismahdollisuuksia selvitetään lämpötilan ja kosteuden perusteella.

8.2 Lähtöarvot

Tässä työssä tarkistetaan kahdenlaista kantavaa yläpohjarakennetta, betonilaattayläpohja ja poimulevy-yläpohja. Näille kahdelle yläpohjatyypeille suunnitellaan yläpohja kiilaeristettä käyttäen. Oletuksena on, että kantava osa on toteutettu normaalisti ja on kallistettu, kuten on tyypillistä suomessa. Vastakallistukset tehdään tapauksessa yksi betonivalua käyttäen ja tapauksessa kaksi käyttäen kiilaeristepaloja. Näistä molemmista ratkaisuista tehdään simulointi, saadaksemme selville, millaisia eroavuuksia näissä kahdessa erilaisessa tapauksessa esiintyy.

Lisäksi simuloidaan kolmas tapaus, jossa yläpohjassa on tehty vastakallistukset kiilaeristepaloja käyttäen, kuitenkin ilmavaihtoa suurentaen, kunnes kosteuspitoisuusarvot lähenevät tapausta yksi. Pidän tätä tapausta toteutuskelpoisena Suomessa, koska suomessa kantavat yläpohjarakenteet suunnitellaan hyvin usein tällä tavalla.

Taulukko 4. Taulukko WUFI-simuloinnilla tutkittavia vaihtoehtoja tutkimustapauksista, eristämateriaalista ja kantavista rakenteista.

		Betonilaatta
Tapaus 1	PIR	x
Tavallinen tapaus, jossa on käytetty betonivalua vastakallistuksen tekemiseen.	EPS	x
	XPS	x
	Villa	x
	Fenoli	x
Tapaus 2	PIR	x
Kiilaeristeellä toimiva malli, jossa vastakallistukset tehdään kiilapalaeristeitä käyttäen.	EPS	x
	XPS	x
	Villa	x
	Fenoli	x
Tapaus 3	PIR	x
Kuten tapaus 2, mutta ilmanvaihtolukua suurennettu kunnes saavuttaa tapauksen 1 kaltaisia tuloksia	EPS	x
	XPS	x
	Villa	x
	Fenoli	x

Tutkimuksessa tutkitaan kuvitteellisesta hallirakennusta, jotta saataisiin tyypillistä yläpohjarakennetta betonilaatoille ja poimulevyille. Oletetaan myös, että rakennus sijaitsee Helsingissä ja hallin sisälämpötila pysyy vakiona vuodenympäri. Rakennuksen muihin rakenteisiin ei oteta kantaa ja poimulevy-yläpohjan ja betonilaattayläpohjan kantavana-rakenteena toimii rakenteelle sopiva järjestelmä. Betonilaattana näissä tarkasteluissa käytetään ontelolaattoja. Molemmissa yläpohjassa oletetaan olevan vakio määrä vastakallistuksia ja läpivientejä. Kallistuskulmat ovat samoja molemmissa yläpohjatyypissä. Vesieristeenä toimii bitumikermikate.

Simuloinnissa käytetään seuraavia dimensioita rakennekerroksille.

Taulukko 5. Simuloinnissa käytetyt materiaalit ja niiden paksuudet

1	Vedeneriste	10mm
2	Vesikatteen alusta	-
	Tuuletus	20mm
3	Lämmöneriste	400mm
4	Höyrynsulku	1mm
5	Kallistukset	70mm
6	Eristelevy	20mm
7	Kantava rakenne	-

Teoreettisessa tarkastelussa kantava rakenne ei ole tärkeä tekijä kosteusteknisen toimivuuden kannalta, kun höyrynsulku erottaa yläpuolella olevan kerroksen sisäpuolisesta kantavasta rakenteesta. Tätä asiaa todistetaan tarkastelemalla rakennetta ilman kantavaa rakennetta. Kuitenkin kaikissa muissa WUFI tarkasteluissa mallinnetaan kaikki yläpohjakerrokset ja tarkastelu tehdään koko rakenteelle.

Tarkastelussa ei myöskään oteta kantaa todellisen rakenteen vastaavuutta mallinnettuun rakenteeseen, vaan tässä keskitytään ainoastaan kiilamaisen eristerakenteen vaikutuksen. Tällaista rakennetta tutkitaan yleensä vertailemalla kattorakenteen eri paksuisen eristekerroksen vaikutusta. WUFI simuloinnissa tätä tutkitaan paksuntamalla eristerakennetta kallistuskorkeuden verran ja vertaillaan tätä arvoa alkuperäiskorkeudesta saatuun arvoon. WUFI:lla saatu tulos ei tule kuvaamaan kiilamaista rakennetta, vaan tulos on eräänlainen maksimi arvo.

8.2.1 Simulaation lähtötiedot

WUFI:iin kuuluu syöttää tietoja tutkittavasta rakenteesta ja sen oikeellisuus on tärkeä tekijä simuloinnissa. Ensimmäisenä kuuluu määrittää materiaalikerroksien ominaisuudet ja niiden paksuudet. Materiaaliarvoista pakolliset ominaisarvot ovat materiaalin raakatiheys, huokoisuus, ominaislämpökapasiteetti, lämmönjohtavuus ja vesihöyryndiffuusiovastuskerroin. Niiden lisäksi voidaan määrittää lisäominaisuuksia, kun tiedot niistä löytyy. Lisätiedot ominaisuuksista on aina suositeltavaa käyttää. WUFI-ohjelmalla on omaa materiaalikanta, mutta niiden paikkansapitävyydestä ei voi olla varmuutta, kun materiaalivalmistajat kuitenkin antavat tarkempia materiaaliominaisuustietoja. Toistaiseksi on huomattu, että WUFI:n materiaalitiedot ovat puutteellisia. Materiaalitiedon lisäksi on

määritettävä rakennuksen sijainti, ilmasuunta, rakennuskorkeus ja kallistuskulma. Kun kyse on yläpohjasta, riittää ilmasuunnaksi se suunta mihin katto kallistuu.

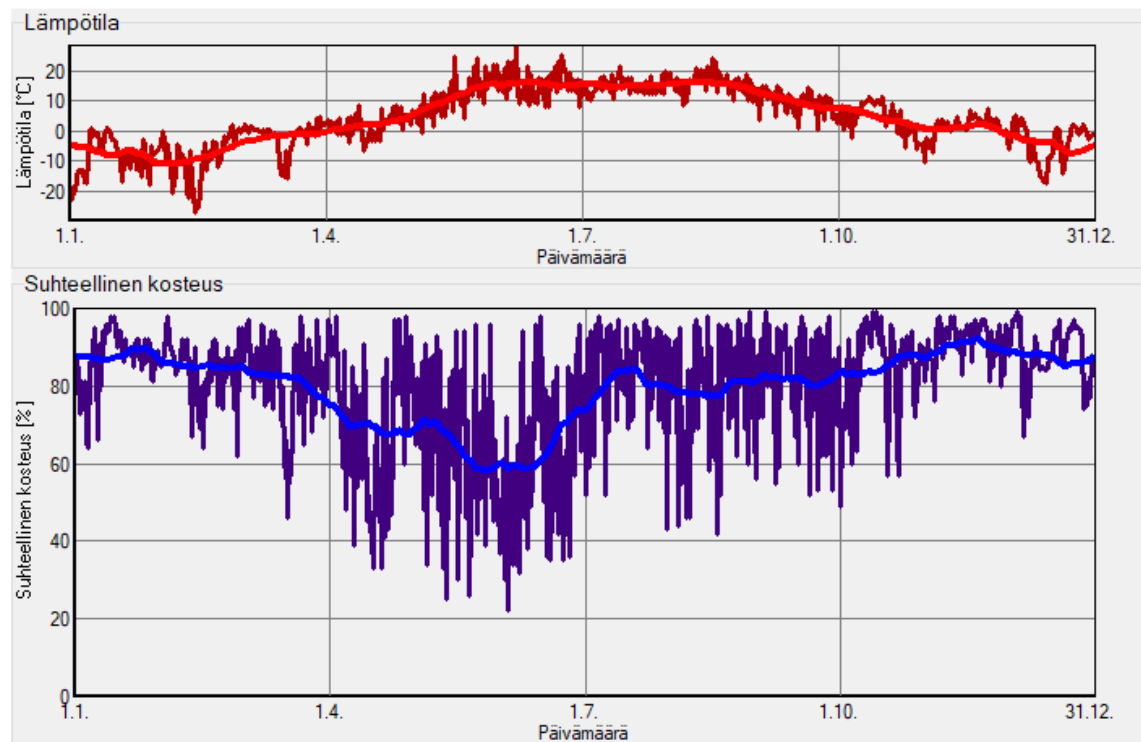
WUFI:n simuloinnissa tarvitaan tietoja myös rakennuksen sijainnista ja rakenteen suunnasta. Tässä työssä määritetään sijainniksi Helsinki ja ilmasuunnaksi etelää. Rakennuskorkeudeksi on valittu matala ja rakenne on 0° kulmassa. Pinnan siirtokertoimenä käytetään WUFI:n antamia kuvan mukaisia oletusarvoja. SD-arvoja ei määritetty, kun kerrokset on mallinnettu. Alkuolosuhteet on määritetty vakioksi koko komponentissa.

Rakenne/Monitorointipisteet	Ilmansuunta/Kallistuskulma/Korkeus	Pinnan siirtokertoimet	Alkuolosuhteet
Ulkopinta (vasen puoli)			
Lämmönvastus [m ² K/W]	0,0526	Katto	
sisäiltää pitkäaaltoisen säteilyn osat [W/m ² K]	6,5		
tuulesta riippuva	<input type="checkbox"/>	...	
SD-arvo [m]	----	Ei pinnoitetta	Ohje: Tämä asetus ei vaikuta sateen absorptioon
Lyhytaaltainen absorptiokerroin [-]	0,88	Kate, Bitumikermi	
Pitkäaaltoisen säteilyn emissiokerroin [-]	----		
Explisiittinen säteilytase	<input type="checkbox"/>	...	Huom! Tämä optio huomioi pitkäaaltoisen säteilyjäähymisen. Ilmiön tarkka arviointi voi edellyttää riittävän tarkkoja vastasäteilyn säätietoja.
Maan lyhytaaltainen heijastus [-]	0,2	Standard value	
Sateen absorptiokerroin [-]	1,0	Riippuen komponentin kallistuksesta	
Sisäpinta (oikea puoli)			
Lämmönvastus [m ² K/W]	0,125	(Katto)	
SD-arvo [m]	----	Ei pinnoitetta	

Kuva 12. Pinnan siirtokertoimet.

8.2.2 Ulkoilmasto

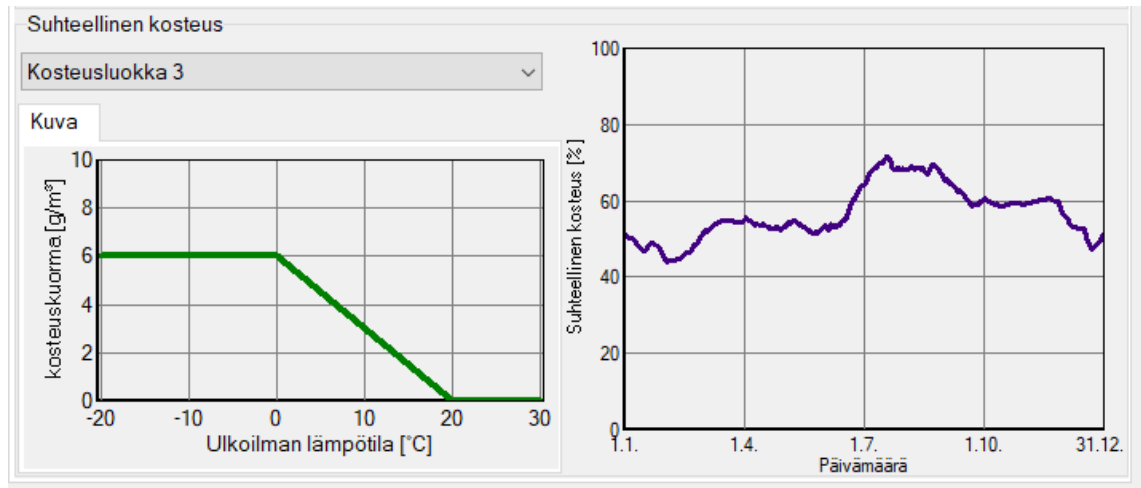
Simuloinnissa käytetään Helsingin lämpötiloja ja suhteellista kosteusarvoja WUFI:n antama arvon mukaan, joka on saatu ilmatieteenlaitokselta. Kaikissa tapauksessa rakenteen paksuuksia pyritään pitämään samana, lukuun ottamatta kantavan betonilaatan ja poimulevyn paksuutta.



Kuva 13. Helsingin kaupungin lämpötila ja suhteellinen kosteus kaavio

8.2.3 Sisäilma olosuhde

WUFI:n lähtöarvoksi sisäilmaolosuhteeksi käytetään eurokoodi EN 13788 mukaistaa ilmastoa. Oletuksena sisälämpötila pysyy vakiona ja tässä tapauksessa käytetään 20 asteen lämpötilaa. Suhteellisen kosteuden seuraavan kosteusluokka 3 mukaista käyriä.



Kuva 14. Sisäilmaolosuhteen suhteellinen kosteus.

8.2.4 Tuuletus

WUFI-simuloinnissa tuuletusta voidaan mallintaa ilmanpoisto lähteenä. Ilmanpoistoa voidaan kuvata jatkuvasti muuttuvana, kuten on todellisuudessa tai staattisena muuttumattomana yksikkönä. Tässä opinnäytetyössä käytetään yksinkertaisuuden vuoksi ilmavaihtolukua 1/h mallinnetussa mineraalivillakerroksesta. Mineraalivillakerros mallinnettiin ohuempana, jotta saataisiin ilmanvaihtoluku todellisempänä. Todellisuudessa kyseinen ilmakerroksen tilavuus on vieläkin pienempi.

8.3 Tulosten tulkinta

WUFI-simuloinnin tuloksia esitetään liitteissä. Liitteistä selviää eri eristemateriaalilla tutkitut simulointitulokset betonilaattayläpohja rakenteesta. Poimulevy-yläpohja rakenteesta ei liitetty mukaan, kun tulokset ovat melkein samoja kuin betonilaatoilla. Liitteitä on 6 kappaletta, joissa jokainen eristeen tuloksia esitellään omissa liitteissä. Jokaiselle eristeelle on tutkittu kolme tapausta. Jokaisesta tapauksesta löytyvät tulostaulukot ja kuvaajat, jotka kertovat rakenteiden kosteuspitoisuudet. Liitteissä olevat taulukot kertovat kokorakenteen alku- ja lopputilanteen kosteusarvot. Lisäksi on kolme kuvaajaa, jotka kertovat lämmöneristekerroksen kosteuspitoisuuden vaihtelua tarkasteluajalta. Sekä lämpötilan ja suhteellista kosteutta kuvaavaa kuvaajaa eristekerroksen ulko- ja sisäpinnasta.

Simuloinnissa ilmeni kaikkien lämmöneristeiden ja kaikkien kolmen eritapauksen osalta kosteuspitoisuuden pienenemistä ajan mittaan. Kuivumisnopeudet vaihtelevat materiaaleittain ja vuosivuodelta vuodenaajasta johtuvat kosteusvaihtelut pienenevät. Suurinta kosteusvaihtelua esiintyy mineraalivillaeristetapauksissa ja niissä ensimmäisen vuoden jälkeen kosteusvaihtelut tasoittuvat. Muut EPS-, XPS-, PU- ja Fenolieristeillä Kosteudenpitoisuudet pienenevät suhteellisen samanlaista käyrää pitkin. Lämpötila-arvot eristemateriaalissa sen sijaan muuttuvat kaikissa tapauksessa samanlaista käyrää pitkin ja vaihtelevat vain vuodenaajan mukaan. Lämpötilakäyrästä voidaan päätellä, ettei eristemateriaalien eristysominaisuudet ole heikentynyt merkittävästi kosteuden seurauksena. Tätä kosteuden pienenemistä voidaan nähdä liitteissä 1,2,3,4,5 ja 6 olevista kuvaajista 1.

Lämmöneristeiden kuivumista kuvaavista kuvaajista nähdään, että tutkitusta rakennetyypistä kosteuspitoisuudet pääsevät pois ja pitoisuusarvot pienenevät viiden vuoden tutkimusajalla. Samanlainen rakenteen kuivuminen tapahtuu kaikissa tutkituissa kolmessa tapauksessa, kaikilla eristetyypeillä. Kuvaajista voidaan päätellä rakennetyypin toimivan myös eristekerroksen lisäyksen jälkeen. Kuitenkin tarkemmin tarkasteltuna huomaa liitteissä, että ykköstopauksen ja kakkostapauksen välissä on eroja loppukosteuspitoisuus arvoissa. Polyuretaanieristeen tuloksen esittävästä liitteestä 1 nähdään, että lämmöneristeiden alkukosteuspitoisuudet ovat $1,79 \text{ kg/m}^3$, joka on samalla lämmöneristeiden maksimikosteuspitoisuuden arvo kaikissa kolmessa tapauksessa, mutta minimiarvot viiden vuoden ajalta ovat erilaisia. Tapauksessa 1, lämmöneristeen minimikosteusarvoksi saatiin $0,44 \text{ kg/m}^3$ ja eristelisäyksen jälkeen tapauksessa 2 saatiin minimikosteusarvoksi $0,52 \text{ kg/m}^3$. Joten tästä voidaan päätellä kosteuden lisääntyvän lämmöneristepaksuuden lisääntyessään. Samanlaista kosteuden lisääntymistä nähdään myös muilla eristetyypeillä, joita esitetään liitteissä 2, 3, 4 ja 5.

Tapaus 3:n avulla yritettiin suurentaa tuuletuksen ilmanvaihtolukua, jotta saataisiin selville, kuinka paljon tuuletusta pitää suurentaa, jotta 2-tapauksen kosteusarvot tulisivat samanlaisiksi kuin ykköstopauksen. Ensimmäisenä kokeiltiin lisätä tuuletusta kuvaavaa ilmanvaihtolukua 0,5:lla ja saatiin selville, etteivät 2-tapauksen kosteusarvot kasva 1-tapauksen arvoiksi. Sen jälkeen kokeiltiin vielä suurentaa ilmavaihtolukua 2/h:ksi ja silloin saatiin 2-tapauksen kosteusarvojen lähenemään 1-tapaukseen. Tästä voidaan päätellä, että yläpohjan tuuletusta on lisättävä käyttäessään kiilapaloja kallistuksien tekemiseen, kun oletuksena on lämmöneristeen lisäys nykyisiin rakennetyyppeihin.

Lisätuuletustarpeesta on erilaisia arvoja eri eristemateriaaleille. Kyseiset käytetyt ilmavaihtoluvut on esitetty liitteissä ennen tulostaulukkoja. Tuloksista on huomioitava, että näissä tarkasteluissa kiilapaloja ei ole mallinnettu kiilamaista rakennetta, vaan mallinnettiin tasaista, joiden määrä olisi monikertainen verrattuna todelliseen kallistusratkaisuun. Todellisuudessa on odotettavissa paljon pienempää ilmavaihtoluvun lisäyksen tarvetta. Tämän tarkastelun tuloksen antamat arvot ovat eräänlaista maksimiarvoa.

Liitteessä 6 on kosteuspitoisuuden tarkastelu ilman kantavia rakenteita mallinnettuna ja mallissa on ainoastaan höyrönsulun yläpuolella olevat rakennekerrokset. Tuloksissa näkyy, että lämmöneristeen kosteuspitoisuudet ovat lähes identtisiä, joka tarkoittaa eristerokoksen kosteuden näkökulmasta väin höyrönsulun yläpuolella olevilla rakenteilla on merkitystä.

8.4 Huomioita

Tutkimuksen pohjalla suunnitellessaan kiilapalayläpohjia, on huomioitava tutkimustuloksen rajallista pätevyyttä. Tulokseen vaikuttivat tutkimuksen luonne ja oletettujen oletuksien pätevyys muissa tilanteissa. Suunnittelijan on myös otettava huomioon eri materiaalien omia hyviä puolia ja niiden sopivuutta erilaisissa yläpohjaratkaisuissa. Todellisuudessa yläpohjat myös suunnitellaan kohdekohtaisesti käyttäen kohteelle sopivia ratkaisuja. Eristeen valintaan vaikuttaa myös niiden hinta ja käytettävyys. Tutuilla rakenteilla on myös yleensä pienempi riski tehdä virhettä ja asennus sujuu myös nopeammin, joka taas vaikuttavat kokonaishintaan.

Kiilaeristeellä haastavina seikkoina toimii ratkaisun huono tuntemus Suomessa ja tiedon puute referenssikohteista. Jos halutaan käyttää kiilaeristeratkaisuja, on rakennesuunnittelijalla ja tilaajalla suuri vaikutusvalta ratkaisun käyttämisestä. Kattourakoitsijat myös mahdollisesti tarvitsevat koulutuksia aiheesta ja kokemuksia urakan toteutuksesta ja hinnoittelusta.

Yhtenä tärkeänä huomioitavana on eristerokosten asennus. Suomessa niitä asennetaan, niin ettei saumat pääty samaan kohtaan eri kerroksien välissä. Kiilaeristeen suunnittelussa on tämä seikka otettava huomioon ja limittää saumat.

9 Kiilapala-yläpohjatyypit

9.1 Ehdotus

Tämä opinnäytetyön tehtyä yleisesti voidaan todeta, että kiilapala eristeellä on yhtä hyvät mahdollisuudet toteuttaa yläpohjia Suomessa. Toteutukselle ei ole laillisia esteitä ja rakennusfysikaalisesti toimii yhtä hyvin kuin tavanomaiset loivat katot. Tästä syystä voidaan suunnitella yläpohjan eristystä samalla tavalla kuin muut loivat yläpohjat. Halutessa voidaan myös ottaa huomioon kiilaeristepalojen lisälämmöneristys U-arvon laskennassa. Kiilapalojen lisälämmöneristys voi tulla merkittäväksi tekijäksi suurpinta-alaisten yläpohjien osilla, joissa on käytetty paljon kiilapalaeristeitä vastakallistukseen. On toivottavaa, että tuotetoimittajat pystyvät antamaan U-arvoja omille eristeille ja rakennetyypeille samalla tavalla kuin nykyisen loivan katon rakennetyypit.

9.2 Lisäselvitystarve

Lisäselvityksessä olisi tarvetta tehdä yksittäisille eristemateriaaleille käyttäen eristetoimittajien kaikki materiaaliarvot ja saada tarkkaa tulosta todellisesta rakenteesta. Tällaista on hyvä tutkia Suomessa toteutetuista rakennuksista mittauslaitteilla ja vertailla mittaus tuloksia suunniteltuihin laskelmiin. Tällöin voidaan johtopäätökset todeta oikeiksi. Tämän opinnäytetyön tulokset antavat vain yleistä kuvaa ja sitä mikä on odotettavissa, kun lähdetään toteuttamaan kiilapalaeristeillä yläpohjia.

10 Yhteenveto

Loivat katot ovat hyvin yleisiä yläpohjaratkaisuja suomessa ja tähän asti niissä kallistukset toteutetaan erilaisilla rakennelmilla ja täytteillä. Tyypillisesti loivaa yläpohjaa suunnitellaan yläpohjalaattojen kallistuksilla ja samalla tehdään vastakallistuksia ohjaamaan vedenpoistoa. Kuitenkin on myös mahdollista toteuttaa koko kallistus käyttäen ainoastaan eristemateriaaleja. Jälkimmäisessä tapauksessa yläpohja on suunnittelupainotteinen ja hyvin pitkälti päätetään yläpohja rakenteesta jo suunnitelmassa. Tästä johtuen työmaan kattokaltevuuksien suunnittelu ja toteutus ovat hyvin vähäistä. Näin toteutetulla hyvällä suunnitteluilla voidaan vähentää työmaalla työnaikaista riskiä tehdä vääriä valintoja toteutuksesta.

Työn tarkoituksena oli selvittää seikkoja, joita pitää ottaa huomioon suunniteltaessa yläpohjarakenteita kiilapalaeristettä käyttäen. Huomioitavana oli muun muassa lailliset mahdollisuudet, fysikaaliset tekijät ja toteutuksen haasteet. Työn tuloksena saatiin selville, ettei kiilapalaeristeillä ole laillisia esteitä ja sillä on samat määräykset kuten muilla loivilla yläpohjilla. Samoin fysikaalisesti on mahdollista toteuttaa ja jopa saada lisälämmöneristystä kallistuspalloista. Samoin kosteusteknisesti se toimii yhtä hyvin kuin muut loivan katon toteutustavat. Tätä kosteusteknistä toimivuutta tutkittiin WUFI-simuloinnilla ja tulokset olivat odotetusti järkeviä. Tutkimuksesta saatiin selville, että yläpohjarakenteet kuivuvat ajan mukaan. Varsinaista työn toteutusta ei voitu tarkempaa tutkia, koska toteutuksesta ei ollut kokemuksia Suomessa. Kuitenkin on todettavissa toteutuksen onnistuvan, kun tilaajapuolelta sellaista toivotaan.

Opinnäytetyön teko on minun mielestä onnistunut erittäin hyvin ja työn tavoitteet saavutettiin lopulta. Kuitenkin työn edetessään, tavoitteita jouduttiin selventämään ja rajaamaan tarkemmin opinnäytetyön sisältöä. Esimerkiksi työn edetessään huomattiin, ettei ole järkevä tutkia selviä tapauksia ja saada samoja tuloksia, kuten oli poimulevy-yläpohjan kosteustekniikka, joka oli samanlainen kuin vastaava betoni-yläpohjan kosteusarvot. Henkilökohtaisestikin pidän itseäni kehittyneempänä opinnäytetyön teon jälkeen ja työ on opettanut käyttämään uusia ohjelmia sekä kehittänyt tutkimustaitoja.

Lähteet

- 1 Kattoliitto. Toimivat katot 2013. Saatavilla kattoliiton www-sivulla 10.8.2017 http://www.kattoliitto.fi/files/504/Toimivat_Katot_2013_reduced_size_.pdf
- 2 RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2012
- 3 RT 85-10851, Loivat Bitumikermikatot. RT-kortti. Rakennustietosäätiö RTS
- 4 SFS-EN ISO 6946:2017, Rakennusosat. Lämmönvastus ja lämmönjohtavuus. Laskentamenetelmät, englannin kielinen versio.
- 5 RT 05-10710, Kosteus Rakennuksissa. RT-kortti. Rakennustietosäätiö RTS TK212.
- 6 Suomen säädöskokoelma. 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Saatavilla www-sivulla 11.09.2018, <http://www.ym.fi/download/noname/%7BFD99E48D-F28B-452E-8175-29EA77ABD4CA%7D/133872>
- 7 Siikanen Unto, 2014, Rakennusfysiikka Perusteet ja sovelluksia, Rakennustieto Oy, Tampere 2014.
- 8 RT 83-11010, Yläpohjarakenteita, RT-kortti, Rakennustietosäätiö RTS TK212.
- 9 782/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta, Saatavilla www-sivulla 11.09.2019, <http://finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>
- 10 Björkholz, Dick, 1997, Lämpö ja kosteus, Rakennustieto Oy, Helsinki 1997
- 11 VTT-CR-00711-18, Drying studien of concrete wall element with kooltherm insulation. Research report.
- 12 Wufi Pro 5 -pätevyys, Saatavilla www-sivulla 11.09.2018, <https://wufi.de/en/software/validation/>
- 13 Hygrothermal performance of building components and building elements - Assessment of moisture transfer by numerical simulation, 2007, Standardi SFS-EN 15026, Suomen Standardisoimisliitto SFS

Polyuretaanieriste, tapaus 1(Ilmavaihtoluku 1/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 12.02.42
Laskennan kesto	1 min,39 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergoituvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,7 0,34
Tase 1	[kg/m ²]	-2,58
Tase 2	[kg/m ²]	-2,59

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	31,15	28,53	28,25	31,15

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,02
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,01
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	0,88	0,35	3,40
*PU(Lämmönj.: 0.022 W/mK - Tiheys	1,79	0,52	0,44	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	1,79	1,72	2,09
*Kallisukset	37,40	36,98	36,98	37,45
Betoni, C35/45	75,00	69,41	68,73	75,00

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-112,73
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-115,18
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	2,09

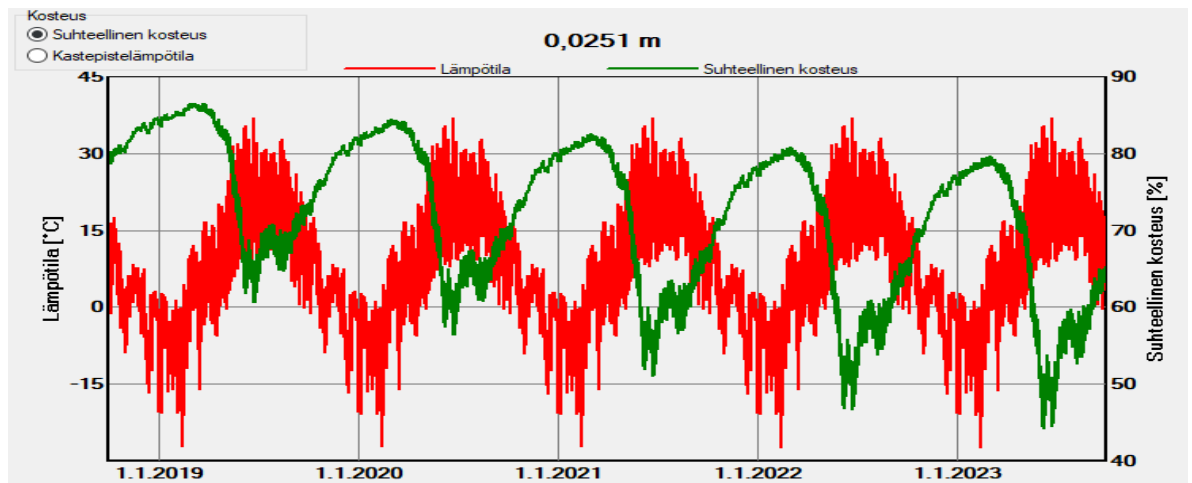
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-2,69
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-2,69
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,526
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,526

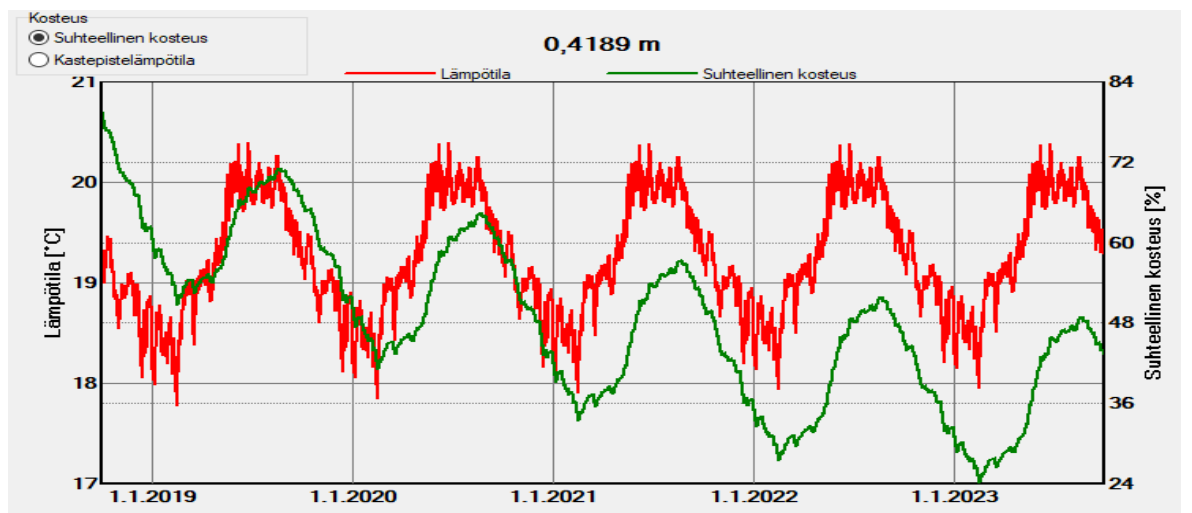
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalta.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Polyuretaanieriste, tapaus 2(Ilmavaihtoluku 1/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 12.04.21
Laskennan kesto	1 min,39 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,71 0,35
Tase 1	[kg/m ²]	-2,66
Tase 2	[kg/m ²]	-2,66

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	28,66	25,96	25,69	28,66

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	0,91	0,40	3,15
*PU(Lämmönj.: 0.022 W/mK - Tiheys	1,79	0,56	0,52	1,79
*Höyrünsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	1,66	1,62	2,00
Betoni, C35/45	75,00	69,32	68,65	75,00

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-97,91
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-100,36
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	2,1

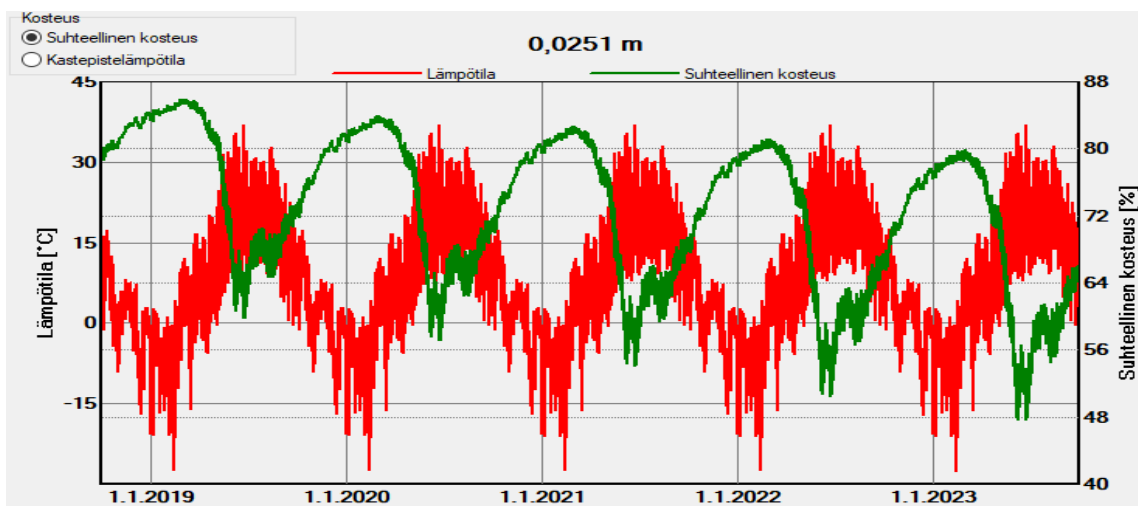
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-2,66
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-2,66
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,592
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,592

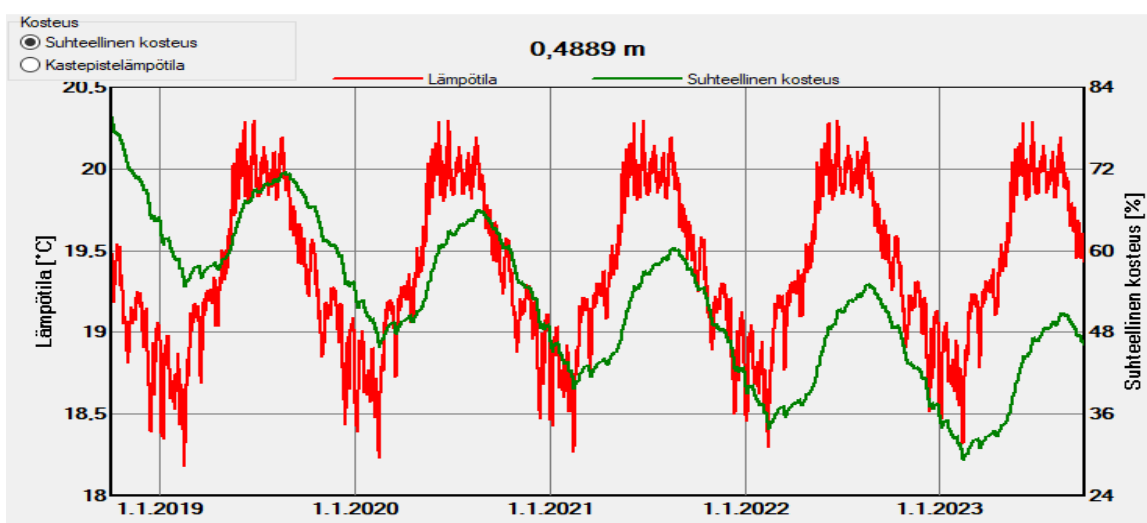
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalta.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Polyuretaanieriste, tapaus 3(Ilmavaihtoluku 2/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 12.06.01
Laskennan kesto	1 min,37 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,71 0,35
Tase 1	[kg/m ²]	-2,67
Tase 2	[kg/m ²]	-2,68

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	28,66	25,95	25,65	28,66

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	0,97	0,27	3,06
*PU(Lämmönj.: 0.022 W/mK - Tiheys	1,79	0,53	0,45	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	1,66	1,62	2,00
Betoni, C35/45	75,00	69,32	68,65	75,00

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-94,89
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-99,98
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	2,1

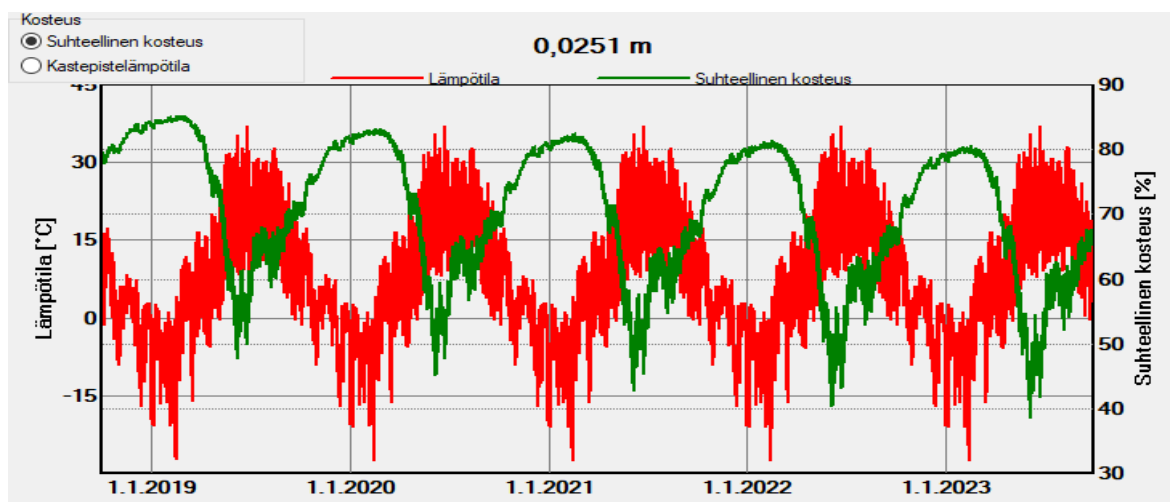
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-5,3
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-5,3
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,615
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,615

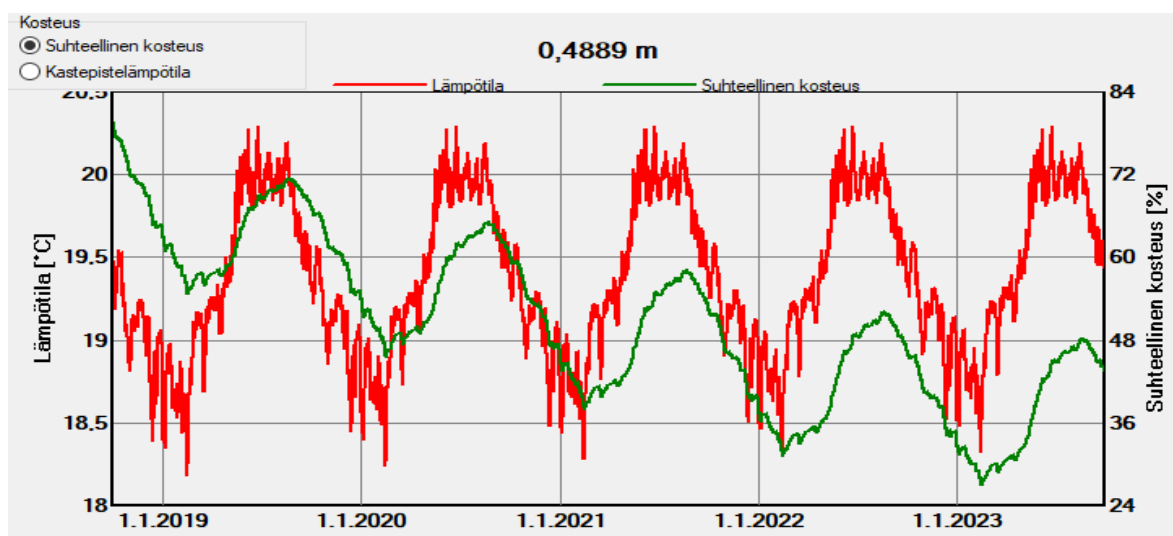
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalta.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Mineraalivillaeriste tapaus 1(Ilmavaihtoluku 1/h)**Laskennan tilanne**

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 13.49.29
Laskennan kesto	1 min.40 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergoituvirheiden lukumäärä	1

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0.0 -0.01
Virrat s (kr.dr)	[kg/m ²]	1.69 0.34
Tase 1	[kg/m ²]	-2.54
Tase 2	[kg/m ²]	-2.57

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	31.15	28.57	28.26	31.15

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0.00	0.00	0.00	0.21
Kattopinnoite V13	0.00	0.00	0.00	0.03
*Mineraalivilla (Lämmönj.: 0.035 W/mK)	1.79	1.34	0.21	24.95
*Mineraalivilla (Lämmönj.: 0.035 W/mK)	1.79	0.54	0.37	1.79
*Höyrönsulkumuovi, (LDPE) 0.4 mm	0.00	0.00	0.00	0.00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK)	1.79	1.83	1.71	2.24
*Kallisukset	37.40	37.00	37.00	37.46
Betoni, C35/45	75.00	69.45	68.77	75.00

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-160.24
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-163.31
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0.01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	2.07

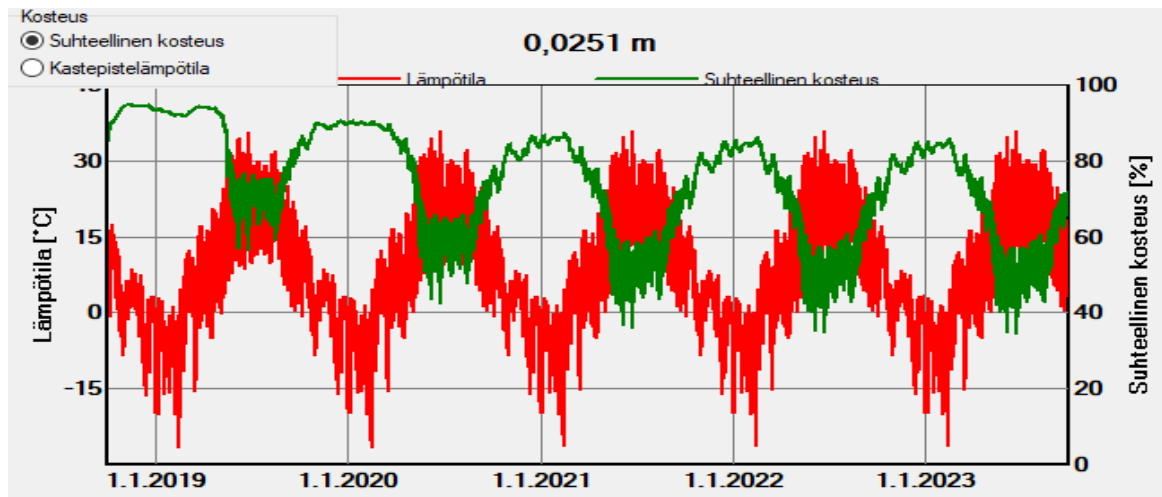
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-2.83
Lähde 1 (Ilmavaihtolähde)	[MJ/m ²]	-2.83
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0.531
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	0.0
Lähde 1 (Ilmavaihtolähde)	[kg/m ²]	-0.531

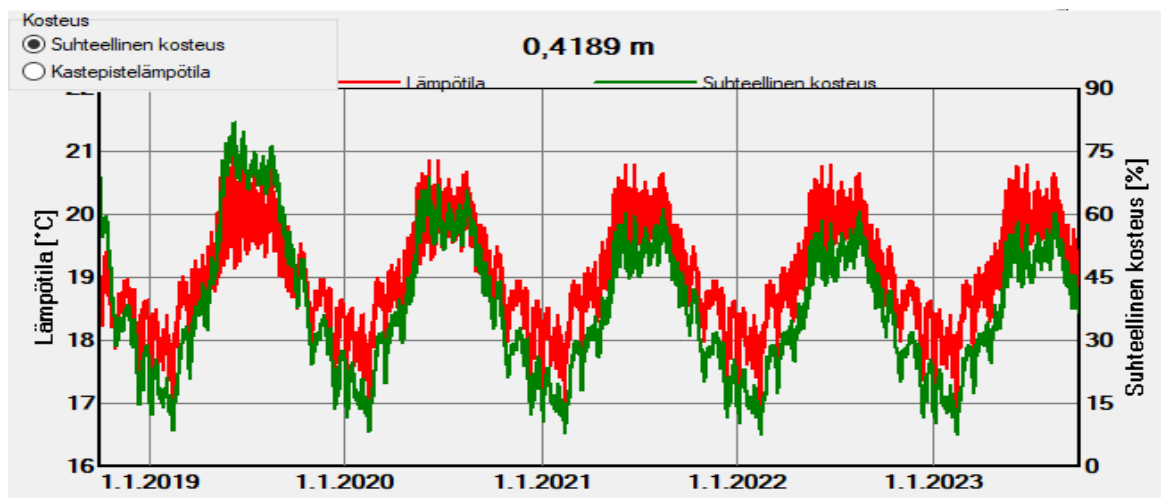
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalla.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Mineraalivillaeriste tapaus 2(Ilmavaihtoluku 1/h)**Laskennan tilanne**

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 13.51.10
Laskennan kesto	1 min,40 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergointivirheiden lukumäärä	1

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,7 0,34
Tase 1	[kg/m ²]	-2,64
Tase 2	[kg/m ²]	-2,67

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	28,66	25,98	25,67	28,66

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,21
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
*Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,035 W/mK)	1,79	1,32	0,22	27,94
*Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,035 W/mK)	1,79	0,54	0,39	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK)	1,79	1,69	1,62	2,10
Betoni, C35/45	75,00	69,36	68,69	75,00

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-139,05
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-142,14
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,02
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	2,08

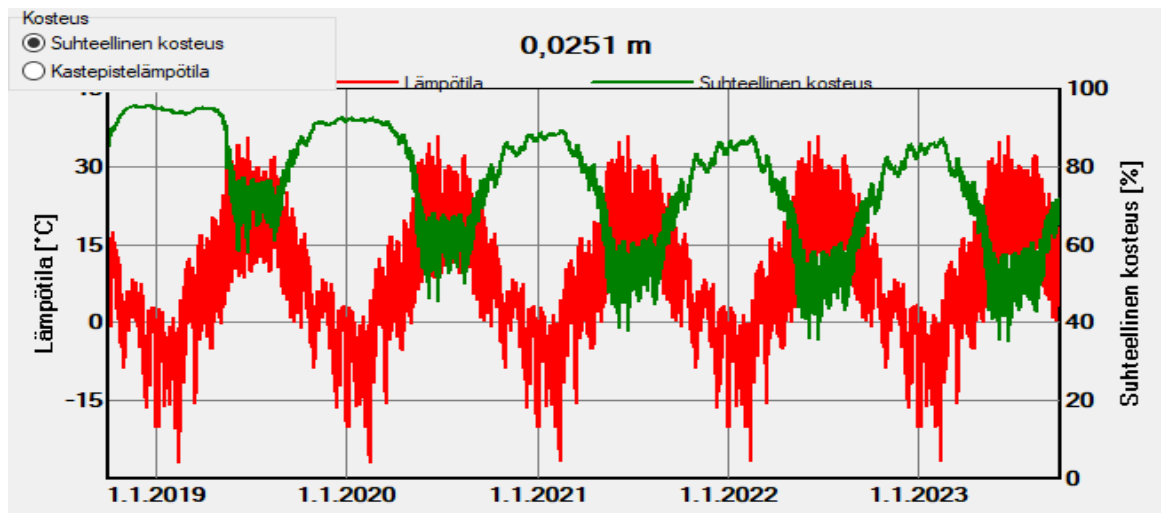
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-2,77
Lähde1 (Ilmavaihtolähde)	[MJ/m ²]	-2,77
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,618
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmavaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,618

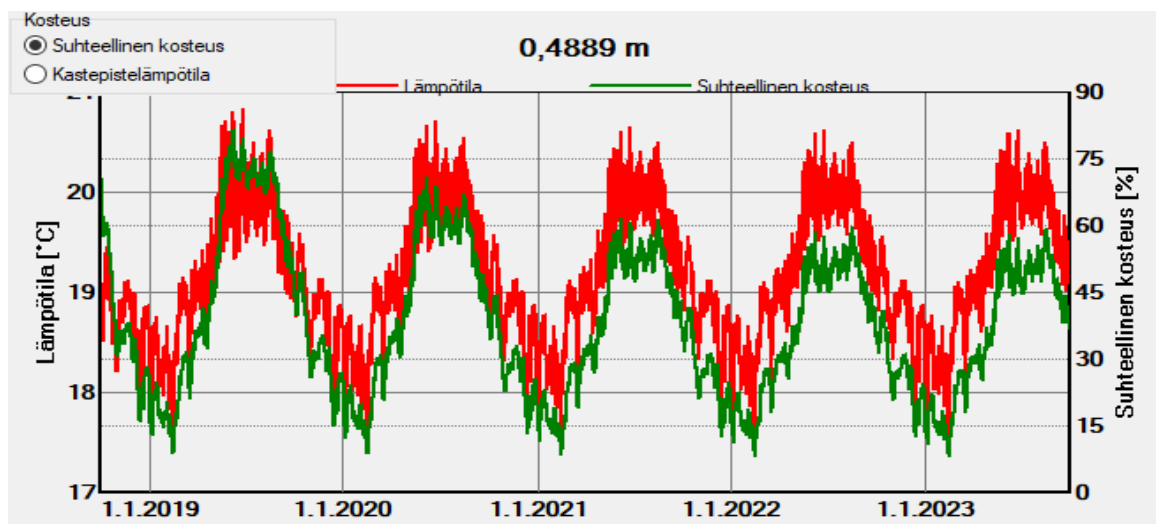
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalla.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Mineraalivillaeriste tapaus 3(Ilmavaihtoluku 3/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 14.11.29
Laskennan kesto	1 min,38 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergointivirheiden lukumäärä	2

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,0
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,7 0,34
Tase 1	[kg/m ²]	-2,61
Tase 2	[kg/m ²]	-2,64

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	28,66	26,01	25,63	28,66

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,21
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
*Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,035 W/m)	1,79	1,51	0,18	23,98
*Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,035 W/m)	1,79	0,61	0,36	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj...: 0.036 W/mK -	1,79	1,69	1,61	2,10
Betoni, C35/45	75,00	69,36	68,69	75,00

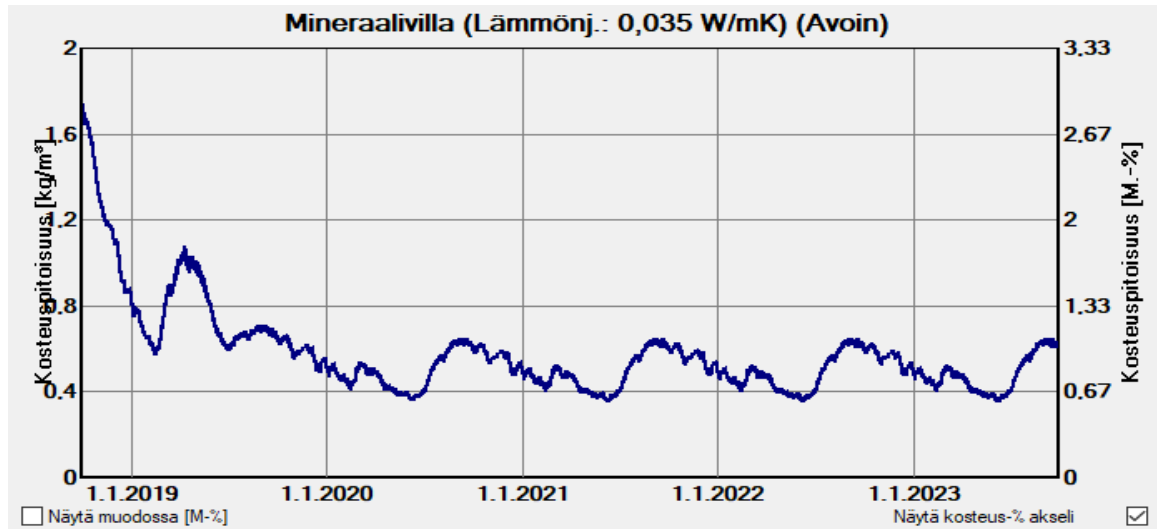
Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-133,66
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-142,15
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,0
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	2,08

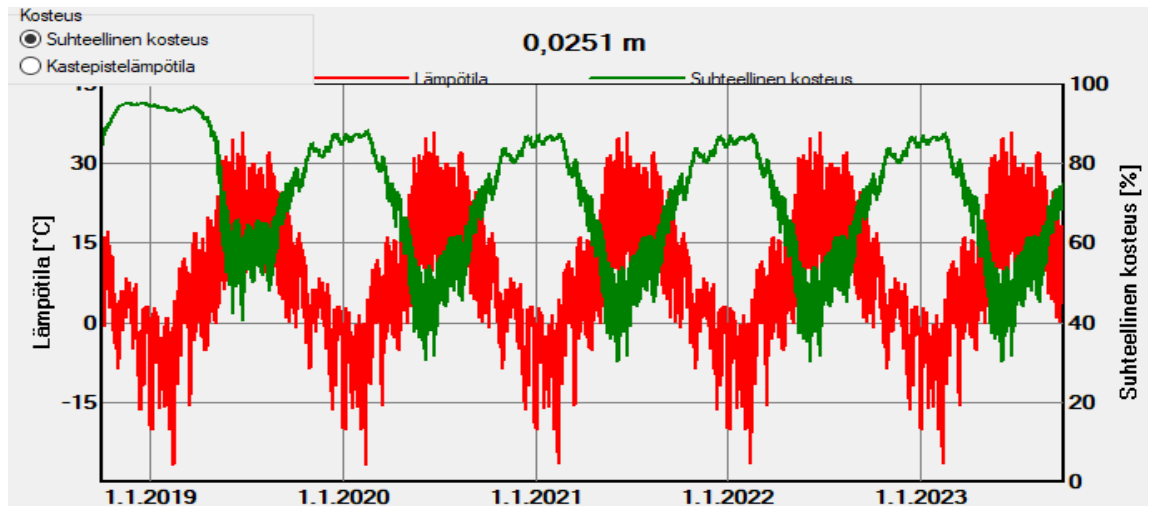
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-8,31
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-8,31
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,598
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,598

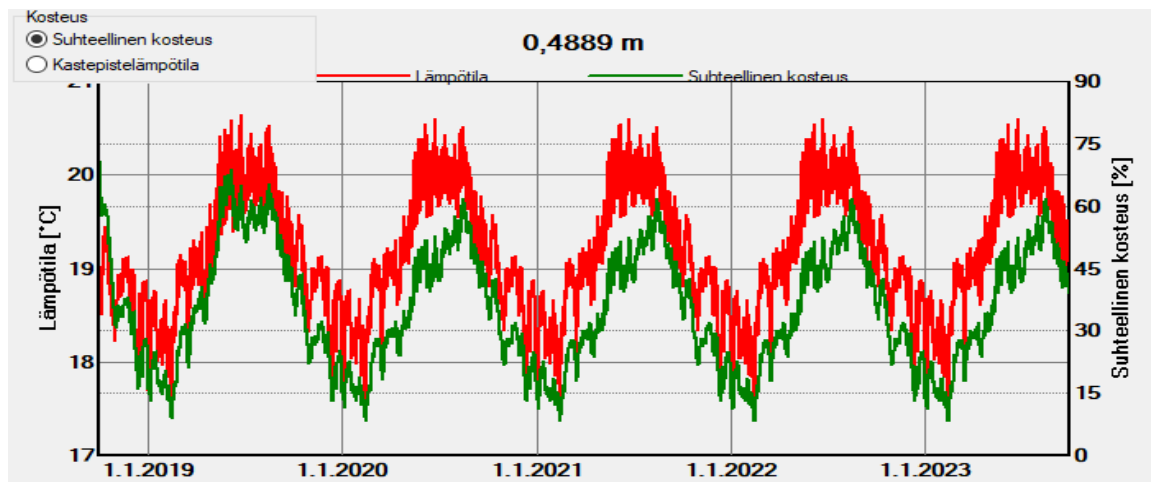
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalla.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Fenolieriste, tapaus 1 (Ilmavaihtoluku 1/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 14.25.12
Laskennan kesto	1 min,39 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,71 0,35
Tase 1	[kg/m ²]	-2,57
Tase 2	[kg/m ²]	-2,57

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	31,15	28,54	28,27	31,15

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	0,92	0,37	2,98
*Fenoli(Lämmönj.: 0.020 W/mK - Tih	1,79	0,56	0,52	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	1,78	1,72	2,03
*Kalliskuset	37,40	36,98	36,98	37,44
Betoni, C35/45	75,00	69,40	68,71	75,00

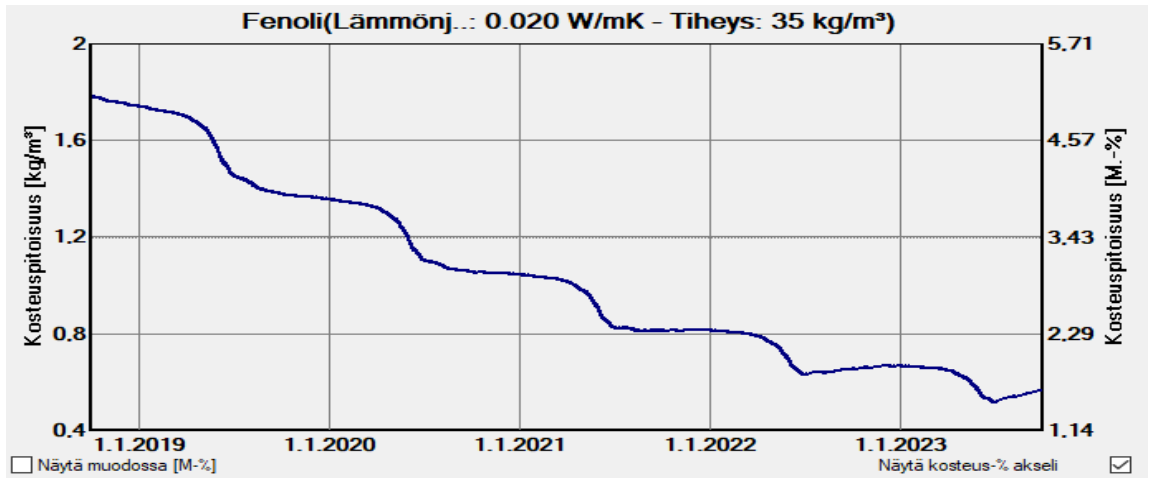
Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-95,43
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-97,86
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	2,1

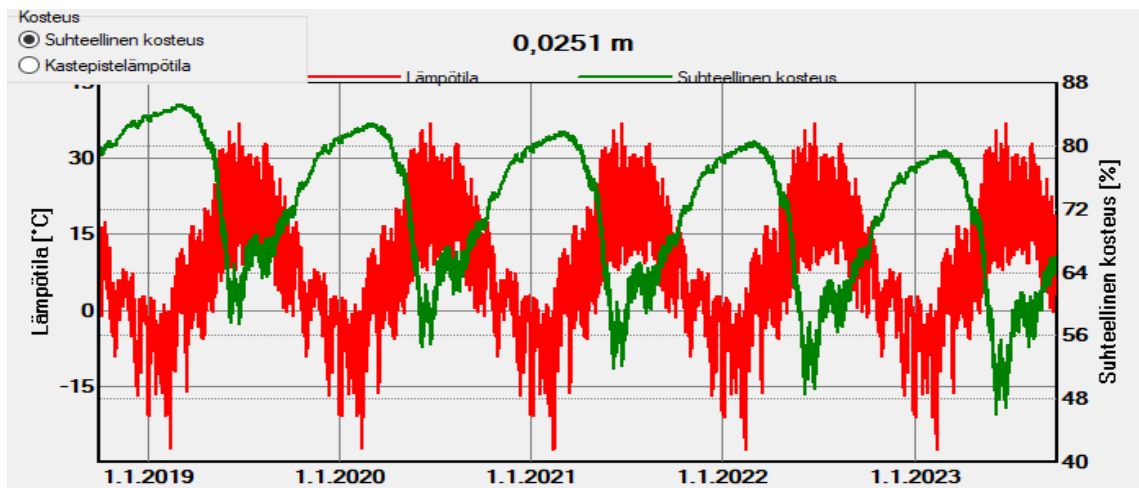
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-2,65
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-2,65
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,507
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,507

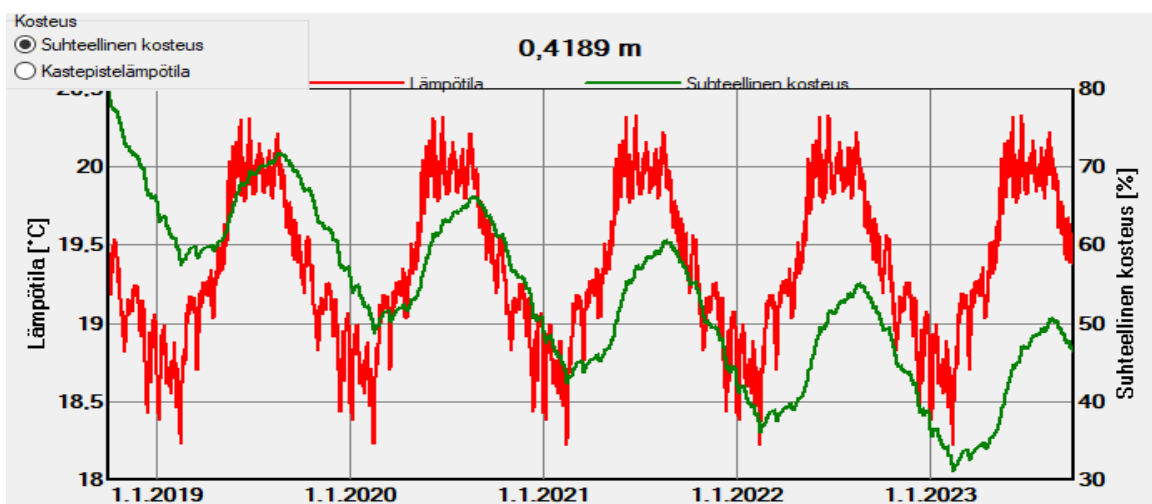
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalla.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Fenolieriste, tapaus 2 (Ilmavaihtoluku 1/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 14.26.52
Laskennan kesto	1 min,35 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergoitvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,71 0,35
Tase 1	[kg/m ²]	-2,61
Tase 2	[kg/m ²]	-2,61

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	28,66	26,01	25,76	28,66

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	0,97	0,41	2,81
*Fenoli(Lämmönj.: 0.020 W/mK - Tih	1,79	0,68	0,66	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	1,66	1,62	1,95
Betoni, C35/45	75,00	69,30	68,63	75,00

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-82,03
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-84,44
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	2,11

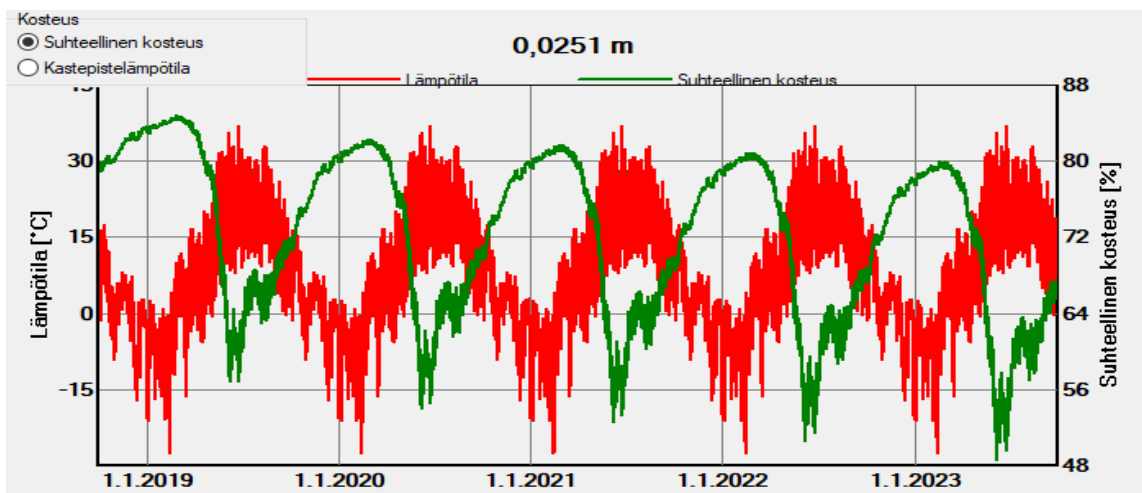
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-2,62
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-2,62
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,538
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,538

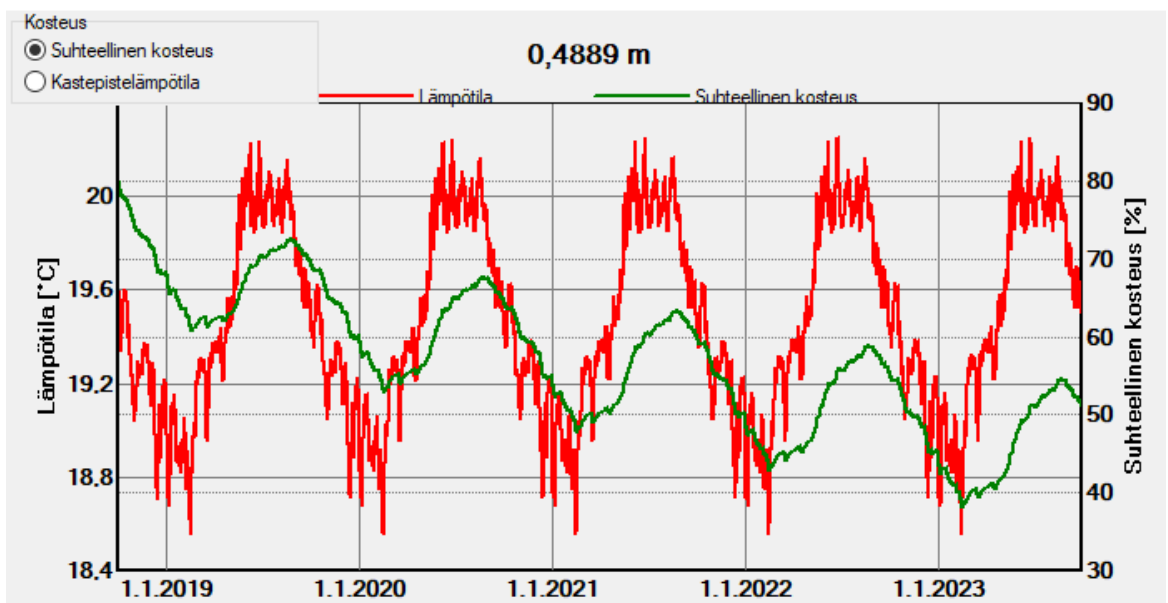
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalla.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Fenolieriste, tapaus 3 (Ilmavaihtoluku 3/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 14.42.14
Laskennan kesto	1 min,35 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,0
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,71 0,35
Tase 1	[kg/m ²]	-2,64
Tase 2	[kg/m ²]	-2,65

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	28,66	25,98	25,7	28,66

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	1,04	0,23	2,82
*Fenoli(Lämmönj...: 0.020 W/mK - Tih	1,79	0,61	0,55	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj...: 0.036 W/mK -	1,79	1,66	1,62	1,95
Betoni, C35/45	75,00	69,30	68,63	75,00

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-76,91
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-84,55
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,0
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	2,1

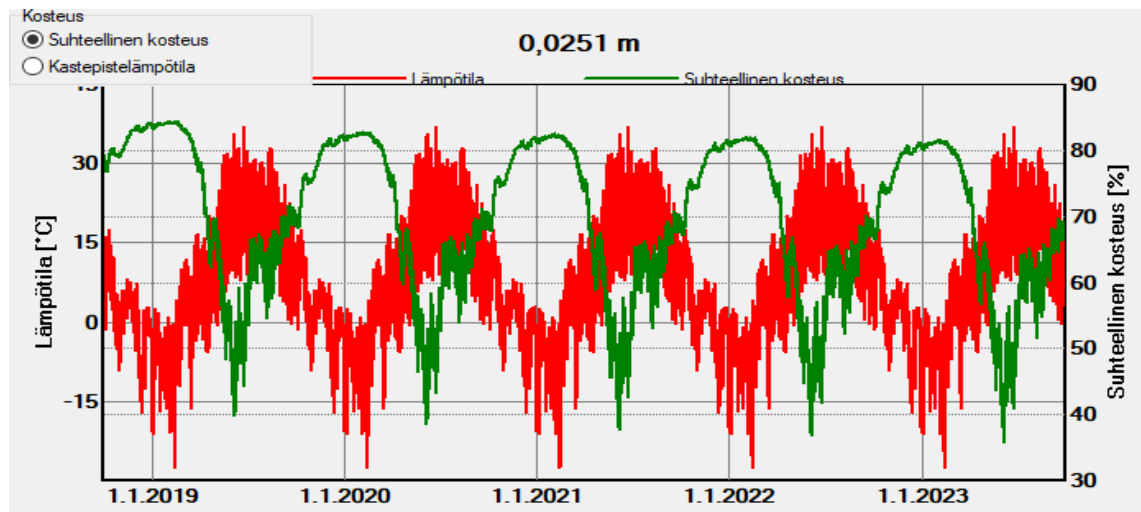
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-7,83
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-7,83
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,581
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,581

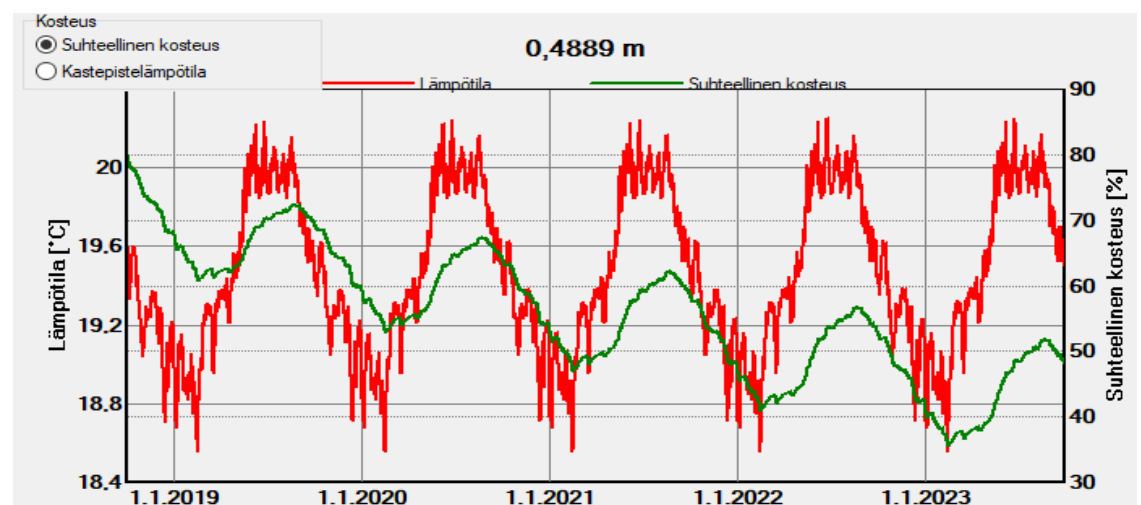
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalla.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



EPS-eriste, tapaus 1 (Ilmavaihtoluku 1/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 14.52.28
Laskennan kesto	1 min,0 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2021
Konvergoituvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,25 0,28
Tase 1	[kg/m ²]	-2,02
Tase 2	[kg/m ²]	-2,02

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	31,15	29,1	28,85	31,15

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,02
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,01
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	0,94	0,41	3,94
EPS (Lämmönj.: 0.04 W/mK - Tiheys	1,79	0,62	0,57	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	1,92	1,78	2,32
*Kallisuudet	37,40	37,37	37,30	37,48
Betoni, C35/45	75,00	70,75	70,13	75,00

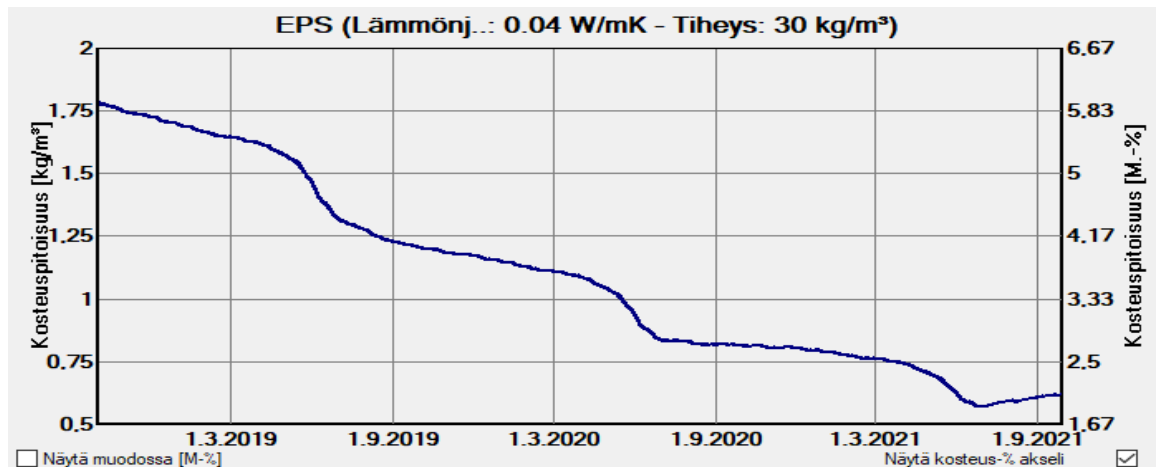
Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-109,3
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-110,63
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	1,57

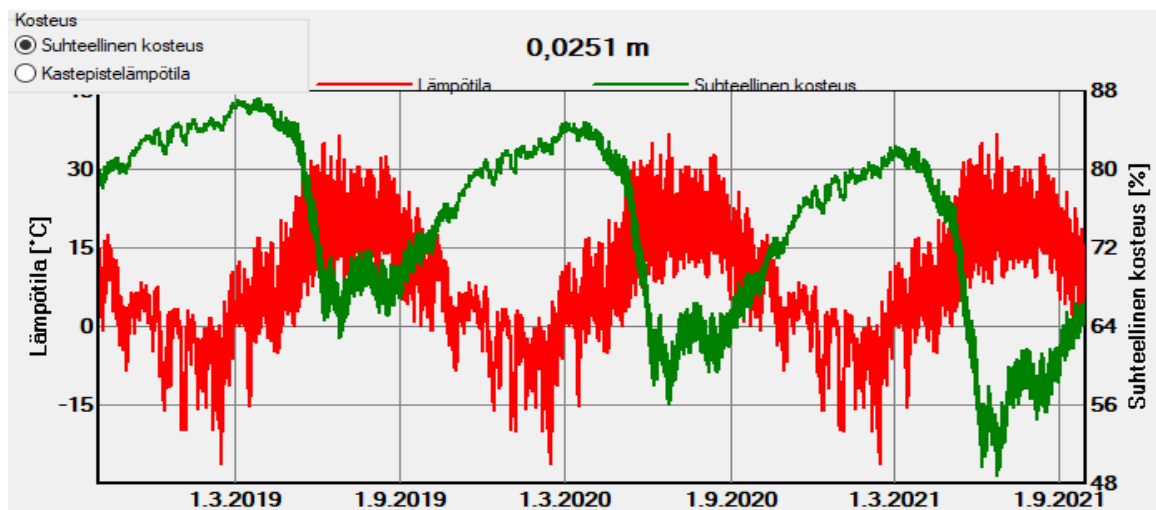
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-1,71
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-1,71
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,482
Rajoitettut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,482

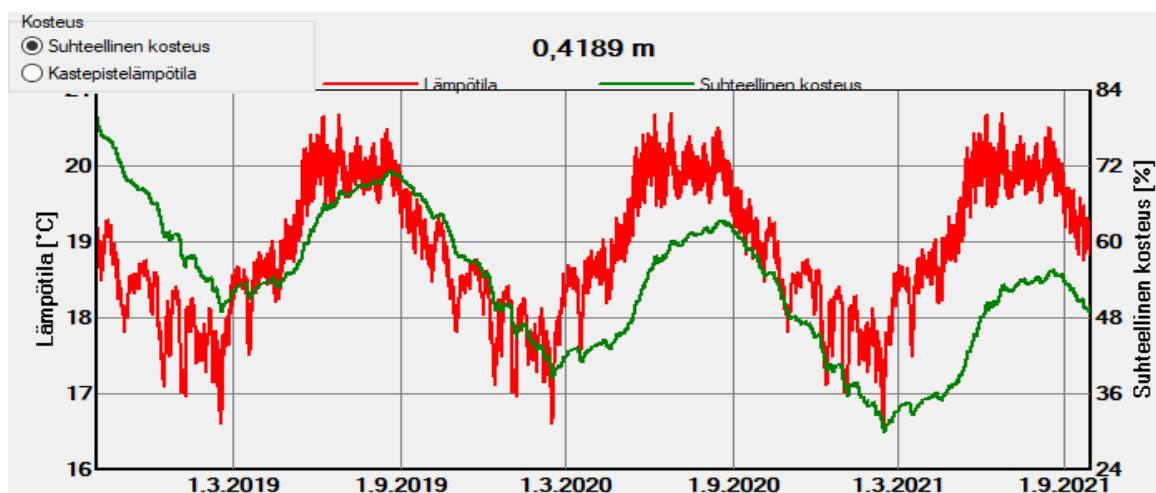
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalla.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



EPS-eriste, tapaus 2 (Ilmavaihtoluku 1/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 14.53.29
Laskennan kesto	0 min,57 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2021
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,26 0,28
Tase 1	[kg/m ²]	-2,06
Tase 2	[kg/m ²]	-2,06

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	28,66	26,56	26,34	28,66

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,02
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,01
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	1,00	0,49	3,57
EPS (Lämmönj.: 0.04 W/mK - Tiheys	1,79	0,72	0,71	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	1,84	1,75	2,15
Betoni, C35/45	75,00	70,72	70,11	75,00

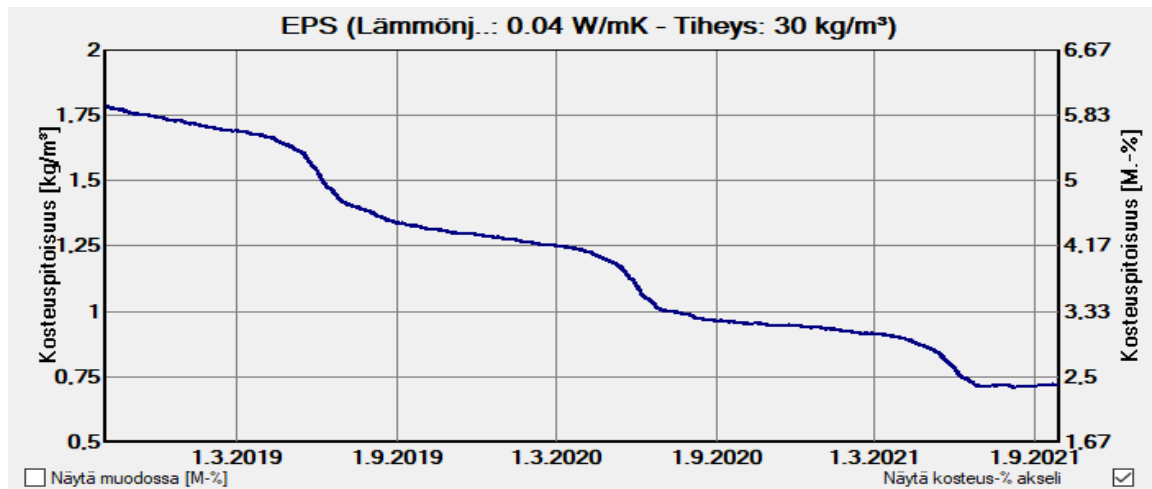
Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-95,12
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-96,46
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	1,58

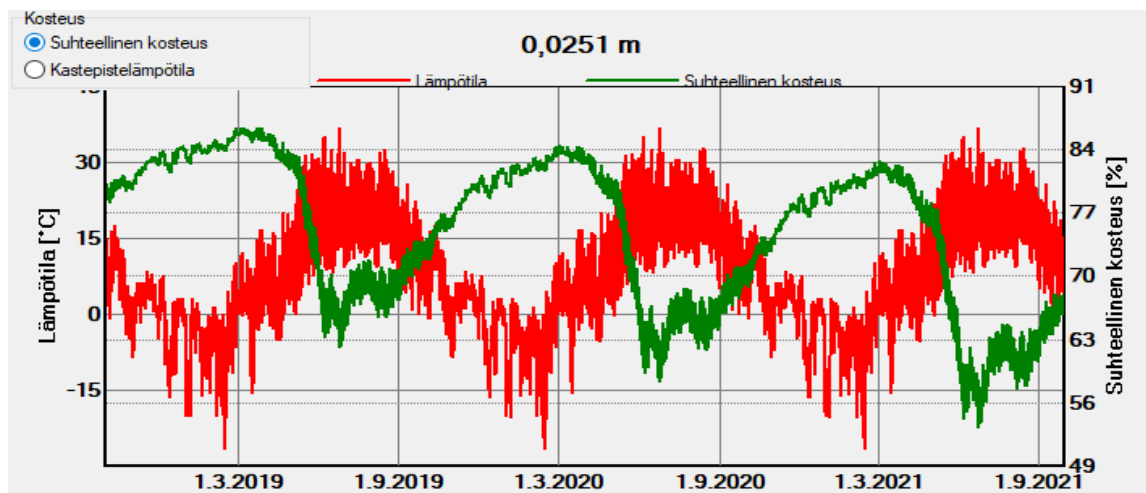
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-1,68
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-1,68
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,514
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,514

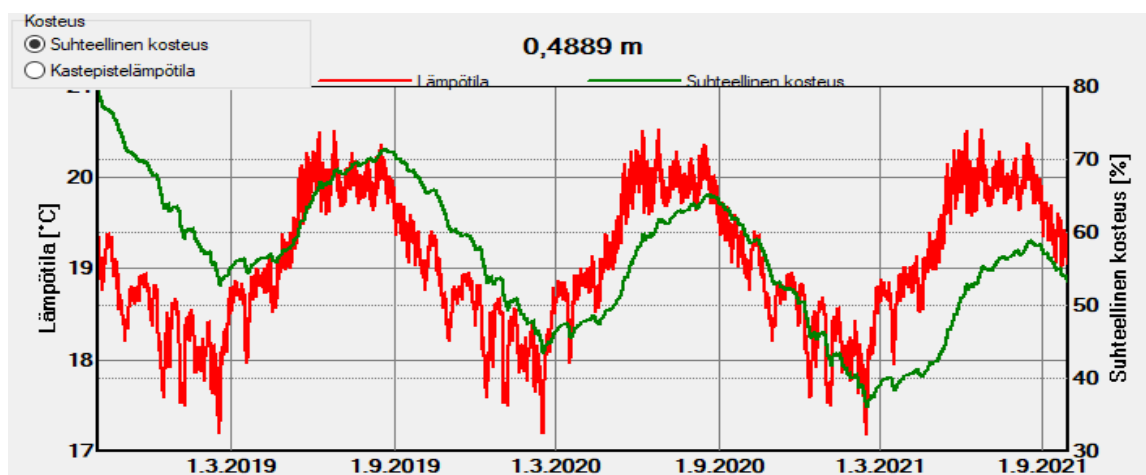
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalla.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



EPS-eriste, tapaus 3 (Ilmavaihtoluku 2/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 14.54.26
Laskennan kesto	0 min,56 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2021
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,26 0,28
Tase 1	[kg/m ²]	-2,1
Tase 2	[kg/m ²]	-2,11

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	28,66	26,52	26,26	28,66

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,02
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,01
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	1,00	0,31	3,33
EPS (Lämmönj...: 0.04 W/mK - Tiheys	1,79	0,63	0,57	1,79
*Höyrinsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj...: 0.036 W/mK -	1,79	1,84	1,75	2,15
Betoni, C35/45	75,00	70,72	70,11	75,00

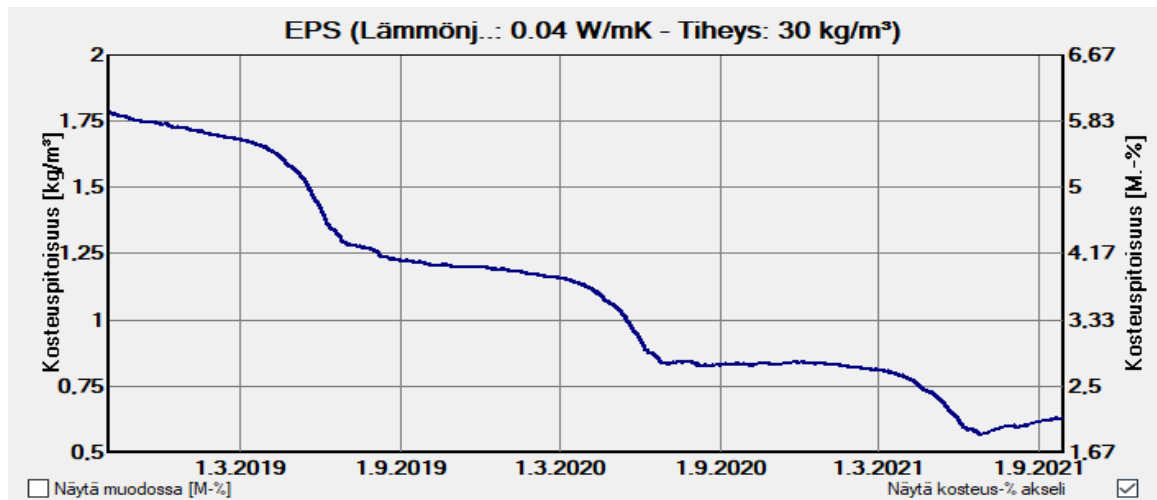
Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-93,52
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-96,55
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	1,58

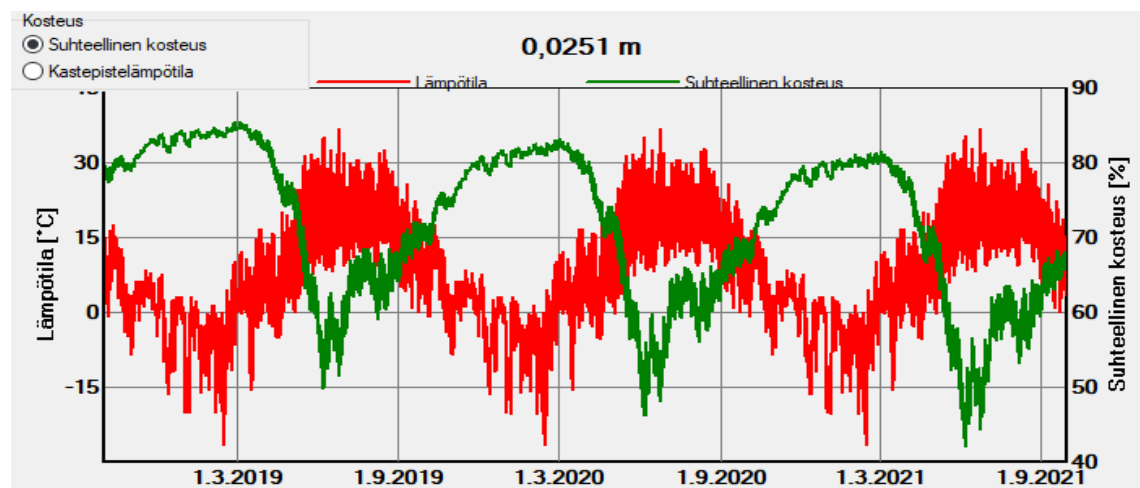
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-3,35
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-3,35
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,563
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,563

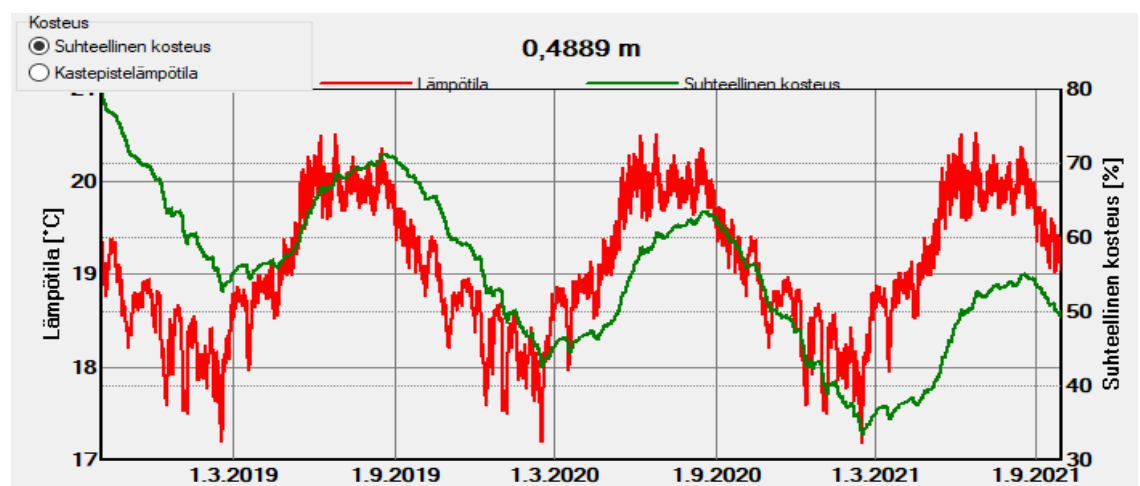
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalla.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



XPS-eriste, tapaus 1 (Ilmavaihtoluku 1/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 15.08.22
Laskennan kesto	0 min,59 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2021
Konvergoituvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,0
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,26 0,28
Tase 1	[kg/m ²]	-2,0
Tase 2	[kg/m ²]	-2,0

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	31,19	29,15	28,9	31,19

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	0,99	0,33	2,59
XPS Ydin (Lämmönj.: 0,03 W/mK)	1,79	0,73	0,71	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	1,88	1,78	2,15
*Kallisuudet	37,40	37,36	37,33	37,46
Betoni, C35/45	75,00	70,72	70,10	75,00

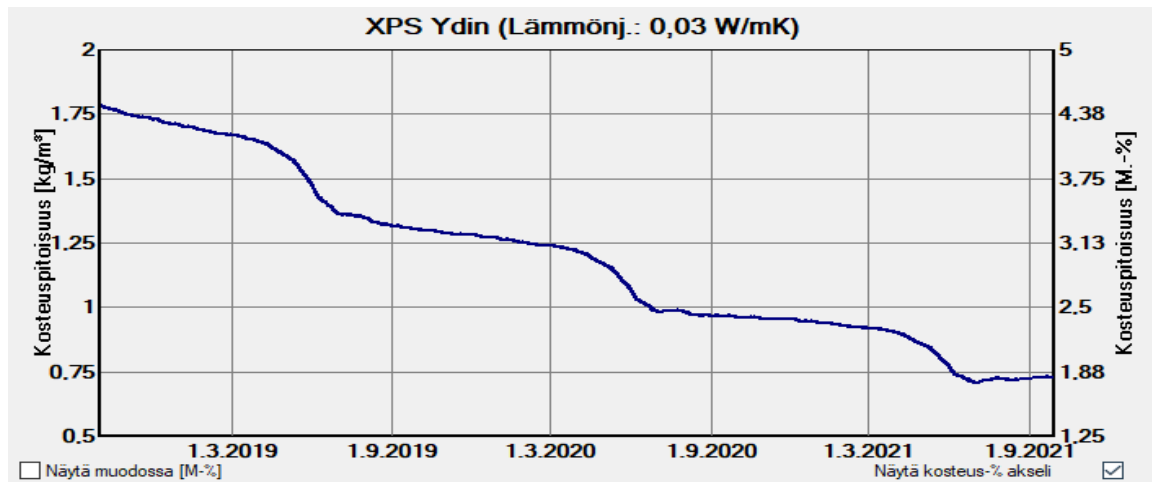
Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-80,04
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-83,23
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,0
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	1,58

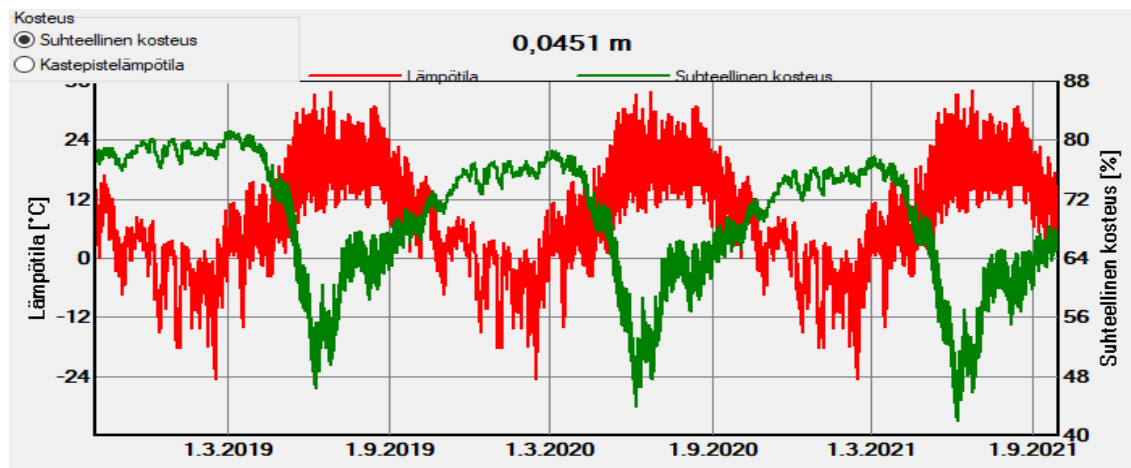
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-3,61
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-3,61
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,459
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,459

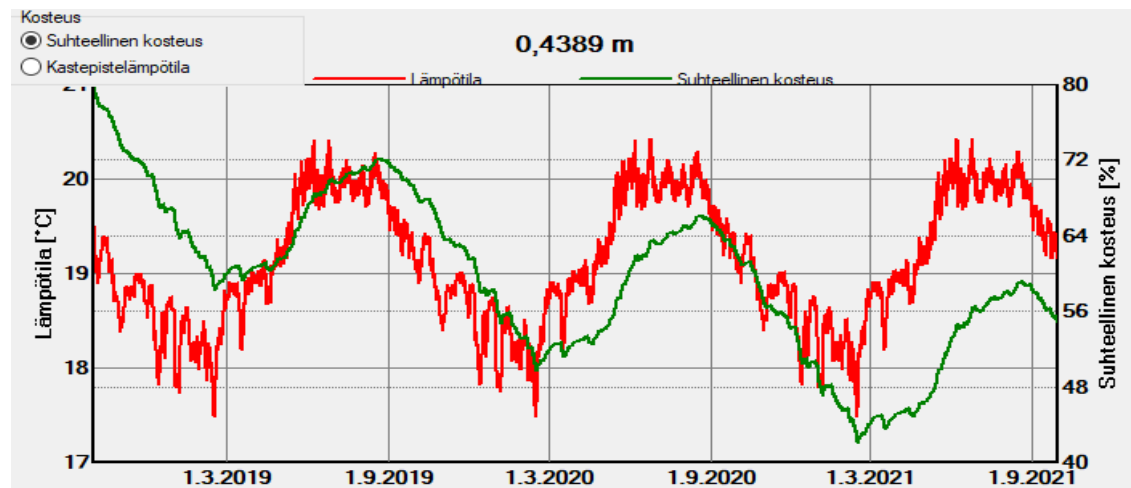
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalta.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



XPS-eriste, tapaus 2 (Ilmavaihtoluku 1/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 15.09.21
Laskennan kesto	0 min,56 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2021
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,27 0,28
Tase 1	[kg/m ²]	-1,94
Tase 2	[kg/m ²]	-1,94

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	28,66	26,68	26,47	28,66

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	1,07	0,47	2,80
XPS Ydin (Lämmönj.: 0,03 W/mK)	1,79	0,99	0,99	1,79
*Höyrinsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	1,82	1,75	2,05
Betoni, C35/45	75,00	70,70	70,09	75,00

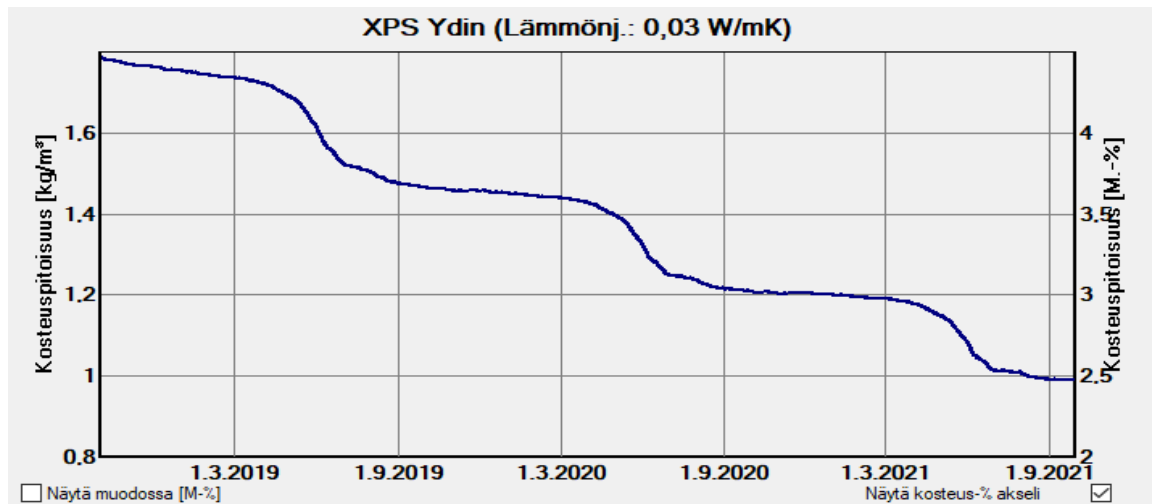
Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-73,17
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-74,46
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	1,59

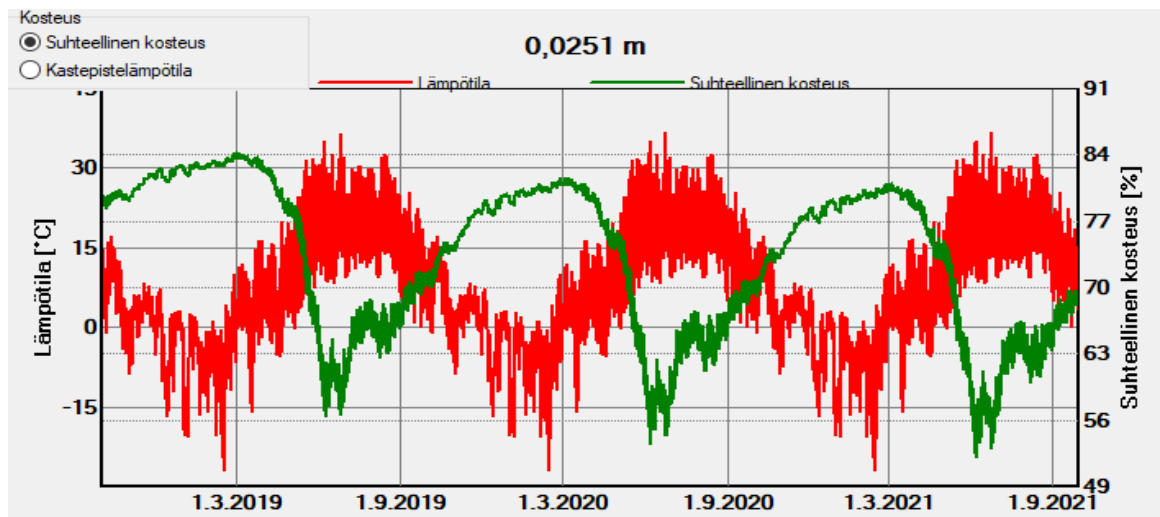
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-1,63
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-1,63
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,387
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,387

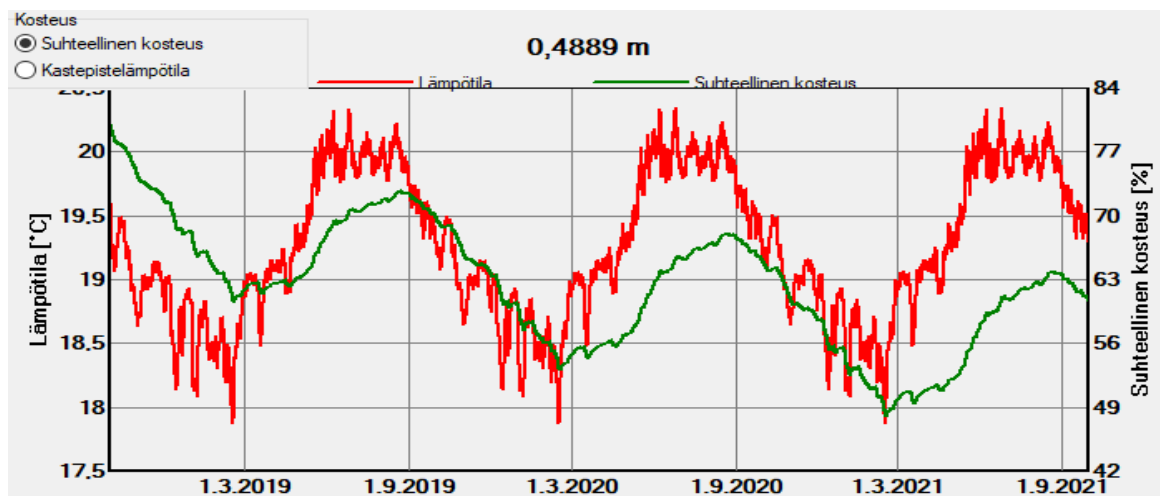
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalta.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



XPS-eriste, tapaus 3 (Ilmavaihtoluku 5/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 15.23.52
Laskennan kesto	0 min,59 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2021
Konvergoituvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,0
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,27 0,28
Tase 1	[kg/m ²]	-1,99
Tase 2	[kg/m ²]	-2,0

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	28,66	26,63	26,38	28,66

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	1,09	0,20	2,77
XPS Ydin (Lämmönj.: 0,03 W/mK)	1,79	0,87	0,85	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	1,82	1,75	2,05
Betoni, C35/45	75,00	70,70	70,09	75,00

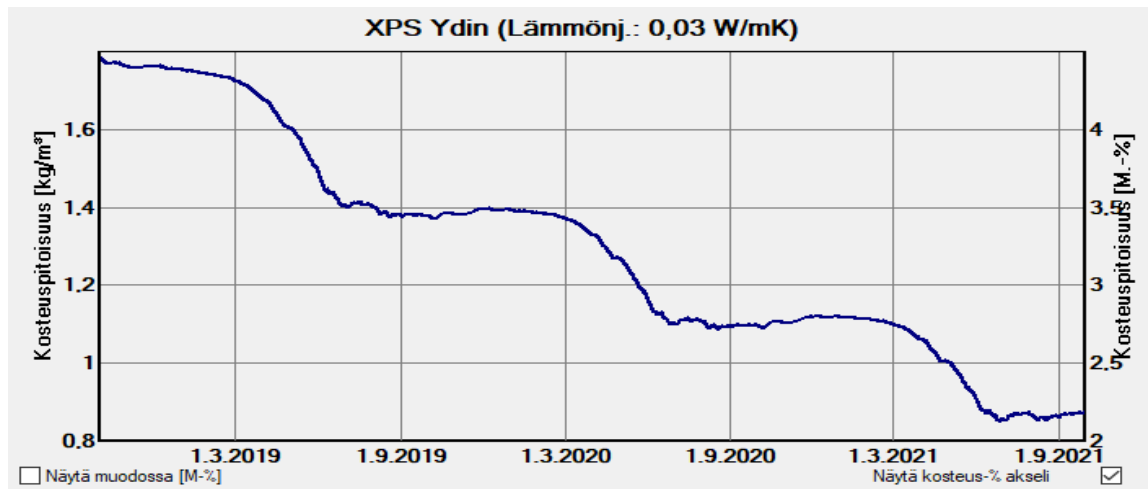
Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-66,84
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-74,62
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,0
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	1,59

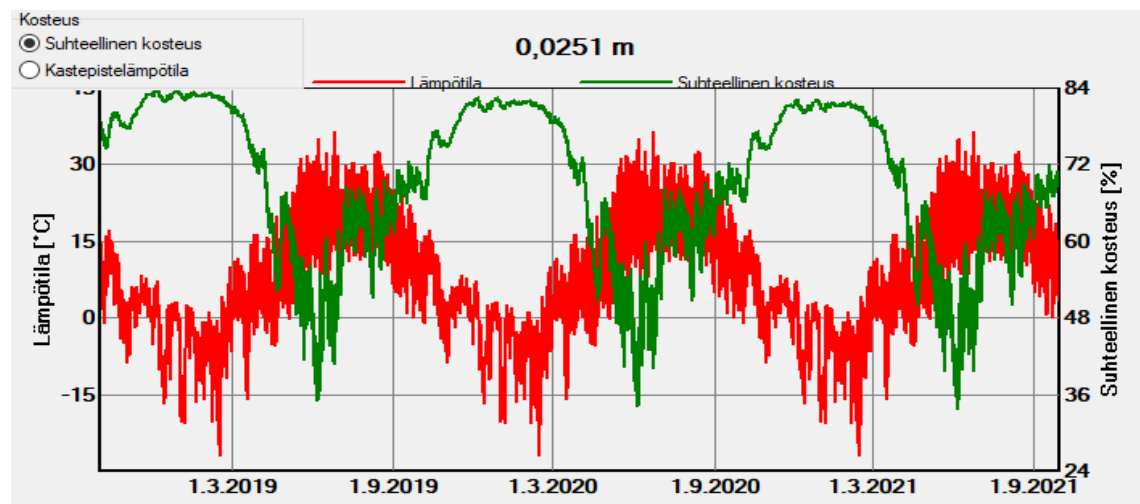
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-8,09
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-8,09
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,454
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,454

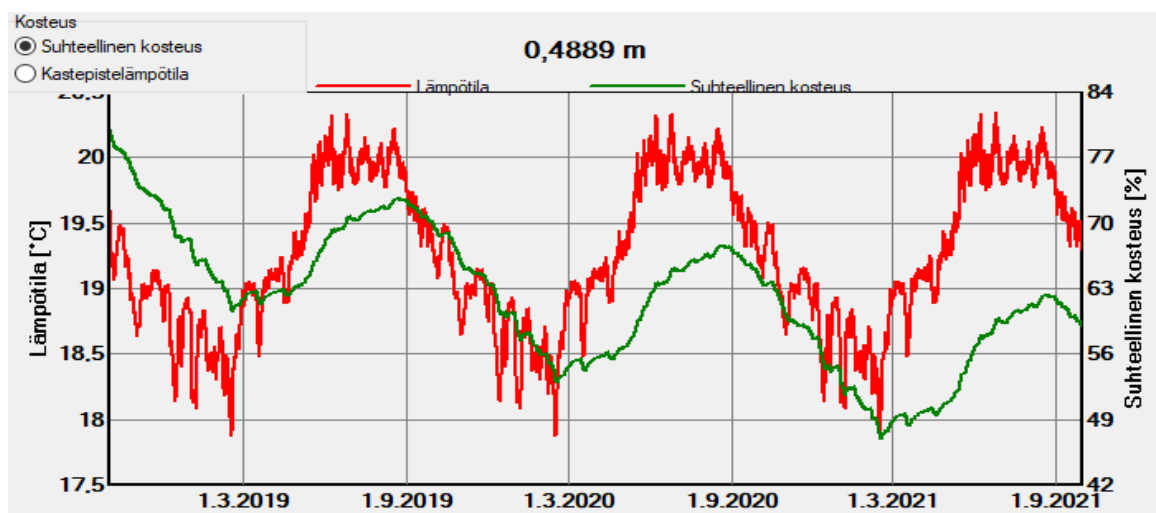
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalta.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Polyuretaanieriste ilman kantavaa rakennetta, tapaus 1(Ilmavaihtoluku 1/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 15.35.20
Laskennan kesto	1 min,37 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergoituvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	0,0 0,02
Tase 1	[kg/m ²]	-0,55
Tase 2	[kg/m ²]	-0,55

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	0,79	0,24	0,2	0,79

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,02
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,01
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	0,88	0,35	3,44
*PU(Lämmönj.: 0.022 W/mK - Tiheys	1,79	0,52	0,43	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	0,72	0,38	1,79

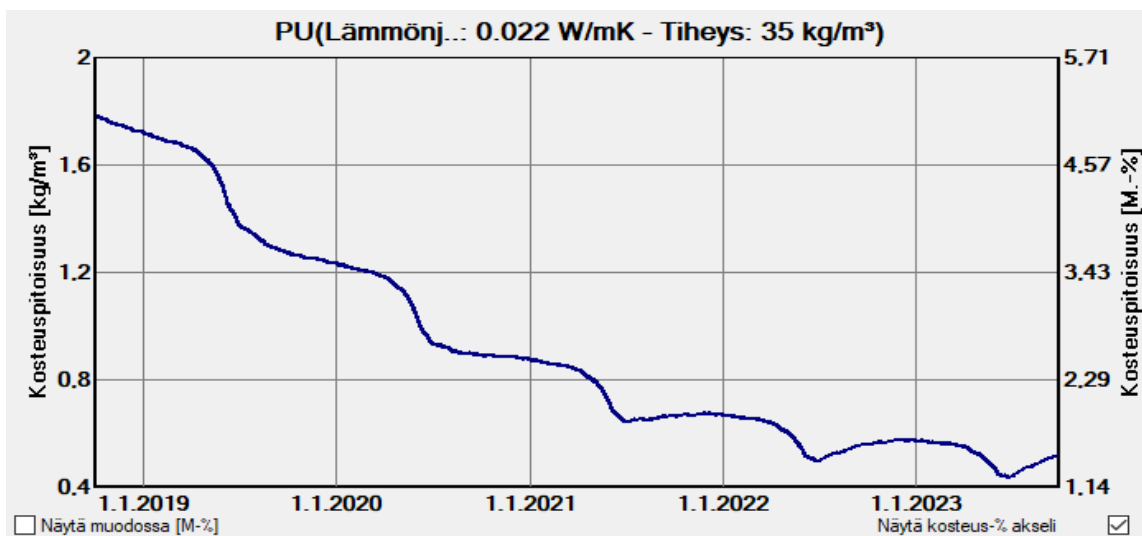
Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-114,19
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-116,79
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	0,02

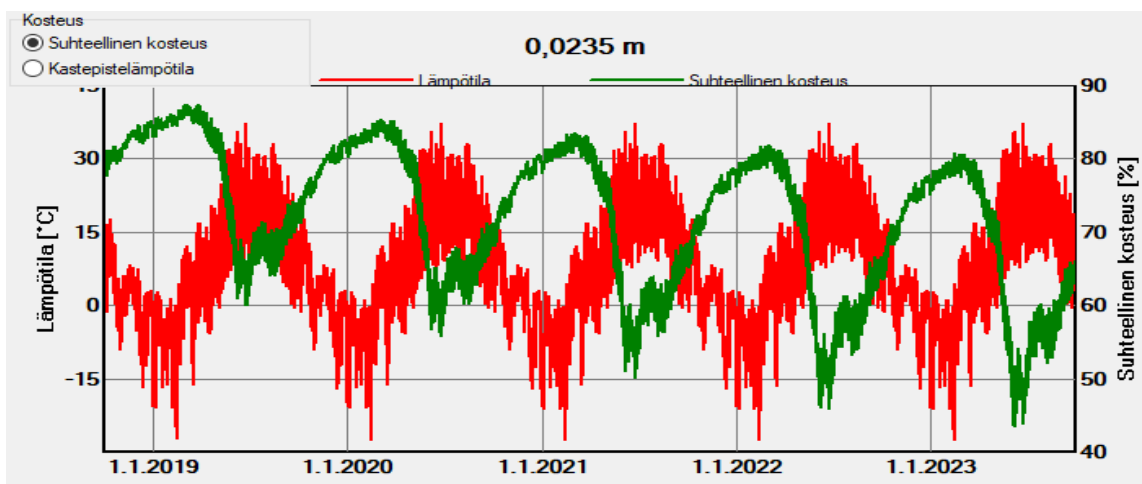
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-2,69
Lähde 1 (Ilmavaihtolähde)	[MJ/m ²]	-2,69
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,524
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde 1 (Ilmavaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,524

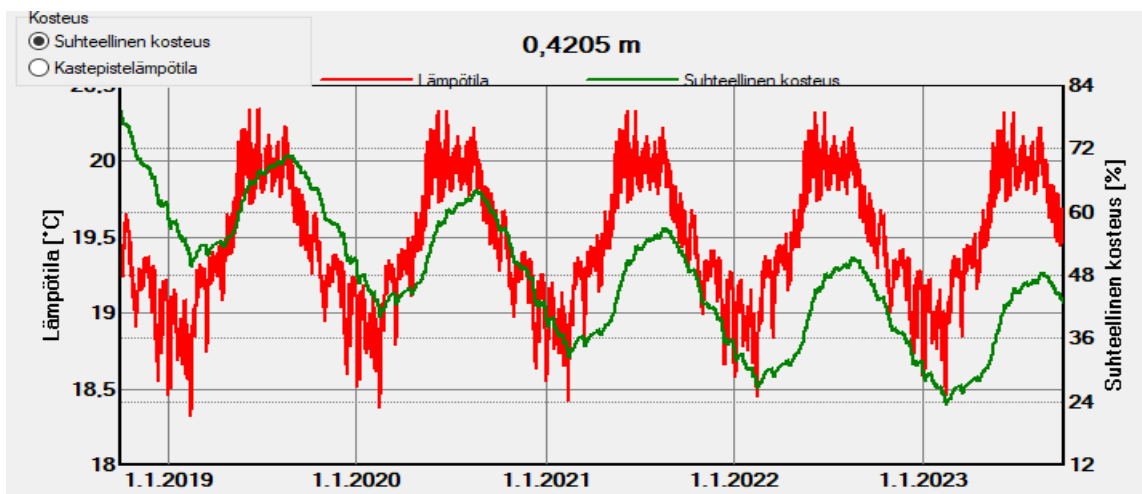
Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalta.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Polyuretaanieriste ilman kantavaa rakennetta, tapaus 2(Ilmavaihtoluku 1/h)

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.9.2018 15.36.58
Laskennan kesto	1 min,36 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2018 / 1.10.2023
Konvergoituvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,01
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	0,0 0,02
Tase 1	[kg/m ²]	-0,62
Tase 2	[kg/m ²]	-0,62

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	0,91	0,29	0,26	0,91

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,03
Kattopinnoite V13	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineraalivilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	1,79	0,91	0,40	3,17
*PU(Lämmönj.: 0.022 W/mK - Tiheys	1,79	0,56	0,51	1,79
*Höyrynsulkumuovi, (LDPE) 0,4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS 80S (Lämmönj.: 0.036 W/mK -	1,79	0,71	0,38	1,79

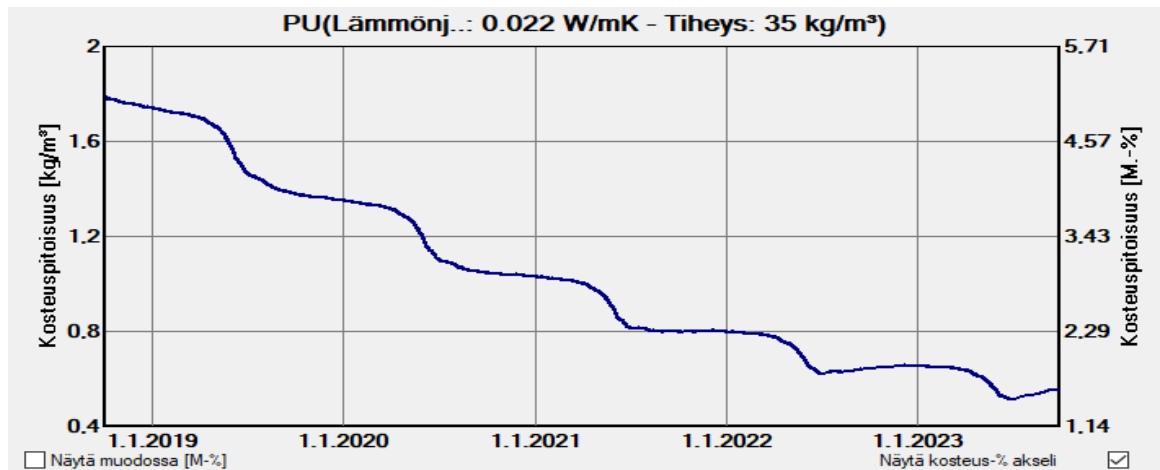
Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-98,8
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-101,35
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-0,01
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	0,02

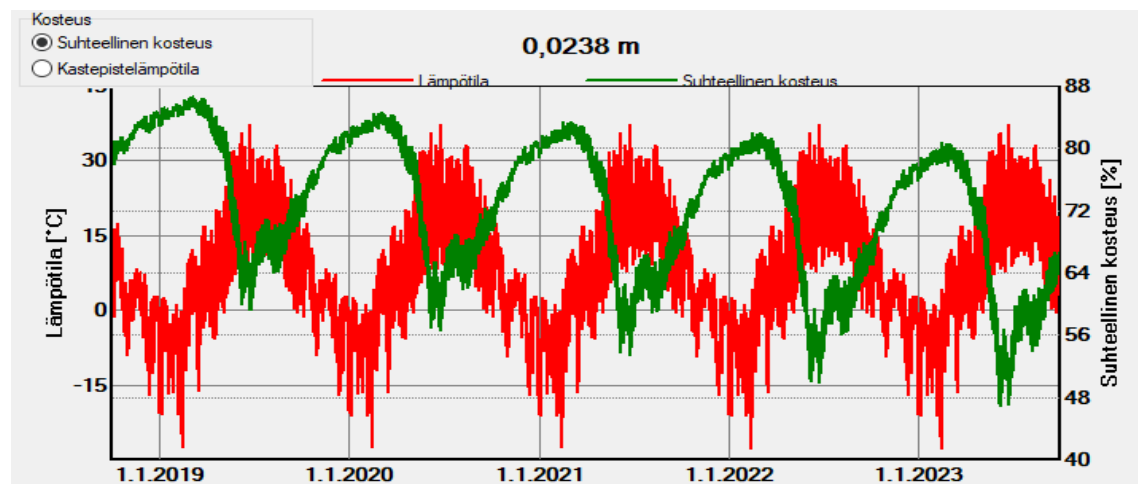
Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-2,66
Lähde1 (Ilmavaihtolähde)	[MJ/m ²]	-2,66
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,591
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,0
Lähde1 (Ilmavaihtolähde)	[kg/m ²]	-0,591

Lämmöneristeen kuivuminen viiden vuoden ajalta.



Eristekerroksen ulkopintalämpötilä ja suhteellinen kosteus



Eristekerroksen sisäpintalämpötilä ja suhteellinen kosteus

