



Teppo Siponkoski

**LISÄLÄMMÖNERISTYKSEN VAIKUTUS PIENTALON ULKOSEI-  
NIEN ENERGIANKULUTUKSEEN JA RAKENNUSFYSIKAALI-  
SEEN TOIMINTAAN**

**LISÄLÄMMÖNERISTYKSEN VAIKUTUS PIENTALON ULKOSEI-  
NIEN ENERGIANKULUTUKSEEN JA RAKENNUSFYSIKAALI-  
SEEN TOIMINTAAN**

Teppo Siponkoski  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka, Talo- ja korjausrakentaminen

---

Tekijä: Teppo Siponkoski

Opinnäytetyön nimi: Lisälämmöneristysten vaikutus pientalon ulkoseinien energiankulutukseen ja rakennusfysikaaliseen toimintaan

Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012 Sivumäärä: 43 + 13 liitettä

---

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia ulkoseinien ulko- ja sisäpuolisen lisäeristämisen vaikutuksia Talo Siponkosken ulkoseinien rakennusfysikaaliseen toimintaan. Tavoitteena oli pienentää ulkoseinien vuosittaista energiankulutusta ja vertailla ulko- ja sisäpuolisen lisäeristysten vaikutuksia ulkoseinien lämpö- ja kosteuskäyttäytymiseen. Lisäksi työssä tutkittiin lisäeristysten vaikutusta ulkoseinien mahdolliseen biologiseen turmeltumiseen.

Ulkopuolisena lisäeristeenä käytettiin Isoverin RKL-31 FACADE –lisäeristettä ja sisäpuolisena lisäeristeenä Thermisolin Titan Gipsline –lisäeristettä. Ulkoseinien lämpö- ja kosteuskäyttäytymistä selvitettiin Dof-lämpö- sekä Wufi-1D-ohjelmilla.

Molemmat eristystavat ja materiaalit osoittautuivat ulkoseinissä rakennusfysikaalisesti toimiviksi, vaikka sisäpuolista lisäeristettä käytettäessä alkuperäisen ulkoseinärakenteen lämpötilat laskivat ja kosteuspitoisuudet nousivat. Sisäpuolisella lisäeristyksellä saavutettiin ulkopuolista lisäeristystä hieman suurempi säästö ulkoseinien vuosittaisessa energiankulutuksessa. Ulkopuolisen lisäeristysten etuna olivat alkuperäisen ulkoseinän lämpötilojen nousu ja kosteuspitoisuuksien laskeminen. Huonona puolena oli ulkoseinien ulkoverhouksen välttämättömän uusiminen eristystyön yhteydessä.

Opinnäytetyössä todettiin, että ulkoseinien rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta ulkopuolinen lisäeristäminen olisi turvallisempi vaihtoehto, mutta sisäpuolisella lisäeristyksellä säästettäisiin enemmän lämmitysenergiaa sekä mahdollisesti myös rakennuskustannuksia. Toimivamman kokonaisuuden päättämiseksi lisäeristysmenetelmien kokonaiskustannukset tulisi vielä selvittää ja niitä tulisi verrata keskenään.

---

Asiasanat: Lisälämmöneristys, lisäeristys, eristäminen, energiankulutus

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 LÄMPÖENERGIAN SIIRTYMINEN RAKENTEISSA	7
2.1 Lämmönjohtuminen	7
2.2 Konvektio	7
2.3 Säteily	8
2.4 U-arvo	8
2.5 Pientalon energiankulutus	9
2.5.1 Rakennuksen vaipan johtumishäviöt	10
2.5.2 Ilmanvaihto ja ilmapuodot	11
2.5.3 Muita lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä	12
3 KOSTEUS RAKENTEISSA	16
3.1 Kosteuden siirtyminen diffuusiolla	16
3.2 Kosteuden siirtyminen konvektiolla	16
3.3 Veden kapillaarinen siirtyminen	17
3.4 Kosteuden kondensoituminen	17
3.5 Rakennuskosteus	18
3.6 Kosteuden aiheuttama biologinen turmeltuminen	18
4 ULKOSEINIEN LISÄERISTÄMINEN	20
4.1 Lisäeristäminen ulkopuolelta	20
4.2 Lisäeristäminen sisäpuolelta	21
4.3 Lämmöneristeen vaihto	22
4.4 Talon Siponkoski	23
4.4.1 Rakenteet	23
4.4.2 Asuintilojen laajennukset ja korjaushistoria	24
4.4.3 Alkuperäisten seinien energiankulutus ja rakennusfysikaalinen toiminta	25
4.4.4 Lisäeristäminen sisäpuolelta	28
4.4.5 Lisäeristäminen ulkopuolelta	30

5 SISÄ- JA ULKOPUOLISEN LISÄERISTÄMISEN VERTAILUN TULOKSET	34
6 POHDINTA	37
LÄHTEET	40
LIITTEET	43

# 1 JOHDANTO

Epävarmuus energian hinnan kehityksessä sekä sähkön hinnan nousu kannustavat suoralla sähkölämmityksellä varustettujen pientalojen omistajat energiakorjauksiin. Lämmitysjärjestelmän uusimiskustannukset saattavat olla liian korkeat monelle suorasähkölämmitteisen pientalon omistajalle, joten energiakorjauksissa suositaan edelleen ikkunoiden vaihtoa sekä rakenteiden lisäeristämistä. Nykyään valmistettavien muovi- sekä villaeristeiden lämmöneristävyyksien kokennuttua lisäeristämisen pienentävä vaikutus rakennusten lämmitysenergiankulutukseen onkin kasvanut.

Etenkin vanhojen, ennen 2000-lukua rakennettujen rakennusten ulkoseinissä on usein merkittävä potentiaali säästää energian kulutusta, sillä niiden lämmöneristävyys on nykyajan rakennusten rakenteisiin verrattuna heikkoa. Tämä johtuu pääosin siitä, että ennen ei ollut käytössä nykyajan tehokkaita lämmöneristeitä, kuten muovieristeitä, vaan lämmöneristeinä käytettiin sahanpurua, kutterilastua sekä ensimmäisiä mineraalivilloja. Toisaalta aikaisemmin lämmöneristämismääräykset sallivat myös merkittävästi suuremmat lämpöhäviöt rakenteiden läpi. Esimerkiksi vuonna 1985 ulkoseinän lämmönläpäisykerroin sai olla  $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$  suurempi kuin vuoden 2010 rakentamismääräyksissä.

Opinnäytetyön tavoitteena on pienentää Talo Siponkosken ulkoseinien vuosittaista energiankulutusta ulko- ja sisäpuolisella lisäeristyksellä ja vertailla näiden lisäeristysmenetelmien vaikutuksia ulkoseinien lämpö- ja kosteuskäyttäytymiseen sekä mahdolliseen biologiseen turmeltumiseen. Lämpö- ja kosteustekniiksessä tarkastelussa käytetään Dof-lämpö- sekä Wufi-1D-ohjelmia.

Opinnäytetyön kohteena on vuonna 1961 rakennettu 1 ½-kerroksinen pientalo. Kyseinen pientalo, Talo Siponkoski, on rankarakenteinen puutalo, jonka pääasiallisena eristeenä on käytetty sahanpurua. Rakennuksen päälämmitysjärjestelmänä on suora sähkölämmitys. Pientaloon tehdyistä energiaremonteista huolimatta rakennuksen sähkönkulutus on korkea, joten rakennuksen ulkoseiniä tullaan lisäeristämään joko ulko- tai sisäpuolisella lisäeristyksellä.

## 2 LÄMPÖENERGIAN SIIRTYMINEN RAKENTEISSA

Johtuminen on rakenteiden kannalta keskeisin lämmönsiirtymistapa. Lämpöenergiaa voi siirtyä rakenteissa myös säteilemällä sekä konvektiolla. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörielle, Lämpö. 2004, 12.)

### 2.1 Lämmönjohtuminen

Lämpö voi johtua kiinteissä aineissa sekä nesteissä, ja se pyrkii aina tasoittumaan väliaineessa. Johtumisessa lämpöenergiaa siirtyy liike-energiana molekyylistä toiseen lämpimämmästä aineesta kylmempään päin. Lämpövirta voidaan laskea kaavoista 1 ja 2. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörielle, Lämpö. 2004, 12.)

$$Q_{cd} = \lambda \times \frac{T_{s1} - T_{s2}}{d} \quad \text{KAAVA 1}$$

$Q_{cd}$  = lämpövirta yksidimensionaalisessa stationääritilassa, yksikerrosrakenne (W/m<sup>2</sup>)

$d$  = ainepaksuus (m)

$\lambda$  = lämmönjohtavuus (W/(mK))

$T_{s1}$  ja  $T_{s2}$  = tasomaisen ja tasapaksun ainekerroksen pintojen 1 ja 2 lämpötilat ( $T_{s1} > T_{s2}$ ), (K tai °C)

$$Q_{cd} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{R_T} \quad \text{KAAVA 2}$$

$Q_{cd}$  = lämpövirta yksidimensionaalisessa stationääritilassa, monikerrosrakenne

$R_T$  = kokonaislämmönvastus ((m<sup>2</sup>K)/W)

$T_{s1}$  ja  $T_{s2}$  = tasomaisen ja tasapaksun ainekerroksen pintojen 1 ja 2 lämpötilat ( $T_{s1} > T_{s2}$ ), (K tai °C)

### 2.2 Konvektio

Konvektiossa lämpöenergiaa siirtyy nesteen tai kaasun mukana. Konvektiota on sekä pakotettua että luonnollista. Pakotetusta konvektiosta esimerkkinä voidaan pitää tuulta, jossa neste tai kaasu liikkuu tuulen voiman vaikutuksesta. Luonnol-

lista konvektiota ovat puolestaan rakenteiden ilmavuodot, joissa lämpötilaerojen vaikutuksesta lämpöenergiaa siirtyy ilman eli kaasun mukana rakenteiden läpi. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Lämpö. 2004, 14.)

### 2.3 Säteily

Säteily on energian siirtymistä valonnopeudella sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Rakenteisiin kohdistuva lämpösäteily on lyhytaaltoista auringonsäteilyä sekä pitkäaaltoista kappaleiden säteilemää lämpöä. Jotta kappale voi lähettää eli emittoida säteilyä, sen lämpötilan tulee olla absoluuttisen nollapisteen yläpuolella. Eniten lämpösäteilyä emittoi musta kappale. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Lämpö. 2004, 13.)

Säteilyn aallonpituus vaikuttaa sen kulkuun rakenteissa, kuten esimerkiksi ikkunoissa. Selektiivipinnoitettu ikkunalaasi läpäisee tehokkaasti auringon lyhytaaltoisen lämpösäteilyn mutta heijastaa takaisin suurimman osan sisältä tulevasta pitkäaaltoisesta säteilystä. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Lämpö. 2004, 13.)

### 2.4 U-arvo

Rakenteen U-arvolla tarkoitetaan rakenteen lämmönläpäisykerrointa. Se kuvaa, kuinka monta wattia lämpöenergiaa johtuu rakenteen läpi yhden neliön laajuiselta alueelta ulko- ja sisälämpötilan erotuksen ollessa 1 °C. Rakenteen lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavasta 3. (C4 Lämmöneristys, ohjeet 2003. 2002, 3, 5.)

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{KAAVA3}$$

$U$  = rakenteen lämmönläpäisykerroin ( $W/m^2K$ )

$R_T$  = rakenteen kokonaislämmönvastus ( $(m^2K)/W$ )

Kokonaislämmönvastus kuvaa koko rakenteen kykyä vastustaa lämmönvirtausta rakenteen läpi. Kokonaislämmönvastus on rakenteen eri ainekerrosten lämmönvastusten summa, ja se lasketaan kaavalla 4. (C4 Lämmöneristys, ohjeet 2003. 2002, 5.)



$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

KAAVA 4

$R_T$  = kokonaislämmönvastus ((m<sup>2</sup>K)/W)

$R_1$  = ensimmäisen ainekerroksen lämmönvastus ((m<sup>2</sup>K)/W)

$R_2$  = toisen ainekerroksen lämmönvastus ((m<sup>2</sup>K)/W)

$R_n$  = n:nneen ainekerroksen lämmönvastus ((m<sup>2</sup>K)/W)

Lämmönvastus R kuvaa rakennusaineen kykyä vastustaa lämmönvirtausta aineen läpi. Lämmönvastus lasketaan kaavasta 5. (C4 Lämmöneristys, ohjeet 2003. 2002, 5.)

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

KAAVA 5

$R$  = rakennusaineen lämmönvastus ((m<sup>2</sup>K)/W)

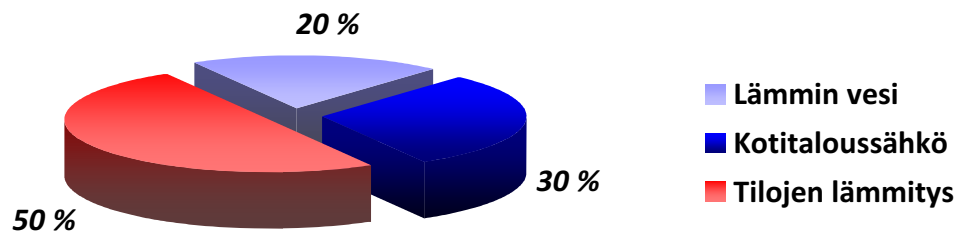
$d$  = ainekerroksen paksuus (m)

$\lambda$  = ainekerroksen lämmönjohtavuus (W/(mK))

Rakennusaineen  $\lambda$ -arvolla tarkoitetaan rakennusaineelle määritettyä lämmönjohtavuutta. Lämmönjohtavuuden yksikkö on W/(mK). Lämmönjohtavuusarvot voidaan määrittää eri menetelmillä ja tästä johtuen  $\lambda$ -arvoja on neljä erilaista  $\lambda_n$ ,  $\lambda_{10}$ ,  $\lambda_d$  sekä  $\lambda_{dec}$ . Suunnittelussa on suotavaa käyttää normaalista lämmönjohtavuuden arvoa  $\lambda_n$ , tai rakennusaineen valmistajan määrittämää  $\lambda_d$ -arvoa. Näissä lämmönjohtavuuden arvoissa on huomioitu rakennusaineen varastoinnin, asennuksen sekä käyttöolosuhteen vaikutus lämmönjohtavuuteen. (C4 Lämmöneristys, ohjeet 2003. 2002, 8, 9.)

## 2.5 Pientalon energiankulutus

Pientalon energiankulutus koostuu pääasiassa kolmesta eri tekijästä, tilojen lämmittämisestä, veden lämmittämisestä ja kotitaloussähköstä (kuva 1). Energiaa kuluu myös kesän helteillä tilojen jäähdyttämiseen, mutta sen osuus energiankulutuksesta on pieni, vain noin 2 %. Näistä tekijöistä eniten energiaa kuluu asuintilojen lämmittämiseen (noin 50 %), ja sen osuus kasvaa sen mukaan, mitä pohjoisempaa rakennus sijaitsee. (Pientalon energiankulutus ja päästöt.)



KUVA 1. Pientalon energiankulutuksen jakautuminen

Pientalossa lämmitysenergiaa kuluu asuin- ja märkätilojen, puolilämpimien tilojen sekä käyttöveden lämmittämiseen. Lämmitysenergiankulutus jakaantuu liki tasan kolmen eri tekijän kesken, joita ovat rakennuksen vaipan johtumishäviöt, ilmanvaihto ja käyttöveden lämmitys. Näiden lisäksi lämpöä poistuu rakenteiden ilmavuotojen kautta. Pientalon suunnitteluvaiheessa tuleekin erityisesti kiinnittää huomiota rakenteiden lämmöneristävyteen sekä taloteknisiin järjestelmiin pienen energiankulutuksen saavuttamiseksi. (Motiva. 2012, linkit: Perustietoa -> Hyvä tietää -> Mihin energiaa kuluu?)

### 2.5.1 Rakennuksen vaipan johtumishäviöt

Rakennuksen vaipan johtumishäviö on lämmönsiirtymistä vaipan eri rakennusosien, kuten ulkoseinien, ylä- ja alapohjien sekä ovien ja ikkunoiden läpi. Rakenteen kykyä johtaa lämpöä kuvaa rakenteen U-arvo eli lämmönläpäisykerroin. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Lämpö. 2004, 15, 16.) Johtumishäviöiden osuutta rakennusten lämmitysenergiankulutuksesta on pyritty vähentämään rakennusmääräysten avulla pienentämällä rakenteiden suurimpia sallittuja U-arvoja. Nykyajan rakennuksissa johtumishäviöiden osuus onkin pienentynyt rakenteiden lämmöneristävyksien parantuessa. Rakenteiden lämmöneristävyttä voi parantaa ja näin ollen johtumishäviöitä pienentää kasvattamalla rakenteen lämmöneristyskerroksen paksuutta tai käyttämällä lämmöneristeenä pienen lämmönjohtavuuden omaavia eristeitä. (Kouhia – Nieminen – Pulkka 2010, 9.)

Rakenteen johtumishäviöitä kasvattavat myös rakenteissa olevat kylmäsillat. Kylmäsillalla tarkoitetaan rakenteen osaa, jonka kautta lämpöä johtuu ulos mer-

kittävästi ympäristöään enemmän. Kylmäsiltoja esiintyy etenkin rakennusosien liittymäkohdissa, kuten seinien nurkissa tai seinän ja lattian liittymissä. Kylmäsiltojen välttämiseksi rakennuksen suunnitteluvaiheessa tulee kiinnittää huomiota rakennusosien liittymien yksityiskohtiin. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille, Lämpö. 2004, 23.)

### **2.5.2 Ilmanvaihto ja ilmapuodot**

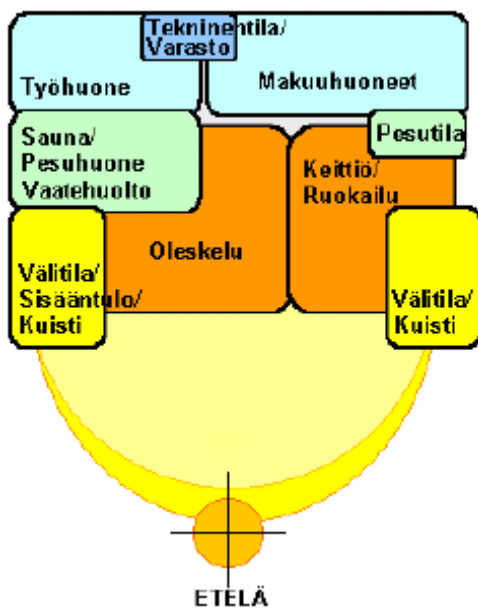
Ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutus on poistoilmanvaihdossa tapahtuvaa lämpöhäviötä. Sitä voidaan pienentää käyttämällä lämmöntalteenotolla varustettua koneellista ilmanvaihtojärjestelmää. Tällainen järjestelmä ottaa lämpöä poistoilmasta esimerkiksi lämmöntalteenottokuutiolla ja käyttää sitä tuloilman lämmittämiseen. Ilmanvaihdon lämpöhäviö on suuri etenkin vanhoissa rakennuksissa, jotka on varustettu painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä, sillä painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa. Uusissa rakennuksissa ilmanvaihdon lämpöhäviö sen sijaan on pientä, sillä Suomen rakentamismääräyskokoelma vaatii, että ilmanvaihdon poistoilmasta otetaan talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmittämiseen tarvittavasta lämpömäärästä. (D2 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2010. 2008, 23.)

Rakennuksen ilmapitävyyttä kuvataan ilmapuotoluvulla  $n_{50}$ , joka kuvaa, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan ilmapuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa:n ali- tai ylipaine. Ilmapuotoreiteillä tarkoitetaan rakennusvaipan kohtia, joiden kautta lämmintä sisäilmaa pääsee vuotamaan rakenteiden sisään tai talon ollessa alipaineinen ilmapuotokohdista kulkeutuu kylmää ulkoilmaa sisätiloihin. Tällainen ilmavirta on haitallinen rakennuksissa, sillä se kasvattaa kokonaisenergiankulutusta keskimäärin 4 % jokaista  $n_{50}$ -luvun kokonaisuksikön lisäystä kohti. Lämmönhukan lisäksi ilmapuodot altistavat rakenteet kosteusvaurioille lämpimän kostean sisäilman tiivistyessä kylmempiin rakenteiden osiin. Tyypillisimpiä syitä ilmapuodoille ovat rakennusosien höyryn- tai ilmansulun sekä läpivientien puutteelliset liitokset tai tiivisteiden puuttuminen kokonaan. (RT 80-10974. 2009.)

### 2.5.3 Muita lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä

Rakenteiden suunnittelun ja taloteknisten laitteiden lisäksi pientalon lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavat muun muassa tilaohjelma, rakennuksen muoto sekä rakennuspaikka. Lopulliseen lämmitysenergiankulutukseen voidaan vaikuttaa myös muokkaamalla asukkaiden käyttötottumuksia. (Perälä 2010.)

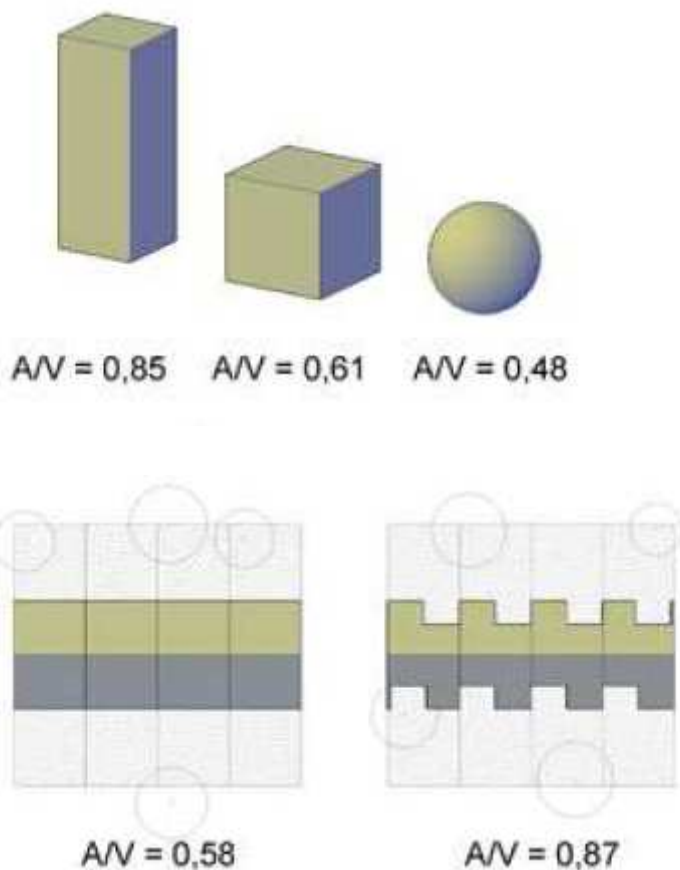
Tilaohjelmaa laadittaessa on kannattavaa panostaa sen tehokkuuteen, jotta turhia lämmitettäviä asuinneliötä tulisi mahdollisimman vähän. Oleskelutilat tulee energiatehokkuuden näkökulmasta tarkasteltuna sijoittaa keskelle rakennusta ja auringon puolelle, kun taas makuuhuoneet, harrastus- ja säilytystilat tulee sijoittaa rakennuksen pohjoispuolelle ulkoseinälle. (Kuva 2.) Pohjoispuolelle keskelle rakennusta sijoitetulla teknisellä tilalla voi puolestaan säästää kanavien ja putkitusten asennuksissa, ja siten esimerkiksi keskeisesti sijoitettu vesivaraaja säästää haalentuneen turhaan lämmitetyn veden kulutusta. (Perälä 2010.)



KUVA 2. Tilojen energiatehokas sijoittaminen (Perälä 2010)

Lämmitysenergian säästämiseksi rakennuksen muodon tulisi olla mahdollisimman kompakti. Rakennuksen muodon kompaktiutta voidaan kuvata ns. muotokertoimella, joka on ulkovaipan lämmöneristekerroksen ulkopinta-alan ja lämmitettävän tilavuuden suhdeluku  $A/V$ . Kuvan 3 yläosassa on nähtävissä, että rakennuksen muodon lähestyessä kompaktia pallon muotoa sen suhdeluku  $A/V$

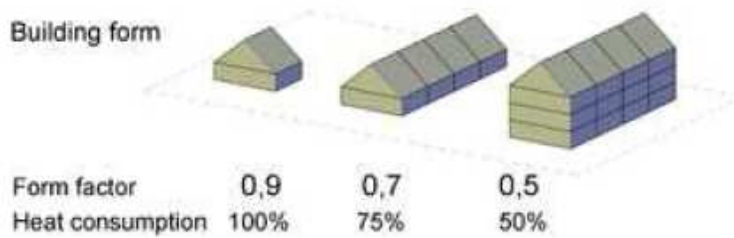
pienenee. Tämä tarkoittaa sitä, että ulkovaipan lämmöneristekerroksen pinta-ala pienenee suhteessa lämmitettävään tilavuuteen, eli rakennuksesta tulee energiatehokkaampi. Sama on nähtävissä kuvan 3 alaosasta, jossa vasemman puoleisen suorakaiteen muotoisen rakennuksen ulkovaipan lämmöneristekerroksen pinta-ala on pienempi kuin oikeanpuoleisella monimuotoisella rakennuksella, ja näin ollen myös sen suhdeluku  $A/V$  on pienempi. Energiatehokkaimpia rakennuksen muotoja olisivat pallo, kuutio, tai sylinteri, mutta käytännössä suorakaiteen muotoisella rakennuksella saavutetaan suurin energiansäästö, koska se voidaan tehokkaimmin suunnata kohti aurinkoa. (Passiivitalon luonnossuunnittelu.)



*KUVA 3. Esimerkkejä muotokertoimista (Heiduk 2008)*

Muotokertoimeen vaikuttaa myös rakennuksen koko, sillä esimerkiksi pienessä rakennuksessa ulkovaipan pinta-alaa on paljon suhteessa lämmitettävään tilavuuteen. Tämä ilmenee kuvasta 4, jossa vasemmalta oikealle siirryttäessä ra-

kennuksen ulkovaipan pinta-ala ja lämmitettävä tilavuus kasvaa, mutta ulkovaipan pinta-ala suhteessa lämmitettävään tilavuuteen pienenee.



*KUVA 4. Rakennuksen muodon ja koon vaikutus energiankulutukseen (Heiduk 2008)*

Rakennuspaikkaa valittaessa tulee kiinnittää huomiota rakennuspaikan maanpinnan muotoihin, kasvillisuuteen sekä ympäröiviin rakennuksiin. Jos mahdollista, rakennuspaikkaa tulee tarkastella eri vuorokauden- ja vuodenaikoina tontin valoisuuden selvittämiseksi. Korkeuseroja tutkailtaessa kannattaa muistaa, että korkealle rakennettu pientalo voi säästää lämmityskustannuksissa jopa 5 % alemmaksi rakennettuun taloon verrattuna. Säästö johtuu kylmän ilman luonnollisesta pyrkimyksestä asettua matalalle, kuten esimerkiksi alaville maille sekä laaksojen pohjille. (Hänninen 2012.) Kylmän ilman valumista alas voi kuitenkin myös estää istuttamalla kasvillisuutta tai rakentamalla rakennuksia sen tielle (Ojala 2000).

Yleisesti on todettu, että rakennus tulee sijoittaa mahdollisimman aurinkoon, mutta suojaan tuulelta. Tällöin pystytään hyödyntämään auringon lämmittävää vaikutusta etenkin talvisin, ja voidaan saavuttaa jopa 10 %:n energiankulutussäästö. Suotuisimpia rakennuspaikkoja energiankulutuksen kannalta ovat kaakon ja lännen väliset rinteet, joissa rinne muodostaa suojan kylmiä pohjoistuulia vastaan ja aurinko lämmittää rakennusta päivällä. Tasamaalle rakennettaessa puustolla ja muilla rakennuksilla voi suojata rakennusta tuulen viilentävältä vaikutukselta, mutta tällöin olisi suotavaa että muut rakennukset sijaitsisivat noin neljä kertaa korkeuttaan pidemmällä etäisyydellä, jotta ne eivät varjostaisi liikaa. (Hänninen 2012.)

Asukkaiden käyttötottumuksia muuttamalla voi pienentää asuintilojen lämmittämiseen kuluvan energian määrää. Esimerkiksi huonelämpötiloja kannattaa tarkkailla, sillä yhden asteen korotus huoneen lämpötilaan merkitsee jopa noin 5 %:n korotusta lämmitysenergian kulutukseen. Tästä syystä oleskelutilojen lämpötila on suositeltavaa pitää noin 21 °C:ssa. (Helsingin Energia. 2012, linkit: Energiansäästö -> Lämmitys ja ilmanvaihto.) Makuuhuoneiden lämpötilaa voi pitää muutamaa astetta alempana kuin oleskelutilojen lämpötilaa. Puolilämpimien tilojen tai muiden vastaavien tilojen, joissa ei oleskella, lämmittämistä kannattaa vähentää talvella ja erityisesti kovilla pakkasilla. (Pientalon energiankulutus ja päästöt.)

### **3 KOSTEUS RAKENTEISSA**

Kosteus siirtyy rakenteissa diffuusiolla, konvektiolla tai kapillaarisesti. Kosteuden liikkumista rakenteissa ei voida täysin estää, mutta sen kulkua voidaan rajoittaa ja ohjata. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Kosteus. 2009, 22.)

#### **3.1 Kosteuden siirtyminen diffuusiolla**

Vesihöyryn diffuusiolla tarkoitetaan kaasun molekyylien liikkumista suuremmasta pitoisuudesta pienempään. Molekyylien liike aiheutuu niiden keskinäisistä törmäyksistä. Diffuusiota tapahtuu aina, sillä luonnossa pitoisuudet pyrkivät aina tasoittumaan, ja näin ollen esimerkiksi talvisin esiintyvässä tyypillisessä diffusiosiiirtymisessä sisäilman vesihöyrypitoisempi ilma pyrkii siirtymään rakenteen läpi ulkoilmaan. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Kosteus. 2009, 19.)

Vesihöyryn diffuusion estämiseksi rakenteiden lämpimällä puolella käytetään ainekerroksia, joiden vesihöyrynvastus on Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan riittävä. Esimerkiksi käytettäessä avohuokoisia lämmöneristeitä Suomen rakentamismääräyskokoelma vaatii, että lämpimällä puolella olevan rakennekerroksen vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen verrattuna kylmällä puolella olevaan rakennekerrokseen. Jos vaatimus ei toteudu eikä rakennetta voida muuten todeta kosteusteknisesti toimintavarmaksi, rakenteen lämpimälle puolelle tulee lisätä höyrynsulku. Höyrynsulkuna voi tällöin toimia esimerkiksi höyrynsulkumuovi tai alumiinipaperi. (C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998.1998, 9.)

#### **3.2 Kosteuden siirtyminen konvektiolla**

Vesihöyryn konvektio on vesihöyryn siirtymistä ilman tai jonkin muun kaasun virtauksen mukana (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Kosteus. 2009, 20). Sen esiintyminen rakennuksissa tulee estää käyttämällä rakenteissa ilman-sulkukerroksia sekä huolehtimalla muutoin rakennuksen ilmatiiveydestä, sillä päästessään virtaamaan rakenteiden sisään vesihöyryn konvektio muodostaa mikrobivaurioriskin (Jurmu 2011). Tyypillinen esimerkki tästä on tilanne, jossa



sisätila on ylipaineinen ulkoilmaan nähden tai sisätila on ylipaineinen esimerkiksi yläpohjaan tai ryömintätilaan nähden ja rakenteissa on saumoja, rakoja, reikiä tai läpivientejä, joiden kautta vesihöyryä pääsee virtaamaan. Vesihöyryn siirtymistä konvektiolla voidaan kuitenkin myös hyödyntää esimerkiksi yläpohjien tai ryömintätilaisten alapohjien ylimääräisen kosteuden tuulettamiseksi. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Kosteus. 2009, 20.)

### **3.3 Veden kapillaarinen siirtyminen**

Vesi voi siirtyä huokoisessa rakenteessa tai rakennusaineessa kapillaarisesti, mikäli ne ovat kosketuksissa vapaaseen veteen tai materiaaliin, jonka huokosissa on vettä. Huokosten koko vaikuttaa veden kapillaariseen siirtymiseen, sillä kapillaaristen voimien aiheuttama huokosalipaine on sitä suurempi, mitä pienempi huokonen on. Yleinen tapaus veden kapillaarisesta siirtymisestä on ylöspäin tapahtuva siirtyminen, mutta siirtymistä voi tapahtua myös alaspäin tai vaakasuunnassa. Tällöin myös tuulenpaine tai painovoima vaikuttaa veden siirtymiseen huokosissa. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Kosteus. 2009, 15.) Esimerkkinä vaakasuuntaisesta siirtymisestä voidaan pitää huonosti reunoiltaan kosteuseristettyä betonista alapohjarakennetta, johon siirtyy kosteutta kapillaarisesti ympäröivistä rakenteista (Jurmu 2011).

### **3.4 Kosteuden kondensoituminen**

Kosteuden kondensoitumisella eli tiivistymisellä tarkoitetaan tilannetta, jossa vesihöyryä sisältävän kaasun suhteellinen kosteus ylittää 100 %. Tällöin kaasun kuten esimerkiksi ilman vesihöyrypitoisuus on suurempi kuin ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus, ja siten ylimääräinen kosteus tiivistyy nesteeksi. Kyllästysvesihöyrypitoisuus on riippuvainen lämpötilasta lämpimän ilman sijaan kylmää ilmaa enemmän kosteutta. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Kosteus. 2009, 3.) Tästä johtuu, että kosteus tiivistyy helpommin kylmässä ilmassa tai pinnassa, ja siksi esimerkiksi rakennusten ilmavuodot muodostavat riskin kosteuden kondensoitumiselle, lämpimän ja kostean ilman kohdatessa kylmän rakenteen pinnan (Jurmu 2011).

Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan ilmassa olevan todellisen vesihöyrypitoisuuden  $v$  suhdetta ilman kyllästysvesihöyrypitoisuuteen  $v_k$ . Suhteellinen kosteus

RH (%) lasketaan kaavan 6 mukaisesti. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööri-  
le, Kosteus. 2009, 3.)

$$RH = \frac{v}{v_k} \times 100\% \quad \text{KAAVA 6}$$

$v$  = ilman todellinen vesihöyrypitoisuus ( $\text{g/m}^3$ )

$v_k$  = ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus ( $\text{g/m}^3$ )

### 3.5 Rakennuskosteus

Rakennuskosteudella tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka on rakennusvaiheen aikana tai sitä ennen sitoutunut rakenteisiin tai rakennusaineisiin. Rakennuskosteuden tulee poistua ennen kuin rakennusaine tai rakenne saavuttaa kosteustasapainon ympäristönsä kanssa. (C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998. 1998, 2.)

### 3.6 Kosteuden aiheuttama biologinen turmeltuminen

Rakenteissa esiintyvä liiallinen kosteus voi pitkään jatkuessaan aiheuttaa mikrobivaurioita, kuten homeenkasvua ja puurakenteiden lahoamista. Kosteuden lisäksi mikrobivaurion syntymiseen vaaditaan sopivaa lämpötilaa, joka puurakenteilla on yli  $0\text{ }^\circ\text{C}$  (taulukko 1).

*TAULUKKO 1. Puuta ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden aiheuttama puun homehtumis- ja lahoamisriski (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööri-  
le, Lämpö. 2004, 51)*

Vaurio	Ei riskiä	Kohtalainen riski	Suuri riski
Laho	< 75 %	75...95 %	> 95 %
Home	< 70 %	70...85 %	> 85 %

Homeenkasvuun vaadittavaa olosuhteiden vaikutusaikaa  $t$  (vko) voidaan määntypuun kohdalla arvioida kokeellisella kaavalla 7 (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööri-  
le, Lämpö. 2004, 51).

$$t = \exp(-0,677 \times \ln(T) - 13,145 \times \ln(RH) + 62,6) \quad \text{KAAVA 7}$$

$T$  = lämpötila (0,1...45°C)

$RH$  = suhteellinen kosteus (%)

Kuukausitasolla homehtumisriskiä voidaan arvioida kaavalla 8 (Rakennusfysiikka rakennusinsinöörille, Lämpö. 2004, 52).

$$\text{Homehtumisriski} = \frac{31}{(7 \times t)} \quad \text{KAAVA 8}$$

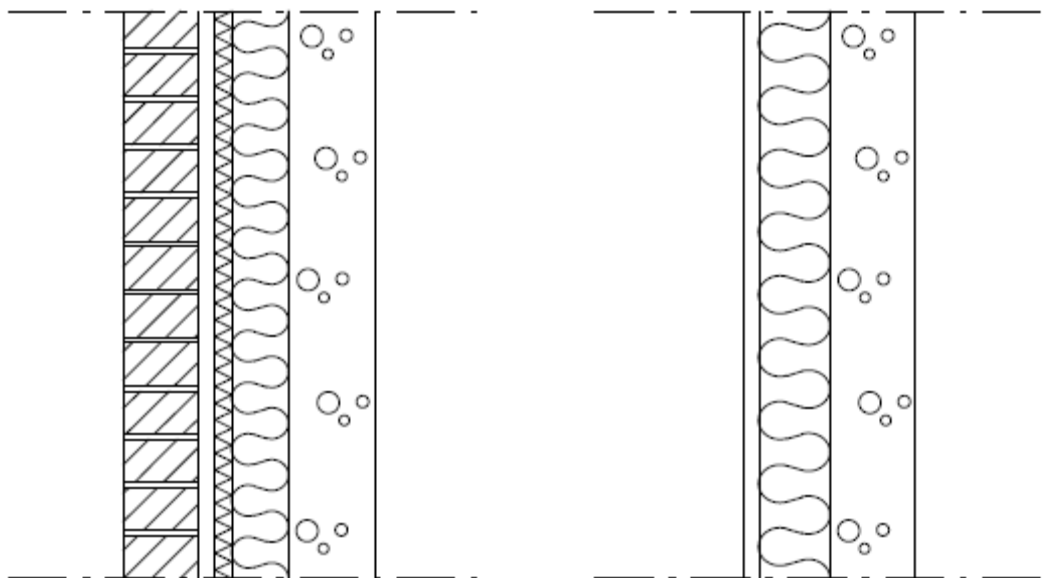
$t$  = homeenkasvuun vaadittava olosuhteiden vaikutusaika (vko)

## 4 ULKOSEINIEN LISÄERISTÄMINEN

Suurin osa rakennusten vaipan pinta-alasta muodostuu ulkoseinistä. Tästä syystä energiakorjauksia suunniteltaessa ulkoseinien lisäeristäminen on yleensä tehokkaimpia keinoja pienentää rakennuksen energiankulutusta. (Hekkanen – Hemmilä – Holopainen – Norvasuo 2007, 21.)

### 4.1 Lisäeristäminen ulkopuolelta

Ulkoseinien ulkopuolinen lisäeristäminen on etenkin kerrostaloissa paljon käytetty keino parantaa ulkoseinien lämmöneristävyyttä. Se on kannattavinta tapauksissa, joissa myös vanha ulkoverhous halutaan uusia tai korjata. Yleisimpiä tapauksia ovat betonielementtirakenteisten kerrostalojen lisäeristysremontit, joissa vanha betoninen ulkokuori halutaan korvata tiiliverhouksella tai rappauspinnalla. (Kuva 5.) Jos vanha ulkokuori kuitenkin on hyvässä kunnossa, voidaan lisäeriste tapauskohtaisesti kiinnittää myös suoraan ulkokuoren päälle. (Hekkanen ym. 2007, 22.)



*KUVA 5. Betoniseinän vanha ulkokuori korvattu tiiliverhouksella ja lisäeristeellä, sekä vaihtoehtoisesti eristerappauksella*

Ulkoseinän kosteusteknisen toimivuuden kannalta tarkasteltuna ulkoseinä on kannattavampaa lisäeristää ulkopuolelta. Tällöin seinän vanhaan höyrynsulkuun

ei tarvitse tehdä muutoksia, joten välipohjien sekä väliseinien höyrynsulun liitoksia ei tarvitse suunnitella uudelleen. Myös vanha tuulensuojakerros voidaan yleensä jättää paikalleen. Ulkopuolinen lisäeristäminen myös nostaa vanhan rakenteen lämpötilaa. Lämpötilan noustessa seinän kosteuspitoisuus pienenee, ja näin ollen mikrobien kasvun todennäköisyys pienenee. (Hekkanen ym. 2007, 22.)

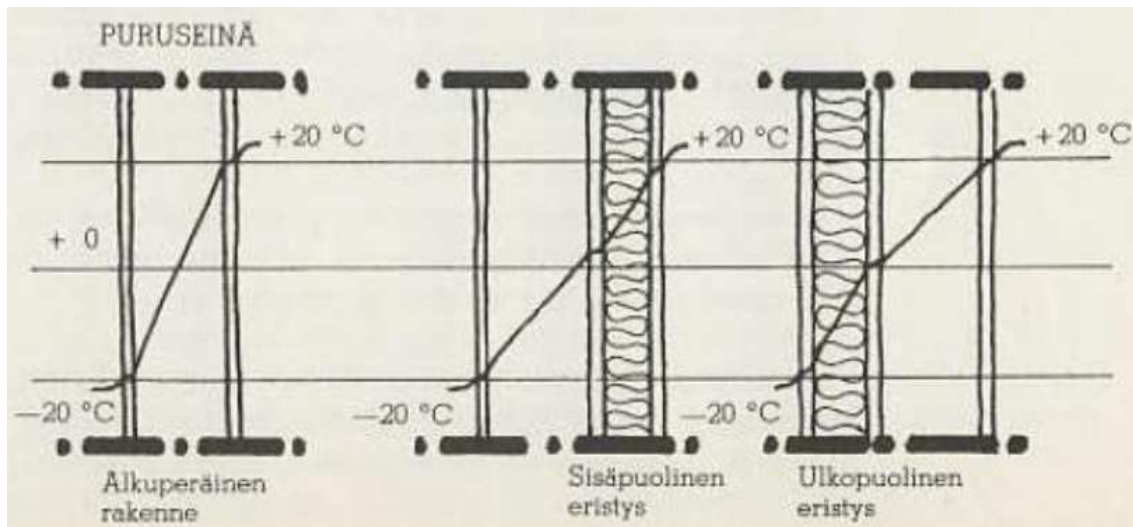
Ulkopuolelta lisäeristettäessä tulee kuitenkin varmistaa, että lisäeristeellä on riittävä kyky läpäistä sisäpuolelta tulevaa vesihöyryä. Jos lisäeriste ei läpäise tarpeeksi sisäpuolelta tulevaa vesihöyryä, vaarana on, että lisäeristeen ja vanhan rakenteen rajapintaan muodostuu kastepiste. Kastepisteen muodostuessa sisäpuolelta tuleva kosteus alkaa kondensoitua rakenteeseen ja siten altistaa rakenteen mikrobien kasvamiselle. Riittävä vesihöyrynläpäisy ja kosteuden tuuletus voidaan helpoiten varmistaa käyttämällä lisäeristeenä mineraalivillatuotteita sekä jättämällä ulkoverhouksen ja lisäeristeen välille tuuletusrako. (Hekkanen ym. 2007, 22.)

#### **4.2 Lisäeristäminen sisäpuolelta**

Ulkoseinän lisäeristäminen sisäpuolelta on kannattavaa silloin, kun ulkoverhouksen kunto on hyvä tai sitä ei muusta syystä haluta uusia. Sisäpuolinen lisäeristäminen on usein tällaisissa tapauksissa etenkin rakennuskustannuksien kannalta edullisempaa kuin ulkopuolinen lisäeristäminen. Sisäpuolinen lisäeristäminen saattaa tulla kyseeseen myös silloin, jos ulkoseinän höyry- tai ilman-sulkukerros on puutteellinen tai sisäverhous on korjaustarpeessa. (Hekkanen ym. 2007, 24.)

Sisäpuolisella lisäeristämällä saattaa olla negatiivisia vaikutuksia ulkoseinän kosteustekniseen toimivuuteen. Lisäeristämisen jälkeen vanhan ulkoseinä-rakenteen lämpötila laskee, sillä lisäeriste pienentää sisäpuolelta vanhaan rakenteeseen pääsevän lämmön määrää. (Kuva 6.) Tästä on seurauksena se, että kastepiste siirtyy sisemmäksi vanhaan rakenteeseen. (Tulla 2011.) Jos höyrynsulkukerros on puutteellinen, sisäpuolelta tuleva vesihöyry voi kondensoitua kastepisteessä ja näin ollen altistaa ulkoseinän mikrobien kasvulle. Siksi onkin

tärkeää, että sisäpuolisen lisäeristämisen yhteydessä huolehditaan höyrynsulkukerroksen tiiveydestä ja sen oikeasta paikasta. (Hekkanen ym. 2007, 24.)



KUVA 6. Lisäeristämisen vaikutus seinän lämpötiloihin (Tulla 2011)

Käytettäessä ilmaa ja kosteutta läpäisevää lisälämmöneristettä tulee lisäeristeen päälle yleensä asentaa höyrynsulkukerros. Poikkeuksena ovat uretaanieristeet, joiden vesihöyrynläpäisevyys on pieni. Jos lisäeristekerrokseen asennetaan uusi höyrynsulkukerros, tulee rakenteesta entuudestaan oleva höyrynsulkukerros poistaa tai rei'ittää. Muutoin lisäeriste jää kahden vesihöyrytiiviin kerroksen väliin, jolloin seurauksena on mikrobivaurio. (Hekkanen ym. 2007, 24.)

### 4.3 Lämmöneristeen vaihto

Lämmöneristeen vaihtaminen voi olla kannattavaa silloin, kun ulkoseinän eristeenä on käytetty sahanpurua tai kutterilastua, sillä näiden lämmöneristeiden lämmönjohtavuus on suuri verrattuna nykyajan lämmöneristeisiin (Hekkanen ym. 2007, 25). Esimerkiksi markkinoiden tämän hetken tehokkaimman mineraalivillaeristeen Isover KL 32:n lämmönjohtavuusarvo on noin 2,5 kertaa pienempi kuin sahanpurulla (Isover KL-32. 2012). (Taulukko 2.) Tässä tapauksessa mineraalivillaeristeellä saavutettaisiin 2,5 kertaa parempi lämmöneristävyys muuttamatta ulkoseinän paksuutta. Purueristeen vaihtamista puoltaa myös se, että vuosien saatossa sahanpuru tiivistyy ja tiivistyessään erityisesti ikkunoiden alle saattaa syntyä kohtia, joissa ei ole lainkaan lämmöneristettä (Tulla 2011).

## TAULUKKO 2. Erilaisten lämmöneristeiden lämmönjohtavuuksia

<b>Lämmöneriste</b>	$\lambda_n$ [W/mK]	$\lambda_{dec}$ [W/mK]	$\lambda_D$ [W/mK]
Sahanpuru	0,08		
Kutterilastu	0,12		
<b><u>Mineraalivillat</u></b>			
Isover KL 32		0,032	
Paroc eXtra			0,036
Rockwool Super A-Batts			0,034

Eristeen vaihtaminen tulee suorittaa ulkoseinärakenteen puolelta, joka vaatii korjausta. On kuitenkin suositeltavaa etenkin purueristetyissä taloissa vaihtaa eriste sisäpuolelta, koska mineraalivillaeristeet vaativat kosteusteknisen toimivuuden kannalta höyrynsulun käyttöä. (Hekkanen ym. 2007, 25.) Vanhoissa purueristetyissä taloissa ei yleensä ole käytetty höyrynsulkua, poikkeuksena ovat kuitenkin myöhemmin lisäeristetyt purutalot, joissa höyrynsulku on saatettu lisätä lisäeristeen päälle (Tulla 2011).

### 4.4 Talo Siponkoski

Opinnäytetyön kohteena on Keski-Pohjanmaalla Vetelin kunnassa sijaitseva, vuonna 1961 rakennettu omakotitalo. Talo Siponkoski on kellarillinen 1 ½ -kerroksinen rakennus, jonka kellarissa on varastotiloja sekä puuhuone. (Siponkoski 2012.)

#### 4.4.1 Rakenteet

Talo Siponkoski on rankarunkoinen paikallarakennettu puutalo, jonka rakenteissa on käytetty ajalleen tyypillisiä rakennusmateriaaleja sekä menetelmiä. Seinien lämmöneristeinä on käytetty pääosin sahanpurua, mineraalivillaa sekä puukuitulevyä. Välipohjan eristeenä on mineraalivillaa. (Siponkoski 2012.)

Alapohjarakenteita on kolme erilaista. Vuonna 1961 rakennetun osan alapohjana on maanvarainen betonilaatta, jonka päälle on levitetty nestemäistä bitumia kapillaarisen kosteuden tunkeutumisen estämiseksi. Bitumin päällä on lämmöneristeenä sahanpurua. Vuonna 1971 rakennetun lisäosan sekä 1986 rakennetun harrastetilan alapohja on tehty kahdesta betonilaatasta, joiden väliin

on asennettu 100 mm EPS-eristettä. Kellarin alapohja koostuu pelkästä maanvaraisesta betonilaatasta. (Siponkoski 2012.)

Yläpohjarakenteita on kahdenlaisia. Vuonna 1961 rakennetun osan yläpohjan rakennetta on muutettu 1995 kun ullakkotila otettiin asuinkäyttöön. Tuolloin pärekatteen päälle asennettiin konesaumattu peltikate sekä sisäpuolelle lisättiin lämmöneristeeksi mineraalivillaa. 1971 rakennetun lisäosan katteena on konesaumattu peltikate ja eristeenä koivupuru. (Siponkoski 2012.)

#### **4.4.2 Asuintilojen laajennukset ja korjaushistoria**

Talon asuintiloja on laajennettu neljä kertaa. Valmistuessaan vuonna 1961 rakennuksessa oli 3 makuuhuonetta, wc, keittiö, olohuone sekä kylmä ullakkotila. Vuonna 1971 valmistui laajennusosa, johon rakennettiin kodinhoituhuone, sauna- ja pesuhuone, wc sekä autotalli. Laajennusosaan rakennettuun autotalliin tehtiin vuonna 1986 toimistotila, joka myöhemmin muutettiin harrastetilaksi. Asuintiloja laajennettiin vielä kertaalleen vuonna 1995, kun ullakkotilaan rakennettiin kaksi makuuhuonetta, kaksi vaatehuonetta, aula sekä wc/pesuhuone. (Siponkoski 2012.)

Asuintilojen laajentamisen lisäksi taloon on tehty kolme erilaista energiaremonttia sekä pesutilojen korjaus. Energiaremonteista ensimmäinen tehtiin vuonna 1988, jolloin talon vanha öljylämmitysjärjestelmä vaihdettiin suoraan sähkölämmitykseen. Toisessa energiaremontissa vuonna 1989 keskityttiin pienentämään ikkunoiden lämmönhukkaa, ja siksi entiset 3-lasiset puuikkunat vaihdettiin MSE-tyyppisiin 3-lasisiin umpiolasielementillä varustettuihin puualumiini-ikkunoihin. (Siponkoski 2012.)

Ensimmäinen ulkoseinien lisäeristys tehtiin 1970-luvulla. Tuolloin rakennusalalla käytettiin seinien lisälämmöneristeenä muun muassa seinien sisään ruiskutettava ureaformaldehydivaahtoa, ja siten myös Talo Siponkosken ulkoseiniin ruiskutettiin ureaformaldehydivaahtoa ulkoseiniin porattujen reikien kautta. Toinen lisäeristys tehtiin vuonna 1978, jolloin ulkoseinien sisäpintaan lisättiin 12 mm:n kuitulevy sekä 50 mm:n mineraalivilla. Mineraalivillan päälle asennettiin vielä höyrynsulkumuovi estämään kosteuden siirtymistä rakenteisiin. (Siponkoski 2012.)



#### 4.4.3 Alkuperäisten seinien energiankulutus ja rakennusfysikaalinen toiminta

Opinnäytetyössä selvitettiin aluksi kohteena olevan Talo Siponkosken lisäeristettävien ulkoseinien rakenteet sekä pinta-alat. Koska Talo Siponkosken alkuperäisiä rakennuslupakuvia ei ollut saatavilla, laadittiin rakennuslupakuvat kohteessa suoritettujen mittausten perusteella. Tämän jälkeen ulkoseinien rakenteet ja pinta-alat voitiin selvittää mittausten, ja seinien rakennusvuonna yleisesti käytössä olleiden seinärakenteiden sekä rakennusmateriaalien perusteella. Lisätietoa kohteesta saatiin haastatteleamalla talon omistajaa.

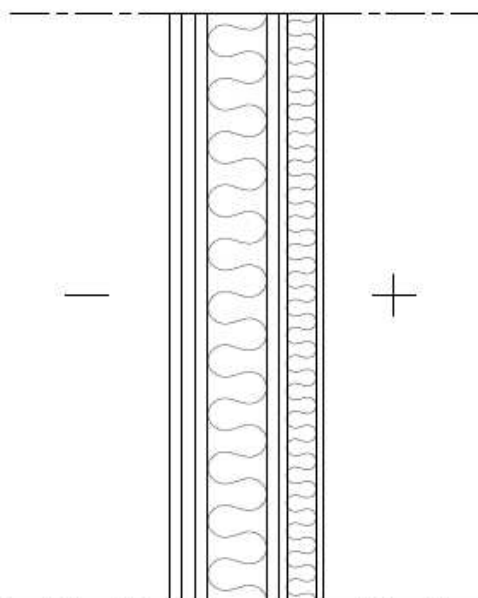
Lähtötietojen hankkimisen jälkeen valittiin lisäeristettävät ulkoseinät. Lisäeristettäviksi seiniksi valittiin 1. kerroksen pesu- sekä puolilämpimiin tiloihin rajoittuvat ulkoseinät, sillä niiden katsottiin olevan heikoiten eristettyjä (liite 1). Lisäeristettäviksi ulkoseiniksi tuli näin ollen kolme erilaista seinää, US 1, US 2 ja US 3.

US 1 on purueristeinen rankarakenteinen puuseinä, jota on myöhemmin lisäeristetty mineraalivillalla ja ureaformaldehydivaahdolla (kuva 7).

##### US 1:

- Vaakapaneeli 22mm
- Ilmaväli 22mm
- Vinolaudoitus 22mm
- Tervapaperi 0,2mm
- Runko + sahanpuru 100mm
- Pinkopaperi 1mm
- Vaakalaudoitus 22mm
- Puukuitulevy 12mm
- Koolaus + mineraalivilla 50mm
- Höyrynsulkumuovi 0,2mm
- Lastulevy 13mm
- Lasikuitutapetti + maali

Sahanpurun sekaan ruiskutettu ureaformaldehydivaahtoa.

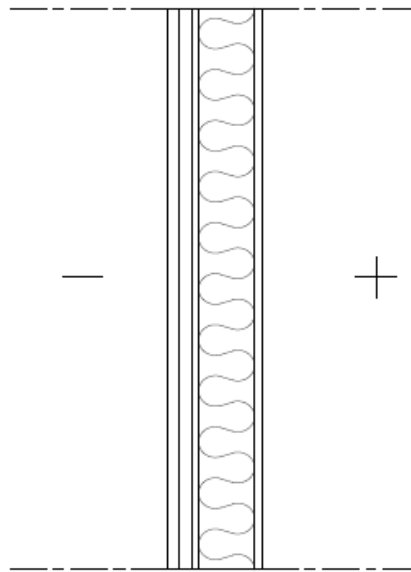


KUVA 7. US 1:n rakenne

US 2 ja US 3 ovat mineraalivillaeristeisiä seiniä, joista US 3:sta on jo aiemmin lisäeristetty mineraalivillalla (kuva 8 ja 9).

### US 2:

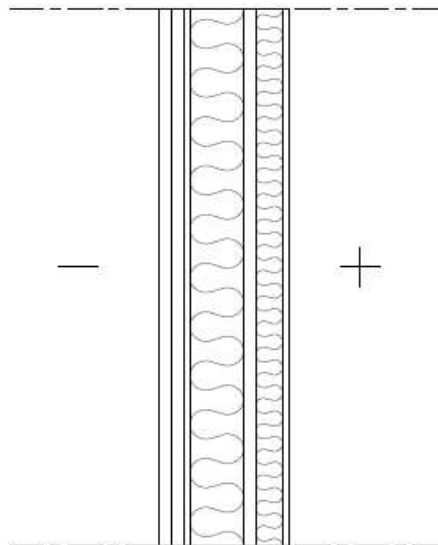
- Vaakapaneeli 22mm
- Ilmaväli 22mm
- Bituliitti 12mm
- Runko + mineraalivilla 100mm
- Höyrinsulkumuovi 0,2mm
- Lastulevy 13mm
- Lasikuitutapetti + maali



KUVA 8. US 2:n rakenne

### US 3:

- Vaakapaneeli 22mm
- Ilmaväli 22mm
- Bituliitti 12mm
- Runko + mineraalivilla 100mm
- Vaakalaudoitus 22mm
- Koolaus + mineraalivilla 50mm
- Höyrinsulkumuovi 0,2mm
- Lastulevy 13mm
- Tapetti + maali



KUVA 9. US 3:n rakenne

Lisäeristettävien ulkoseinien rakennusfysikaalisen toiminnan tarkastelemiseksi seinien rakennusmateriaaleille tuli määrittää niiden lämmönjohtavuuden  $\lambda$ -arvot sekä vesihöyryvastukset. Lämmönjohtavuuden arvoina käytettiin normaalisia lämmönjohtavuuden arvoja  $\lambda_n$ , jotka saatiin Suomen rakentamismääräysko-

koelman osasta C4. Rakennusmateriaalien vesihöyrynvastuksen arvot puolestaan saatiin Rakennusfysiikan sovellukset -opintojakson materiaalista (Illikainen 2012). Osalle rakennusmateriaaleista ei löytynyt valmista vesihöyrynvastuksen arvoa, joten näiden materiaalien vesihöyrynvastukset saatiin materiaalin paksuuden ja vesihöyrynläpäisevyyden suhteena.

Dof-lämpö-ohjelmalla suoritettu rakennusfysikaalinen tarkastelu aloitettiin syöttämällä ohjelmaan ulkoseinärakenteiden rakennusainekerrosten ominaisuudet, kuten paksuudet, lämmönjohtavuudet, vesihöyrynvastukset sekä mahdolliset kylmäsilat. Tämän jälkeen määritettiin ulkoseinärakenteiden pintavastukset Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaisesti. Hyvin tuulettuvasta ilmavälistä johtuen ulkoverhouksen ja ilmavälin vaikutusta lämmöneristävyyteen ei huomioitu ja sisä- sekä ulkopinnan lämmönvastuksina käytettiin arvoa  $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Pintavastusten jälkeen ohjelmaan syötettiin kunkin seinärakenteen pinta-alat lämpöhäviölaskelmaa varten. Ne olivat US 1:llä  $75,5 \text{ m}^2$ , US 2:lla  $6,58 \text{ m}^2$  ja US 3:lla  $52 \text{ m}^2$ .

Koska Talo Siponkosken sijaintikunnasta Vetelistä ei ollut saatavissa vuosittaisia ilmastotietoja, Dof-lämpö-tarkastelussa ulkoseinien ilmasto-olosuhteina käytettiin Vaasasta saatuja kuukausittaisia keskilämpötiloja sekä ulkoilman suhteellisen kosteuden arvoja. Sisäilman lämpötilana käytettiin  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  ja suhteellisena kosteutena  $50 \%$ . (Liite 2.)

Wufi-1D-ohjelmalla suoritettu tarkastelu tehtiin yhden vuoden ajalle. Tarkastelu aloitettiin tekemällä tutkittavat ulkoseinärakenteet kerroksittain ohjelmaan. Rakennusmateriaaleina käytettiin ohjelman materiaalikirjaston materiaaleja, ja tarvittaessa niiden ominaisuuksia muokattiin vastaamaan Dof-tarkastelussa käytettyjä materiaaleja. Materiaalien lämmönjohtavuuksiksi valittiin kosteus- ja lämpötilariippuvaiset lämmönjohtavuudet, ja lähtötilanteessa materiaalien suhteellisena kosteutena käytettiin  $80 \%$ :a ja lämpötilana  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ :ta. Pintavastuksina käytettiin jokaisessa seinässä  $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Ilmastotietona käytettiin Luulajan tietoja, sillä Vaasan tietoja saati muun Suomen ilmastotietoja ei ohjelmassa ollut valittavissa (liite 2). Ilmavälin ja julkisivuverhouksen suojaavasta vaikutuksesta johtuen sadeveden absorptiota ei Wufi-laskennassa huomioitu.

#### 4.4.4 Lisäeristäminen sisäpuolelta

Talo Siponkosken ulkoseinän sisäpuolisena lisäeristeenä käytettiin mahdollisimman tehokasta lämmöneristettä, jotta lisäeristeen paksuus voitiin pitää kohtuullisena ja näin ollen asuintilojen tilavuus ei merkittävästi pienentynyt.

Lisälämmöneristettä valittaessa oli tiedossa, että muovieristeet ovat tehokkaimpia lämmöneristeitä, joten niitä käyttämällä voitaisiin päästä pieniin eristepaksuuksiin sekä hyvään lämmöneristävytyteen. Eristeessä tuli kohteen omistajan vaatimuksesta olla sisäpuolella valmiiksi kiinnitettynä kipsilevy, jotta sisäpintojen työstäminen olisi mahdollisimman helppoa ja nopeaa.

Sopiva eriste etsittiin käymällä läpi tunnettujen suomalaisten eristevalmistajien tuotteita. Kävi ilmi, että suulakepuristettuja polystyreenieristeitä (XPS-eristeitä), paisutettuja polystyreenieristeitä (EPS-eristeitä) sekä grafiittieristeitä ei ollut saatavissa kipsilevyypintaisina, joten ne jätettiin pois valinnasta. Jäljellä olivat polyisosyanyraattipohjaiset PIR-eristeet sekä uretaanieristeet eli PUR-eristeet.

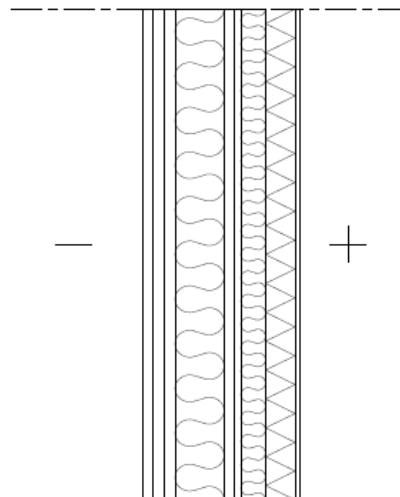
PIR-eristeistä kipsilevyypintaisena oli saatavissa Thermisolin valmistamaa Titan Gipsline -eristettä. (Titan Gipsline monikäyttöinen eristelevy. 2012.) PUR-eristeistä kipsilevyypintaisena sai SPU:n valmistamaa Anselmi-eristettä (Lisäeristys, Anselmi. 2012). Titan Gipsline -eristeen lämmönjohtavuusarvo oli 0,023 W/mK, kun taas Anselmin lämmönjohtavuusarvo oli 0,027 W/mK. Näin ollen pienemmän lämmönjohtavuutensa vuoksi lisäeristeeksi valittiin 70 mm:n Thermisol Titan Gipsline -eriste. Titan Gipsline -eristeessä on 60 mm PIR-eristettä, jonka päälle on liimattu 9,5 mm:n kipsilevy. Valittu lisäeriste ei läpäise vesihöyryä, joten ulkoseinien kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi seinien sisäpinnasta poistettiin levytys sekä höyrynsulkumuovi ennen Titan Gipsline -eristeen lisäämistä.

Dof-lämpö- sekä Wufi-1D-ohjelmilla tehty rakennusfysikaalinen tarkastelu tehtiin kuvien 10, 11 ja 12 mukaisille rakenteille.

### US 1 lisäeristetty sisäpuolelta:

- Vaakapaneeli 22mm
- Ilmaväli 22mm
- Vinolaudoitus 22mm
- Tervapaperi 0,2mm
- Runko + sahanpuru 100mm
- Pinkopaperi 1mm
- Vaakalaudoitus 22mm
- Puukuitulevy 12mm
- Koolaus + mineraalivilla 50mm
- Thermisol Titan Gipsline 70mm

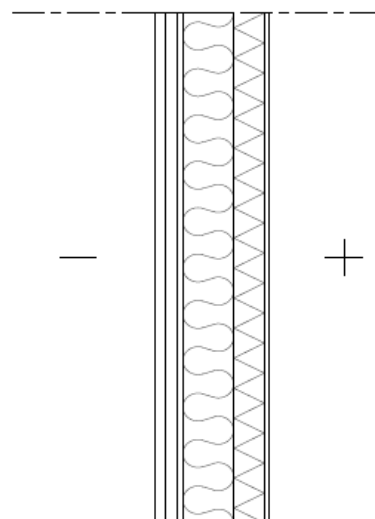
Sahanpurun sekaan ruiskutettu ureaformaldehydivaahtoa.



*KUVA 10. Tarkasteluissa käytetty US 1 sisäpuolisella lisäeristyksellä*

### US 2 lisäeristetty sisäpuolelta:

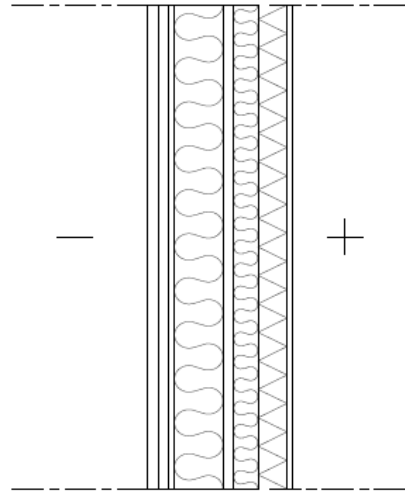
- Vaakapaneeli 22mm
- Ilmaväli 22mm
- Bituliitti 12mm
- Runko + mineraalivilla 100mm
- Thermisol Titan Gipsline 70mm



*KUVA 11. Tarkasteluissa käytetty US 2 sisäpuolisella lisäeristyksellä*

### US 3 lisäeristetty sisäpuolelta:

- Vaakapaneeli 22mm
- Ilmaväli 22mm 22mm
- Bituliitti 12mm
- Runko + mineraalivilla 100mm
- Vaakalaudoitus 22mm
- Koolaus + mineraalivilla 50mm
- Thermisol Titan Gipsline 70mm



*KUVA 12. Tarkasteluissa käytetty US 3 sisäpuolisella lisäeristyksellä*

Tarkastelu suoritettiin samoin kuten alkuperäisten seinien Dof-lämpö-tarkastelu, ja siten tarkastelun pohjana käytettiin alkuperäisten seinien yhteydessä hankittuja tietoja rakennusaineiden ominaisuuksista, pintavastuksista, vallitsevasta ilmastosta sekä seinäpinta-aloista. Poikkeuksena seinään lisätyn Titan Gipsline –lisäeristeen lämmönjohtavuudenarvo sekä vesihöyrynvastus.

Myös Wufi-tarkastelu eteni kuten alkuperäisten seinien kohdalla. Ainoa muutos seiniin oli Titan Gipsline –lisäeristeen lisääminen. Titan Gipsline –lisäeristeen Wufi-tietoja ei ollut saatavissa, joten se lisättiin kerroksittain käyttämällä sen tilalla Wufin materiaalikirjastosta kahta erittäin vesihöyrytiivistä kalvoa, polyuretaania sekä kipsilevyä. Polyuretaanin lämmönjohtavuus muutettiin vastaamaan Titan Gipsline PIR-eristettä vastaavaksi.

#### **4.4.5 Lisäeristäminen ulkopuolelta**

Talo Siponkosken ulkoseinien kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi ulkopuolisen lisäeristeen valinnassa kiinnitettiin erityistä huomiota eristeen kykyyn läpäistä sisäpuolelta tulevaa kosteutta. Tämän lisäksi lisäeristeen tuli parantaa mahdollisimman paljon ulkoseinien lämmöneristävyttä sekä olla helposti asennettavissa. Kävi ilmi, että vaaditut ominaisuudet täytyisivät parhaiten mineraali-

villasta valmistetulla tuulensuojaeristeellä, jonka pinnassa olisi tuulitiivis pinnoite.

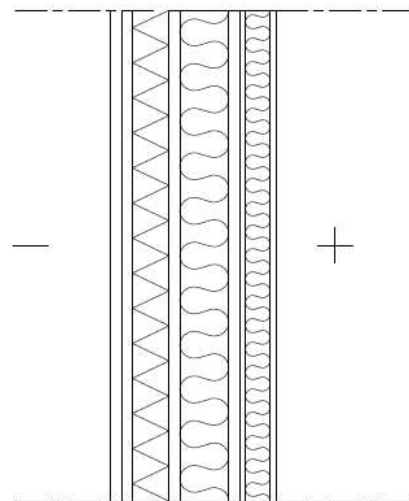
Sopivan lisäeristeen valitseminen aloitettiin tutkimalla tunnettujen eristevalmistajien, kuten Isoverin, Parocin sekä Rockwoolin tuotteita. Näiden valmistajien tuotteiden kesken lämmöneristävyydeltään tehokkaimmiksi tuulensuojaeristeiksi osoittautuivat Isoverin RKL-31 FACADE ja Parocin WPS 3n. Molempien eristeiden läpäistessä hyvin sisäpuolista kosteutta ulkopuolisen lisäeristeen valinta suoritettiin lämmönjohtavuuden perusteella. Koska Isoverin RKL-31 FACADE omasi pienemmän lämmönjohtavuuden 0,031 W/mK, se valittiin lopulta ulkopuoliseksi lisälämmöneristeeksi (Isover RKL-31 FACADE. 2012).

Dof-lämpö- sekä Wufi-ohjelmilla tehty rakennusfysikaalinen tarkastelu tehtiin kuvien 13, 14 ja 15 mukaisille rakenteille.

#### US 1 lisäeristetty ulkopuolelta:

- Vaakapaneeli 22mm
- Ilmaväli 22mm
- Isover RKL-31 FACADE 75mm
- Vinolaudoitus 22mm
- Tervapaperi 0,2mm
- Runko + sahanpuru 100mm
- Pinkopaperi 1mm
- Vaakalaudoitus 22mm
- Puukuitulevy 12mm
- Koolaus + mineraalivilla 50mm
- Höyrynsulkumuovi 0,2mm
- Lastulevy 13mm
- Lasikultutapetti + maali

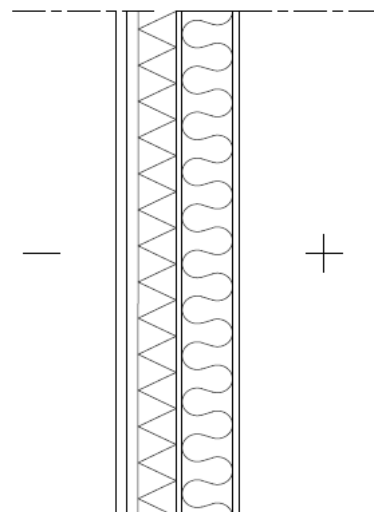
Sahanpurun sekaan ruiskutettu ureaformaldehydivaahtoa.



**KUVA 13.** Tarkasteluissa käytetty US 1 ulkopuolisella lisäeristyksellä

### US 2 lisäeristetty ulkopuolelta:

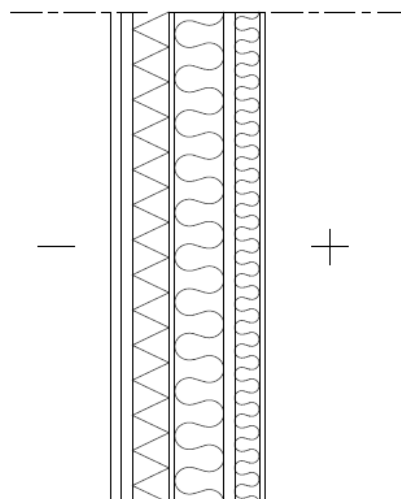
- Vaakapaneeli 22mm
- Ilmaväli 22mm
- Isover RKL-31 FACADE 75mm
- Bituliitti 12mm
- Runko + mineraalivilla 100mm
- Höyrinsulkumuovi 0,2mm
- Lastulevy 13mm
- Lasikuitutapetti + maali



**KUVA 14.** Tarkasteluissa käytetty US 2 ulkopuolisella lisäeristyksellä

### US 3 lisäeristetty ulkopuolelta:

- Vaakapaneeli 22mm
- Ilmaväli 22mm
- Isover RKL-31 FACADE 75mm
- Bituliitti 12mm
- Runko + mineraalivilla 100mm
- Vaakalaudoitus 22mm
- Koolaus + mineraalivilla 50mm
- Höyrinsulkumuovi 0,2mm
- Lastulevy 13mm
- Tapetti + maali



**KUVA 15.** Tarkasteluissa käytetty US 3 ulkopuolisella lisäeristyksellä

Ulkoseinien rakennusfysikaalinen tarkastelu Dof-lämpö-ohjelmalla tehtiin samoin kuin alkuperäisten seinien Dof-lämpö-tarkastelu, ja siten tarkastelun pohjana käytettiin alkuperäisten seinien yhteydessä hankittuja tietoja rakennusaineiden ominaisuuksista, pintavastuksista, ilmastosta sekä seinäpinta-aloista. Ainoa eroavaisuus olivat seinään lisätyn Isover RKL-31 FACADE –lisäeristeen lämmönjohtavuudenarvo sekä vesihöyrynvastus.

Wufi-tarkastelussa käytettiin alkuperäisten seinien Wufi-tarkastelun tietoja, joihin lisättiin Isover RKL-31 FACADE –lisäeriste.



Isover RKL-31 FACADE –lisäeristeenä Wufi-ohjelmassa käytettiin tavallista mineraalivillaa, jonka lämmönjohtavuutta pienennettiin vastaamaan todellista Isover RKL-31 FACADE –lisäeristettä.

## 5 SISÄ- JA ULKOPUOLISEN LISÄERISTÄMISEN VERTAILUN TULOKSET

Seuraavassa esitetään Dof-lämpö- sekä Wufi-1D-ohjelmilla saadut tulokset ulkoseinien lisälämmöneristämisen vaikutuksista Talo Siponkosken seinien rakennusfysikaaliseen toimintaan. Lisäksi esitetään homehtumisriskiarviot sisäpuolelta lisäeristetyistä ulkoseinistä.

Alkuperäisten ulkoseinien eri rakenneosien suhteelliset kosteudet olivat suurimmillaan tammi-, loka-, marras- ja joulukuussa. Taulukosta 3 ilmenevät ulkoseinien tuulensuojan ja eristeen rajapinnan sekä eristeen/rungon sisäpinnan suhteelliset kosteudet kyseisinä kuukausina. Suurimmat suhteellisen kosteuden arvot seinän eri osissa oli lokakuussa (liite 3). Ulkoseinien kosteusteknisesti kriittisimmäksi kohdaksi osoittautui mineraalivillan ja tuulensuojan rajapinta, jossa syksyn kuukausina vallitsi homeenkasvun mahdollistamat olosuhteet,  $RH \geq 75\%$  ja  $T > 0\text{ °C}$ .

*TAULUKKO 3. Suhteellisen kosteuden arvot ulkoseinien eri pisteissä tammi-, loka-, marras- ja joulukuussa*

<b>US 1</b>	<b>Lokakuu</b>	<b>Marraskuu</b>	<b>Jouluku</b>	<b>Tammikuu</b>
Tuulensuojan ja sahanpurun rajapinta	79,4 %	79,3 %	76,1 %	74,1 %
Sahanpurun/rungon sisäpinta	56,2 %	50,2 %	44,4 %	41,7 %
<b>US 2</b>	<b>Lokakuu</b>	<b>Marraskuu</b>	<b>Jouluku</b>	<b>Tammikuu</b>
Tuulensuojan ja mineraalivillan rajapinta	75,5 %	73,5 %	68,4 %	65,2 %
Mineraalivillan/rungon sisäpinta	35 %	25,6 %	18,4 %	15,3 %
<b>US 3</b>	<b>Lokakuu</b>	<b>Marraskuu</b>	<b>Jouluku</b>	<b>Tammikuu</b>
Tuulensuojan ja mineraalivillan rajapinta	79 %	78,3 %	74,2 %	71,6 %
Mineraalivillan/rungon sisäpinta	46,1 %	37,1 %	29 %	25,2 %

Lisäeristäminen vaikutti kahdella eri tavalla ulkoseinien rakennusfysikaaliseen toimintaan. Dof-lämpö-tarkastelussa sisäpuolinen lisäeristäminen aiheutti lämpötilojen laskua ja suhteellisen kosteuden arvojen nousua jokaisessa alkuperäisessä ulkoseinärakenteessa (liite 4). Ulkopuolinen lisäeristäminen puolestaan

nosti alkuperäisten ulkoseinärakenteiden lämpötiloja ja pienensi niiden kosteuspitoisuuksia (liite 5).

Wufi-tarkasteluun valitut ulkoseinien pisteet, tuulensuojan ja lämmöneristeen rajapinta sekä vanhan seinärungon/eristeen keskipiste osoittivat saman kuin Dof-lämpö-tarkastelu. Sisäpuolisella lisäeristyksellä suhteellisen kosteuden arvot nousevat ja lämpötilat laskevat, ja ulkopuolinen lisäeristys puolestaan pienentää kosteuksia ja nostaa lämpötiloja. Liitteistä 6, 7 ja 8 on nähtävissä tuulensuojan ja eristeen rajanpinnan pisteen olosuhteiden muuttuminen ulko- ja sisäpuolista lisäeristystä käytettäessä. Lisäeristyksen vaikutus vanhan seinärungon/eristeen keskipisteeseen on esitetty liitteissä 9, 10, ja 11.

Kosteuden tiivistymistä ei esiintynyt missään ulkoseinärakenteiden osissa ennen lisäeristystä eikä lisäeristyksen jälkeenkään. Päinvastoin ulkoseinärakenteet kuivuvat veden kokonaismäärän pienentyessä lähtötilanteesta (liite 12). Sisäpuolisen lisäeristyksen jälkeen suhteellisen kosteuden arvot kuitenkin ylittivät 75 % tuulensuojan ja mineraalivillan rajapinnassa useampana kuukautena, joten sisäpuolelta lisäeristetyille ulkoseinille tehtiin homehtumisriskiarviot kyseissä seinän pisteessä (liite 13). Homehtumisriskiarvioissa käytettiin Dof-lämpö-tarkastelun tietoja, sillä sen tiedot pohjautuivat Vaasan ilmastotietoihin, eikä Luulajan ilmastotietoihin kuten Wufi-tarkastelussa.

Homehtumisriskiarvioita tehdessä kävi ilmi, että jokaisessa ulkoseinässä homeenkasvun mahdollistamat olosuhteet ( $RH \geq 75 \%$  ja  $T > 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) vallitsivat elo-, syys-, loka- ja marraskuussa. Näissä kuukausissa vallinneet olosuhteet osoittautuivat kuitenkin liian lieviksi ja lyhytkestoisiksi homeenkasvun kannalta, sillä jokaisen ulkoseinän homehtumisriskin jäätyä 0,4:ään sisäpuolelta eristettyjä ulkoseiniä voidaan pitää kosteusteknisesti toimivina.

Ulkopuolisen lisäeristyksen jälkeen ulkoseinien rakenneosien suhteellisen kosteuden arvot olivat Dof-lämpö-tarkastelun mukaan koko vuoden ajan alle 75 %. Seinissä ei siten vallinnut homeenkasvun mahdollistamia olosuhteita, eikä homehtumisriskiarviota ollut tarpeen tehdä. Näin ollen ulkopuolelta lisäeristettyjä ulkoseiniä voidaan pitää kosteusteknisesti toimivina.

Ulkoseinien vuosittainen lämpöhäviö pieneni molemmilla lisäeristysmenetelmillä ulkoseinien lämmönjohtavuuden pienennyttyä. Taulukosta 4 ilmenee ulkoseinien vuosittainen lämpöhäviö ilman lisäeristystä sekä sisä- ja ulkopuolisella lisäeristyksellä.

*TAULUKKO 4. Ulkoseinien vuosittainen lämpöhäviö ilman lisäeristystä, sekä sisä- ja ulkopuolisella lisäeristyksellä*

<b>Seinä</b>	<b>Alkuperäinen rakenne</b>	<b>Sisäpuolinen lisäeristys</b>	<b>Ulkopuolinen lisäeristys</b>
US 1	3644 kWh	1954 kWh	2138 kWh
US 2	456 kWh	196 kWh	218 kWh
US 3	2472 kWh	1295 kWh	1412 kWh

Sisäpuolisella lisäeristyksellä saavutettiin noin 50 % pienempi vuosittainen lämpöhäviö US 1 ja US 3 –rakenteissa. US 2 –rakenteessa lämpöhäviö pieneni jopa 57 %. Ulkopuolinen lisäeristys ei pienemmän lämmönvastuksensa vuoksi pienentänyt ulkoseinien vuosittaista lämpöhäviötä yhtä paljon kuin sisäpuolinen lisäeristys, mutta lämpöhäviön pieneminen oli silti merkittävää. Ulkopuolinen lisäeristys pienensi US 1 ja US 3 –rakenteiden lämpöhäviötä noin 40 %, ja US 2 –rakenteen lämpöhäviötä 52 %.

Tarkasteluun valittujen ulkoseinien yhteenlaskettu vuosittainen lämpöhäviö oli ennen lisäeristystä 6572 kWh. Sisäpuolisella lisäeristyksellä lämpöhäviö pieneni 48 % ja ulkopuolisella lisäeristyksellä 43 %. (Taulukko 5.)

*TAULUKKO 5. Ulkoseinien yhteenlaskettu vuosittainen lämpöhäviö ilman lisäeristystä sekä ulko- ja sisäpuolisella lisäeristyksellä*

	<b>Vuosittainen lämpöhäviö</b>
Alkuperäisillä rakenteilla	6572 kWh
Sisäpuolisella lisäeristyksellä	3445 kWh
Ulkopuolisella lisäeristyksellä	3768 kWh

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa Vetelissä sijaitsevan suorasähkölämmitteisen omakotitalon, Talo Siponkosken ulkoseinärakenteiden lämmöneristävyyttä ja siten pienentää ulkoseinien lämpöhäviötä. Lämmöneristävyyttä parannettiin sisä- ja ulkopuolisella lisälämmöneristyksellä. Lisäksi lisälämmöneristysten vaikutusta ulkoseinien kosteus- ja lämpökäyttäytymiseen tutkittiin Dof-lämpö- ja Wufi-1D-ohjelmilla. Sisäpuolisena lisälämmöneristeenä käytettiin kipsilevy-pinnoitettua 70 mm:n Thermisol Titan Gipsline –eristettä ja ulkopuolisena lisäeristeenä 75 mm:n Isover RKL-31 FACADE tuulensuojamineraalivillaa.

Sisä- ja ulkopuolisen lisäeristämisen vaikutukset ulkoseinien kosteus- ja lämpökäyttäytymiseen olivat linjassa rakennusalalla aiemmin tehtyjen tutkimusten kanssa. Sisäpuolisen lisäeristämisen negatiivisina vaikutuksina pidettyjä vanhan seinärakenteen lämpötilojen laskua ja suhteellisen kosteuden arvojen nousua esiintyi jokaisessa Talo Siponkosken seinärakenteessa. Tästä huolimatta ulkoseinien sisään ei lisäeristämisen jälkeenkään tiivistynyt kosteutta, sillä sisäpuolinen diffuusiotiivis lisäeriste ei päästänyt sisäilman kosteutta läpi, toisin kuin alkuperäisten seinien höyrynsulkumuovi. Lämpötilojen lasku ja suhteellisen kosteuden arvojen nousu loivat kuitenkin joidenkin kuukausien aikana homeenkasvun mahdollistamat olosuhteet tuulensuojan ja mineraalivillan rajapintaan, joten sisäpuolelta lisäeristetyille ulkoseinille tehtiin homehtumisriskiarviot kyseisessä pisteessä. Arvioiden tuloksiksi saatiin jokaiselle ulkoseinälle 0,4. Tämä on reilusti alle kriittisen arvon 1, ja näin ollen Talo Siponkosken sisäpuolelta lisäeristettyjä ulkoseiniä voidaankin pitää kosteusteknisesti toimivina.

Myös ulkopuolisen lisäeristämisen vaikutukset ulkoseinien rakennusfysikaalisen toimintaan olivat odotetun kaltaiset. Vanhojen rakenteiden lämpötilat nousivat ja suhteellisen kosteuden arvot laskivat, eikä kosteutta tiivistynyt yhdenkään ulkoseinän sisään. Homeenkasvun edellyttämien olosuhteiden puuttuessa ulkopuolelta lisäeristetyille ulkoseinille ei tehty homehtumisriskiarvioita vaan seinät voitiin todeta kosteusteknisesti toimiviksi.

Ulkoseinien lisäeristämisen jälkeinen kosteus- ja lämpötekkinen toimivuus ilmeni myös Wufi-1D-ohjelmalla saaduista seinien kokonaisvesimäärätuloksista. Näistä tuloksista oli nähtävissä kosteusmäärän pienentymistä lähtötilanteen kosteusmäärään verrattuna jokaisessa ulkoseinässä. Tämä tarkoittaa sitä, että ulkoseiniin ei tiivisty kosteutta vaan ne alkavat kuivua.

Valituilla lisäeristysmenetelmillä sekä -materiaaleilla saavutettiin opinnäytetyön tavoite pienentää ulkoseinien vuosittaista lämpöhäviötä rakennusfysikaalisen toimivuuden puitteissa. Sisäpuolisella Thermisol Titan Gipsline –lisäeristeellä saavutettiin US 2 –ulkoseinää lukuun ottamatta uudisrakennusten ulkoseiniltä vaadittava  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ :n U-arvovaatimus. Tästä johtuen ulkoseinien vuosittainen lämpöhäviö pieneni 48 % alkuperäisestä. Ulkopuolisen Isover RKL-31 FACADE –lisäeristeen vaikutus oli lähes sisäpuolisen lisäeristeen tasoinen ulkoseinien U-arvojen pudotessa noin  $0,19$ :ään  $\text{W/m}^2\text{K}$  ja lämpöhäviön pienentyessä 42 %.

Jotta voitaisiin ottaa kantaa siihen, kuinka merkittävä vaikutus lisäeristyksillä on rakennuksen vuotuisen energiankulutukseen, tulisi selvittää koko rakennuksen ulkoseinien vuotuinen energiankulutus sekä sen osuus rakennuksen vuotuisesta kokonaisenergiankulutuksesta. On huomioitava myös, että saadut tulokset ulkoseinien vuosittaisista energiankulutuksista eivät täysin vastaa käytännön tilannetta, sillä Dof-lämpö-ohjelmalla tehty lämpöhäviölaskenta ei huomioinut esimerkiksi rakennusmateriaalien kosteuksien ja lämpötilojen muuttumisten vaikutuksia niiden lämmönjohtavuuteen. Laskennassa käytetyt ilmastotiedot eivät myöskään olleet rakennuksen sijaintipaikkakunnasta Vetelistä vaan Vaasasta. Tuloksia voidaan kuitenkin pitää suuntaa antavina.

Molemmilla lisäeristysmenetelmillä on etunsa. Sisäpuolisella lisäeristämällä saavutettaisiin hieman ulkopuolista lisäeristämistä suurempi lämpöenergian säästö. Ulkoseinien rakennusfysikaalisen toimivuuden kannalta taas ulkopuolisen lisäeristyksen käyttö kohteessa olisi turvallisempaa, sillä tällöin vanhan seinärakenteen lämpötilat nousisivat ja kosteudet pienentyisivät entisestään. Rakennuksen vanhaan höyrynsulkuun ei tarvitsisi tehdä muutoksia toisin kuin sisäpuolista lisäeristettä käytettäessä. Sisäpuolista lisäeristystä käytettäessä las-

tulevytyksen poistaminen sekä höyrynsulun poistaminen tai rei'ittäminen tulisi tehdä, jotta lastulevytyks ei jäisi höyrynsulun ja diffuusiotiiviin lisäeristeen väliin.

Ulkopuolisen lisäeristykseen huonona puolena on se, että sitä käytettäessä rakennuksen ulkoverhoukseen jouduttaisiin lisäeristykseen yhteydessä uusimaan ja eristystyö tai ainakin ulkoverhouksen uusiminen tulisi tehdä esteettisistä syistä vähintään jokaiselle 1. kerroksen ulkoseinälle. Näillä toimenpiteillä olisi suora vaikutus lisäeristystyön kustannuksiin. Onkin siis todennäköistä, että sisäpuolinen lisäeristäminen tulisi edullisemmaksi, mutta asian varmistamiseksi tulisi laskea lisäeristysmenetelmien kokonaiskustannukset ja vertailla saatuja tuloksia keskenään.

## LÄHTEET

C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998. 1998. Ympäristöministeriön asetus rakennusten veden- ja kosteudeneristyksestä. Helsinki: Ympäristöministeriö.

C4 Lämmöneristys, ohjeet 2003. 2002. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Helsinki: Ympäristöministeriö.

D2 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2010. 2008. Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Hekkanen, Martti – Hemmilä, Kari – Holopainen, Riikka – Norvasuo, Markku 2007. Suomalaisten rakennusten energiakorjausmenetelmät ja säästöpotentiaalit. Espoo: VTT.

Heiduk, Ernst 2008. Passive House Standard, luennot. Opintojakson oppimateriaali 2008. Drau, Itävalta: Passive House Summer School.

Helsingin energia. 2012. Saatavissa: <http://www.helen.fi>. Hakupäivä 1.2.2012.

Hänninen, Pekka 2012. Ekorakentajan opas. Saatavissa: <http://www.rakentajanekolaskuri.fi/taustatietoa.php#Tontinluontoarvot>. Hakupäivä 7.2.2012.

Illikainen, Kimmo 2012. Rakennusfysiikan sovellukset, luennot 6 op. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2012. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Isover KL-32. 2012. Isover. Saatavissa: <http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/kevyet-rakennuseristeet/2576/isover-kl-32>. Hakupäivä 25.1.2012.

Isover RKL-31 FACADE. 2012. Isover. Saatavissa: <http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/tuulensuojaeristeet/2563/isover-rkl-31-facade>. Hakupäivä 5.3.2012.



Jurmu, Jorma 2011. T523315 Korjausrakentamisen kuntotutkimukset 1, luennot 5 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Kouhia, Ilpo – Nieminen, Jyri – Pulakka, Sakari 2010. Rakennuksen ulkovaipan energiakorjaukset. Espoo: VTT.

Motiva. 2012. Saatavissa: <http://www.energiatehokaskoti.fi>. Hakupäivä 18.1.2012.

Ojala, Kari 2000. Kestävän yhdyskunnan käsikirja. Helsinki: KL-kustannus Oy.

Passiivitalon luonnossuunnittelu. Saatavissa: <http://www.passiivi.info/data.php?sivu=luonnos>. Hakupäivä 7.2.2012.

Perälä, Seppo 2010. T522703 Pientalon rakennussuunnittelu, luennot 3 op. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2010. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Pientalon energiankulutus ja päästöt. Saatavissa: <http://www.korjaustieto.fi/pientalot/pientalojen-energiatehokkuus/energiatehokkuus-pientaloissa/pientalon-energiankulutus-ja-paastot.html>. Hakupäivä 25.1.2012.

Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Lämpö. 2004. Rafnet-oppimateriaalin teoriaosio L (lämpö). Rafnet-ryhmä.

Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Kosteus. 2009. Rafnet-oppimateriaalin teoriaosio K (kosteus). Rafnet-ryhmä.

RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmapitävyyden laadunvarmistusohje. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/10974>. Hakupäivä 13.2.2012.

Siponkoski, Risto 2012. Talo Siponkosken omistaja. Haastattelu 2.1.2012.

Lisäeristys, Anselmi. 2012. SPU-Eristeet. Saatavissa: [http://www.spu.fi/spu\\_anselmi](http://www.spu.fi/spu_anselmi). Hakupäivä 11.1.2012.

Titan Gipsline monikäyttöinen eristelevy. 2012. Thermisol. Saatavissa:  
<http://www.thermisol.fi/tuotteet-ja-palvelut/eriste/titan-eristeet/titan-gipsline>. Haku-  
päivä 11.1.2012.

Tulla, Kauko 2011. T522506 Korjausrakentamisen perusteet, luennot 6 op.  
Opintojakson oppimateriaali keväällä 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikor-  
keakoulu, tekniikan yksikkö.

## LIITTEET

Liite 1 Pohjakuva

Liite 2 Dof-lämpö ja Wufi-1D -tarkastelujen ilmastotiedot

Liite 3 Ulkoseinät ilman lisäeristystä, Dof-lämpö

Liite 4 Ulkoseinät sisäpuolisella lisäeristyksellä, Dof-lämpö

Liite 5 Ulkoseinät ulkopuolisella lisäeristyksellä, Dof-lämpö

Liite 6 Tuulensuojan ja eristeen rajapinta, US 1, Wufi-1D

Liite 7 Tuulensuojan ja eristeen rajapinta, US 2, Wufi-1D

Liite 8 Tuulensuojan ja eristeen rajapinta, US 3, Wufi-1D

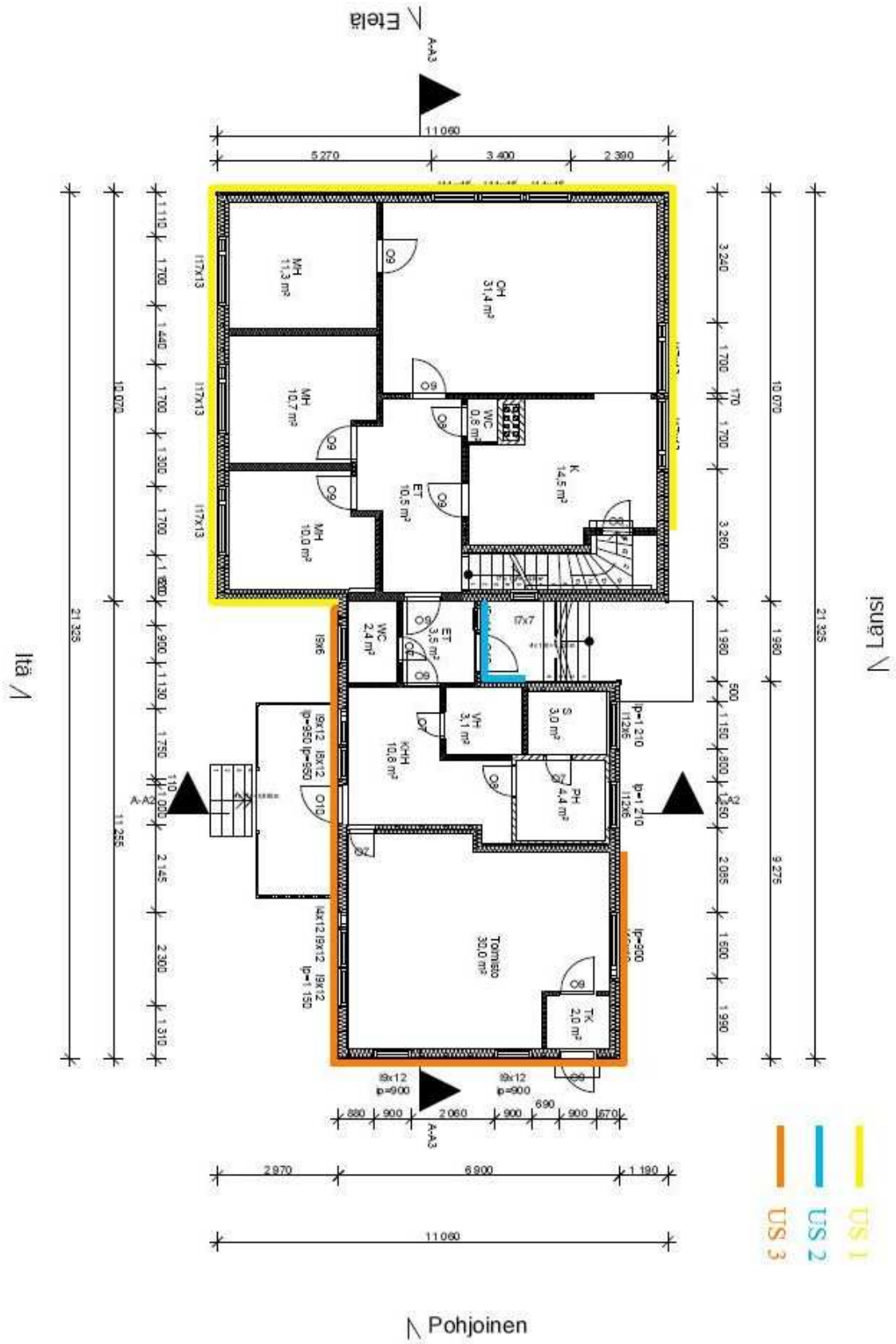
Liite 9 Alkuperäisen seinän eristeen keskipiste, US 1, Wufi-1D

Liite 10 Alkuperäisen seinän eristeen keskipiste, US 2, Wufi-1D

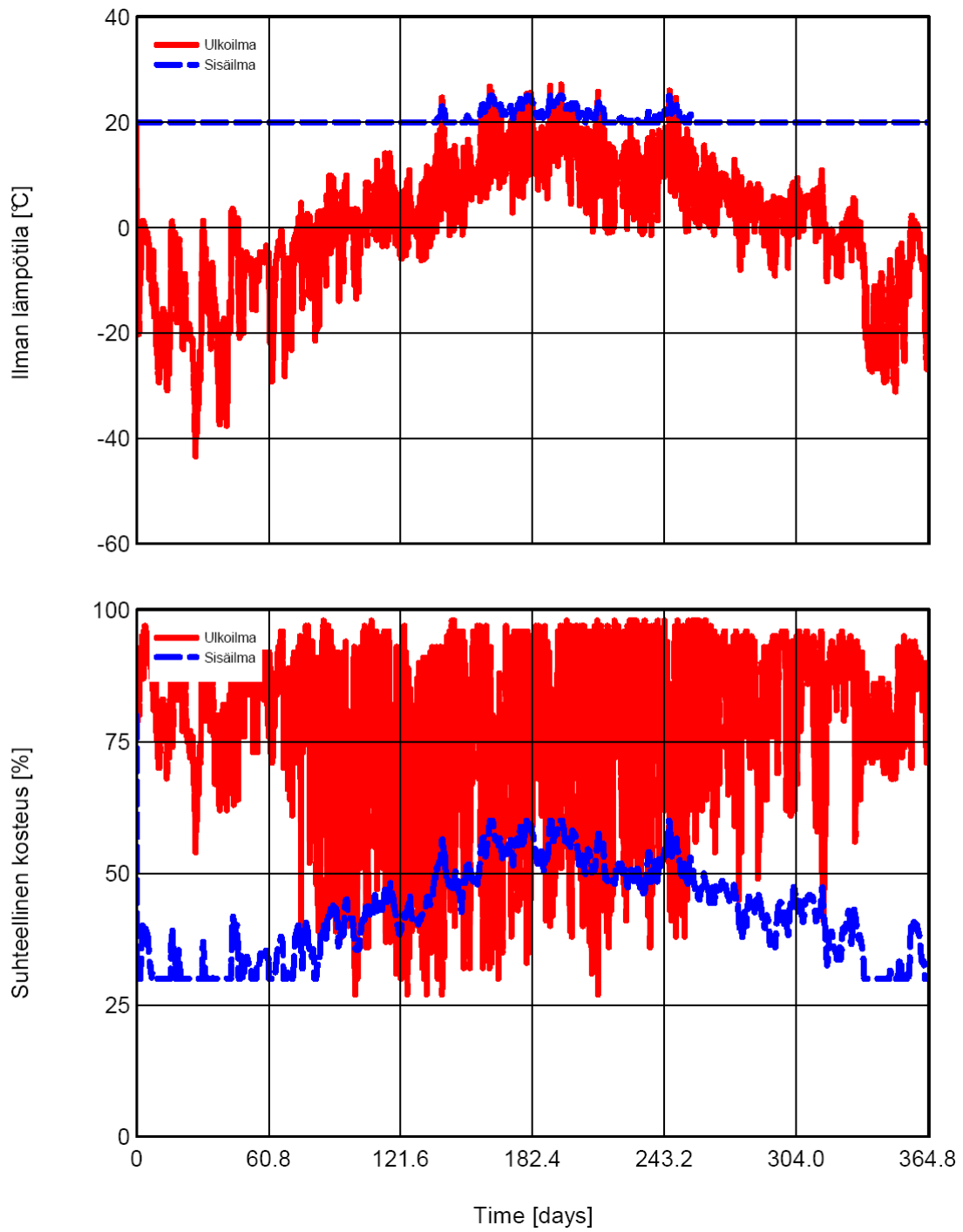
Liite 11 Alkuperäisen seinän eristeen keskipiste, US 3, Wufi-1D

Liite 12 Ulkoseinien kokonaisvesimäärät, Wufi-1D

Liite 13 Homehtumisriskiarviot



<i>Dof-lämpö -tarkastelun ilmastotiedot</i>					
<b>Vuosi / 12 kk: Vaasa</b>	<b>Ulkolämpötila [°C]</b>	<b>Sisälämpötila [°C]</b>	<b>Ulkoilman RH [%]</b>	<b>Sisäilman RH [%]</b>	<b>Kesto [h]</b>
Tammikuu	-7,8	21,0	88.0	50.0	744.0
Helmikuu	-7,8	21,0	87.0	50.0	672.0
Maaliskuu	-3,9	21,0	84.0	50.0	744.0
Huhtikuu	1,7	21,0	77.0	50.0	720.0
Toukokuu	8,3	21,0	69.0	50.0	744.0
Kesäkuu	13,7	21,0	67.0	50.0	720.0
Heinäkuu	15,7	21,0	73.0	50.0	744.0
Elokuu	13,9	21,0	79.0	50.0	744.0
Syyskuu	9,2	21,0	84.0	50.0	720.0
Lokakuu	4,6	21,0	87.0	50.0	744.0
Marraskuu	-0,9	21,0	90.0	50.0	720.0
Joulukuu	-5,5	21,0	89.0	50.0	744.0



Rakennuskohde: Talo Siponkoski	Sisältö: US 1 alkuperäinen	
Suunnittelija:	Päiväys: 13.3.2012	Tunnus:

<p><b>Rakenteen päätiedot:</b></p> <p>U-arvo: 0.334 W/m<sup>2</sup>K                  Paksuus: 220.600 mm                  Pinta-ala: 75.50 m<sup>2</sup>                  Paino: 3837.48 kg                  Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 146663.889                  Vesih. läpäisykerroin: 0.000007 g/m<sup>2</sup>hPa                  Lämmönvastus: 2.995 m<sup>2</sup>K/W                  Pintavastus, ulko: 0.130 m<sup>2</sup>K/W                  Pintavastus, sisä: 0.130 m<sup>2</sup>K/W                  Kulma (0-90): 90.000</p>	
---	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>						<b>Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)</b>					
<b>KERROS:</b>		<b>T [mm]:</b>	<b>LV [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>VHV [m<sup>2</sup>sPa/kg]</b>	<b>Hinta [e/m<sup>3</sup>]:</b>	<b>Paino [kg/m<sup>3</sup>]:</b>					
1	Vinolaudoitus	22.00	0.1833	1.100000e+10	0.00	480.00					
2	Tervapaperi	0.20	0.0014	4.200000e+08	0.00	0.00					
3	Sahanpuru	100.00	1.2500	5.000000e+10	0.00	160.00					
4	Pinkopaperi	1.00	0.0071	1.000000e+08	0.00	0.00					
5	Vaakalaudoitus	22.00	0.1833	1.100000e+10	0.00	480.00					
6	Puukuitulevy, huokoi	12.00	0.2182	4.000000e+08	0.00	350.00					
7	Mineraalivilla	50.00	0.9091	4.700000e+08	0.00	30.00					
8	Höyrynsulkumuovi	0.20	0.0006	4.500000e+11	0.00	900.00					
9	Lastulevy	13.00	0.0929	2.600000e+09	0.00	700.00					
10	Maali	0.20	0.0200	2.000000e+09	0.00	900.00					
<b>KYLMÄSILTA:</b>		<b>LJ [W/mK]:</b>	<b>SPA [%]:</b>	<b>Hinta [e/m<sup>3</sup>]:</b>	<b>Paino [kg/m<sup>3</sup>]:</b>	<b>LK [W/K](kpl):</b>					
3	Runko	0.1200	8.3	0.00	0.00	---					
7	Koolaus	0.1200	8.3	0.00	0.00	---					

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>					<b>Lokakuu (744.0 h)</b>					<b>Lisätiedot:</b>				
Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:									
U	4.60	6.67	5.80	87.0	0.00									
1	5.24	6.96	5.80	83.4	0.00									
2	6.14	7.38	5.86	79.4	0.00									
3	6.15	7.38	5.86	79.4	0.00									
4	12.31	10.92	6.13	56.2	0.00									
5	12.34	10.94	6.13	56.0	0.00									
6	13.25	11.56	6.19	53.5	0.00									
7	14.32	12.35	6.19	50.2	0.00									
8	18.80	16.12	6.19	38.4	0.00									
9	18.80	16.12	8.62	53.5	0.00									
10	19.26	16.56	8.63	52.1	0.00									
11	19.36	16.66	8.64	51.9	0.00									
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00									

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

US 1:ssä pisteet 2 ja 3 ovat tuulensuojan ja eristeen rajapinta.

Rakennuskohde: Talo Siponkoski	Sisältö: US2 alkuperäinen	
Suunnittelija:	Päiväys: 3/13/2012	Tunnus:

<p><b>Rakenteen päätiedot:</b></p> <p>U-arvo: 0.452 W/m2K                  Paksuus: 125.400 mm                  Pinta-ala: 6.58 m2                  Paino: 107.98 kg                  Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 126847.222                  Vesih. läpäisykerroin: 0.000008 g/m2hPa                  Lämmönvastus: 2.214 m2K/W                  Pintavastus, ulko: 0.130 m2K/W                  Pintavastus, sisä: 0.130 m2K/W                  Kulma (0-90): 90.000</p>	
---	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		<b>Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)</b>				
	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Bituliitti	12.00	0.0650	1.100000e+09	0.00	350.00
2	Mineraalivilla	100.00	0.0550	9.500000e+08	0.00	30.00
3	Höyrynsulkumuovi	0.20	0.3400	4.500000e+11	0.00	900.00
4	Lastulevy	13.00	0.1400	2.600000e+09	0.00	700.00
5	Maali	0.20	0.0100	2.000000e+09	0.00	900.00
2	KYLMÄSILTA: Runko	LJ [W/mK]: 0.1200	SPA [%]: 8.3	Hinta [e/m3]: 0.00	Paino [kg/m3]: 0.00	LK [W/K](kpl): ---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>					<b>Lokakuu (744.0 h)</b>	<b>Lisätiedot:</b>
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	
U	4.60	6.67	5.80	87.0	0.00	
1	5.50	7.08	5.80	82.0	0.00	
2	6.77	7.69	5.81	75.5	0.00	
3	19.32	16.62	5.81	35.0	0.00	
4	19.32	16.62	9.12	54.9	0.00	
5	19.96	17.25	9.14	53.0	0.00	
6	20.10	17.39	9.16	52.7	0.00	
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00	

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

US 2:ssa piste 2 on tuulensuojan ja mineraalivillan rajapinta.



Rakennuskohde: Talo Siponkoski	Sisältö: US3 alkuperäinen	
Suunnittelija:	Päiväys: 3/13/2012	Tunnus:

<p><b>Rakenteen päätiedot:</b></p> <p>U-arvo: 0.310 W/m<sup>2</sup>K                  Paksuus: 197.400 mm                  Pinta-ala: 52.00 m<sup>2</sup>                  Paino: 1474.02 kg                  Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 130033.333                  Vesih. läpäisykerroin: 0.000008 g/m<sup>2</sup>hPa                  Lämmönvastus: 3.225 m<sup>2</sup>K/W                  Pintavastus, ulko: 0.130 m<sup>2</sup>K/W                  Pintavastus, sisä: 0.130 m<sup>2</sup>K/W                  Kulma (0-90): 90.000</p>	
---	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		<b>Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)</b>				
<b>KERROS:</b>	<b>T [mm]:</b>	<b>LJ [W/mK]:</b>	<b>VHV [m<sup>2</sup>sPa/kg]</b>	<b>Hinta [e/m<sup>3</sup>]:</b>	<b>Paino [kg/m<sup>3</sup>]:</b>	
1 Bituliitti	12.00	0.0650	1.100000e+09	0.00	350.00	
2 Mineraalivilla	100.00	0.0550	9.500000e+08	0.00	30.00	
3 Vaakalaudoitus	22.00	0.1200	1.100000e+10	0.00	480.00	
4 Mineraalivilla	50.00	0.0550	4.700000e+08	0.00	30.00	
5 Höyrynsulkumuovi	0.20	0.3400	4.500000e+11	0.00	900.00	
6 Lastulevy	13.00	0.1400	2.600000e+09	0.00	700.00	
7 Maali	0.20	0.0100	2.000000e+09	0.00	900.00	
<b>KYLMÄSILTA:</b>	<b>LJ [W/mK]:</b>	<b>SPA [%]:</b>	<b>Hinta [e/m<sup>3</sup>]:</b>	<b>Paino [kg/m<sup>3</sup>]:</b>	<b>LK [W/K](kpl):</b>	
2 Runko	0.1200	8.3	0.00	0.00	---	
4 Koolaus	0.1200	8.3	0.00	0.00	---	

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>					<b>Lokakuu (744.0 h)</b>	<b>Lisätiedot:</b>
Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:	
U	4.60	6.67	5.80	87.0	0.00	
1	5.21	6.94	5.80	83.5	0.00	
2	6.09	7.35	5.81	79.0	0.00	
3	14.68	12.62	5.81	46.1	0.00	
4	15.55	13.30	5.89	44.3	0.00	
5	19.85	17.14	5.90	34.4	0.00	
6	19.85	17.14	9.12	53.2	0.00	
7	20.29	17.58	9.14	52.0	0.00	
8	20.39	17.68	9.16	51.8	0.00	
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00	

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

US 3:ssa piste 2 on tuulensuojan ja mineraalivillan rajapinta.

Rakennuskohde: Talo Siponkoski	Sisältö: US 1 lisäeristetty sisäpuolelta Thermisol Titan Gi	
Suunnittelija:	Päiväys: 13.3.2012	Tunnus:

<p><b>Rakenteen päätiedot:</b></p> <p>U-arvo: 0.169 W/m<sup>2</sup>K                  Paksuus: 277.200 mm                  Pinta-ala: 75.50 m<sup>2</sup>                  Paino: 3387.50 kg                  Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 1944444464830.556                  Vesih. läpäisykerroin: 0.000000 g/m<sup>2</sup>hPa                  Lämmönvastus: 5.925 m<sup>2</sup>K/W                  Pintavastus, ulko: 0.130 m<sup>2</sup>K/W                  Pintavastus, sisä: 0.130 m<sup>2</sup>K/W                  Kulma (0-90): 90.000</p>	
--	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>						Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
<b>KERROS:</b>	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m <sup>2</sup> sPa/kg]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	
1 Vinolaudoitus	22.00	0.1200	1.100000e+10	0.00	480.00	
2 Tervapaperi	0.20	0.1400	4.200000e+08	0.00	0.00	
3 Sahanpuru	100.00	0.0800	5.000000e+10	0.00	160.00	
4 Pinkopaperi	1.00	0.1400	1.000000e+08	0.00	0.00	
5 Vaakalaudoitus	22.00	0.1200	1.100000e+10	0.00	480.00	
6 Puukuitulevy, huokoi	12.00	0.0550	4.000000e+08	0.00	350.00	
7 Mineraalivilla	50.00	0.0550	4.700000e+08	0.00	30.00	
8 Thermisol Titan Gips	70.00	0.0230	7.000000e+18	0.00	50.00	
<b>KYLMÄSILTA:</b>	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):	
3 Runko	0.1200	8.3	0.00	0.00	---	
7 Koolaus	0.1200	8.3	0.00	0.00	---	
T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi						

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>					<b>Lokakuu (744.0 h)</b>	<b>Lisätiedot:</b>
Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:	
U	4.60	6.67	5.80	87.0	0.00	
1	4.95	6.82	5.80	85.0	0.00	
2	5.45	7.05	5.80	82.2	0.00	
3	5.45	7.05	5.80	82.2	0.00	
4	8.84	8.78	5.80	66.0	0.00	
5	8.86	8.79	5.80	66.0	0.00	
6	9.35	9.08	5.80	63.9	0.00	
7	9.94	9.42	5.80	61.6	0.00	
8	12.41	10.98	5.80	52.8	0.00	
9	20.65	17.95	9.16	51.0	0.00	
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00	
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus						

Rakennuskohde: Talo Siponkoski	Sisältö: US2 lisäeristetty sisäpuolelta Thermisol Titan Gip	
Suunnittelija:	Päiväys: 3/13/2012	Tunnus:

<p><b>Rakenteen pää tiedot:</b></p> <p>U-arvo: 0.194 W/m2K                  Paksuus: 182.000 mm                  Pinta-ala: 6.58 m2                  Paino: 68.77 kg                  Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 1944444445013.889                  Vesih. läpäisykerroin: 0.000000 g/m2hPa                  Lämmönvastus: 5.144 m2K/W                  Pintavastus, ulko: 0.130 m2K/W                  Pintavastus, sisä: 0.130 m2K/W                  Kulma (0-90): 90.000</p>	
--	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		<b>Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)</b>				
	<b>KERROS:</b>	<b>T [mm]:</b>	<b>LJ [W/mK]:</b>	<b>VHV [m2sPa/kg]</b>	<b>Hinta [e/m3]:</b>	<b>Paino [kg/m3]:</b>
1	Bituliitti	12.00	0.0650	1.100000e+09	0.00	350.00
2	Mineraalivilla	100.00	0.0550	9.500000e+08	0.00	30.00
3	Thermisol Titan Gips	70.00	0.0230	7.000000e+18	0.00	50.00
	<b>KYLMÄSILTA:</b>	<b>LJ [W/mK]:</b>	<b>SPA [%]:</b>	<b>Hinta [e/m3]:</b>	<b>Paino [kg/m3]:</b>	<b>LK [W/K](kpl):</b>
2	Runko	0.1200	8.3	0.00	0.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>					<b>Lokakuu (744.0 h)</b>	<b>Lisätiedot:</b>
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	
U	4.60	6.67	5.80	87.0	0.00	
1	5.00	6.84	5.80	84.7	0.00	
2	5.57	7.11	5.80	81.6	0.00	
3	11.19	10.19	5.80	56.9	0.00	
4	20.60	17.90	9.16	51.2	0.00	
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00	

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Talo Siponkoski	Sisältö: US3 lisäeristetty sisäpuolelta Thermisol Titan Gip	
Suunnittelija:	Päiväys: 3/13/2012	Tunnus:

<p><b>Rakenteen päätiedot:</b></p> <p>U-arvo: 0.162 W/m<sup>2</sup>K                  Paksuus: 254.000 mm                  Pinta-ala: 52.00 m<sup>2</sup>                  Paino: 1164.10 kg                  Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 1944444448200.000                  Vesih. läpäisykerroin: 0.000000 g/m<sup>2</sup>hPa                  Lämmönvastus: 6.155 m<sup>2</sup>K/W                  Pintavastus, ulko: 0.130 m<sup>2</sup>K/W                  Pintavastus, sisä: 0.130 m<sup>2</sup>K/W                  Kulma (0-90): 90.000</p>	
--	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
<b>KERROS:</b>	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m <sup>2</sup> sPa/kg]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	
1 Bituliitti	12.00	0.0650	1.100000e+09	0.00	350.00	
2 Mineraalivilla	100.00	0.0550	9.500000e+08	0.00	30.00	
3 Vaakalaudoitus	22.00	0.1200	1.100000e+10	0.00	480.00	
4 Mineraalivilla	50.00	0.0550	4.700000e+08	0.00	30.00	
5 Thermisol Titan Gips	70.00	0.0230	7.000000e+18	0.00	50.00	
<b>KYLMÄSILTA:</b>	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):	
2 Runko	0.1200	8.3	0.00	0.00	---	
4 Koolaus	0.1200	8.3	0.00	0.00	---	

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>					<b>Lokakuu (744.0 h)</b>	<b>Lisätiedot:</b>
Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:	
U	4.60	6.67	5.80	87.0	0.00	
1	4.93	6.81	5.80	85.1	0.00	
2	5.41	7.03	5.80	82.5	0.00	
3	10.07	9.49	5.80	61.1	0.00	
4	10.54	9.78	5.80	59.3	0.00	
5	12.87	11.29	5.80	51.3	0.00	
6	20.67	17.97	9.16	51.0	0.00	
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00	

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Talo Siponkoski	Sisältö: US1 lisäeristetty ulkoa Isover	
Suunnittelija:	Päiväys: 3/13/2012	Tunnus:

<p><b>Rakenteen päätiedot:</b></p> <p>U-arvo: 0.185 W/m2K                  Paksuus: 295.600 mm                  Pinta-ala: 75.50 m2                  Paino: 4007.35 kg                  Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 146827.778                  Vesih. läpäisykerroin: 0.000007 g/m2hPa                  Lämmönvastus: 5.414 m2K/W                  Pintavastus, ulko: 0.130 m2K/W                  Pintavastus, sisä: 0.130 m2K/W                  Kulma (0-90): 90.000</p>	
---	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		<b>Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)</b>				
	<b>KERROS:</b>	<b>T [mm]:</b>	<b>LJ [W/mK]:</b>	<b>VHV [m2sPa/kg]</b>	<b>Hinta [e/m3]:</b>	<b>Paino [kg/m3]:</b>
1	Isover RKL-31 FACADE	75.00	0.0310	5.900000e+08	0.00	30.00
2	Vinolaudoitus	22.00	0.1200	1.100000e+10	0.00	480.00
3	Tervapaperi	0.20	0.1400	4.200000e+08	0.00	0.00
4	Sahanpuru	100.00	0.0800	5.000000e+10	0.00	160.00
5	Pinkopaperi	1.00	0.1400	1.000000e+08	0.00	0.00
6	Vaakalaudoitus	22.00	0.1200	1.100000e+10	0.00	480.00
7	Puukuitulevy, huokoi	12.00	0.0550	4.000000e+08	0.00	350.00
8	Mineraalivilla	50.00	0.0550	4.700000e+08	0.00	30.00
9	Höyrynsulkumuovi	0.20	0.3400	4.500000e+11	0.00	900.00
10	Lastulevy	13.00	0.1400	2.600000e+09	0.00	700.00
11	Maali	0.20	0.0100	2.000000e+09	0.00	900.00
	<b>KYLMÄSILTA:</b>	<b>LJ [W/mK]:</b>	<b>SPA [%]:</b>	<b>Hinta [e/m3]:</b>	<b>Paino [kg/m3]:</b>	<b>LK [W/K](kpl):</b>
4	Runko	0.1200	8.3	0.00	0.00	---
8	Koolaus	0.1200	8.3	0.00	0.00	---
T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi						

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>					<b>Lokakuu (744.0 h)</b>	<b>Lisätiedot:</b>
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	
U	4.60	6.67	5.80	87.0	0.00	
1	4.98	6.84	5.80	84.8	0.00	
2	12.14	10.80	5.80	53.7	0.00	
3	12.68	11.17	5.87	52.6	0.00	
4	12.69	11.17	5.88	52.6	0.00	
5	16.38	13.97	6.19	44.3	0.00	
6	16.40	13.99	6.19	44.3	0.00	
7	16.95	14.45	6.26	43.4	0.00	
8	17.59	15.01	6.27	41.7	0.00	
9	20.28	17.57	6.27	35.7	0.00	
10	20.28	17.57	9.13	51.9	0.00	
11	20.56	17.86	9.14	51.2	0.00	
12	20.62	17.92	9.16	51.1	0.00	
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00	
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus						

Rakennuskohde: Talo Siponkoski	Sisältö: US2 lisäeristetty ulkopuolelta Isover	
Suunnittelija:	Päiväys: 3/13/2012	Tunnus:

<p><b>Rakenteen päätiiedot:</b></p> <p>U-arvo: 0.216 W/m2K                  Paksuus: 200.400 mm                  Pinta-ala: 6.58 m2                  Paino: 122.79 kg                  Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 127011.111                  Vesih. läpäisykerroin: 0.000008 g/m2hPa                  Lämmönvastus: 4.633 m2K/W                  Pintavastus, ulko: 0.130 m2K/W                  Pintavastus, sisä: 0.130 m2K/W                  Kulma (0-90): 90.000</p>	
--	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
<b>KERROS:</b>	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m2sPa/kg]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	
1 Isover RKL-31 FACADE	75.00	0.0310	5.900000e+08	0.00	0.00	
2 Bituliitti	12.00	0.0650	1.100000e+09	0.00	350.00	
3 Mineraalivilla	100.00	0.0550	9.500000e+08	0.00	30.00	
4 Höyrynsulkumuovi	0.20	0.3400	4.500000e+11	0.00	900.00	
5 Lastulevy	13.00	0.1400	2.600000e+09	0.00	700.00	
6 Maali	0.20	0.0100	2.000000e+09	0.00	900.00	
<b>KYLMÄSILTA:</b>	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):	
3 Runko	0.1200	8.3	0.00	0.00	---	

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>					<b>Lokakuu (744.0 h)</b>	<b>Lisätiedot:</b>
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:	
U	4.60	6.67	5.80	87.0	0.00	
1	5.04	6.86	5.80	84.5	0.00	
2	13.32	11.61	5.80	50.0	0.00	
3	13.95	12.07	5.81	48.2	0.00	
4	20.17	17.46	5.82	33.3	0.00	
5	20.17	17.46	9.12	52.3	0.00	
6	20.49	17.79	9.14	51.4	0.00	
7	20.56	17.86	9.16	51.3	0.00	
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00	

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Talo Siponkoski	Sisältö: US3 lisäeristetty ulkopuolelta Isover	
Suunnittelija:	Päiväys: 3/13/2012	Tunnus:

<p><b>Rakenteen päätiedot:</b></p> <p>U-arvo: 0.177 W/m<sup>2</sup>K                  Paksuus: 272.400 mm                  Pinta-ala: 52.00 m<sup>2</sup>                  Paino: 1591.02 kg                  Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 130197.222                  Vesih. läpäisykerroin: 0.000008 g/m<sup>2</sup>hPa                  Lämmönvastus: 5.644 m<sup>2</sup>K/W                  Pintavastus, ulko: 0.130 m<sup>2</sup>K/W                  Pintavastus, sisä: 0.130 m<sup>2</sup>K/W                  Kulma (0-90): 90.000</p>	
---	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
	<b>KERROS:</b>	<b>T [mm]:</b>	<b>LJ [W/mK]:</b>	<b>VHV [m<sup>2</sup>sPa/kg]</b>	<b>Hinta [e/m<sup>3</sup>]:</b>	<b>Paino [kg/m<sup>3</sup>]:</b>
1	Isover RKL-31 FACADE	75.00	0.0310	5.900000e+08	0.00	30.00
2	Bituliitti	12.00	0.0650	1.100000e+09	0.00	350.00
3	Mineraalivilla	100.00	0.0550	9.500000e+08	0.00	30.00
4	Vaakalaudoitus	22.00	0.1200	1.100000e+10	0.00	480.00
5	Mineraalivilla	50.00	0.0550	4.700000e+08	0.00	30.00
6	Höyrynsulkumuovi	0.20	0.3400	4.500000e+11	0.00	900.00
7	Lastulevy	13.00	0.1400	2.600000e+09	0.00	700.00
8	Maali	0.20	0.0100	2.000000e+09	0.00	900.00
	<b>KYLMÄSILTA:</b>	<b>LJ [W/mK]:</b>	<b>SPA [%]:</b>	<b>Hinta [e/m<sup>3</sup>]:</b>	<b>Paino [kg/m<sup>3</sup>]:</b>	<b>LK [W/K](kpl):</b>
3	Runko	0.1200	8.3	0.00	0.00	---
5	Koolaus	0.1200	8.3	0.00	0.00	---

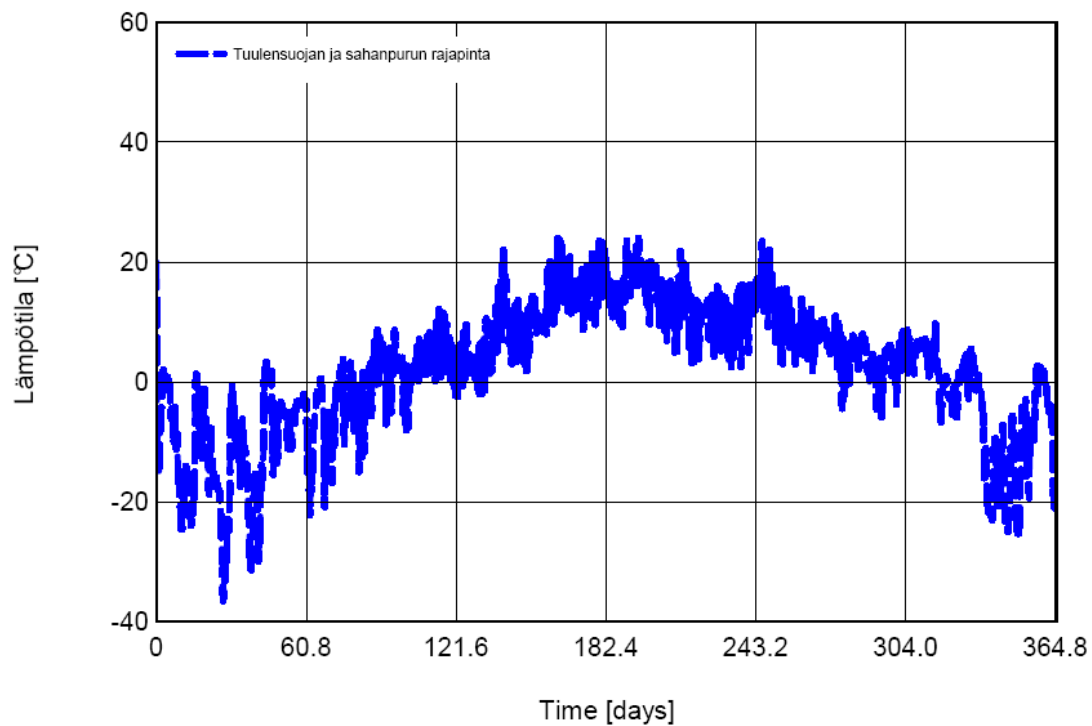
T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>					<b>Lokakuu (744.0 h)</b>	<b>Lisätiedot:</b>
Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:	
U	4.60	6.67	5.80	87.0	0.00	
1	4.96	6.83	5.80	85.0	0.00	
2	11.70	10.51	5.80	55.2	0.00	
3	12.21	10.85	5.81	53.6	0.00	
4	17.28	14.74	5.82	39.5	0.00	
5	17.79	15.19	5.90	38.8	0.00	
6	20.32	17.62	5.90	33.5	0.00	
7	20.32	17.62	9.12	51.8	0.00	
8	20.58	17.88	9.14	51.1	0.00	
9	20.64	17.94	9.16	51.0	0.00	
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00	

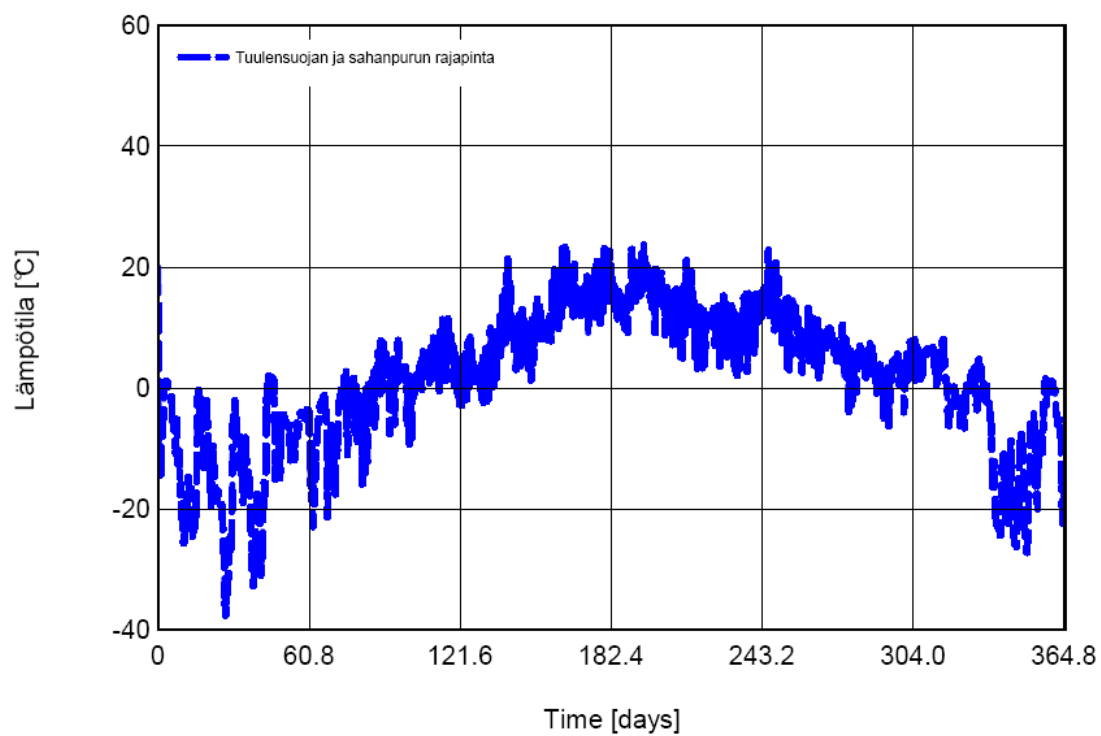
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

## Lämpötilat

Ilman lisäeristystä:

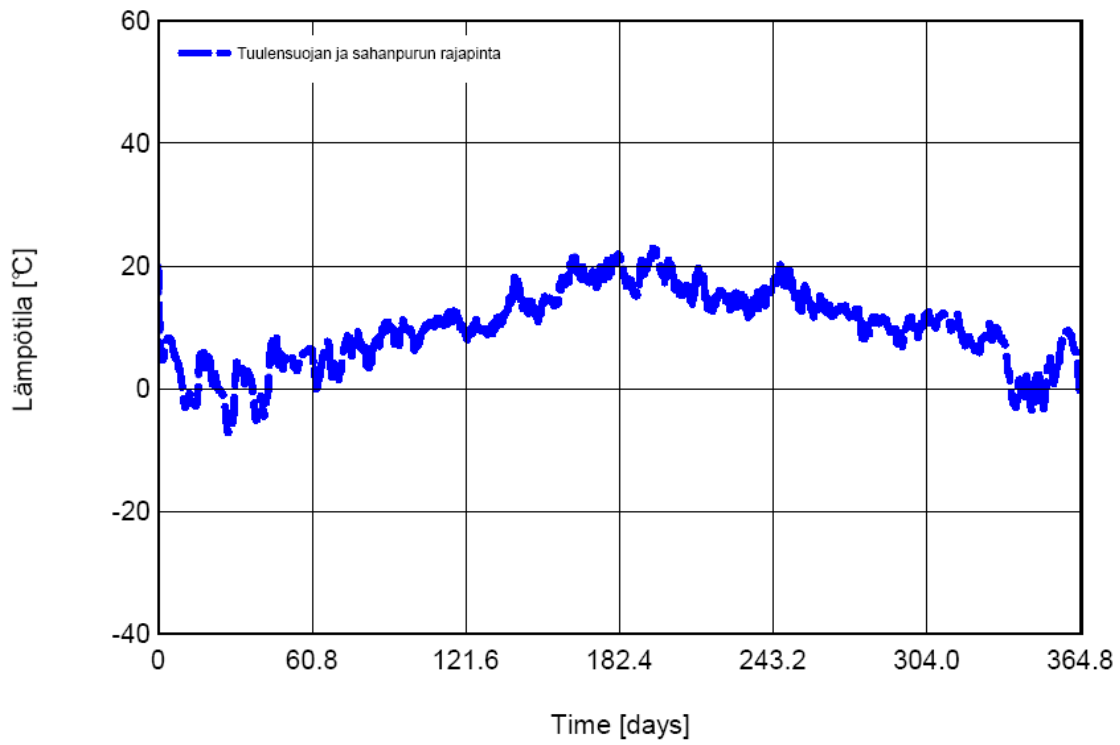


Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):



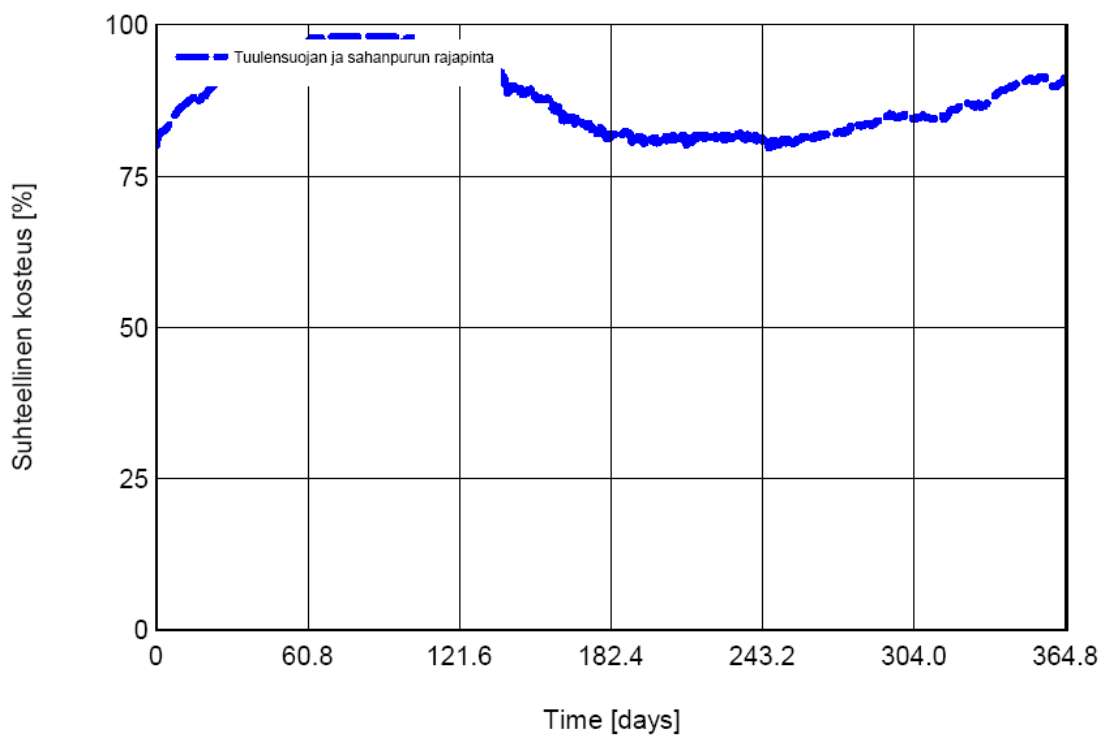


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

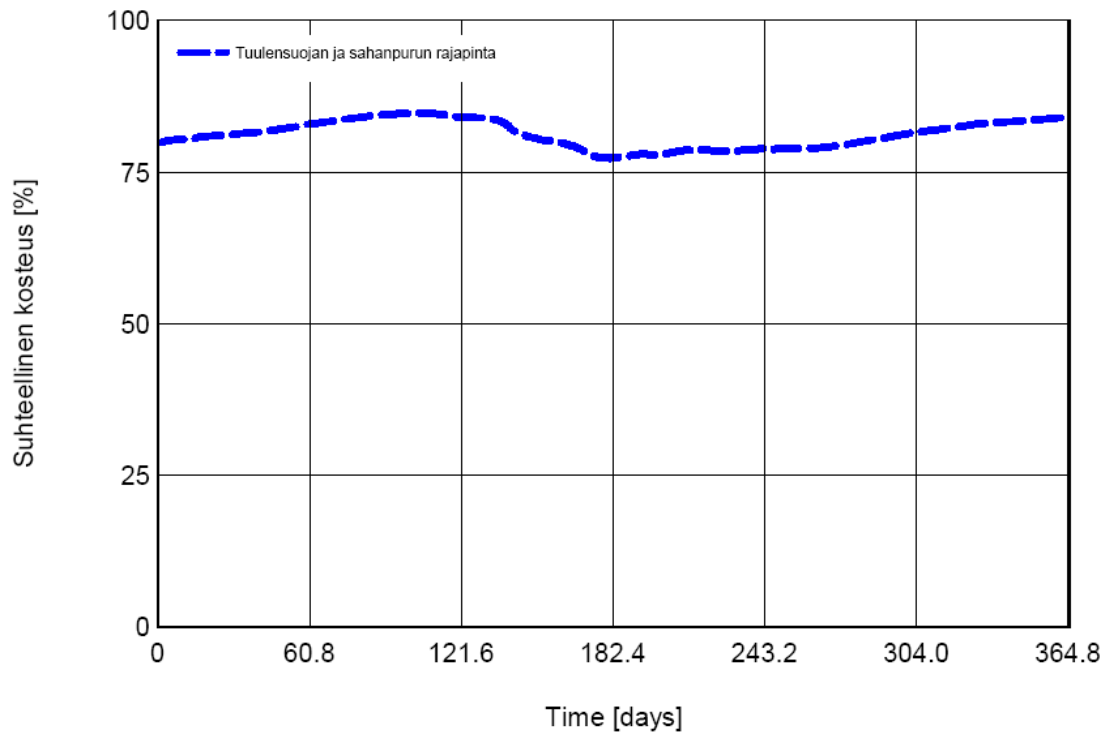


## Suhteelliset kosteudet

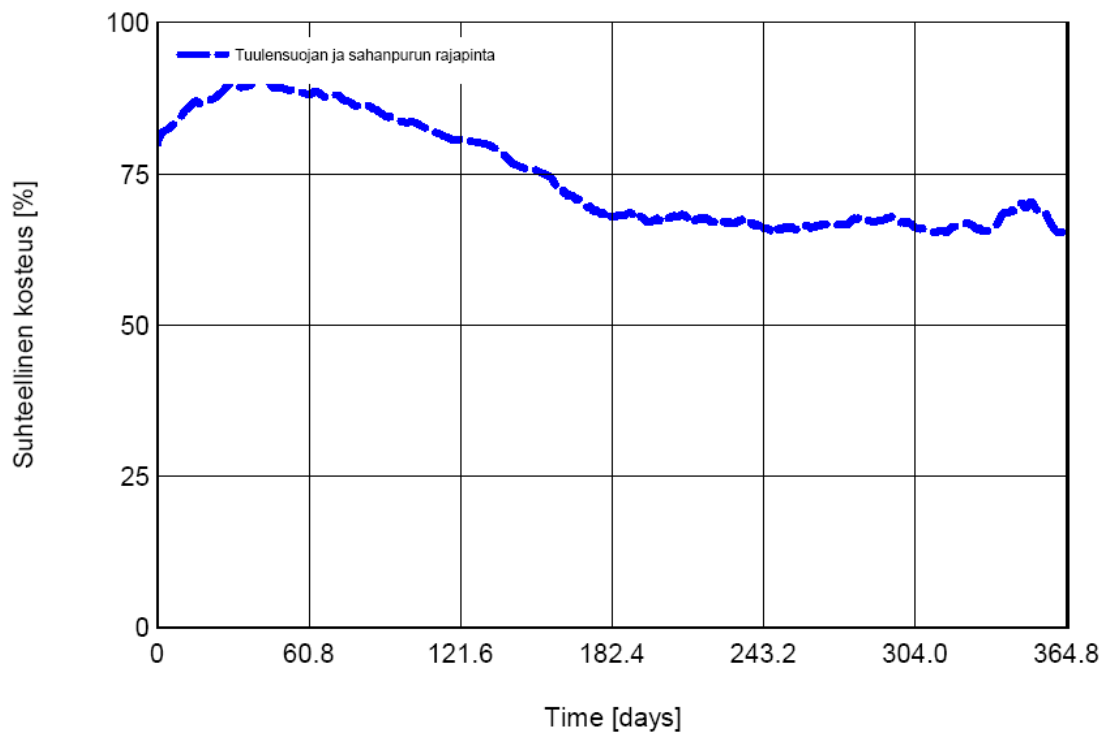
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

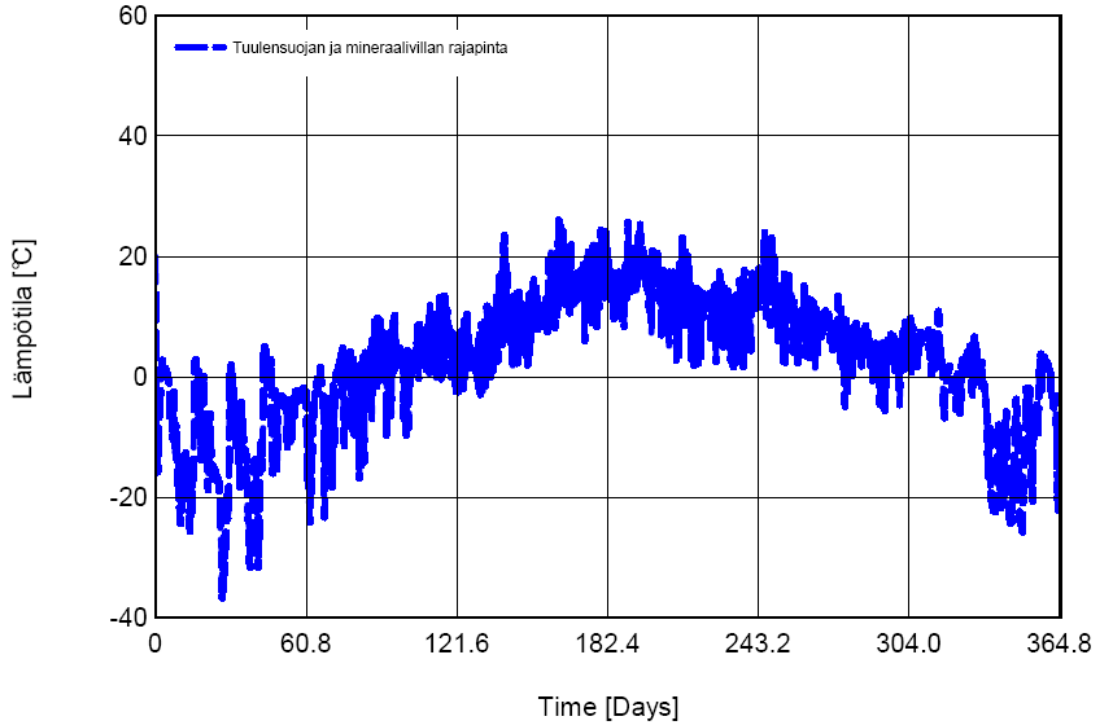


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

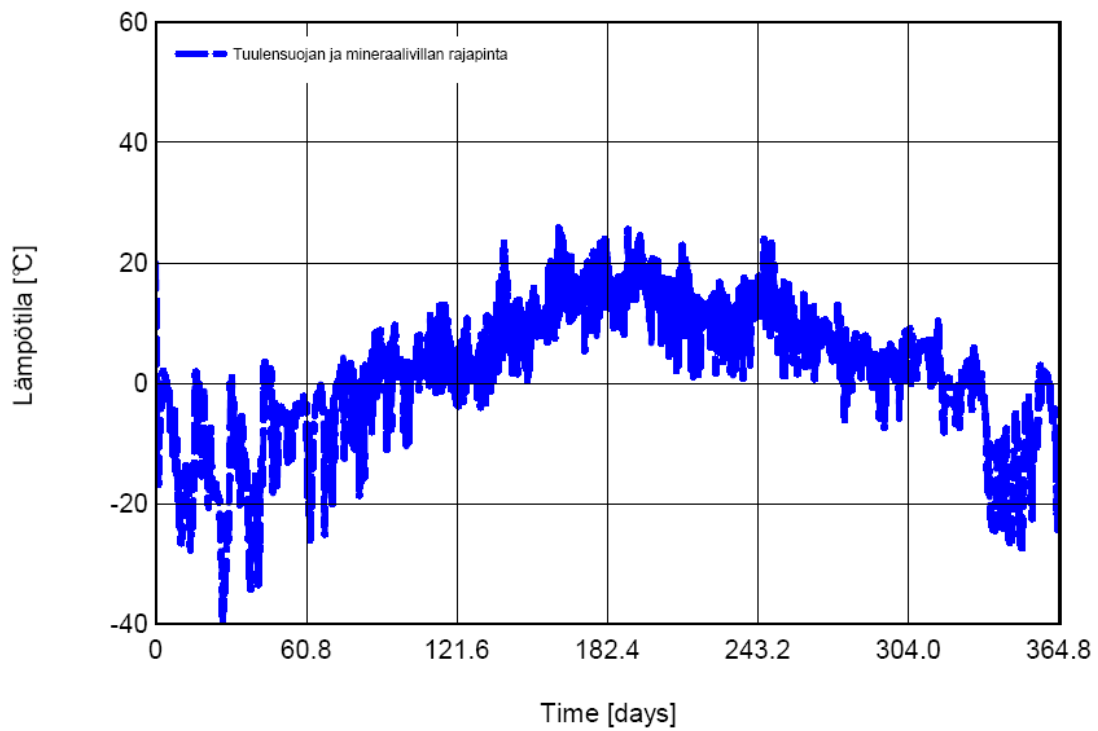


## Lämpötilat

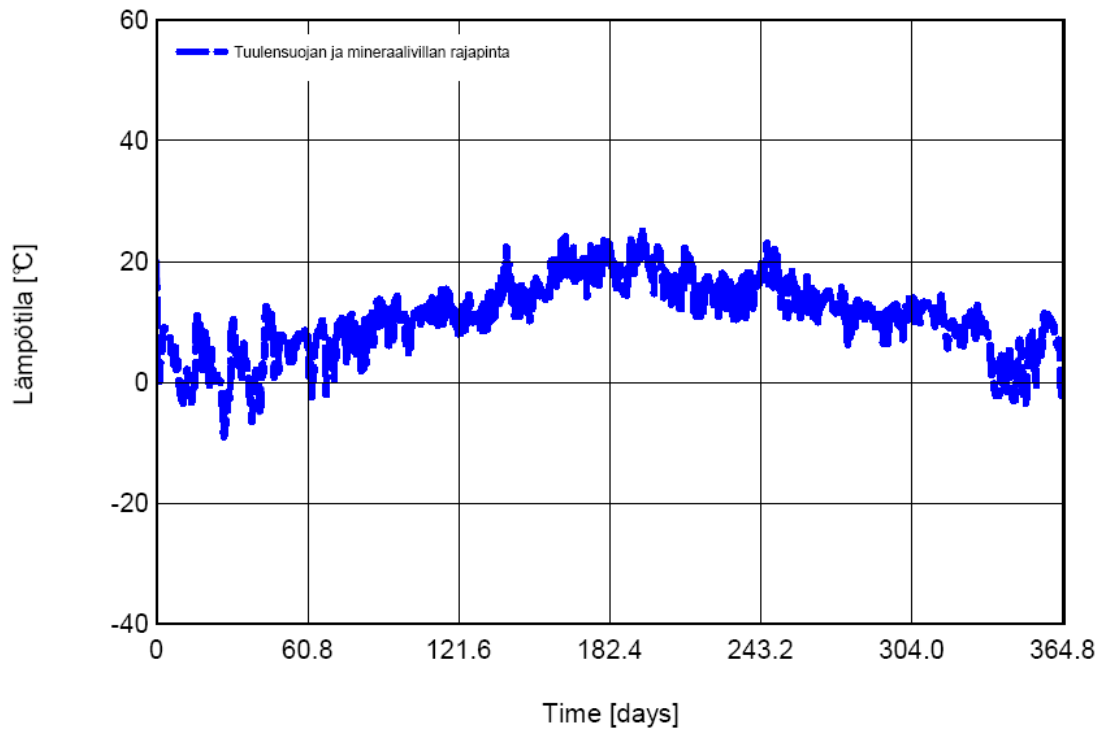
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

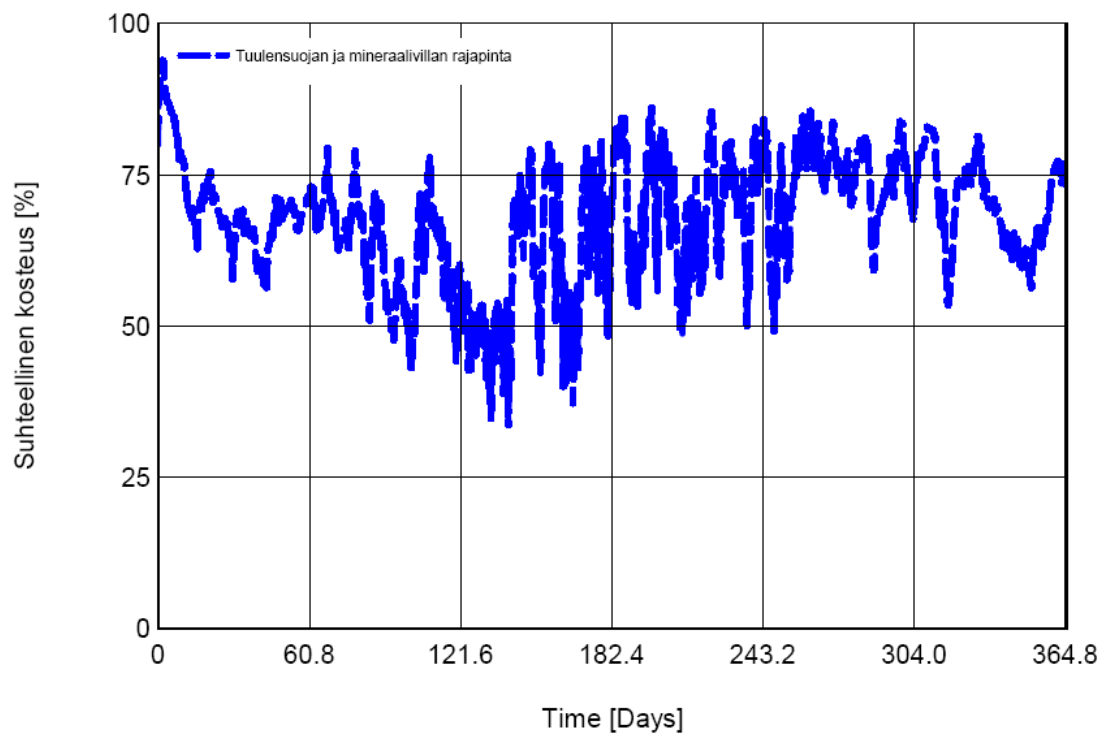


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

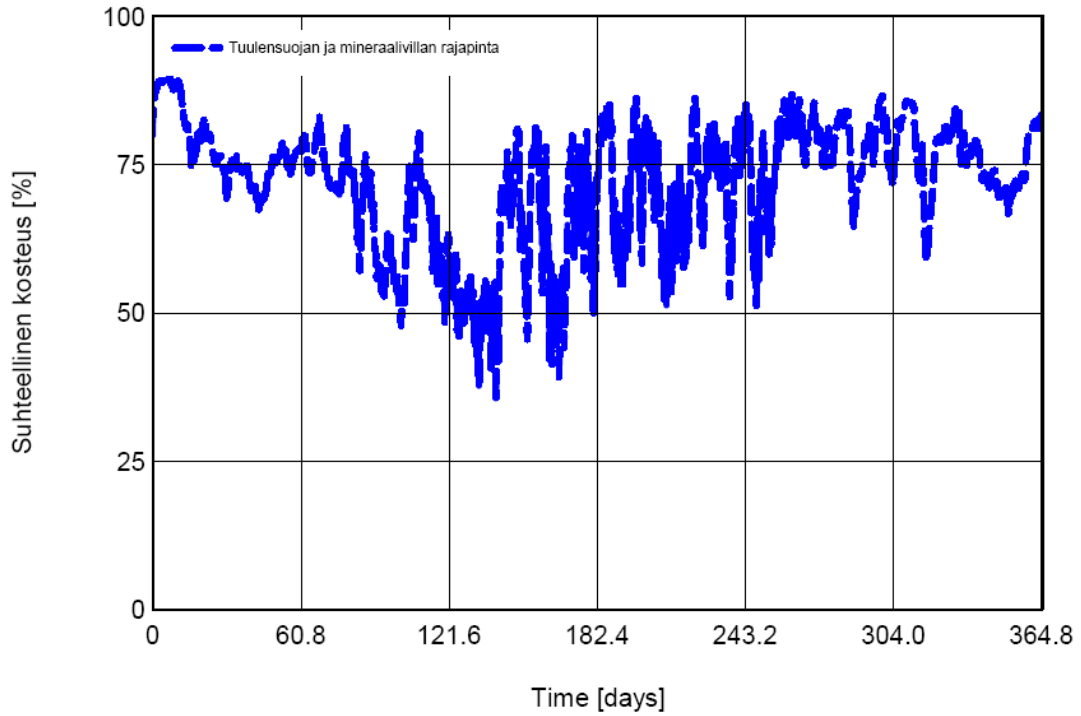


## Suhteelliset kosteudet

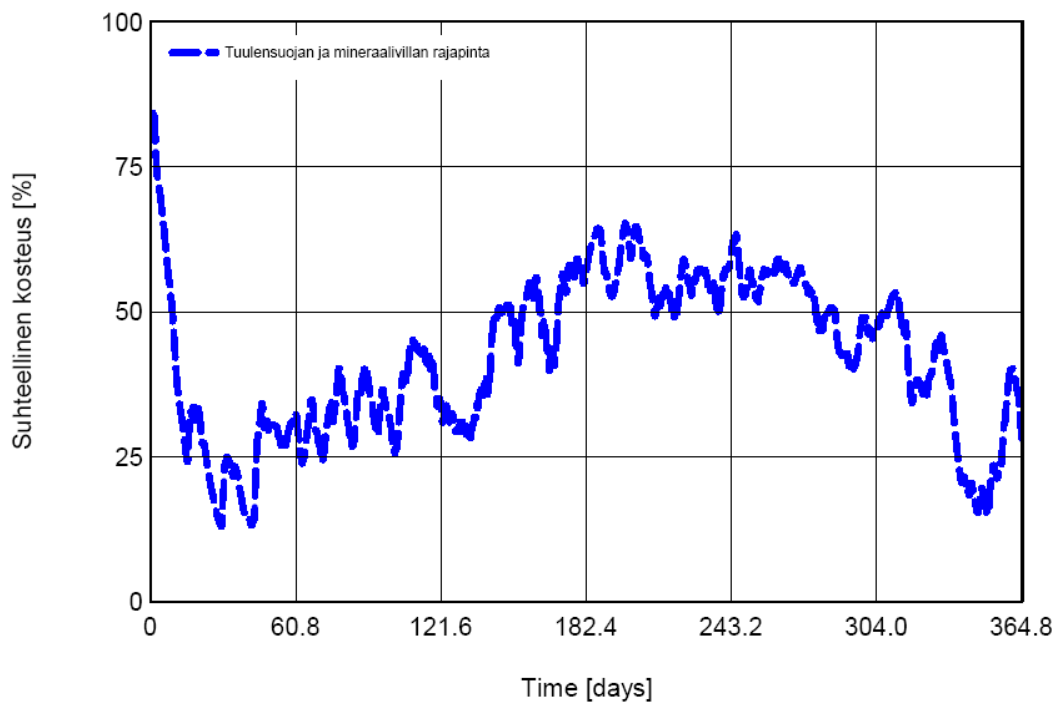
Ilman lisäeristystä



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

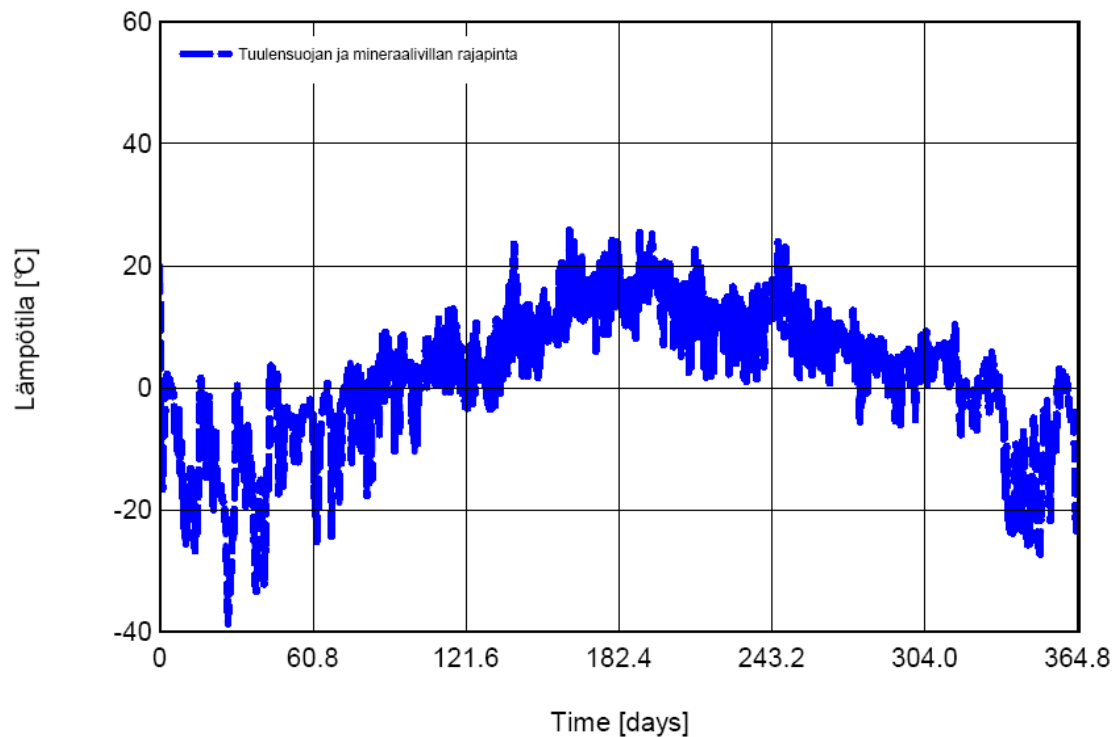


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

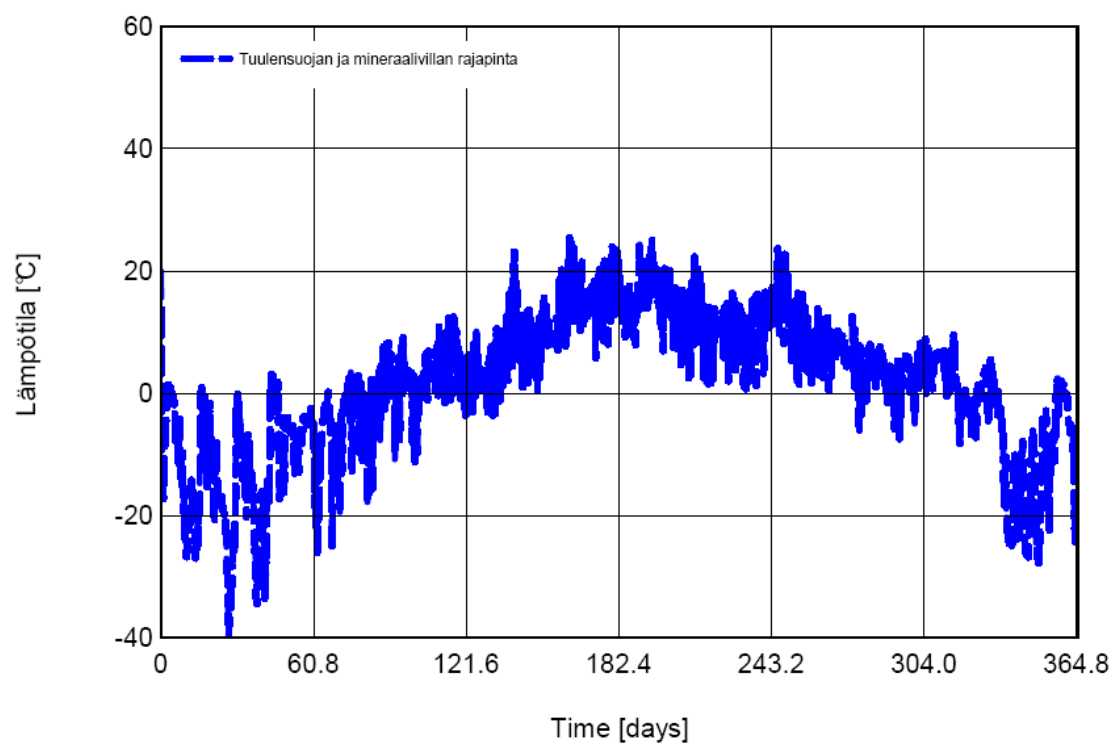


## Lämpötilat

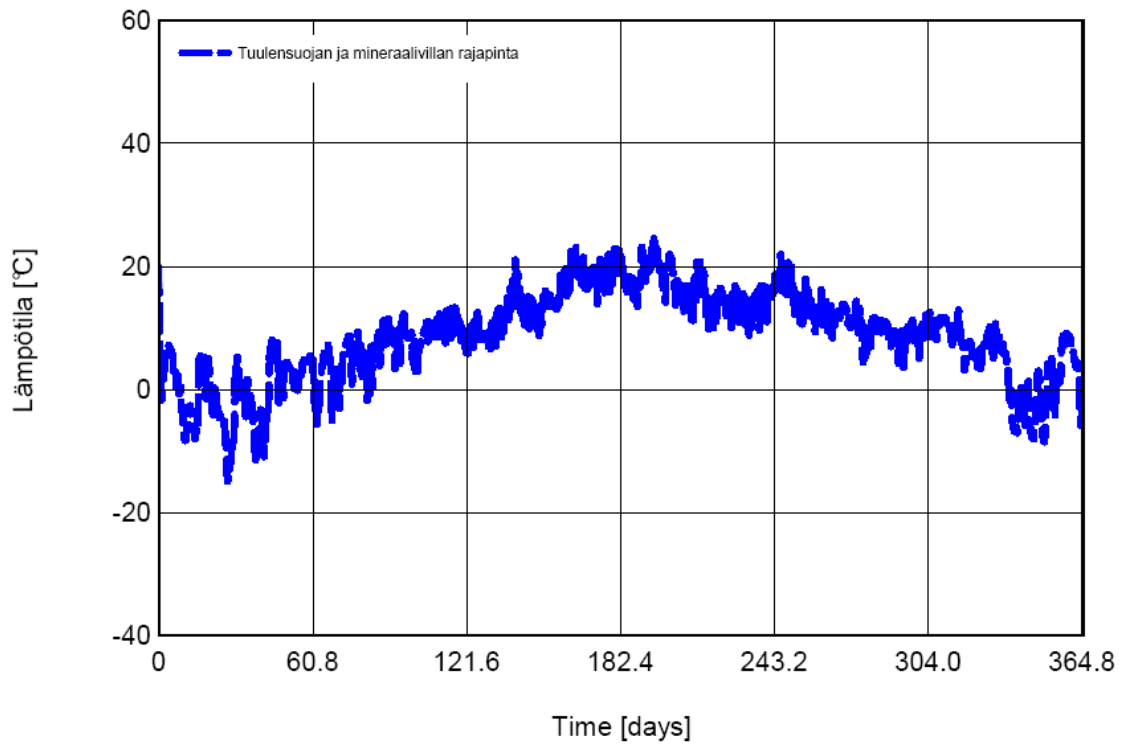
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

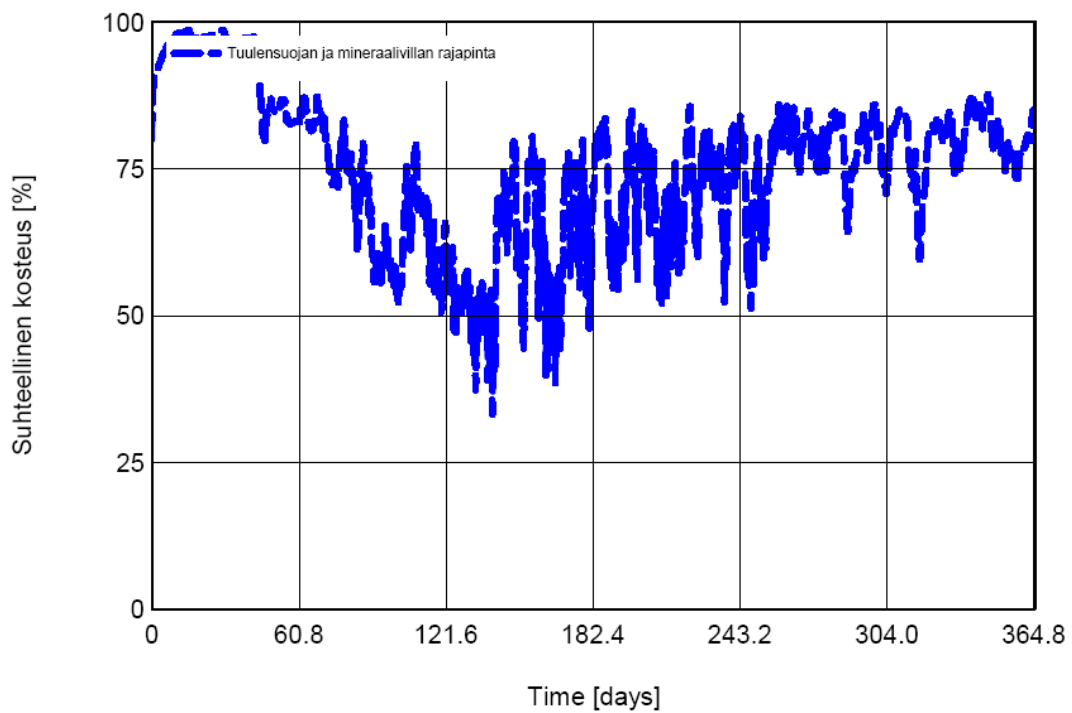


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

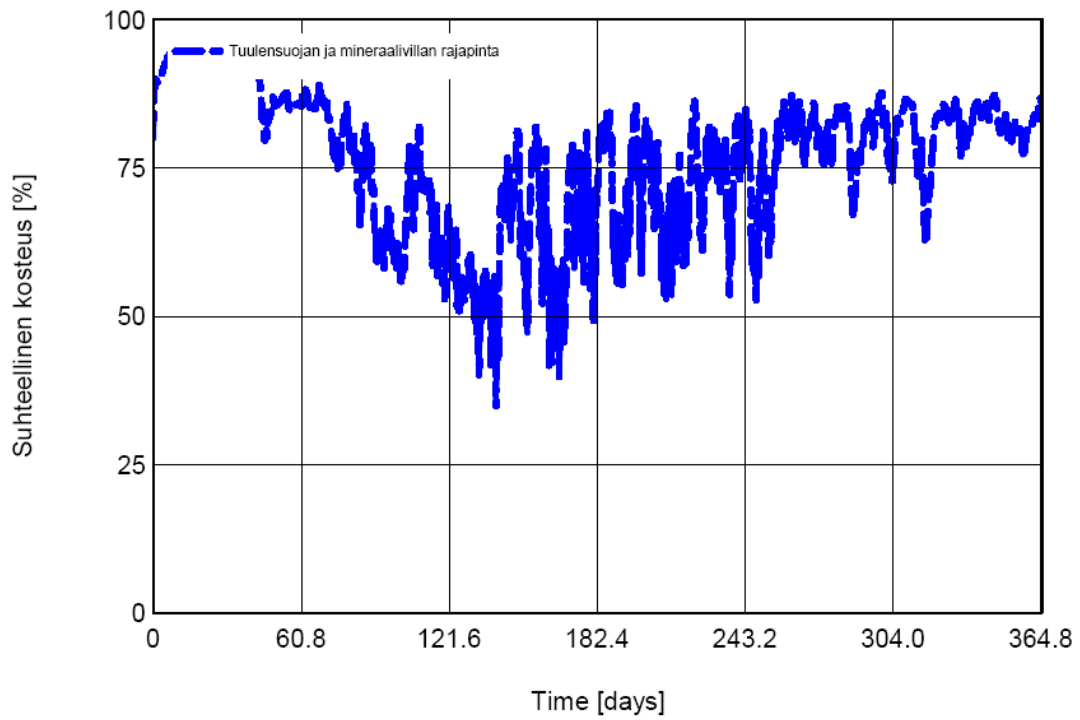


## Suhteelliset kosteudet

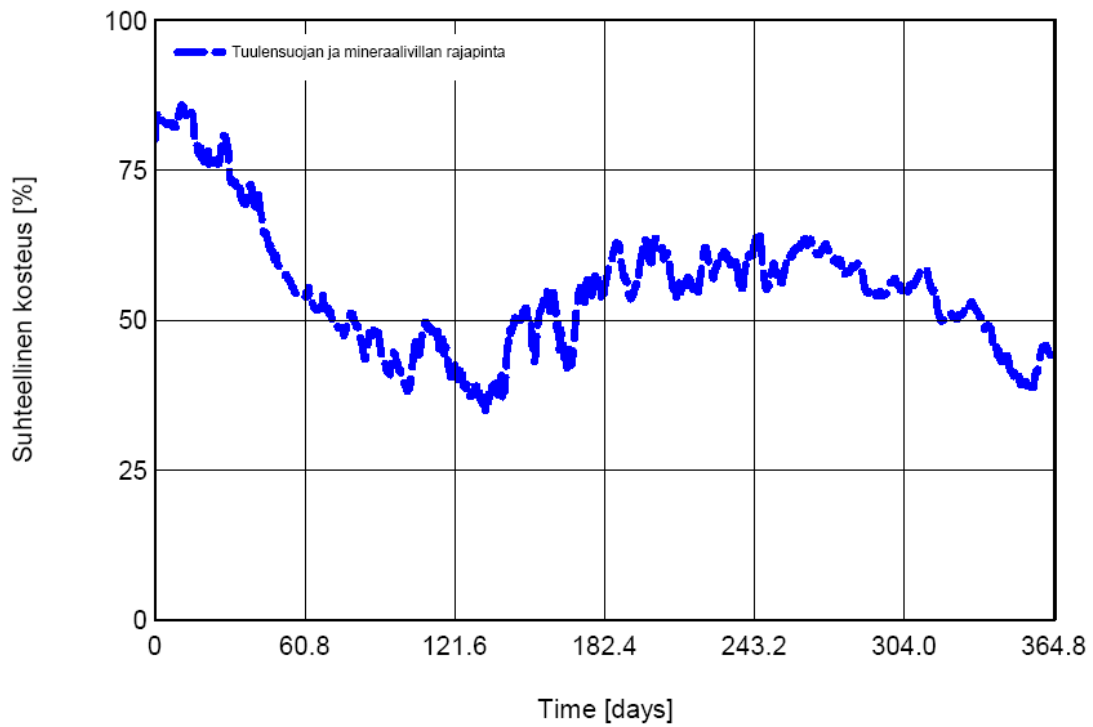
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):



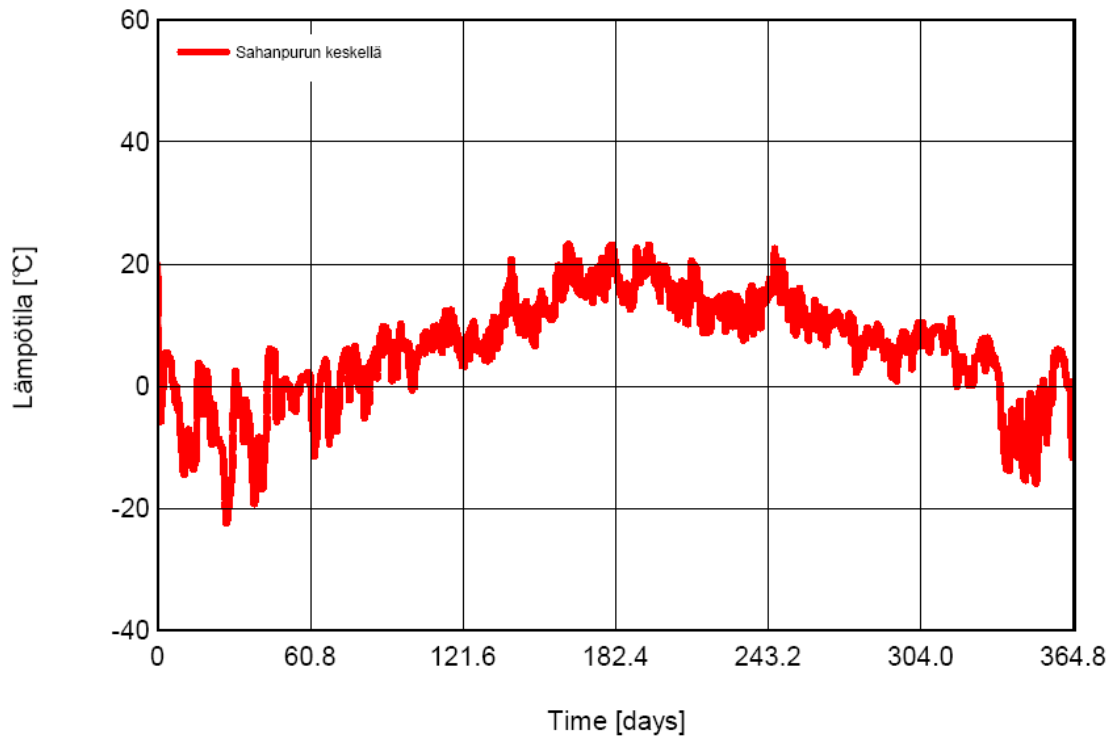
Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):



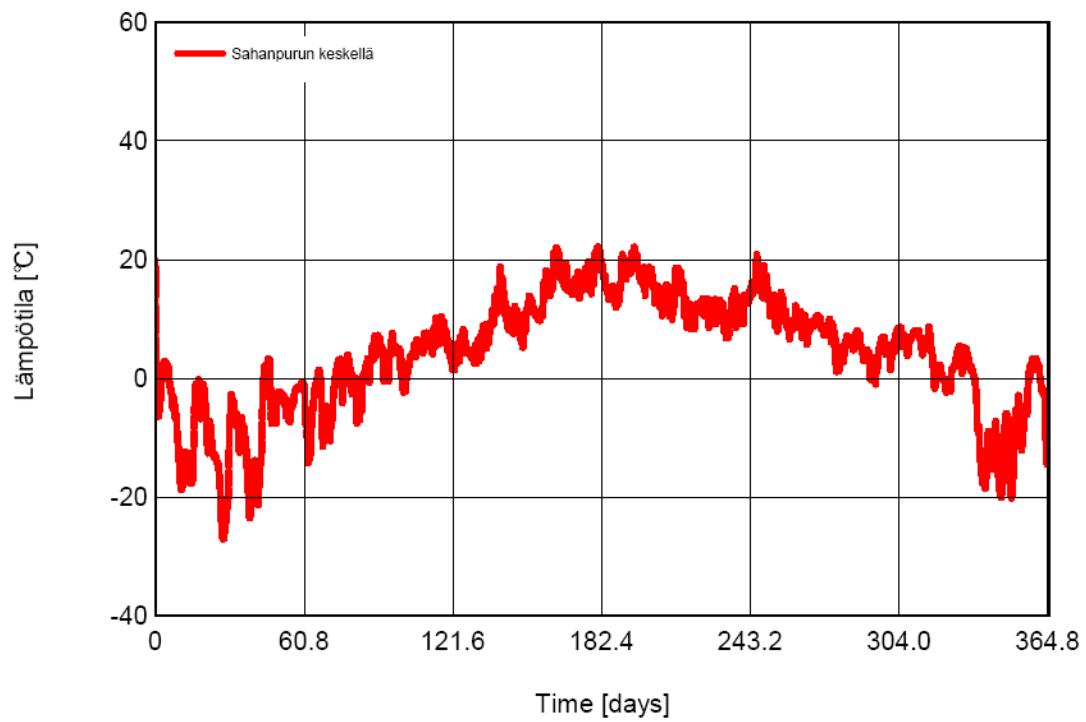


## Lämpötilat

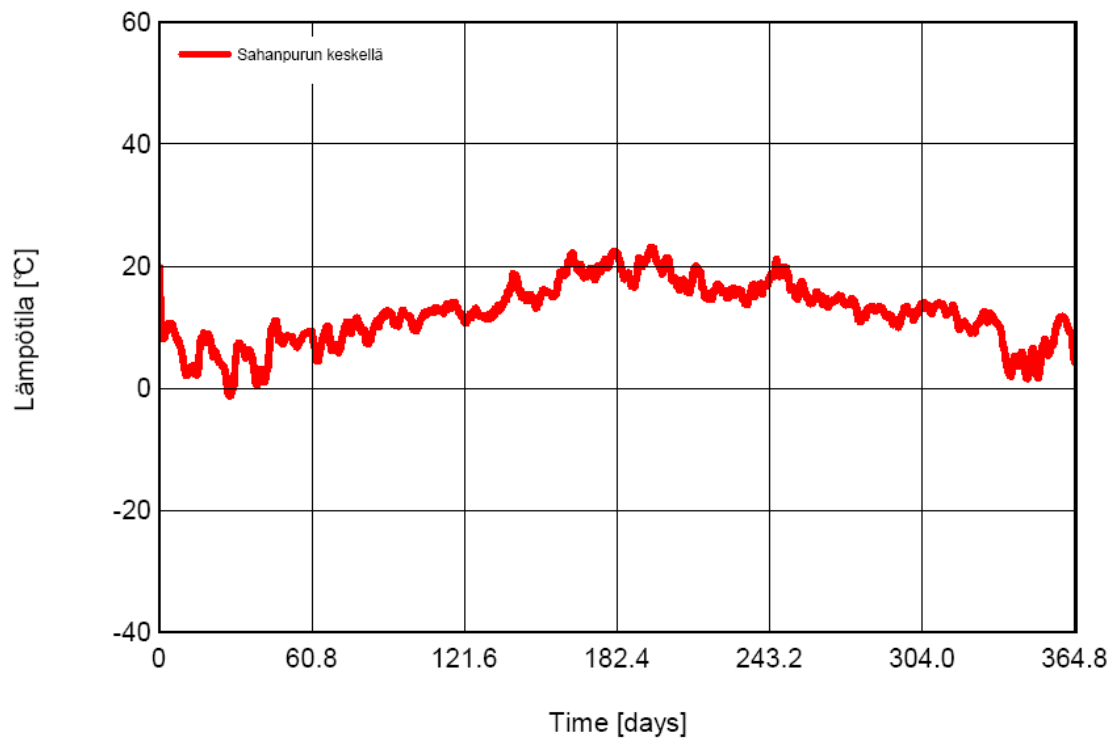
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

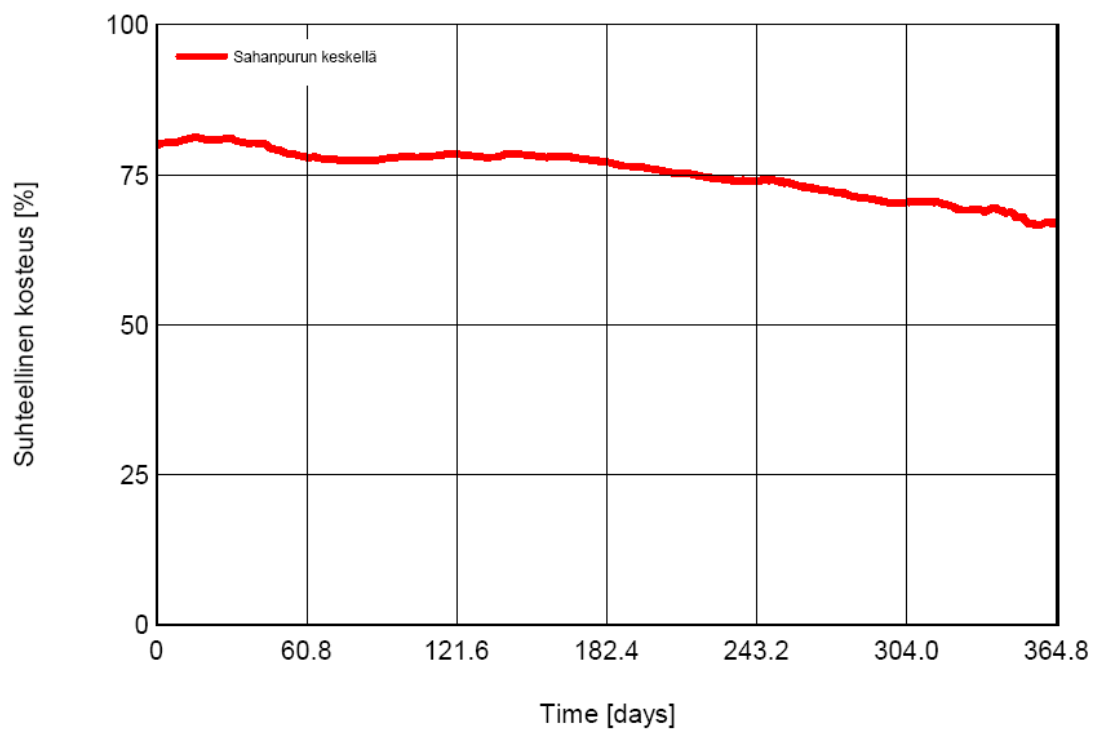


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

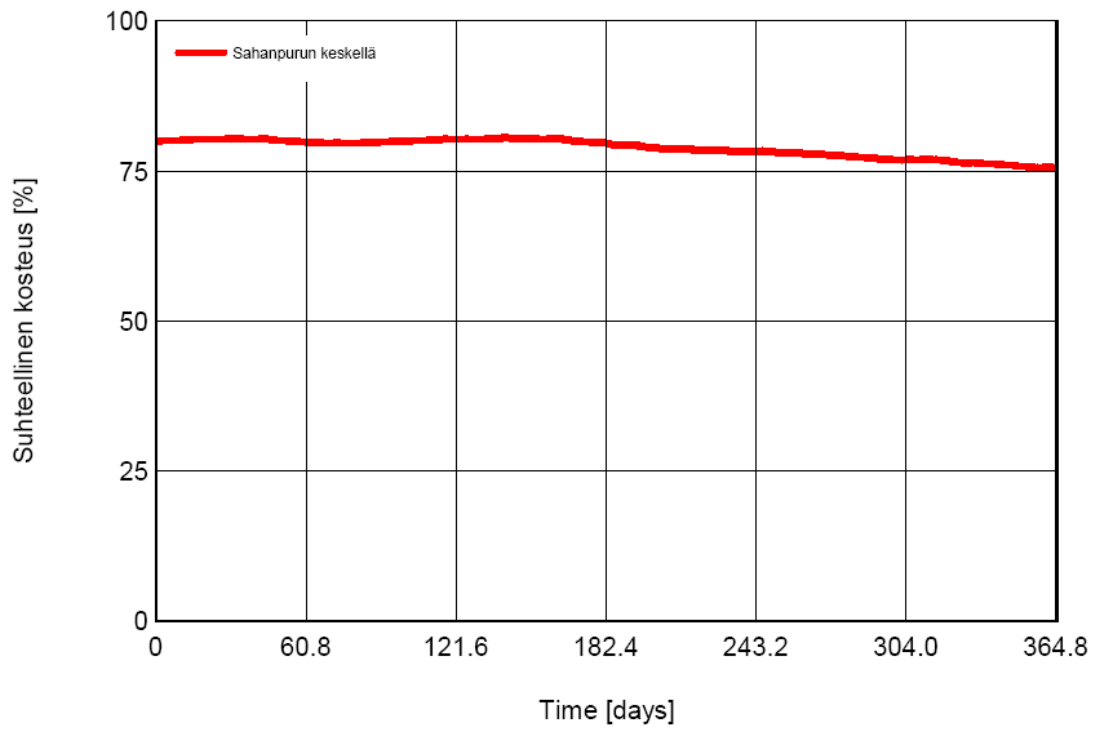


## Suhteelliset kosteudet

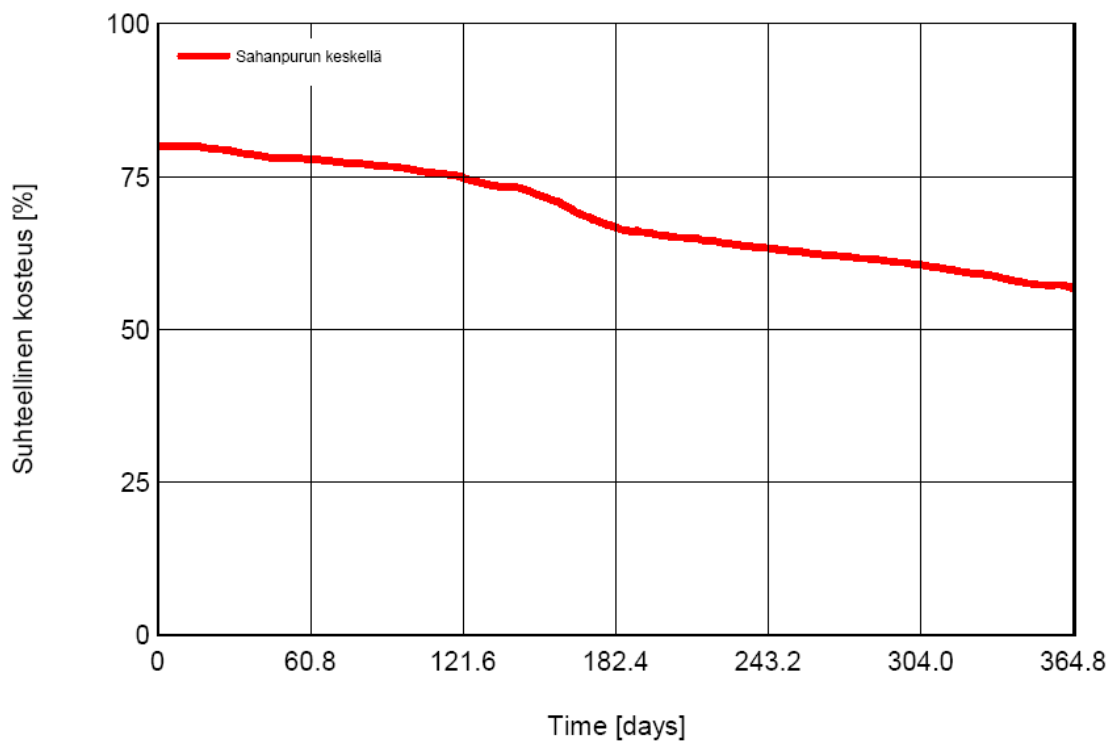
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

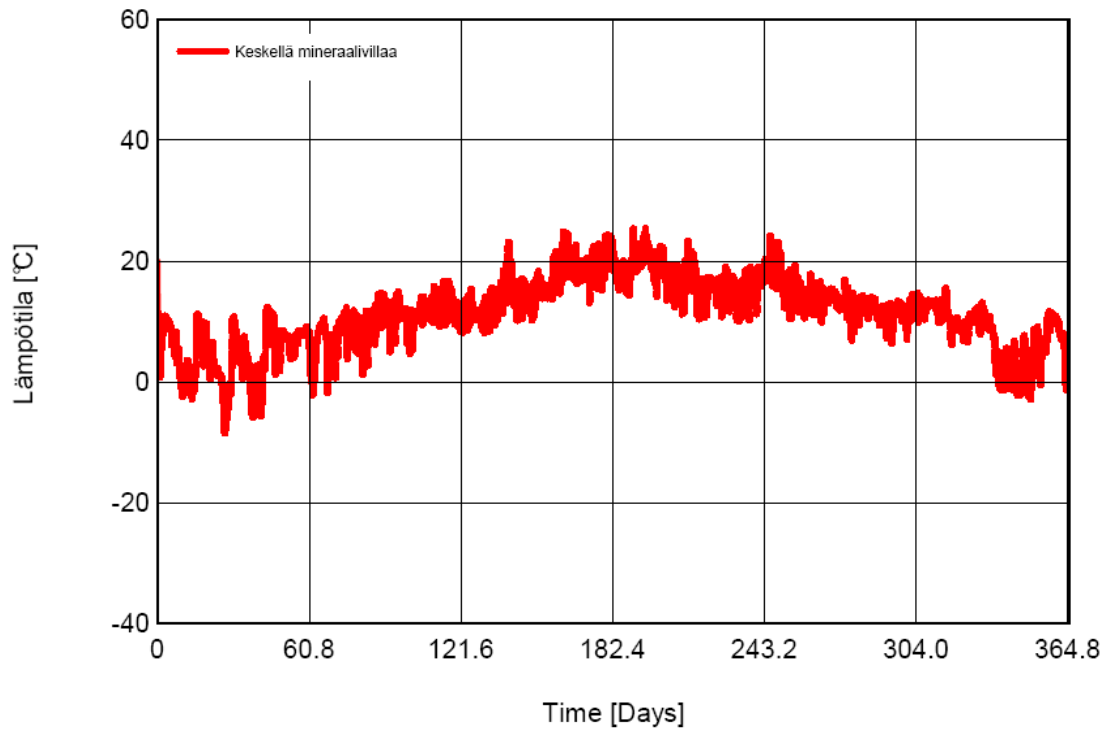


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

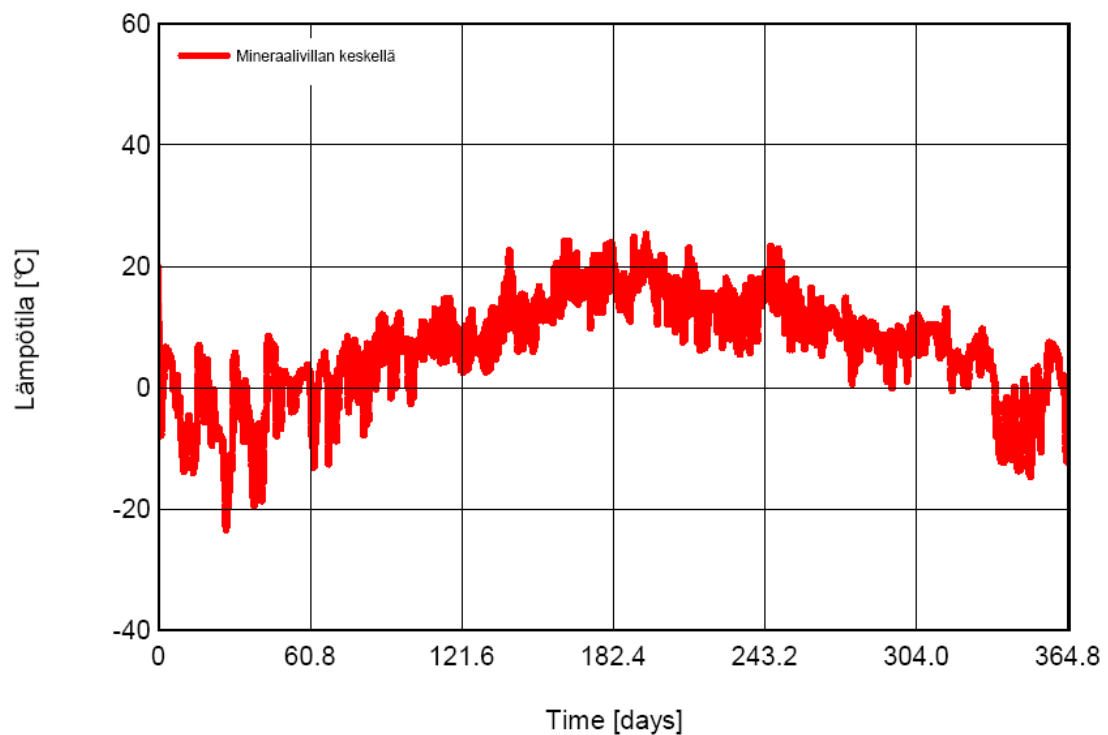


## Lämpötilat

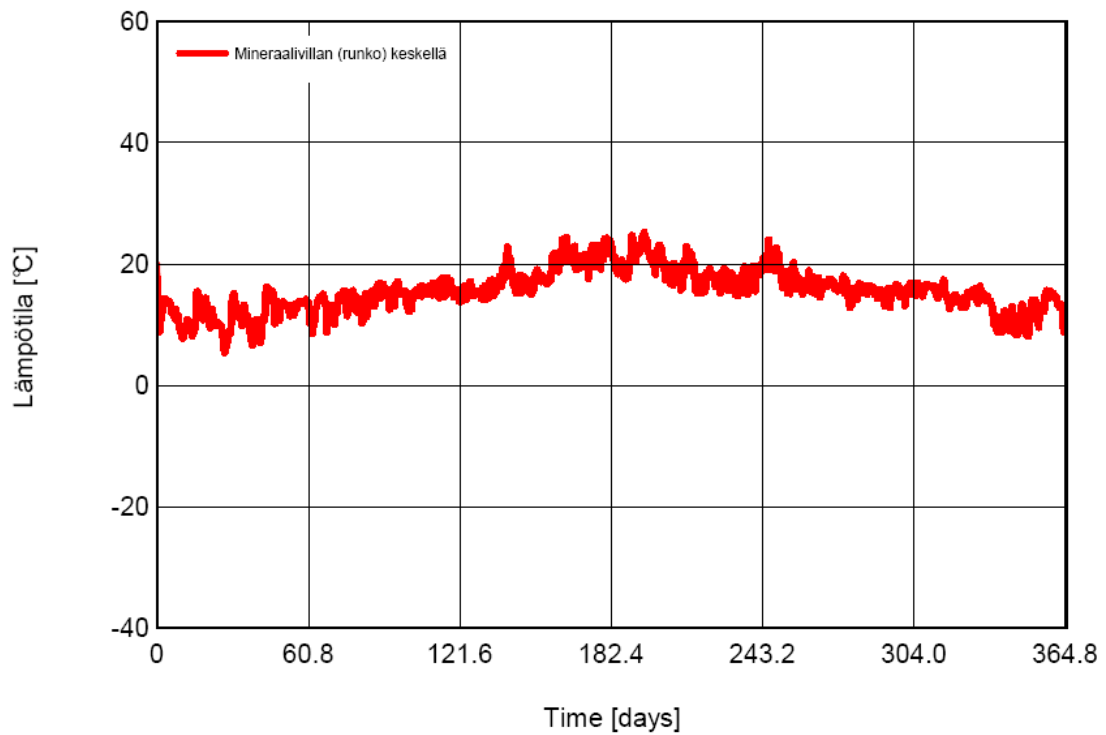
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

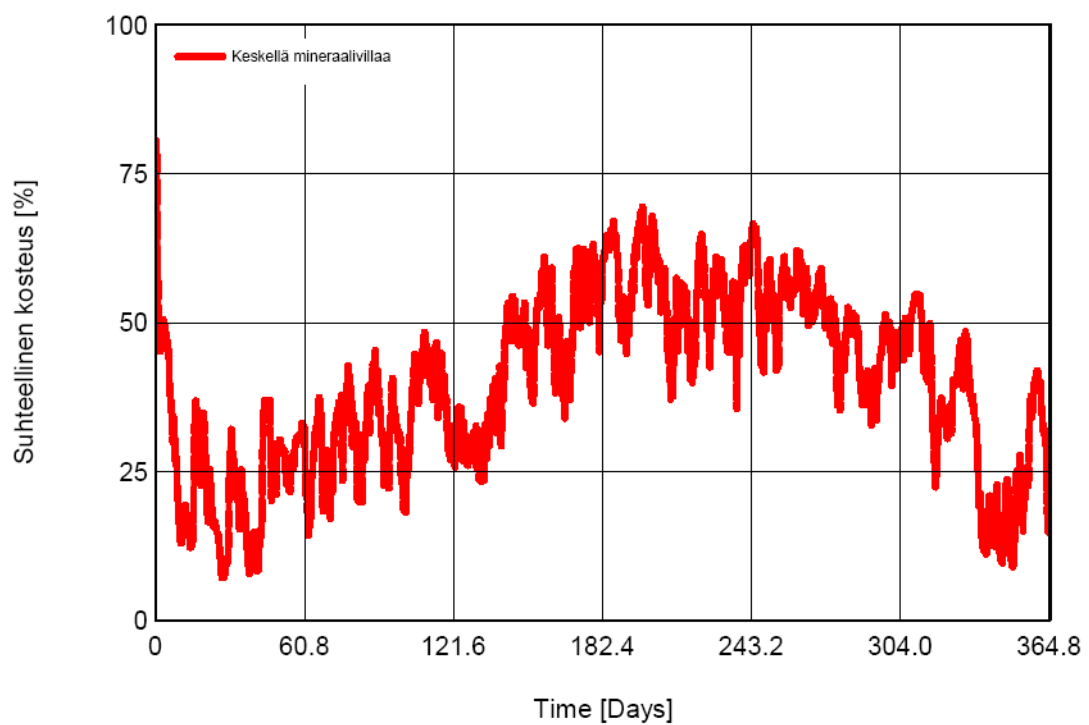


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

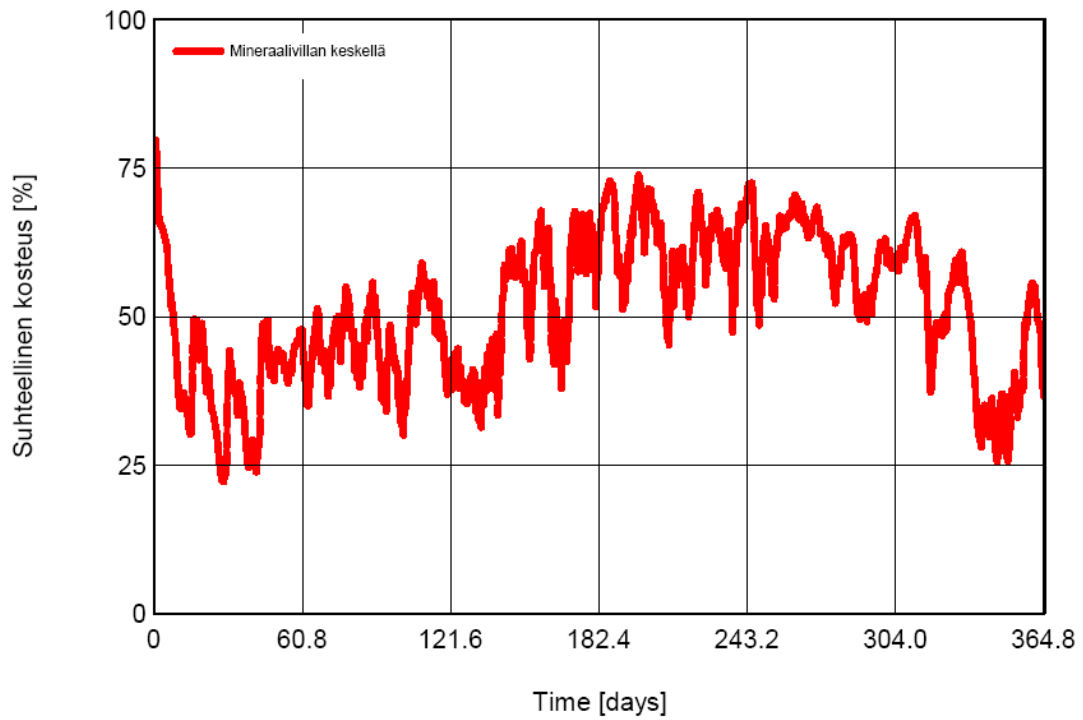


### Suhteelliset kosteudet

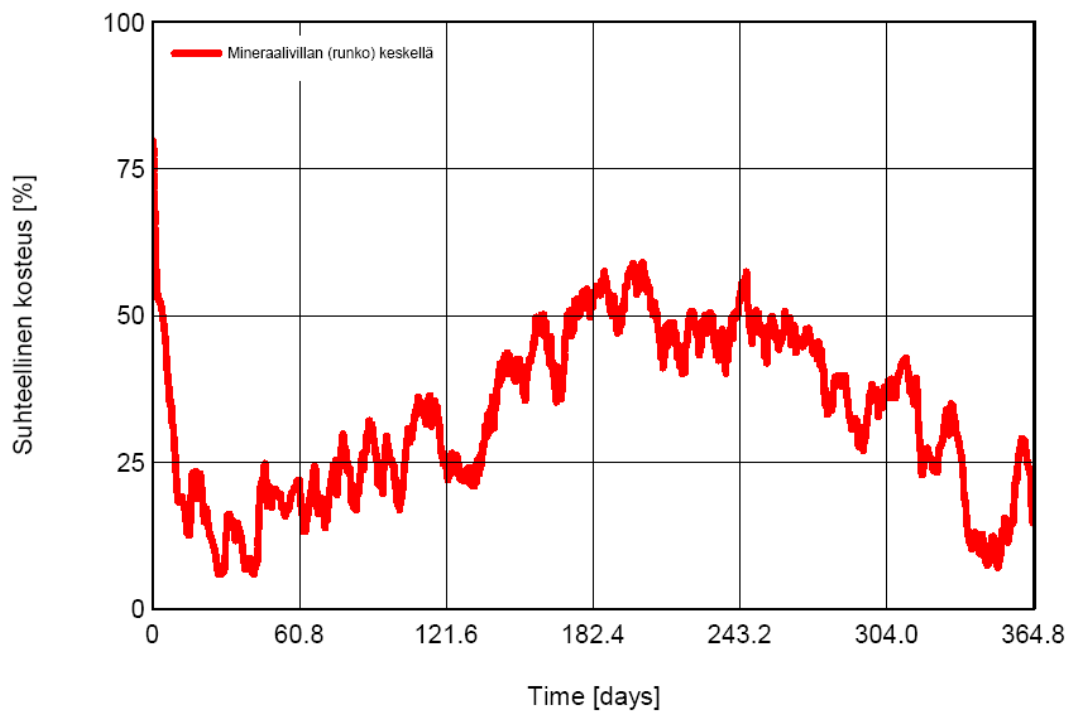
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

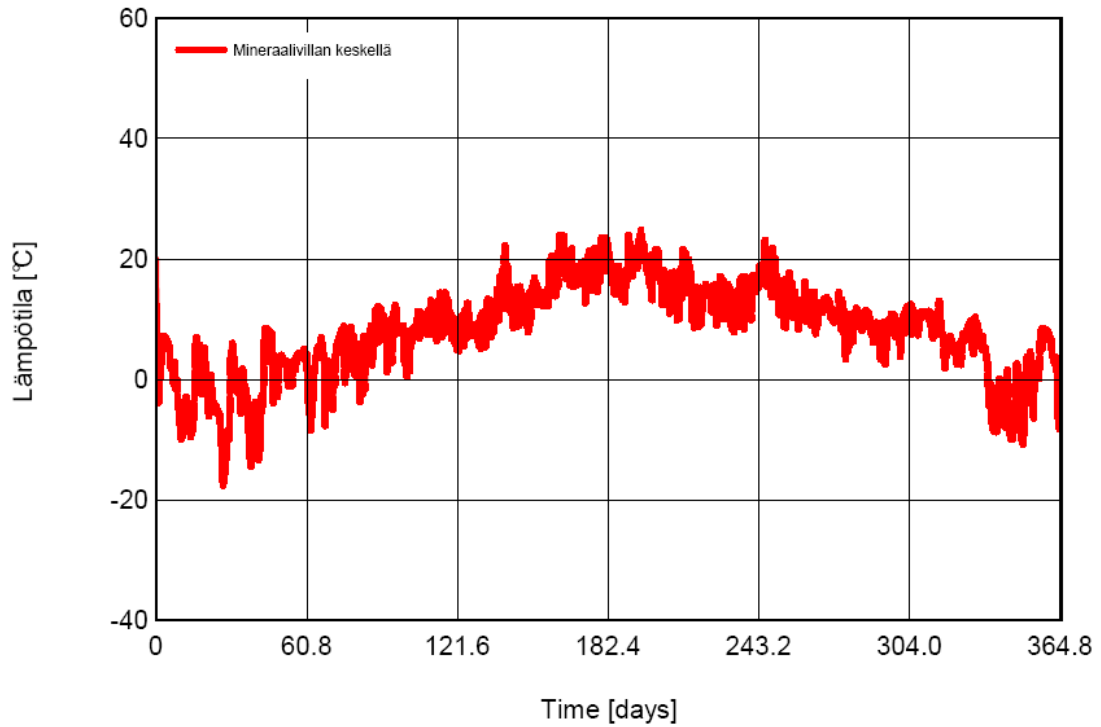


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

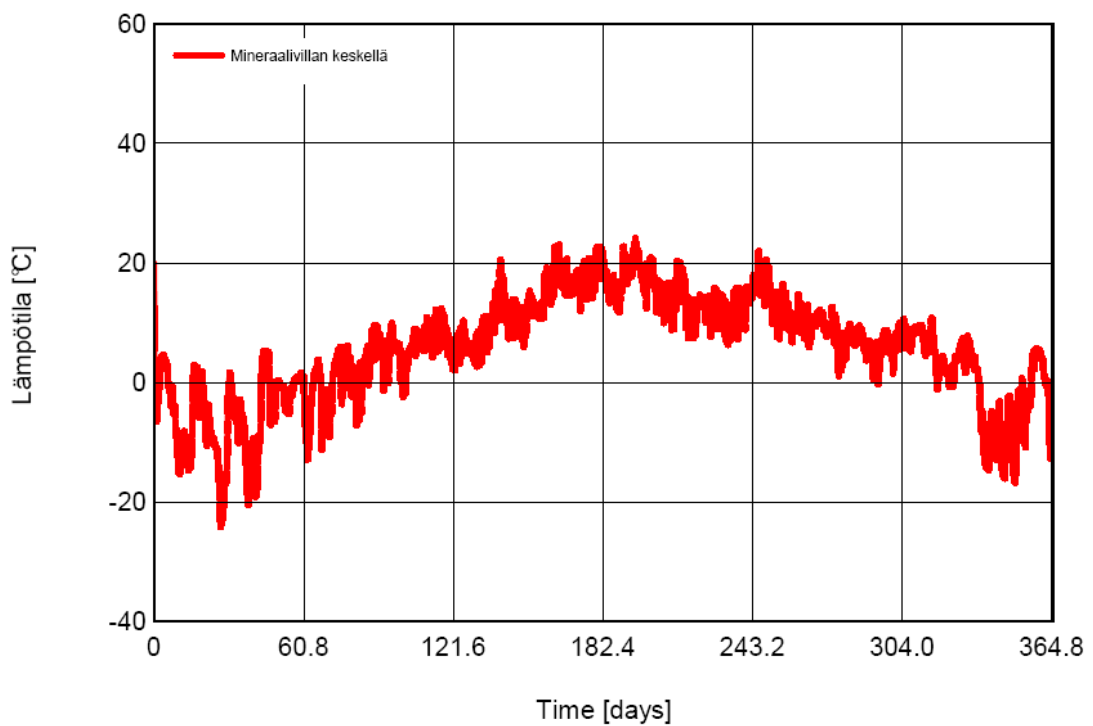


## Lämpötilat

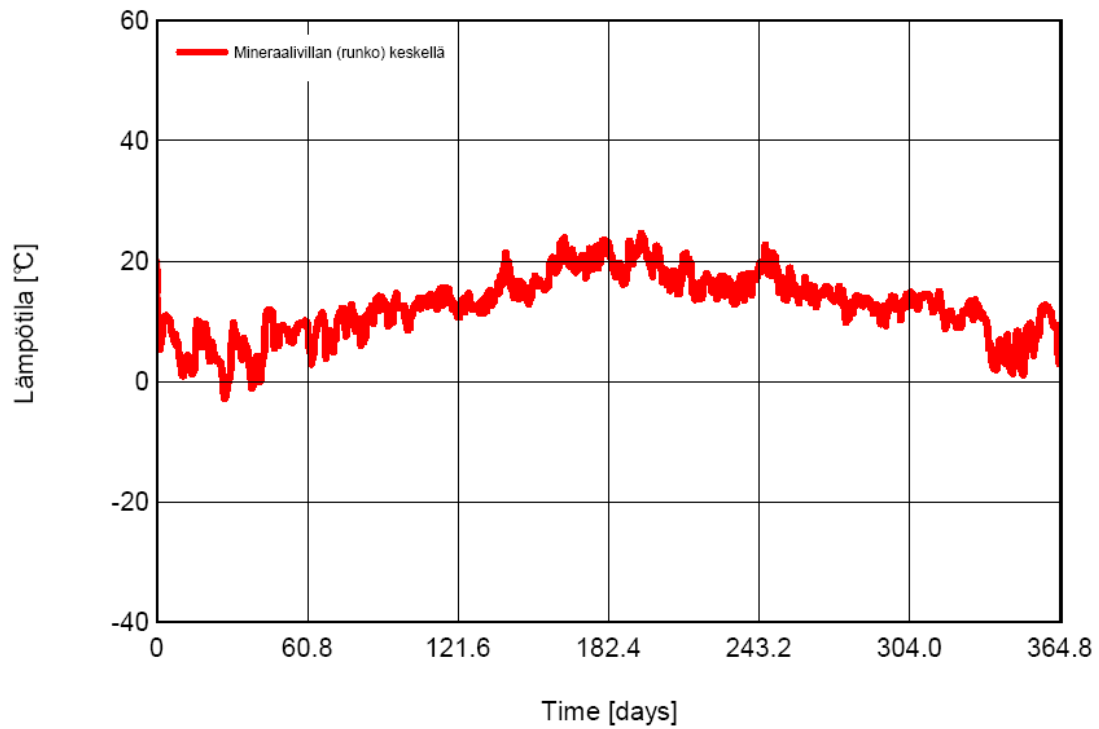
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

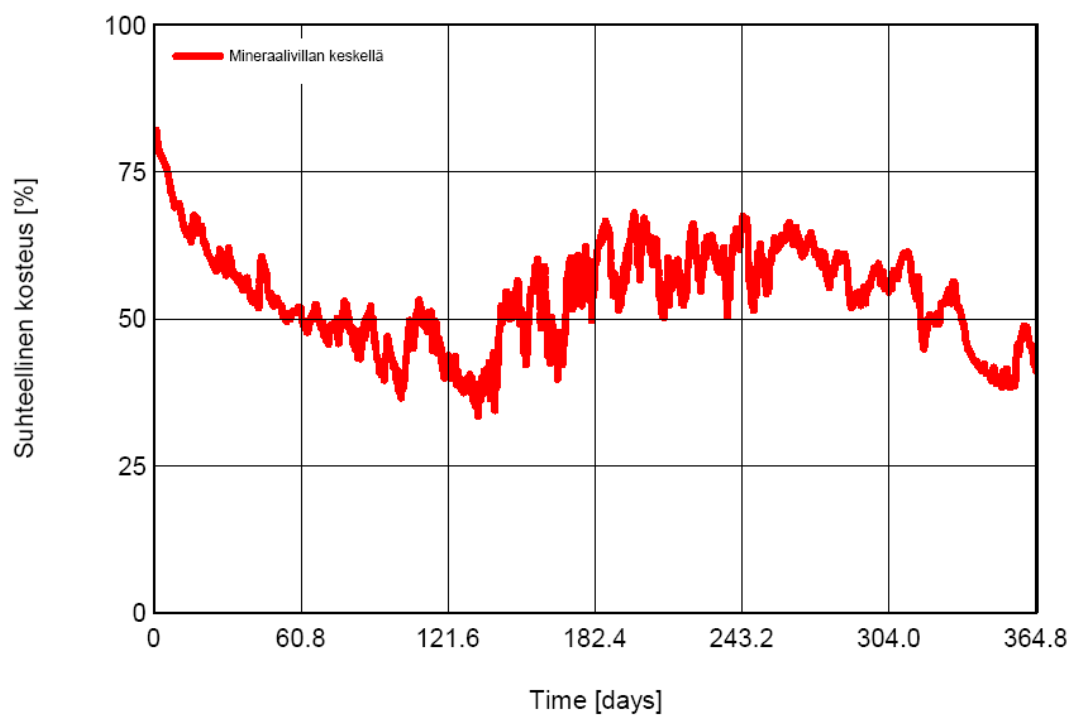


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):



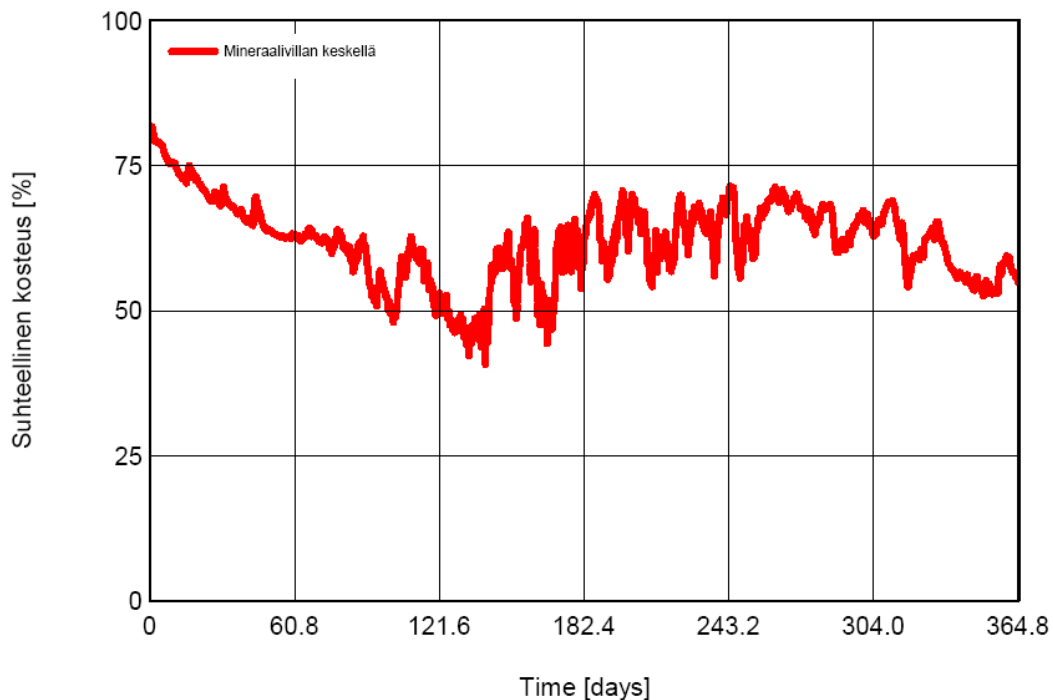
### Suhteelliset kosteudet

Ilman lisäeristettä:

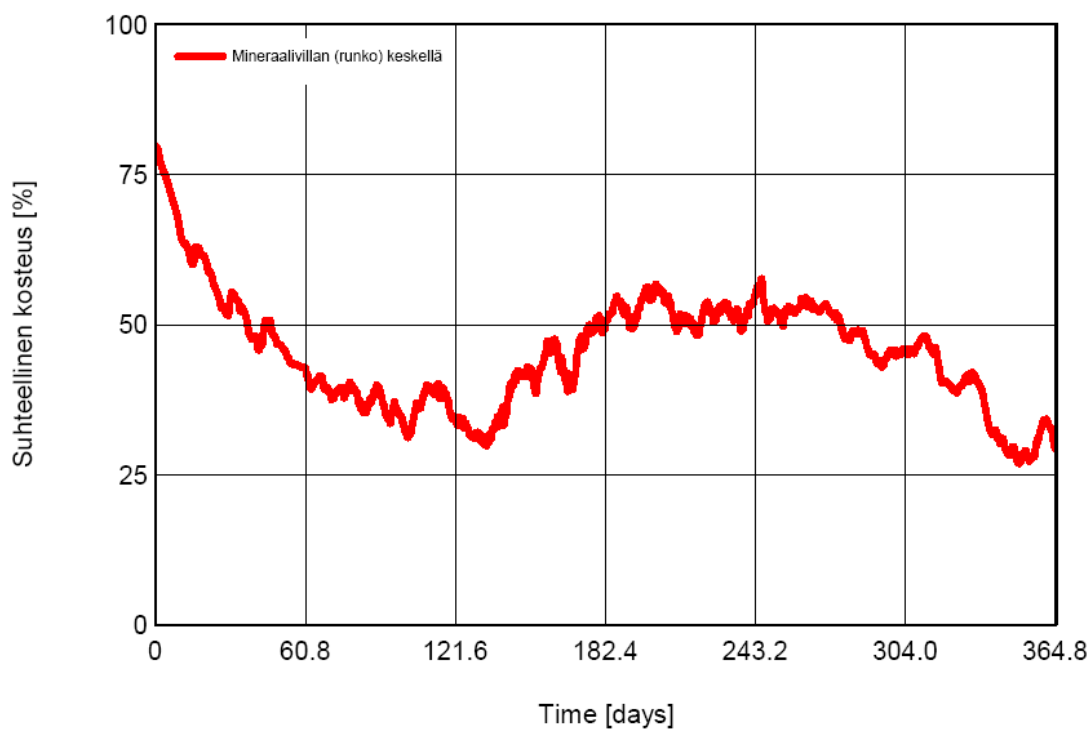




Sisäpuolisella lisäeristeellä (Thermisol Titan Gipsline):

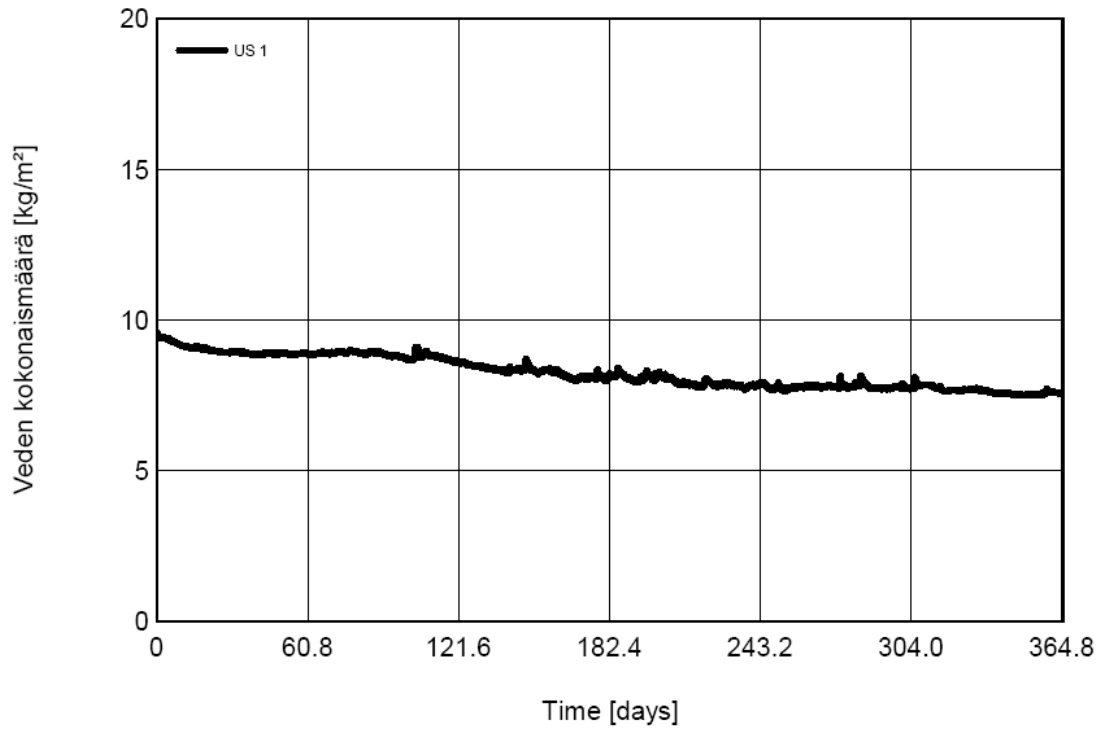


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

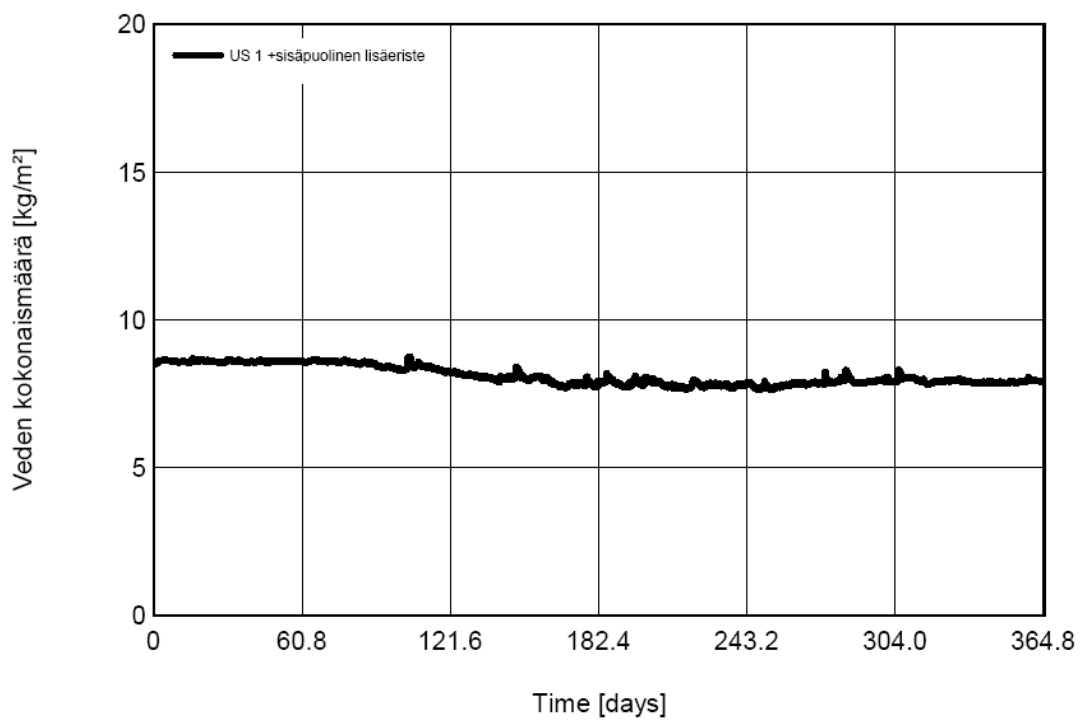


## US 1

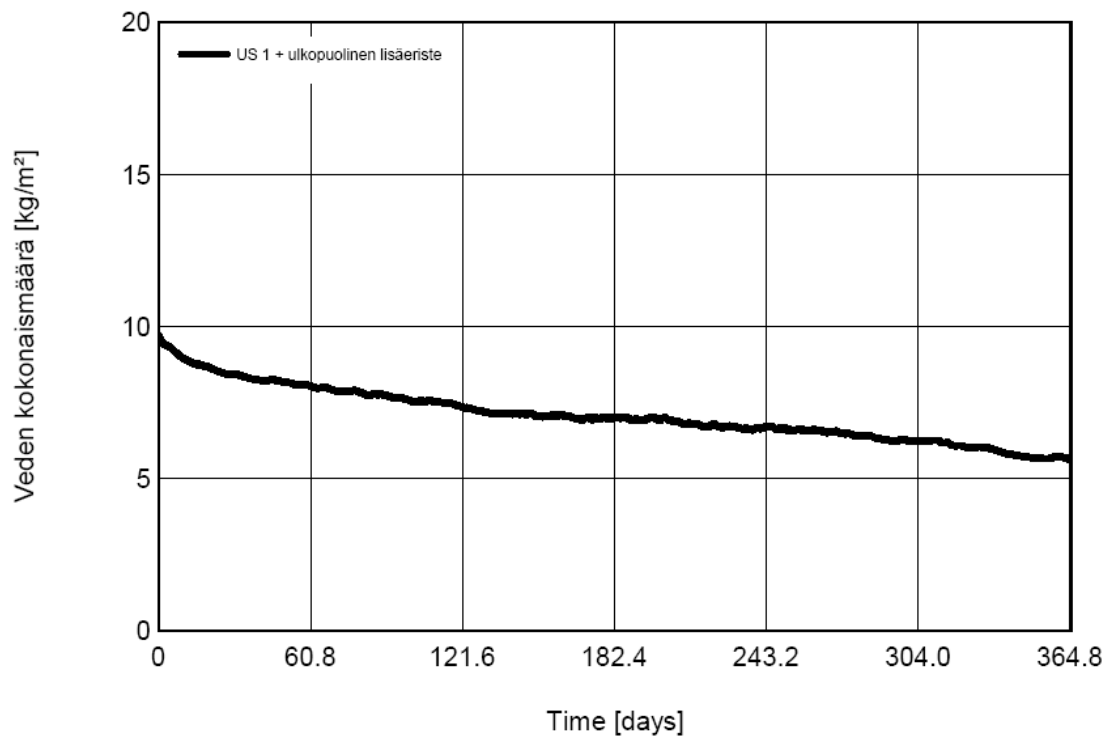
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

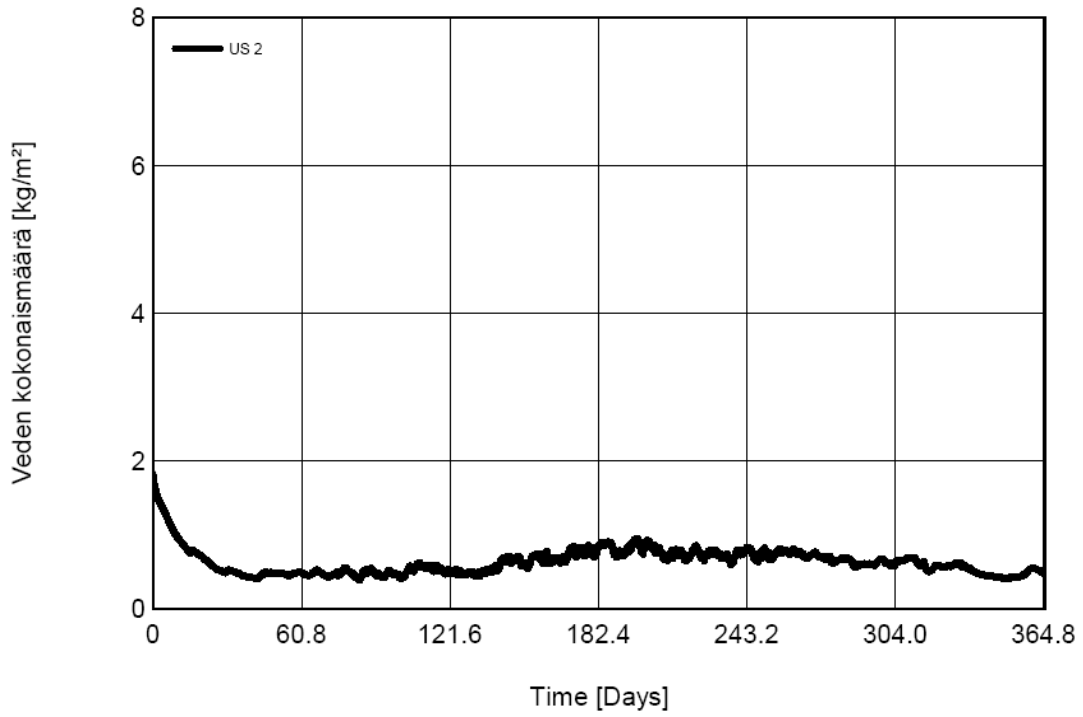


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

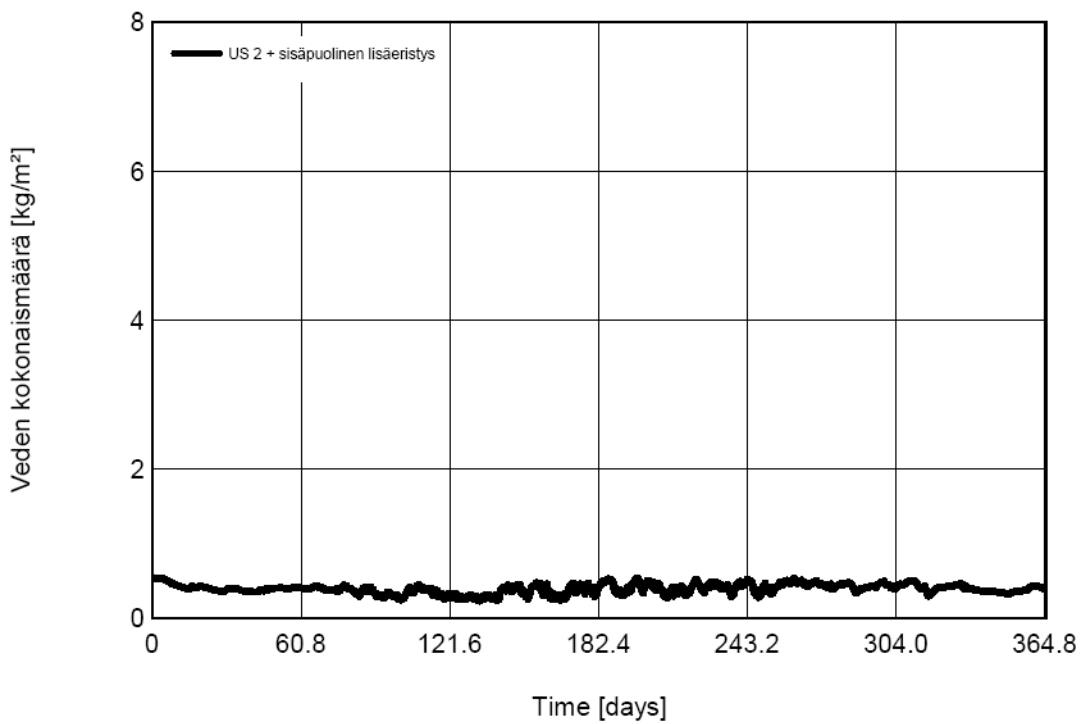


**US 2**

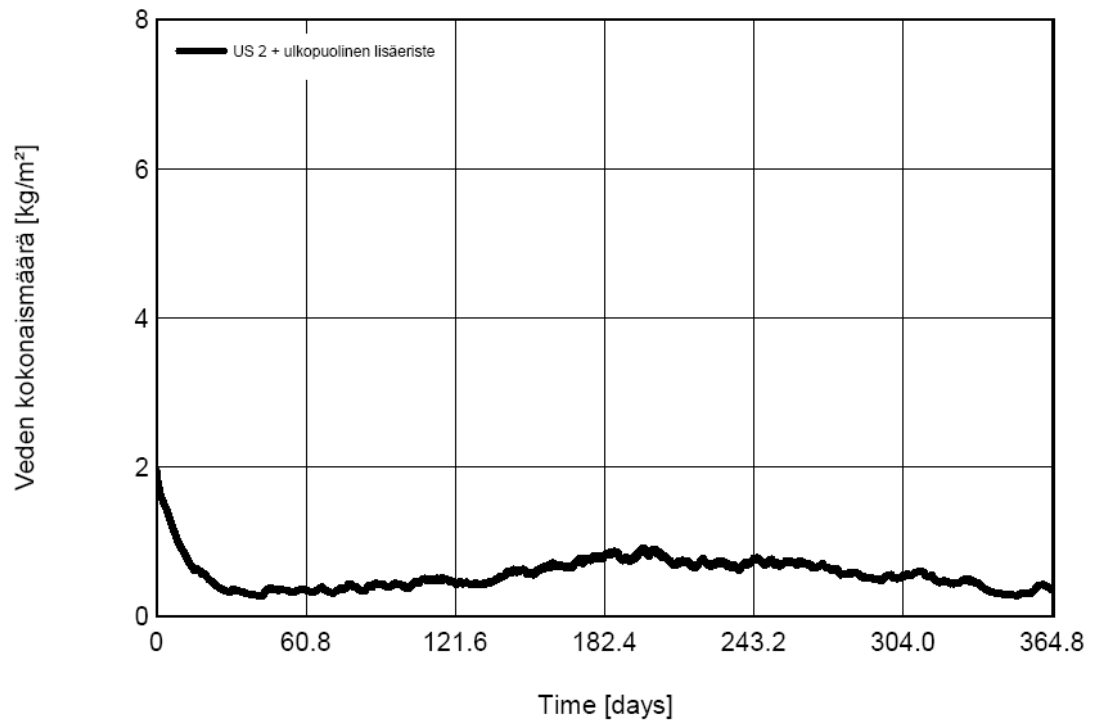
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):

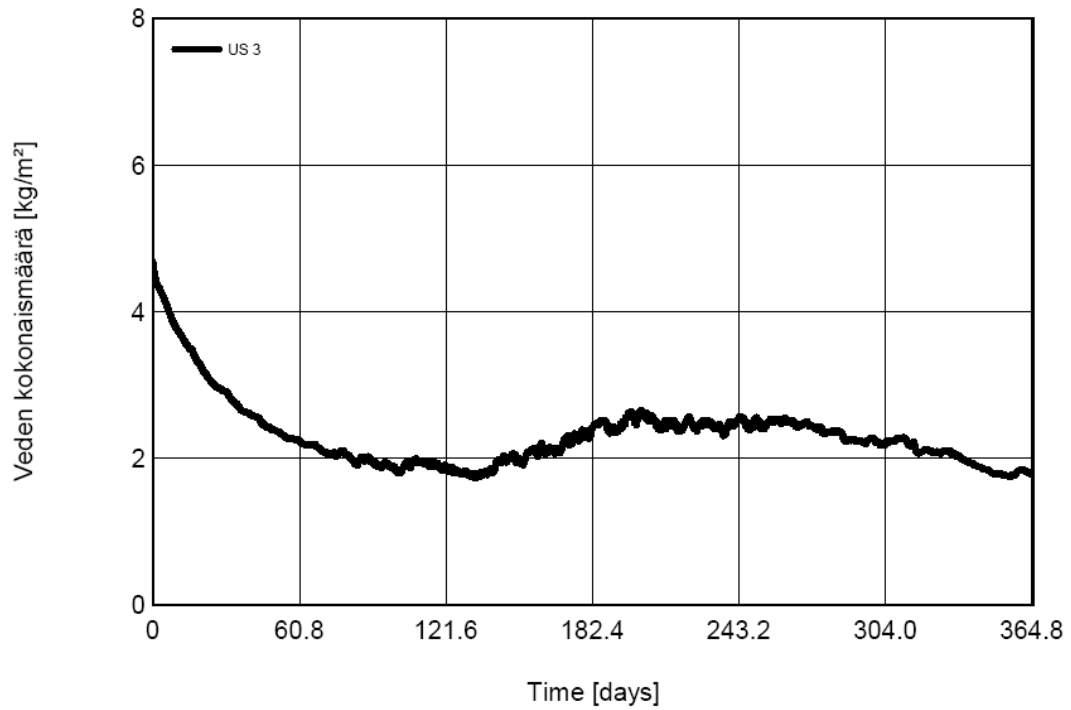


Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):

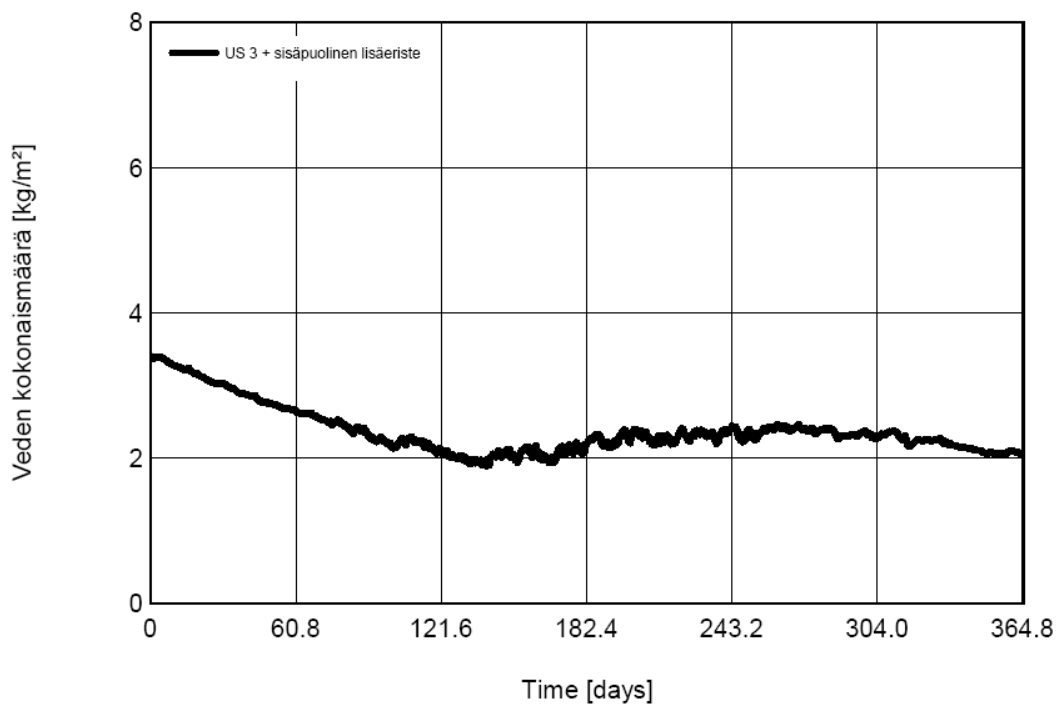


**US 3**

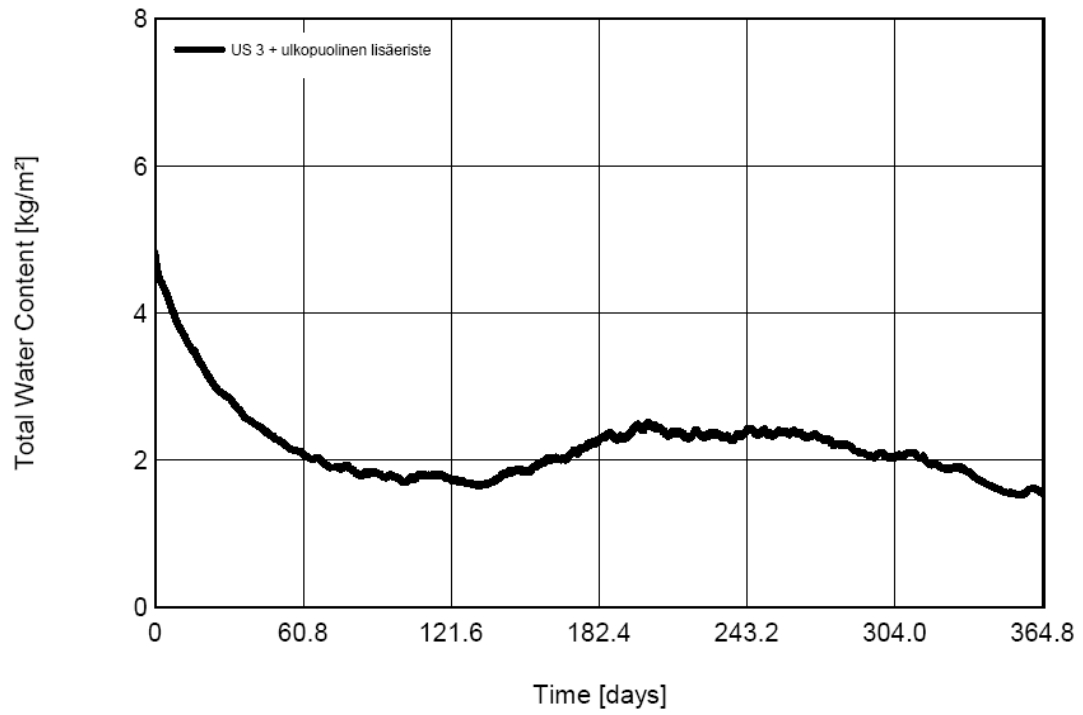
Ilman lisäeristystä:



Sisäpuolisella lisäeristyksellä (Thermisol Titan Gipsline):



Ulkopuolisella lisäeristyksellä (Isover RKL-31 FACADE):



<b><u>US 1 + Thermisol Titan Gipsline</u></b>						
<b>kk</b>	<b>RH[%]</b>	<b>T[°C]</b>	<b>Kriittinen vaikutusaika t[tko]</b>	<b>Homehtumisriski</b>	<b>Huomi</b>	
Tammikuu	77,7	-6,30			t < 0 °C	
Helmikuu	76,9	-6,30			t < 0 °C	
Maaliskuu	76,1	-2,61			t < 0 °C	
Huhtikuu	71,8	2,70			RH < 75%	
Toukokuu	66,2	8,96			RH < 75%	
Kesäkuu	65,5	14,08			RH < 75%	
Heinäkuu	71,8	15,98			RH < 75%	
Elokuu	77,2	14,27	39	0,11316276		
Syyskuu	80,8	9,81	28	0,159849522		
Lokakuu	82,2	5,45	33	0,134573504		
Marraskuu	82,9	0,24	244	0,018164833		
Joulukuu	79,9	-4,12			t < 0 °C	

**0,4 Ei homehtumisriskiä!**



<b><i>US 2 + Thermisol Titan Gipsline</i></b>		<b>Kriittinen vaikutusaika</b>		<b>Homehtumisriski</b>	<b>Huomi</b>
<b>kk</b>	<b>RH[%]</b>	<b>T[°C]</b>	<b>t[vko]</b>		
Tammikuu	76,4	-6,09			t < 0 °C
Helmi	75,6	-6,09			t < 0 °C
Maalis	75,1	-2,42			t < 0 °C
Huhtikuu	71,2	2,84			RH < 75%
Toukokuu	65,8	9,05			RH < 75%
Kesäkuu	65,3	14,13			RH < 75%
Heinäkuu	71,7	16,01			RH < 75%
Elokuu	77,0	14,32	40	0,109628404	
Syyskuu	80,4	9,90	29	0,150683214	
Lokakuu	81,6	5,57	36	0,12403384	
Marraskuu	82,0	0,40	199	0,022238567	
Joulukuu	78,7	-3,93			t < 0 °C

0,4 Ei homehtumisriskiä!

<b><u>US 3 + Thermisol Titan Gipsline</u></b>				<b>Kriittinen vaikutusaika</b>		<b>Homehtumisriski</b>		<b>Huomi</b>	
<b>kk</b>		<b>RH[%]</b>	<b>T<sup>o</sup>C]</b>	<b>t[tko]</b>					
Tammikuu		78,2	-6,38					t < 0 °C	
Helmi		77,4	-6,38					t < 0 °C	
Maalis		76,5	-2,68					t < 0 °C	
Huhtikuu		72,1	2,65					RH < 75%	
Toukokuu		66,3	8,92					RH < 75%	
Kesäkuu		65,6	14,06					RH < 75%	
Heinäkuu		71,9	15,96					RH < 75%	
Elokuu		77,3	14,25	39		0,114995593			
Syyskuu		81,0	9,78	27		0,164787424			
Lokakuu		82,5	5,41	32		0,140472331			
Marraskuu		83,3	0,18	278		0,015926748			
Joulukuu		80,3	-4,2					t < 0 °C	

**0,4 Ei homehtumisriskiä!**