


Rakennusfysiikan käsikirja.
Rakennusten kylmäsillat.

Alkusanat

Tämä opas käsittelee rakennusosien kylmäsiltoja ja niihin liittyviä ilmiöitä. Oppaan tarkoitus on antaa helposti ymmärrettävää yleistietoa kylmäsiltojen synnystä ja vaikutuksista rakennuksen käytettävyyteen, sekä lämpöhäviöiden kannalta että kosteuden aiheuttamien mahdollisten homehaittojen suhteen. Suomalaiset kansalliset energiamääräykset käsitellään omassa kappaleessa, ja laskentaesimerkin kautta esitetään eräs tapa määrittellä yksittäisen kylmäsiltojen aiheuttama lämpöhäviö ja pintalämpötilat. Oppaassa esitetty ei sellaisenaan ole rakentamismääräyskokoelman tai muun normiston määräysten tai ohjeiden tasoinen kannanotto, joka sitoisi suunnittelua ja rakentamista.

Oppaan on laatinut vuonna 2015 Schöck Bauteile GmbH yhteistyössä Teknologian tutkimuskeskus VTT:n kanssa. VTT:ltä työhön ovat osallistuneet erikoistutkijat Jorma Heikkinen ja Tuomo Ojanen.

Lisätietoja on saatavilla



Thermal bridging calculator

5 steps to calculate Ψ
Save time and energy! Calculate the thermal properties in real time and online for your specific structure. Determine the heat flows, surface temperatures and ψ values easily and professionally.

[Start now](#)

<http://www.schoeck.fi/kylmasiltalaskin>

Sisällysluettelo

05 Kylmäsillat

- 06 Kylmäsillat, yleistä
- 06 Erityyppiset kylmäsillat
- 08 Kylmäsiltoihin liittyvät keskeiset lämpötekniikan termit
- 09 Viivamaiset kylmäsillat
- 10 Pistemäiset kylmäsillat
- 11 Kolmiulotteiset kylmäsillat
- 12 Passiivitalojen kylmäsillat, Passiivitalostandardi

13 Kosteuseristys

- 14 Kosteuseristys, yleistä
- 14 Ilman kosteus
- 15 Kondenssiveden kertyminen
- 17 Homeen kasvu
- 18 Lämpötilakerroin f
- 19 Sisäpinnan lämpötila

22 Suomalaiset energiamääräykset

- 22 Rakennuksen energiankulutus
 - Huonetilojen lämmöntarve
 - Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt
- 24 Epäsäännölliset kylmäsillat

25 Rakenteelliset kylmäsillat

- 6 Syyt
 - Parvekkeet ja eristämättömät ulokekomponentit
- 27 Yläpohjaliitoksen reunapalkki

29 Sanasto

- 30 Kylmäsillan laskentaesimerkki
 - Lämmönjohtavuus λ
- 32 Lämmönvastus R
- 33 Lämmönläpäisykerroin U
- 34 Lämpökonduktanssi
- 36 Lisäkonduktanssit Ψ ja X

Kylmäsillat

Kylmäsillat, yleistä

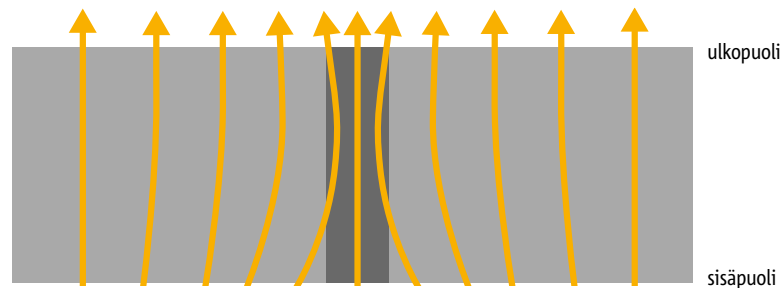
Kylmäsillat ovat rakenteiden yksittäisiä kohtia, joissa on viereisiä alueita suurempi lämpöhäviö. Tämä puolestaan johtaa siihen, että rakenteen sisäpinnan lämpötila on kylmäsillan kohdalla paikallisesti muita kohtia alhaisempi, mikä voi edistää **homeiden kasvua** (terveysriski). Muita kylmäsillojen seurauksia voivat olla **kondenssiveden kertyminen** ja rakenteiden vaurioituminen.

Kylmäsillojen mahdollisia syitä on useita. Suurempi lämpöhäviö voi johtua joko tasomaisesta muodosta poikkeavasta komponentin yksityiskohdasta (**geometrinen kylmäsilta**) tai käytetyistä materiaaleista, joiden vuoksi kyseisessä kohdassa on suurempi lämmönjohtavuus (**rakenteellinen kylmäsilta**).

Erityyppiset kylmäsillat

Rakenteelliset kylmäsillat

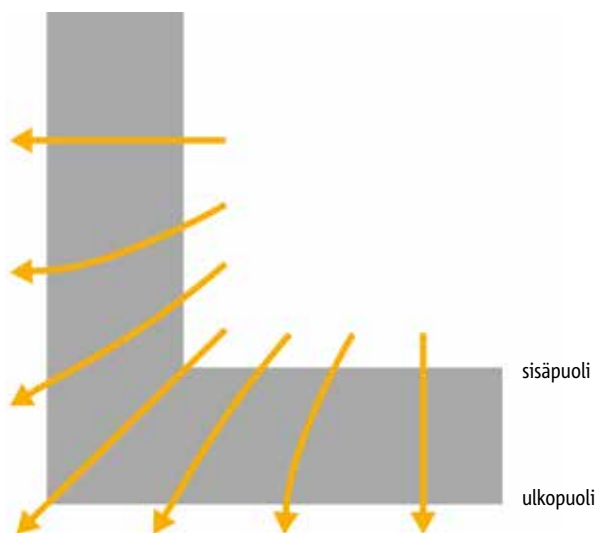
Materiaaleihin liittyviä kylmäsilloja voi syntyä, kun lämmönjohtavuusominaisuksiltaan hyvin erilaisia komponentteja liitetään välittömästi yhteen. Tyypillinen esimerkki tästä ovat eristekerroksen läpäisevät ankkurit. Metallisten ankkurien kautta lämpöä virtaa enemmän kuin ympäröivän eristeen kautta.



Kuva 1: Poikkileikkaus kahdesta materiaalista koostuvasta rakenteesta (tummanharmaalla suuri lämmönjohtavuus, vaaleanharmaalla pieni lämmönjohtavuus); nuolet osoittavat lämpövirran suunnan. Lämpö virtaa lämpimästä tilasta (kuvan alareuna) kylmempään tilaan (kuvan yläreuna) materiaalien läpi.

Geometriset kylmäsiljat

Geometrisia kylmäsiltoja voi syntyä, kun lämpöä luovuttava pinta on huomattavasti suurempi kuin lämpöä vastaanottava pinta. Tyypillinen esimerkki tästä ovat rakennusten nurkat. Tällaisissa kohdissa lämpöä vastaanottavan pinnan lämpötila on huomattavasti alhaisempi, koska suuremmat lämpöä luovuttavat pinnat mahdollistavat paljon suuremman lämpövirran.



Kuva 2: Poikkileikkaus rakennuksen nurkasta. Nuolet osoittavat lämpövirran suunnan lämpimästä tilasta kylmään tilaan. Kaukana nurkasta lämpö virtaa seinän läpi kohtisuoraan mutta nurkan kohdalla lämpöä virtaa myös nurkkaa kohti.

Yhteenveto kylmäsiltojen vaikutuksista:

- Homeriski
- Haitallisten terveysvaikutusten (allergioiden ym.) riski
- Kondenssiveden kertymisriski
- Suurempi lämpöhäviö
- Asumismukavuuden heikkeneminen

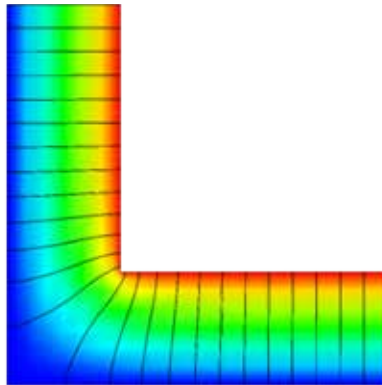
Kylmäsiltoihin liittyvät keskeiset lämpötekniikan termit

Kylmäsiltojen vaikutusten määrittämiseen ja rajoittamiseen liittyy erilaisia ominaisarvoja. Näiden avulla määritetään kylmäsiltojen erilaiset ominaisuudet. **Lisäkonduktanssien ψ ja χ** avulla kuvataan lämpöenergian häviötä, ja **lämpötilakertoimen ja vähimmäispintalämpötilan** avulla arvioidaan homeriskiä ja kondenssiveden kertymisriskiä.

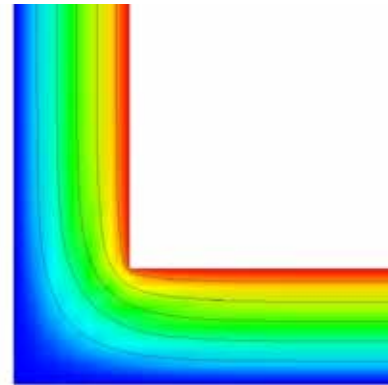
Nämä arvot voidaan laskea tietyille kylmäsiltoille ainoastaan elementtimenetelmän (finite element method, FEM) tai muun vastaavan tietokonelaskennan avulla. Laskentaa varten kylmäsiltaa ympäröivän rakenteen geometrinen toteutus mallinetaan FEM-ohjelmalla käytettyjen materiaalien **lämmönjohtavuuden** perusteella. Laskentaan ja mallinnukseen liittyvät reunaehdot on määritelty standardissa **EN ISO 10211**.

Kvantitatiivisten parametrien lisäksi FEM-laskennasta käy ilmi myös rakenteen lämpötilajakauma väreillä esitettynä. Tavallisesti esitetään myös lämpövirta lämpövirtaviivojen avulla (ks. kuva 3) tai lämpötila isotermien (ks. kuva 4) avulla.

Lämpövirtaviivat ilmaisevat lämpöhäviön reitin rakenteen läpi ja osoittavat kylmäsiltojen heikkojen kohtien sijainnin. Isotermit ovat linjoja tai alueita, joiden lämpötila on sama, ja ne ilmaisevat lämmön jakautumisen laskennan kohteena olevassa komponentissa. Lämpövirtaviivat ja isotermit ovat aina kohtisuorassa toisiinsa nähden (ks. kuvat 3 ja 4).



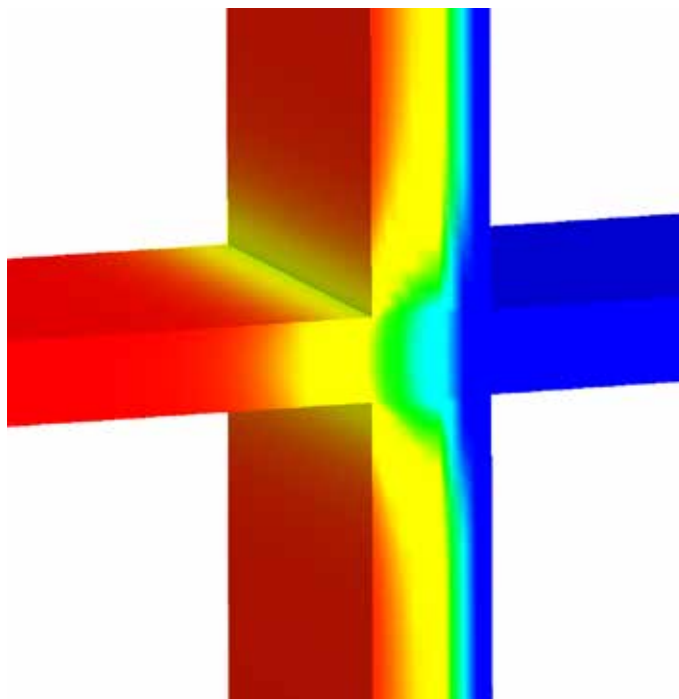
Kuva 3: Lämpövirtaviivoilla varustettu rakenteen lämpötilakuva



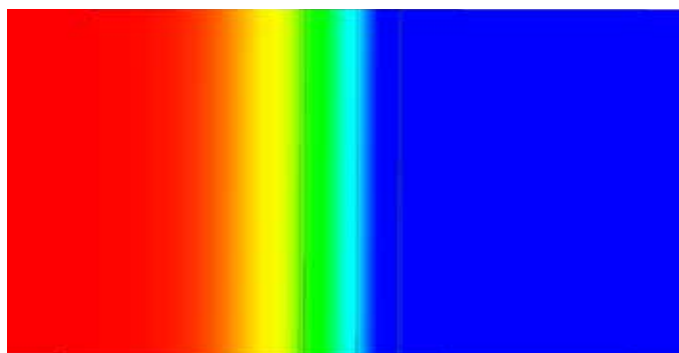
Kuva 4: Isotermeillä varustettu rakenteen lämpötilakuva

Viivamaiset kylmäsilat

Viivamaiset kylmäsilat ovat rakennuksen ulkovaipan häiriöitä, joita voi esiintyä tietyssä vaipan osassa. Tyypillisiä esimerkkejä tästä ovat parvekkeiden liitokset välipohjalaattaan seinän läpi (ks. **Parvekkeet ja eristämättömät ulokekomponentit**), ulkoseinien liitokset ylä- ja alapohjaan, ikkunanpielet sekä rakennuksen nurkat. Viivamaisen kylmäsilan aiheuttamaa energiahäviötä kuvaa **viivamainen lisäkonduktanssi ψ** .



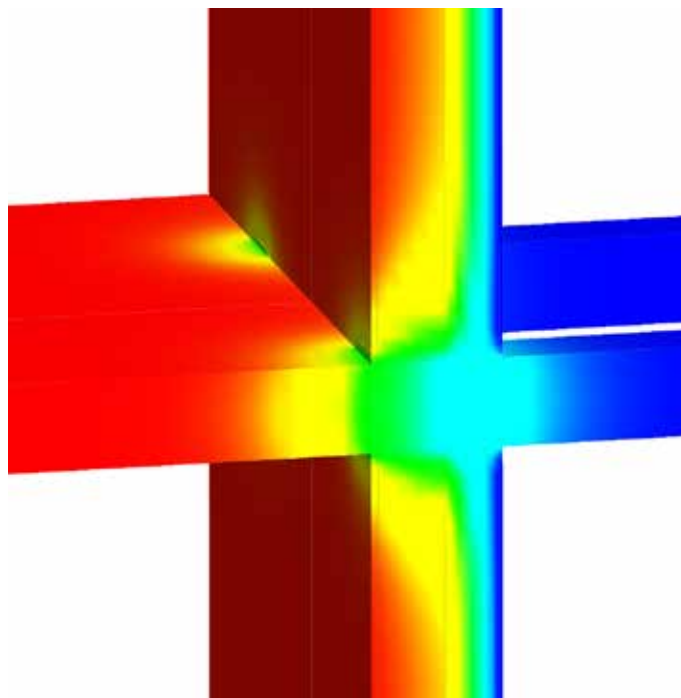
Kuva 5A: Parvekeliitoksessa oleva viivamainen kylmäsilta. Vasemmalla puolella näkyy lämmin sisäpuoli, jonka pinta on punainen, ja kylmä ulkopuoli näkyy oikealla sinisenä. Kuten sisänurkissa olevista keltaisista ja vihreistä kohdista käy ilmi, pintalämpötilat voivat näissä kohdissa olla huomattavasti alhaisemmat.



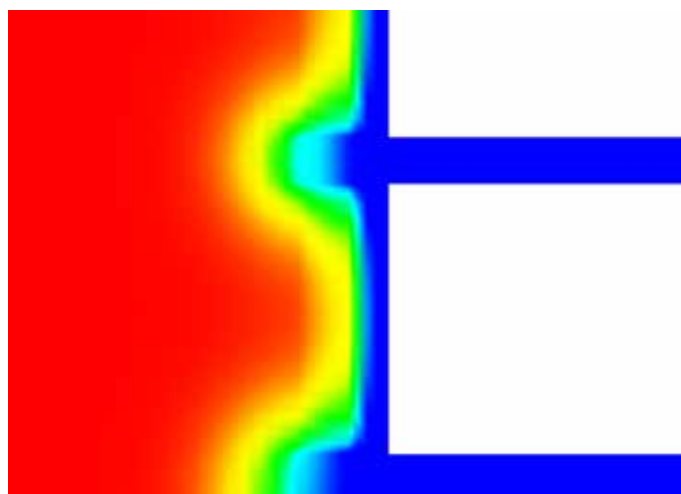
Kuva 5B: Kuvassa 5A olevan parvekelaatan poikkileikkaus ylhäältäpäin. Kuvasta näkyy selvästi, että lämpöhäviö on viivamainen, eli se on sama koko parvekeliitoksen pituudella.

Pistemäiset kylmäsillat

Pistemäiset kylmäsillat ovat ulkovaipan häiriöitä, jotka ovat niin paikallisia, että ne ilmenevät vain yhdessä pisteessä. Tyypillisiä esimerkkejä ovat kiinnityselementit, kuten vaarnatangot ja ei-kantavien ulkoseinien tuet sekä eristekerroksen läpäisevät ankkurit. Pistemäisten kylmäsiltojen aiheuttamaa energiahäviötä kuvaa **pistemäinen lisäkonduktanssi χ** .



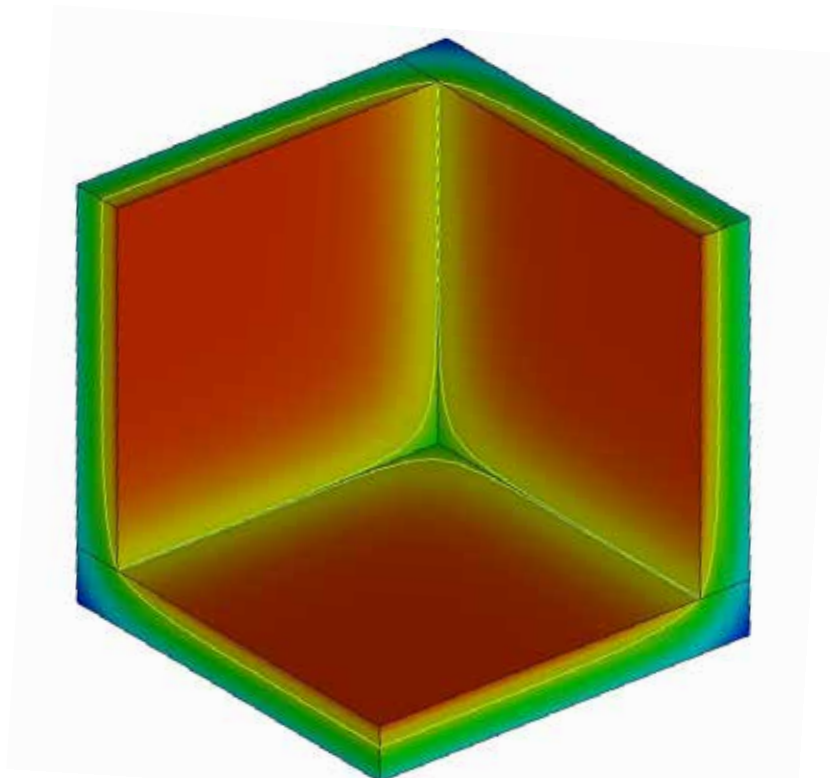
Kuva 6A: Pistemäisessä parvekeliitoksessa oleva paikallinen kylmäsilta. Tässä tapauksessa teräspalkit on liitetty betonilattian ulkopuolelta. Vasemmalla puolella näkyy lämmin sisäpuoli, jonka pinta on punainen, ja kylmä ulkopuoli näkyy oikealla sinisenä. Kuten sisänurkissa olevista keltaisista ja vihreistä kohdista käy ilmi, pintalämpötilat voivat näissä kahdessa kohdassa olla huomattavasti alhaisemmat.



Kuva 6B: Kuvassa 6A olevan parvekelaatan poikkileikkaus ylhäältäpäin. Kuvasta näkyy selvästi, että lämpöhäviö johtuu kahdesta ulkopuolelle ulottuvasta palkista. Myös lämpöhäviö on pistemäinen, eli se rajoittuu tiettyihin kohtiin.

Kolmiulotteiset kylmäsillat (huoneiden nurkat)

Tätä termiä käytetään kylmäsilloista, joita on tarkasteltava kolmiulotteisesti. Tyypillinen esimerkki on huoneen nurkka. Kuvassa 2 esitettiin jo, kuinka lämpö virtaa kaksikulotteisen nurkan läpi. Kolmiulotteisessa nurkassa tämä ongelma on vielä merkittävämpi. Kaksikulotteisissakin nurkissa sisäpuolen pintalämpötila on nurkan kohdalla alhaisin. Kolmiulotteisissa nurkissa ulkopinnan ja sisäpinnan epäedullinen suhde on vielä huonompi, ja pintalämpötila laskee nurkkakohdissa vielä enemmän.



Kuva 7: Detaljokuva huoneen ulkonurkasta huoneen lämpimältä puolelta katsottuna. Huoneen ulkopuoli on kylmä, minkä vuoksi lattian ja seinän liitoksen poikkileikkauksessa näkyy lämpövirta punaisesta siniseen (lämpimästä kylmään). Rakenteen kolmessa kulmauksessa näkyvät viivamaiset kylmäsillat, mutta epäedullisin geometrinen piste on huoneen alanurkka, joka on samalla kylmin kohta.

Passiivitalojen kylmäsillat

Passivhaus Institut -tutkimuslaitoksen laatimat rakennusten lämpöeristystä koskevat vaatimukset muodostavat tällä hetkellä vaativimman rakennuksen ulkovaipan lämpöeristystä koskevan standardin. Lisäksi Passivhaus Institut on määrittänyt todellisia kylmäsilloja koskevat vaatimukset. Tutkimuslaitos on määritellyt erikseen ”kylmäsillattomat rakenteet” ja ”vähän kylmäsilloja sisältävät rakenteet”.

Tärkeimmät kylmäsilloja koskevat vaatimukset ovat, että pintalämpötilan on oltava vähintään 17 °C, ja että pinta on pysyvästi ilmatiivis ja energiahäviöt ovat raja-arvojen mukaiset.

Passivhaus Institut myös tukee suunnittelijoita sertifioimalla rakennustuotteita ja -ratkaisuja ja luokittelemalla ne ”sertifioituiksi passiivitalokomponenteiksi”.

Lisätietoja passiivitalostandardista on kohdassa **Säännöt ja standardit**.

Passiivitalostandardi

Saksalaisen Passivhaus Institut -tutkimuslaitoksen passiivitalostandardissa rakennuksen laadulle ja energiatehokkuudelle on asetettu erittäin tiukat vaatimukset. Todennäköisesti tärkein passiivitalon ominaisuus on se, että **lämmitysenergian tarpeen** tulee olla enintään 15 kWh/m²a. Tämä vastaa noin puoltatoista litraa lämmitysöljyä neliometriä kohden vuodessa.

Tämä vaatimus täyttyy vain jos rakenteen yksityiskohdat toteutetaan erityisen huolellisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä ilmatiivyyteen ja kylmäsillojen suunnitteluun (ks. **Passiivitalojen kylmäsillat**); epätiiviiden kohtien lämpöhäviöt on estettävä, ja rakentamisessa on käytettävä passiivitaloihin soveltuvia komponentteja, esim. laadukkaita seinä- ja ikkunakomponentteja.

Energiaa säästävien suunnitteluratkaisujen ansiosta passiivitalojen energiantarve on erittäin pieni. Passiivitalojen tarvitsema energia saadaan suurten ikkunapintojen kautta, sähkölaitteista ym. sisäisistä järjestelmistä, asukkaista sekä vähäisestä lisälämmityksestä. **Kesällä kuumuudelta suojaamiseksi** ikkunapintoihin on suunniteltava riittävät kaihdiratkaisut. Näin taataan miellyttävä sisäilma.

Yhteenveto:

- Tiukat U-arvoa (lämmönläpäisykerrointa) koskevat vaatimukset kaikkien komponenttien osalta
- Kylmäsillojen ehkäiseminen huolellisella suunnittelulla
- Suuret etelään antavat ikkunapinnat, joiden kautta saadaan runsaasti aurinkoenergiaa
- Ilmanvaihdon lämmön talteenotto vähentää ilmanvaihdosta johtuvia lämpöhäviöitä
- Rakennusvaipan ilmatiivisyys estää rakojen ja liitosten kautta tapahtuvia lämpöhäviöitä

Kosteuseristys

Kosteuseristys, yleistä

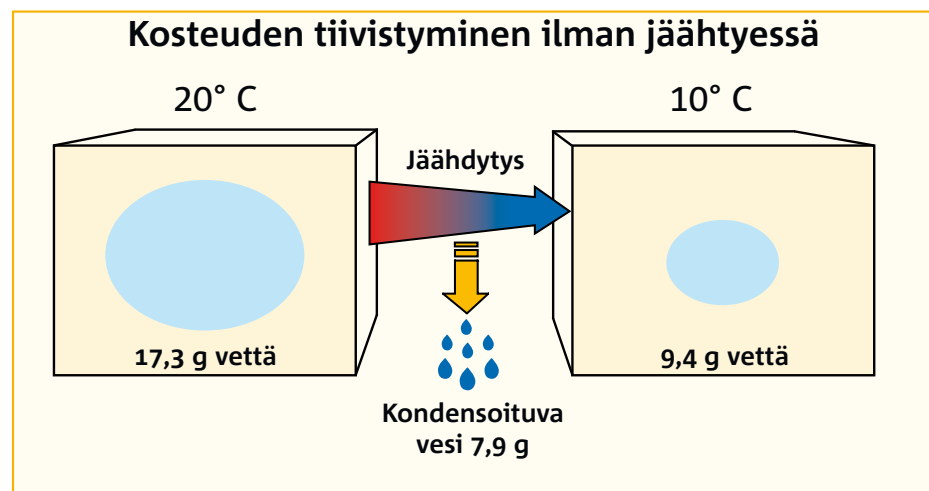
Rakennuksissa muodostuu kosteutta erilaisista päivittäisistä toiminnoista, kuten ruuanlaitosta ja peseytymisestä. Kosteus voi kuitenkin nousta rakenteisiin myös rakennuksen alla olevasta maaperästä.

Tämän seurauksena rakenteissa voi alkaa kasvaa organismeja, kuten hometta. Tämä voi aiheuttaa rakenteisiin myös jäätymis- tai korroosiovaurioita. Lisäksi kosteus heikentää merkittävästi rakenteiden lämmöneristysominaisuuksia ja aiheuttaa siten suurempia lämpöhäviöitä.

Näiden haittavaikutusten ehkäisemiseksi on tärkeää, että kosteuseristystä koskevat vaatimukset täyttyvät. Esim. **lämpötilakertoimeen** ja **sisäpinnan lämpötilaan** liittyvät raja-arvot, joiden on toteuduttava luotettavassa kosteuseristämässä.

Ilman kosteus

Ilman kosteus kuvaa vesihöyryn määrää ilmassa. Ilman sisältämän vesihöyryn enimmäismäärä riippuu ilman paineesta ja lämpötilasta. Mitä korkeampi lämpötila, sitä enemmän vettä ilma pystyy sitomaan.

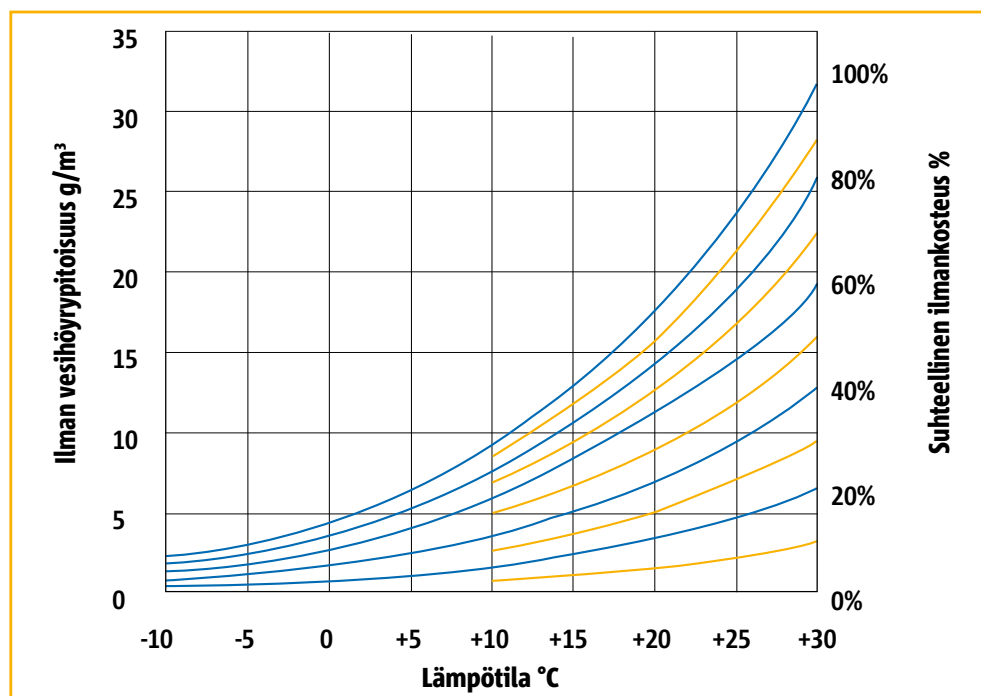


Kuva 8: Kondenssiveden muodostuminen kuutiometrissä ilmaa. Ilmalla täytetty kuutio (vasemmalla) sisältää tietyn määrän vesihöyryä. Jos ilma jäähtyy, se pystyy sitomaan vähemmän vesihöyryä (oikealla), ja erotus tiivistyy kondenssivedeksi.

Kuten kuvasta 8 käy ilmi, osa ilman sisältämästä vesihöyrystä tiivistyy eli kondensoituu vedeksi, kun ilma jäähtyy kastepistelämpötilan alapuolelle. Tämä on tyypillinen ongelma lämmitetyissä tiloissa olevilla kylmillä pinoilla. Kun ilman kosteus on suuri, kylmille pinoille saattaa myös muodostua hometta jo ennen veden kondensoitumista. Termiä ilman suhteellinen kosteus käytetään kuvaamaan ilman kosteuden vaikutusta näihin prosesseihin.

Suhteellinen kosteus

Suhteellinen kosteus ilmaisee prosentuaalisesti, kuinka täydellisesti ilma on kyllästynyt vesihöyryllä. 100 %:n suhteellinen kosteus kuvaa siten suurinta mahdollista ilman sitomaa vesimäärää. On tärkeä muistaa, että suhteellinen kosteus riippuu lämpötilasta. Koska lämpötila vaikuttaa ilman sisältämän vesihöyryn enimmäismäärään, suhteellinen kosteus muuttuu aina lämpötilan mukaan. Jos esimerkiksi ympäröivän ilman lämpötila on ensin 20 °C ja suhteellinen kosteus 50 % ja lämpötila laskee sitten 18 °C:een, suhteellinen kosteus kasvaa 7 %:lla. Tämä johtuu siitä, että ilman sisältämän vesihöyryn enimmäismäärä vähenee lämpötilan laskiessa.



Kuva 9: Carrier-diagrammi DIN 4108:n mukaan. Diagrammista käy ilmi ilman vesipitoisuuden (grammoina kuutiometrissä), suhteellisen kosteuden ja lämpötilan välinen riippuvuus.

Kondenssiveden kertyminen

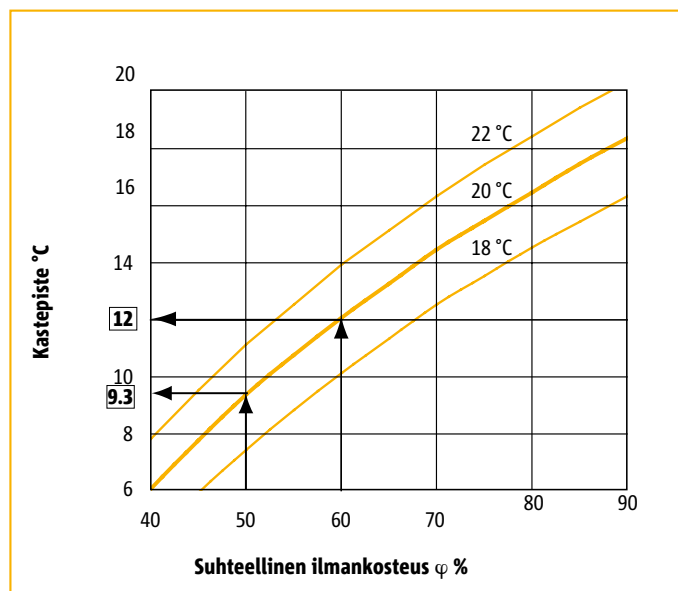
Kondenssiveden kertyminen on kosteuden tiivistymistä viileille pinnoille. Kylmän rakenneosan viereisen ilmakerroksen lämpötila laskee. Kun ilman lämpötila laskee, samalla sen kyky sitoa kosteutta heikkenee ja ilma joutuu luovuttamaan ylimääräisen veden nestemäisenä viileälle pinnalle: pinnalle kondensoituu vettä, ks. kuva 8. Rajalämpötilaa, jossa tämä prosessi tapahtuu, kutsutaan **kastepisteeksi**.

Kastepiste riippuu sisäilman lämpötilasta ja kosteudesta (ks. kuva 10). Kun ilman suhteellinen kosteus kasvaa ja lämpötila nousee, nousee samalla myös kastepisteen lämpötila, jolloin vesi tiivistyy kylmille pinnoille entistä herkemmin.

Sisäilman lämpötila on tyypillisesti noin 20 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Tällöin kastepiste on 9,3 °C. Säännöllisesti kosteudelle altistuvissa tiloissa, kuten kylpyhuoneissa, suhteellinen kosteus voi helposti olla 60 % tai enemmänkin. Tämä nostaa

myös kastepistettä ja lisää kondenssiveden muodostumisen riskiä. Kun huoneen suhteellinen kosteus on 60 %, kastepiste on jo 12,0 °C.

Kuvassa 10 olevan käyrän jyrkkyydestä käy ilmi tämä kastepisteen herkkä riippuvuus huoneilman suhteellisesta kosteudesta: pienikin kosteuden lisääntyminen aiheuttaa kastepisteen merkittävän nousun. Tämä lisää myös merkittävästi rakenteiden kylmillle pinnoille kertyvän kondenssiveden riskiä.



Kuva 10: Kastepisteen riippuvuus huoneilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta

Esimerkkejä: Ulkoseinää vasten sijoitetun kaapin takana kosteus voi tiivistyä, koska pinnat eivät saa juurikaan lämpöä huoneesta ja siksi jäähtyvät. Verhot voivat aiheuttaa vastaavan tilanteen, jossa ikkunan viereen verhon taakse tiivistyy kondenssivettä.

Rakennekomponentin sisälle tiivistyvä kosteus

EN ISO 13788-standardin mukaisen Glaser-menetelmän avulla voidaan määrittää kondenssiveden muodostumisriski sekä odotettavissa olevan kertyvän kondenssiveden määrä, kun olosuhteet rakenteen molemmiin puolin säilyvät muuttumattomina. Tämä ehto ei useinkaan täyty.

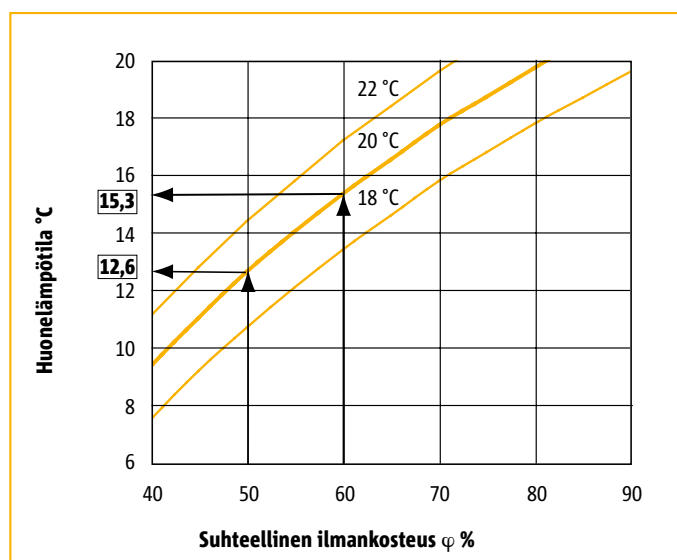
Glaser-menetelmän rajoitukset vältetään nykyään käyttämällä dynaamisia kosteuden ja lämpötilan laskentamalleja. Dynaamisilla malleilla saadaan yksityiskohtaisempaa ja tarkempaa tietoa rakenteiden kosteusfysikaalisesta toiminnasta. Mallit ottavat huomioon lämmön ja kosteuden diffuusion lisäksi lämmön ja kosteuden varastoinnin materiaaleissa, faasimuutokset sekä ilman ja nesteen liikkeen. Myös säätiedot sekä muut reuna- ja alkuehdot voidaan kuvata realistisesti. Viime vuosina dynaamisten mallien käyttö on lisännyt huomattavasti käytännön kosteyslaskelmien luotettavuutta sekä toistettavuutta. Laskenta suoritetaan standardin EN 15026 mukaan.

Homeen kasvu

Home pystyy kasvamaan homehtumiselle herkän materiaalin pinnoille, kun suhteellinen kosteus pinnan lämpötilassa on pitkään 80 % tai enemmän.

Tämä tarkoittaa, että home alkaa kasvaa rakenteen kylmillä pinnoilla, kun pinta on niin kylmä, että välittömästi pinnan yhteydessä olevan ilmakerroksen suhteellinen kosteus nousee 80 %:iin. Tämä lämpötila on niin sanottu **homelämpötila** θ_s . Homeen muodostuminen alkaa siis jo **kastepistettä** korkeammassa lämpötilassa.

Jos sisäilman lämpötila on 20 °C ja suhteellinen kosteus 50 %, homelämpötila on 12,6 °C (ks. kuva 11) eli 3,3 °C korkeampi kuin kastepiste (ks. kuva 10). Homelämpötila onkin olennainen näkökohta rakenteiden homevaurioiden estämisessä. Standardin EN ISO 13788 mukaan riski homeen kasvulle pinnoilla on olemassa, jos ilman kosteus pintalämpötilassa on useita päiviä 80 % yläpuolella.



Kuva 11: Homelämpötilan riippuvuus huoneilman kosteudesta ja lämpötilasta

Johtopäätös: Ei riitä, että sisäpinnat ovat ympäröivän ilman kastepistettä lämpimämpiä: Pintalämpötilojen on lisäksi pysyttävä homelämpötilaa korkeampina. Rakenteen pinnan suhteellisen kosteuden raja-arvo on 80 %. Kun sisäilman vakiolämpötila on 20 °C ja suhteellinen kosteus 50 %, tämä arvo saavutetaan sisäpinnan lämpötilassa 12,6 °C.

$$\theta_{\min} \geq 12,6 \text{ °C}$$

Vanhojen rakennusten peruskorjauksiin liittyy usein homeongelmia. Vanhat ikkunat aiheuttavat tavallisesti suuria lämpöhäviöitä. Tämän seurauksena pintalämpötilat ovat näissä kohdissa erityisen alhaiset. Siksi kondenssiveden muodostuminen ikkunaruutuihin on tavallista. Jos vanhat ikkunat vaihdetaan peruskorjauksen yhteydessä uusiin tiiviisiin ikkunoihin eikä ilmanvaihdon riittävydestä samalla huolehdi, voi huoneilman suhteellinen kosteus kasvaa. Siten homeen kasvu voi alkaa yli 12,6 °C:n pintalämpötilassa. Tämä ongelma voidaan välttää ainoastaan riittävän ilmanvaihdon avulla.

Jos pinnan tai rakenteen lämpötila on homelämpötilaa alempi, voidaan homeen kasvunopeutta ja myös taantumaa ennustaa VTT:n kehittämän dynaamisen homemallin avulla. Homeen kasvuriskiinkin vaikuttavat pinnan lämpötila, suhteellinen kosteus sekä niiden vaikutusaika. Mallin avulla voidaan arvioida tyypillisten rakennusmateriaalien homehtumista. Herkimmin homehtuva rakennusmateriaali on puu.

Lämpötilakerroin f

Lämpötilakerroin kuvaa ulkovaipan eristyskykyä, ja tämä parametri on avuksi arvioitaessa rakenteisiin muodostuvan homeen riskiä.

Lämpötilakertoimen f_{Rsi} määritelmä on sisäpinnan lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan välinen erotus ($\theta_{si} - \theta_e$) suhteessa sisäilman ja ulkoilman lämpötilojen erotukseen ($\theta_i - \theta_e$):

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

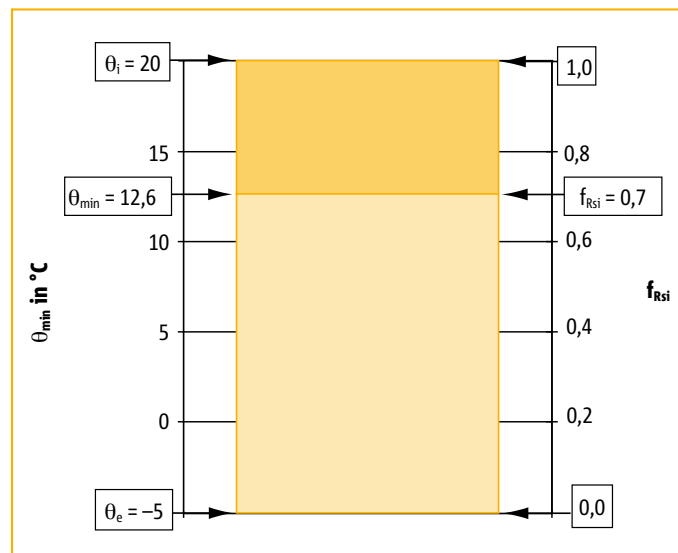
Saksalaisen standardin DIN 4108-2 mukainen vähimmäisvaatimus

Arvon f_{Rsi} vähimmäisvaatimuksen tarkoituksena on estää kondenssiveden aiheuttamia rakenneaurioita. Yleissääntö on

$$f_{Rsi, \min} \geq 0,70$$

Kylmäsilat on rakennettava joko standardin DIN 4108 liitteen 2 mukaisesti tai on osoitettava, että f_{Rsi} on suurempi kuin 0,7 rakenteen epäedullisimmassa kohdassa. Arvo on osoitettava joko kylmäsiltauuttelon perusteella tai numeerisesti laskemalla.

Lämpötilakerroin f_{Rsi} on suhteellinen arvo, jonka etuna on se, että se riippuu ainoastaan kylmäsilan rakenteesta eikä ulko- ja sisäilman lämpötilasta, kuten θ_{si} . Lämpötilakertoimen arvo on $f=1$, jos sisäpinnan vähimmäislämpötila θ_{\min} on sama kuin sisäilman lämpötila, ja $f=0$, jos se on sama kuin ulkoilman lämpötila (ks. kuva 12).



Kuva 12: Arvon f_{Rsi} määritelmä

Standardin EN ISO 13788 mukainen vaatimus

Standardissa EN ISO 13788 lämpötilakertoimen f_{Rsi} vähimmäisvaatimus perustuu 80 % kosteuteen pinnan lämpötilassa. Laskenta perustuu paikkakunnan kuukausittaisiin säätietoihin sekä rakennuksen käyttötarkoituksen mukaiseen sisälämpötilaan ja -kosteuteen. Tämän takia vaadittava lämpötilakerroin suurenee kylmässä ilmastossa ja myös kun huoneilma on kosteaa. Siten vähimmäisvaatimus lämpötilakertoimelle f_{Rsi} voi olla Suomen ilmastossa tiukempi kuin edellä mainittu saksalainen vaatimus.

Sisäpinnan lämpötila θ_{si}

Sisäpinnan lämpötila θ_{si} antaa tietoa rakennusosan **lämmöneristävydestä**. Jos pintalämpötila on alhainen korkeasta sisäilman lämpötilasta huolimatta, voidaan olettaa, että rakennusosan kautta poistuu merkittävä määrä lämpöenergiaa ulkoilmaan.

Alimmat pintalämpötilat ovat kylmäsiltojen ympärillä, minkä vuoksi tässä yhteydessä käytetään myös nimitystä vähimmäispintalämpötila $\theta_{si, min}$. Vähimmäispintalämpötilan arvo on olennainen kylmäsilan ympärille muodostuvan kondenssiveden tai homeen kannalta. Vähimmäispintalämpötila kuvaa myös kylmäsilan kosteuteen liittyviä vaikutuksia. Arvo $\theta_{si, min}$ riippuu suoraan kylmäsilan rakenteesta eli kylmäsilan muodostavien materiaalien geometriasta ja lämmönjohtavuudesta.

Suomalaiset energiamääräykset

Rakennuksen energiankulutus

Rakennuksen vuotuista kokonaisenergiankulutusta kuvataan Suomen rakentamismääräyksissä E-luvulla, joka on energiamuotojen kertoimilla painotettu ostoenergian laskennallinen kulutus nettoalaa kohden (kWh/m²). Laskennan yksityiskohdat on esitetty määräyksissä ja ohjeissa (RakMk D3 ja RakMk D5).

Kokonaisenergiankulutus lasketaan lähtien liikkeelle energiantarpeista. Rakennuksen energiantarve koostuu tilojen ja ilmanvaihdon lämmitystarpeesta, käyttöveden lämmitystarpeesta, tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytystarpeesta sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiantarpeesta.

Huonetilojen lämmöntarve

Huonetilan lämmitys kattaa rakenteiden kautta tapahtuvat johtumislämpöhäviöt sekä ilmanvaihdon lämpöhäviöt mutta lämmitystarvetta vähentävät hyödynnettävissä olevat lämpökuormat. Rakentamismääräysten osassa D5 tämä ilmaistaan kaavalla

$$Q_{\text{lämmitys, tila, netto}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{iv, tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}}$$

jossa

- $Q_{\text{lämmitys, tila, netto}}$: tilan lämmitysenergian nettotarve, kWh
- Q_{joht} : johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
- $Q_{\text{iv, tila}}$: tilaan tulevan ilman lämmitystarve tilassa, kWh
- $Q_{\text{sis.lämpö}}$: lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

Lämpökuormaa tulee tilaan pääasiassa henkilöistä, sähkölaitteista, valaistuksesta sekä auringosta ikkunoiden kautta. Vain osa lämpökuormasta vähentää lämmitystarvetta koska usein lämpökuormaa on liikaakin lämmitystarpeeseen nähden.

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt

Huonetilan johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi Q_{joht} lasketaan rakentamismääräyksissä (RakMk D5) rakennusosittain kaavalla

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{kylmäsilillat}}$$

jossa

- $Q_{\text{ulkoseinä}}$: johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh
- $Q_{\text{yläpohja}}$: johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, kWh
- Q_{alapohja} : johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, kWh
- Q_{ikkuna} : johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh
- Q_{ovi} : johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, kWh
- $Q_{\text{kylmäsilillat}}$: rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöt, kWh

Yksittäisen rakennusosan lämpöhäviö lasketaan U-arvon perusteella. Esimerkiksi seinän lämpöhäviö on

$$Q_{\text{seinä}} = U_{\text{seinä}} \cdot A_{\text{seinä}} \cdot (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

jossa

- $Q_{\text{seinä}}$: johtumislämpöhäviö seinän läpi, kWh
- $U_{\text{seinä}}$: seinän lämmönläpäisykerroin eli U-arvo, W/(m²K)
- $A_{\text{seinä}}$: seinän pinta-ala huoneen sisämittojen mukaan, m²
- T_s : sisäilman lämpötila, °C
- T_u : ulkoilman lämpötila, °C
- Δt : ajanjakson pituus, h
- 1000: kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Rakentamismääräyskokoelmassa (RakMk C4) lämmönläpäisykertoimelle käytetään nimitystä korjattu lämmönläpäisykerroin (U_c). Korjattu lämmönläpäisykerroin sisältää korjaustermin, joka ottaa huomioon esimerkiksi epäideaalisen asennuksen ja lämmöneristeen läpi menevät kiinnikkeet. Korjattu lämmönläpäisykerroin sisältää kaikki rakennusosassa olevat säännöllisesti toistuvat kylmäsillat, kuten ansaat sekä metalli- ja puurangat.

Vaikka RakMk C4 mukainen U-arvojen laskenta noudattaa varsin tarkasti EN-ISO-standardeja, saman rakenteen U-arvo ei välttämättä ole sama kuin jonkin toisen maan käytäntöjen mukaan laskettu U-arvo. Esimerkiksi puurankaseinän alasidepuun vaikutus on Ruotsissa ja Norjassa mukana seinän U-arvossa ja siksi U-arvo on suomalaista suurempi. Ikkunan apukarmit ovat mukana seinän U-arvossa Norjassa mutta eivät Ruotsissa ja Suomessa. Koska huonetilan johtumislämpöhäviön (kaava edellä) täytyy olla sama kaikkien maiden laskentaperiaatteilla, tulee kaavan viimeiseen termiin, eli kylmäsiltatermiin sisällyttää maakohtaisten U-arvojen erot.

Epäsäännölliset kylmäsillat

Ennen vuoden 2012 rakentamismääräyksiä ainoat huomioon otettavat kylmäsillat olivat rakenteessa säännöllisesti toistuvat, lämmönläpäisykertoimiin sisältyvät kylmäsillat. Nykyään rakennusosien toisiinsa liittämistä aiheutuvat viivamaiset kylmäsillat lasketaan mukaan rakentamismääräyskokoelman RakMk D5 lämpöhäviön kertomalla liitosten pituudet liitosten viivamaisilla lisäkonduktansseilla eli psi-arvoilla (Ψ). Edelleenkin ei oteta huomioon rakennuksen vaipan yksittäisiä kylmäsilloja kuten yksittäisiä pylväitä, tukia ja kannakkeita, mutta todennäköisesti nekin otetaan tulevaisuudessa huomioon, kuten on jo monissa Euroopan maissa.

Kylmäsillojen osuus johtumislämpöhäviössä lasketaan kaavalla

$$Q_{\text{kylmäsilla}} = \sum_k l_k \psi_k \cdot (T_s - T_u) \cdot \Delta t / 1000 + \sum_j \chi_j \cdot (T_s - T_u) \cdot \Delta t / 1000$$

jossa

- l_k : rakennusosien välisten liitosten aiheuttaman viivamaisen kylmäsillan pituus, m
- ψ_k : viivamaisen kylmäsillan lisäkonduktanssi, W/(m · K)
- \sum_j : pistemäisen kylmäsillan lisäkonduktanssi, W/K

Nykyisissä rakentamismääräyksissä ei oteta huomioon yksittäisiä kylmäsilloja, joten kaavan viimeistä termiä ei tarvitse Suomessa toistaiseksi ottaa huomioon. Viivamaisista kylmäsilloista otetaan huomioon ylä- ja alapohjaliitos, nurkat, ikkunoiden ja ovien liitos sekä välipohjaliitos. Alla olevassa taulukossa on näiden liitosten lisäkonduktanssit, joita voidaan käyttää, jos tarkempia tietoja kyseisestä liitoksesta ei ole. Jos liitoksen yksityiskohdat ovat tiedossa, sen lisäkonduktanssille voidaan laskea tarkempi, yleensä taulukkoarvoja pienempi arvo. Jäljempänä esitetään lisäkonduktanssin laskentaperiaate kun parvekelaatta liittyy ulkoseinän ja välipohjan liitokseen.

Ohjearvot viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille (ψ_k) liitoksissa, joille ei ole annettu erillistä arvoa rakentamismääräysten osassa RakMk D5.

Liitos	Lisäkonduktanssi ψ_k , W/(m · K)
ulkoseinän ja yläpohjan liitos	0,3
ulkoseinän ja alapohjan liitos	0,5
ulkoseinän ja välipohjan liitos	0,2
ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,1
ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,1
ikkuna- ja oviliitos	0,2

Rakenteelliset kylmäsillat

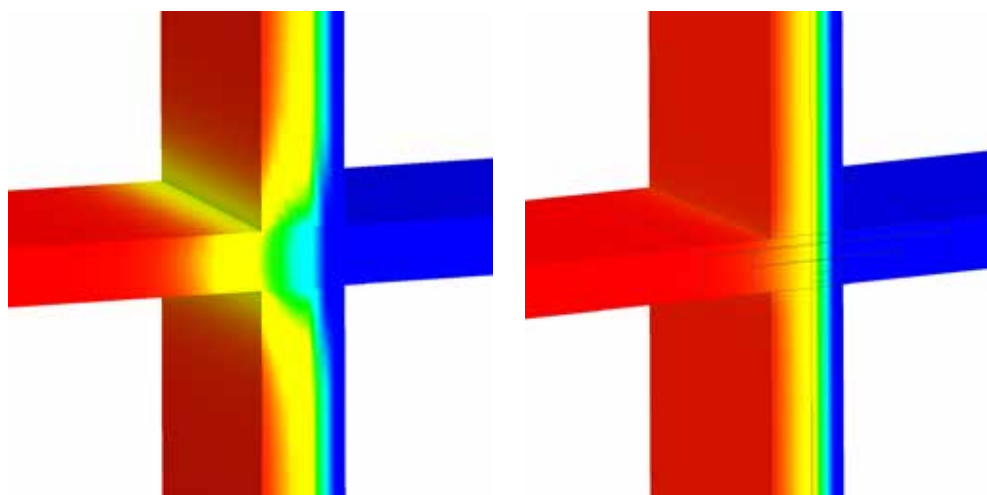
Syyt

Rakennusosien väliset liitokset ovat tyypillisiä rakenteellisia kylmäsiltoja ja ne on toteutettava erityisen huolellisesti. Rakenteellisia kylmäsiltoja on esimerkiksi parvekeulokkeiden kohdalla tai ulkoseinän ylä- ja alapohjaliittymissä.

Käytännössä komponenttien liitoksista aiheutuu usein suuria lämpöhäviöitä, jotka alentavat huoneen pintalämpötiloja. **Kondenssiveden ja homeen muodostuminen** voivat johtua rakenteellisista kylmäsilloista.

Parvekkeet ja eristämättömät ulokekomponentit

Eristämättömissä ulokerakenteissa, kuten teräsbetonisissa parvekkeissa ja teräspalkeissa, geometrisen kylmäsilan (ulokkeen toimiminen jäähdytysripana) ja rakenteellisen kylmäsilan (lämpöeristekerroksen läpi ulottuva teräsbetoni tai teräs) välinen vuorovaikutus aiheuttaa merkittäviä lämpöhäviöitä. Ulokkeita pidetään rakennuksen kuoren kriittisimpinä kylmäsiltoina. Eristämättömät ulokkeet aiheuttavat suuria lämpöhäviöitä ja alentavat pintalämpötilaa merkittävästi. Tämä lisää huomattavasti lämmityskuluja ja homeriskiä ulokkeen liitoksen ympäristössä.

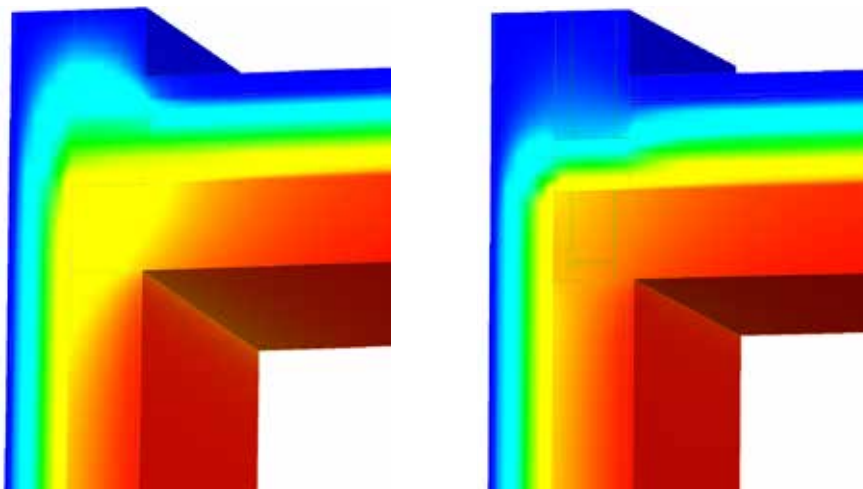


Kuva 14: Yhtenäinen parvekelaatta verrattuna Schöck Isokorb® -ratkaisuun. Vasemmalla: yhtenäinen parvekelaatta ilman kylmäkatkoa; oikealla: parvekelaatta, joka on katkaistu termisesti Schöck Isokorb® kylmäkatkoelementillä.

Kuvassa 14 on lämpötila ilman kylmäkatkoa toteutetussa ja kylmäkatkolla varustetussa teräsbetonisessa parvekelaatassa. Vasemmanpuoleisessa kuvassa näkyy kylmäsilta. Rakenteen lämpötilaeroista käy ilmi lämpövirtojen kulku parvekelaatan kautta ulkoilmaan, punaisena näkyvästä lämpimästä osasta sinisenä näkyvään kylmään osaan. Oikeanpuoleisessa kuvassa on termisesti katkaistu parveke-liitos. Kuten kuvasta käy ilmi, kantava lämpöeriste-elementti vähentää merkittävästi lämpöhäviötä.

Yläpohjaliitoksen reunapalkki

Seinän ja yläpohjan reunapalkkiliitoksiin liittyvät samat lämpöeristysongelmat kuin parvekkeisiin. Palkki liittyy kuitenkin myös seinän ja yläpohjan muodostamaan kulmaukseen. Paitsi että palkki toimii jäähdytysripana, se vaikuttaa haitallisesti myös kulmauksen geometriseen vaikutukseen lisäämällä ulkopinnan ja sisäpinnan suhdetta. Palkin ankkurointi seinään aiheuttaa lisäksi materiaaliperäisen kylmäsilan, jollaista parvekkeen liitoksessa ei ole.



Kuva 15: Yhtenäinen reunapalkkiliitos verrattuna Schöck Isokorb® -ratkaisuun. Vasemmalla: yhtenäinen palkkiliitos ilman kylmäkatkoa, oikealla: palkkiliitos, joka on katkaistu termisesti Schöck Isokorb® -kylmäkatkoelementillä.

Kuvassa 15 näkyvät ilman kylmäkatkoa toteutetun (vasemmalla) ja kylmäkatkolla varustetun (oikealla) palkkiliitoksen lämpöhäviöt. Väri kuvaa komponentin lämpötilaa. **Lämpö virtaa** lämpimästä osasta (punainen) kylmään osaan (sininen). Ilman kylmäkatkoa toteutettu liitos (vasemmalla) aiheuttaa suuren lämmitysenergian häviön liitoksen kautta, mikä aiheuttaa alhaisen sisäpintälämpötilan. Termisesti katkaistussa liitoksessa (oikealla) lämpöenergiaa taas ei pääse juuri lainkaan pois kantavan lämpöeriste-elementin kautta. Tämä käy ilmi lämpökatkoelementin yläpuolisen kohdan alhaisesta lämpötilasta, joka näkyy kuvassa tummansinisenä.

Sanasto

Lämmönjohtavuus λ

Lämmönjohtavuus kuvaa miten hyvin materiaali läpäisee lämpöä. Pieni λ -arvo tarkoittaa pientä lämmönjohtavuutta, suurta lämmönvastusta ja hyvää lämmön eristävyttä. Eristeillä on pieni lämmönjohtavuus (tyypillisesti 0,035 W/(mK)), kun taas esimerkiksi teräksellä on suuri lämmönjohtavuus (ruostumaton teräs 15 W/(mK)) ja tavallinen teräs (60 W/mK).

Lämmönjohtavuus kertoo kuinka monta wattia lämpöä virtaa neliömetrin kokoisessa metrin paksuisessa homogeenisessa materiaalissa kun pintojen välillä on asteen lämpötilaero.

Ekvivalentti lämmönjohtavuus λ_{eq}

Useammasta rakennusmateriaalista koostuvan rakennuselementin ekvivalentti lämmönjohtavuus λ_{eq} on saman kokoisen homogeenisen suorakaiteen lämmönjohtavuus, joka monimutkaisen rakennuselementin tilalle asennettuna tuottaa saman lämmöneristysvaikutuksen.

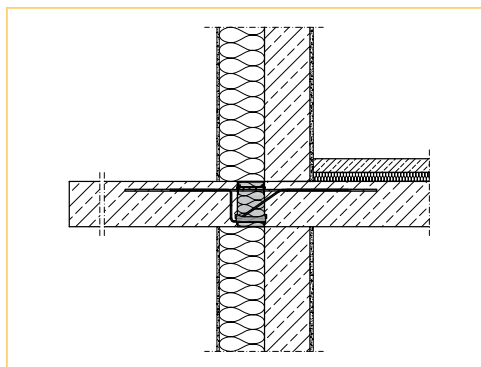
Vuonna 2017 julkaistun eurooppalaiseen arviointiasiakirjan (EAD) kantaville lämpöeristys-elementeille mukaan λ_{eq} määritetään seuraavasti.

EAD:n mukaisessa laskentamenetelmässä suoritetaan yksilöllinen kolmiulotteinen lämpösiltalaskenta kantavan lämmöneristys-elementin kanssa. Kantavan lämmöneristys-elementin monimutkainen rakenne mallinnetaan yksityiskohtaisesti ja lämpösiltan lämpöhäviöt lasketaan. Saadun lämpöhäviön perusteella määritetään ekvivalentti lämmönjohtavuus λ_{eq} ja ekvivalentti lämmönvastus R_{eq} .

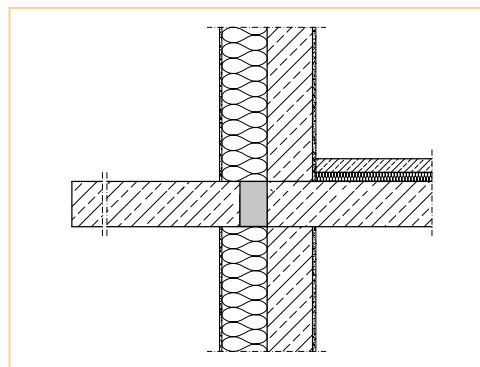
Schöck Isokorb®-liitososien ekvivalentit lämmönjohtavuudet λ_{eq} löytyvät teknisistä tiedoista.

Yksityiskohtainen lämpösiltalaskenta

Mikäli lämpösilta-analyysi tehdään ψ - tai f_{RSI} -arvojen määrittelyä varten, liitososan mallinnukseen voidaan käyttää λ_{eq} -arvoa. Tätä varten malliin sijoitetaan homogeeninen suorakulmio, jonka mitat vastaavat Schöck Isokorb®-liitososan eristeen mittoja ja sille annetaan ekvivalentti lämmönjohtavuus λ_{eq} , katso kuva. Tämä mahdollistaa rakenteen rakennusfysikaalisten ominaisarvojen yksinkertaisen laskemisen.



Kuva 16: Leikkauskuva, jossa yksityiskohtainen Schöck Isokorb® -malli



Kuva 17: Leikkauskuva, jossa yksinkertaistettu eristys-elementti

Laskentamenetelmä λ_{eq} -arvon määrittämiseksi on validoitu eurooppalaisessa teknisessä arvioinnissa (ETA) , joka perustuu eurooppalaiseen arviointiasiakirjaan (EAD) kantaville lämpöeristys-elementeille ja siten Schöck Isokorb® -järjestelmälle.

Laskenta voidaan tehdä yleisillä lämpösiltaohjelmistoilla käyttäen standardien SFS-EN ISO 6946 mukaisia termisiä reunaehtoja. Näin voidaan lämpösillan lämpöhäviöiden (ψ -arvo) ohella huomioida myös pintalämpötilat θ_{si} ja lämpötilakerroin f_{Rsi} .

Yksittäiset λ_{eq} -arvot löydät rakennusfysikaalisista arvoista osoitteessa:
www.schoeck.fi/download/rakennusfysiikka

Lämmönvastus R

Lämmönvastuksen R ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) lukuarvo kertoo kuinka suuri lämpötilaero rakenteen pintojen välille tarvitaan aiheuttamaan tasapainotilanteessa lämpövirran tiheys $1 \text{ W}/\text{m}^2$.

Homogeenisen materiaalin lämmönvastus saadaan jakamalla materiaalin paksuus sen lämmönjohtavuudella:

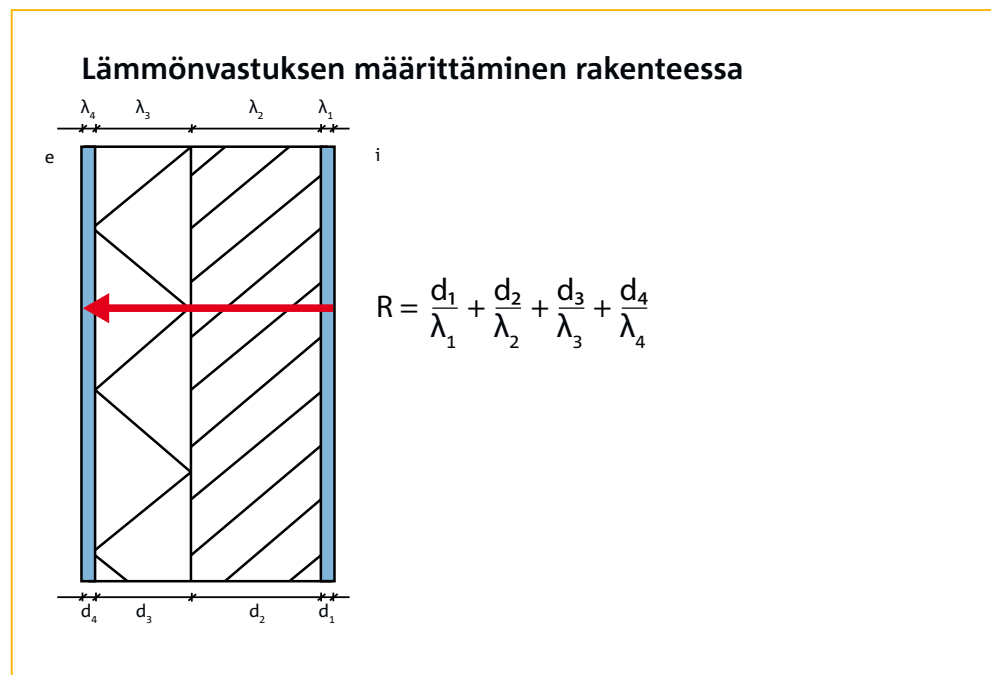
$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \right]$$

λ : Materiaalin lämmönjohtavuus, $\text{W}/(\text{mK})$

d : Materiaalipaksuus, m

Monikerroksisen rakenteen lämmönvastus saadaan laskemalla eri kerrosten lämmönvastukset yhteen:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}$$



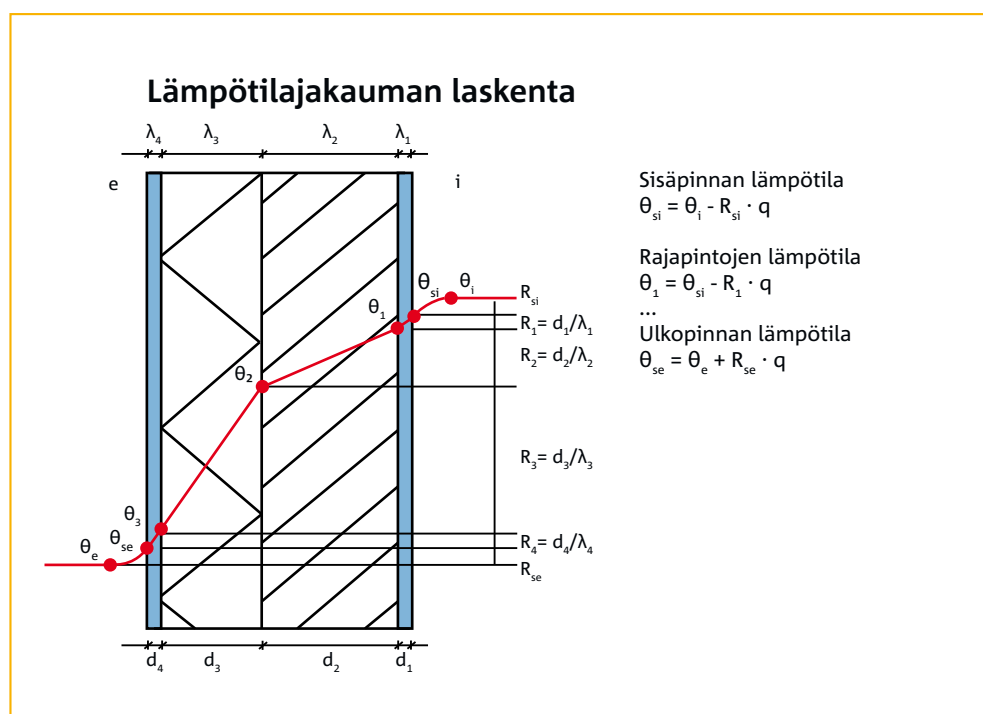
Kuva 18: Monikerroksisen rakenteen lämmönvastus saadaan laskemalla eri kerrosten lämmönvastukset yhteen.

Lämmönläpäisykerroin U

Rakenteen lämmönläpäisykertoimella eli U-arvolla ($W/(m^2K)$) tarkoitetaan lämpövirran tiheyttä, joka läpäisee jatkuvuustilassa rakennusosan, kun lämpötilaero rakenteen eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksi aste. Siten lämmönläpäisykerroin sisältää itse rakenteen lämmönvastuksen sekä rakenteen pinnan ja ympäristön välisen lämmönvastuksen.

U-arvo on käänteisarvo rakenteen lämpövastuksen R sekä sisäpuolisen pintavastuksen R_{si} ja ulkopuolisen pintavastuksen R_{se} summasta:

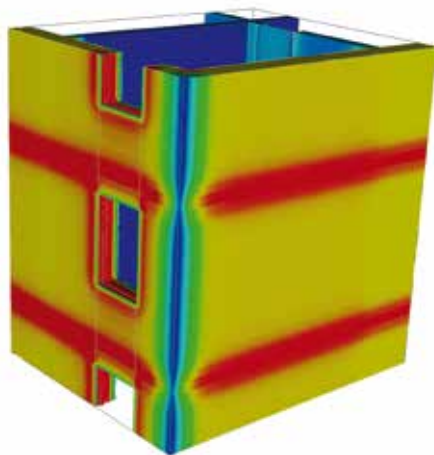
$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$



Kuva 19: Seinän lämpötilajakauma jatkuvuustilassa. Lämpötila muuttuu kussakin materiaalikerroksessa sitä jyrkemmin mitä pienempi lämmönjohtavuus materiaalilla on. Sisä- ja ulkopuolen pintavastukset R_{si} ja R_{se} aiheuttavat lämpötilaeron pinnan ja ympäristön välille. Oikea puoli näyttää kuinka lämpötila rakenteen eri kohdissa voidaan laskea.

Lämpökonduktanssi

Rakennuksen ulkovaipan johtumislämpöhäviö voidaan periaatteessa laskea kolmiulotteisella tietokonemallilla, jossa on otettu huomioon kaikki ulkovaipan yksityiskohdat (kuva 19). Kylmäsiltoja ei silloin tarvitse erikseen ottaa huomioon.



Tuloksena saadaan koko rakennuksen johtumislämpöhäviö Φ (yksikkö W). Jakamalla se sisä- ja ulkoilman lämpötilaerolla saadaan koko rakennuksen johtumislämpöhäviön lämpökonduktanssi L_{joht} (käytetään myös nimitystä lämpötekninen kytkentäkerroin)

$$L_{\text{joht}} = \frac{\Phi}{\Delta T}$$

missä

L_{joht} on: rakennuksen johtumislämpöhäviön konduktanssi, W/K
 Φ : rakennuksen johtumislämpöhäviö lämpötilaerolla ΔT , W
 ΔT : sisä- ja ulkoilman lämpötilaero, K

Lämpökonduktanssia käyttäen voidaan laskea rakennuksen lämpöhäviö eri ulkolämpötiloilla ja myös johtumislämpöhäviön energiankulutus. Käytännössä rakennusta ei kuitenkaan lasketa yhtenä kokonaisuutena vaan sitä tarkastellaan erillisinä rakennusosina, joita ovat esimerkiksi seinät, ikkunat ja yläpohjat. Näille määritetään lämmönläpäisykertoimet (U-arvot) rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaan. Lämmönläpäisykertoimet lasketaan tai mitataan kullekin rakennusosalle erikseen, ottamatta huomioon miten ne liittyvät muihin rakennusosiin. Toisin sanoen rakennusosan reunalla oletetaan täydellinen lämpöeristys. Tämän oletuksen epätarkkuus korjataan kun lasketaan koko rakennuksen tai huonetilan johtumislämpöhäviötä. Korjauksessa käytetään rakennusosien välisten liitosten viivamaisia lisäkonduktansseja Ψ (W/(mK)). Liitosten lisäkonduktanssit näkyvät rakennuksen johtumislämpöhäviön kaavassa lisätermeinä:

$$L_{\text{joht}} = \sum U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}} + \sum U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}} + \sum U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}} + \sum U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}} + \sum U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}} + \sum \psi_k l_k + \sum_j X_k$$

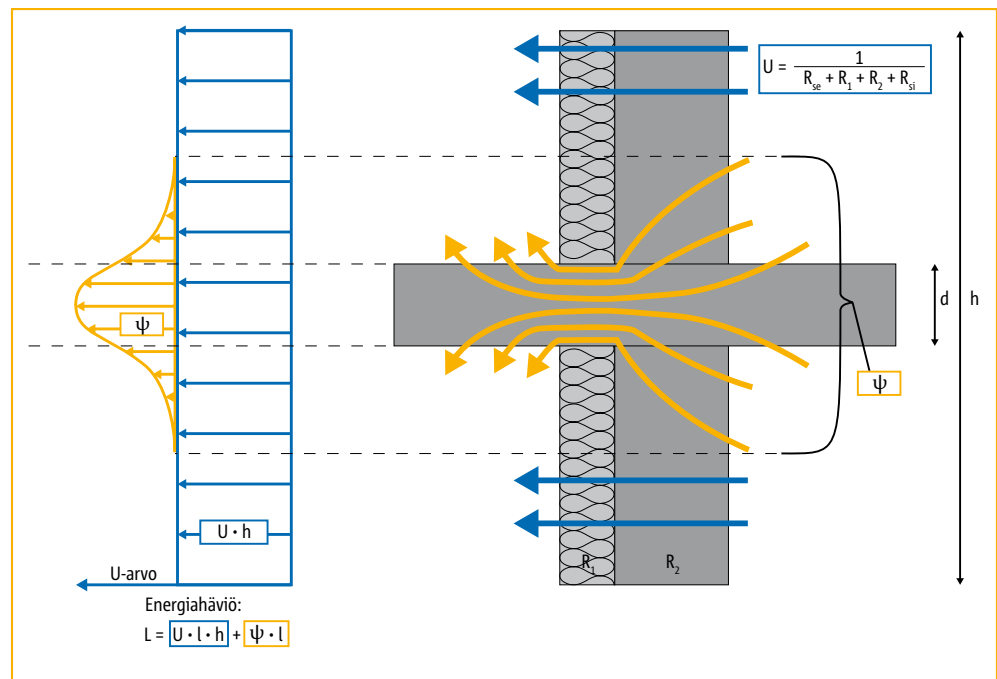
missä

L_{joht}	rakennuksen johtumislämpöhäviön konduktanssi, W/K
U:	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
A:	rakennusosan pinta-ala, m ²
Ψ_k :	kahden rakennusosan välisen liitoksen k viivamainen lisäkonduktanssi, W/(mK)
l_k :	kahden rakennusosan välisen liitoksen k pituus, m
X_j :	pistemäisen kylmäsilan j aiheuttama lisäkonduktanssi, W/K

Kaavan viimeinen termi X ottaa huomioon yksittäiset epäsäännölliset kylmäsilat, joita ei ole otettu mukaan U-arvoihin. On syytä vielä korostaa, että kaavan lisäkonduktanssit koskevat epäsäännöllisiä kylmäsiltoja eivätkä säännöllisiä kylmäsiltoja, jotka jo sisältyvät kaavassa oleviin U-arvoihin.

Lisäkonduktanssit Ψ ja X

Liitoksen viivamainen lisäkonduktanssi Ψ W/(mK) riippuu rakenteen toteutustavasta, mitoista sekä ympäröivän rakenteen U-arvosta. Siksi Ψ -arvo muuttuu kun kylmäsiltaa ympäröivä rakenne muuttuu. Kuva 21 esittää miten seinän läpi menevä parvekelaatta vaikuttaa seinän lämpövirtaan. Ψ -arvoon liittyvä lisälämpövirta jäädyttää välipohjalaatta ja seinää liitoksen molemmilla puolilla. Oikeanpuoleisesta kuvasta näkyy lämpövirran suunta. Häiriöttömässä seinän osassa lämpövirta suuntautuu vaakasuoraan (esitetty kuvassa sinisellä) mutta kylmäsiltaa läheisyydessä lämpövirta on kolmiulotteista. Tästä syystä Ψ -arvojen määrittäminen on vaikeampaa kuin U-arvojen laskeminen.



Kuva 20: Johtumislämpöhäviö seinästä, jossa on seinän läpi menevä parveke- ja välipohjalaatta. Oikealla on rakenteen poikkileikkaus sekä lämpövirran kulku nuolilla esitettyinä. Vasemmalla on lämpöhäviö seinän eri kohdissa. Sinisellä merkitty lämpöhäviö kuvaa U-arvoon sisältyvää lämpöhäviötä ja keltaisella merkitty lämpöhäviö kuvaa liitoksen viivamaisen lisäkonduktanssin osuutta.

Kylmäsilta-arvot määritetään standardin SFS-EN ISO 10211 mukaan. Periaatteena on laskea lämpövirrat riittävän suurelta alueelta kylmäsiltaa ympäriltä sopivalla kaksi- tai kolmiulotteisella tietokone-ohjelmalla ja määrittää sitten kylmäsilta-arvo edellisen sivun konduktanssikaavasta. Viivamaisen kylmäsiltaa Ψ laskentaan saadaan kaava:

$$\Psi = \frac{L_{\text{joht}} - \sum U_i A_i}{l}$$

missä

Ψ on: rakenteen viivamainen lisäkonduktanssi, W/(mK)

L_{joht} on: laskenta-alueen johtumislämpöhäviön konduktanssi, W/K

U_i : rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m²K)

A_i : rakennusosan i pinta-ala, m²

l : liitoksen pituus laskennassa, m

Vastaava kaava pistemäisen kylmäsiltaa lisäkonduktanssille X (W/K) on:

$$X = L_{\text{joht}} - \sum U_i A_i$$

Maahantuoja ja tekninen neuvonta:

HauCon Finland Oy
Tillinmäentie 1A
02330 Espoo
Puh: 0207 430 890

Myyntipäällikkö:
Lennart Söderström
Puh: 0207 430 894
info@schoeck.fi
www.schoeck.fi

Valmistaja:

Schöck Bauteile GmbH
Vimbucher Straße 2
76534 Baden-Baden
Saksa
Puhelin: +49 7223 967-144
Faksi: +49 7223 967-470
info@schoeck.com
www.schoeck.com

Distributed by

HAUCon®


Schöck
Dependable by design