

Rakennusfysiikka

Suunnitteluperusteet

Rakennesuunnittelu

Rakentaminen



Kylmäsiljat

Kylmäsiljan määritelmä

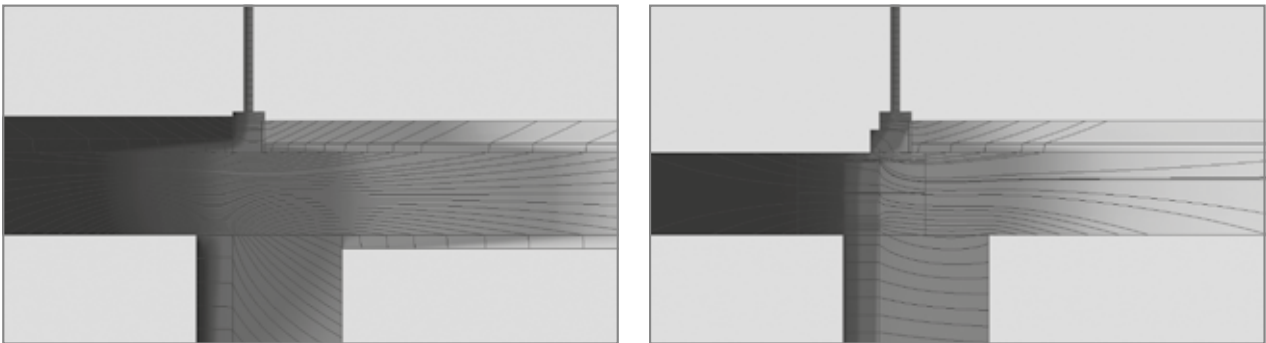
Kylmäsiljat ovat rakennuksen vaipan paikallisia rakenneosia, joissa syntyy korkea lämpöhäviö. Kohonnut lämpöhäviö johtuu joko siitä, että kyseinen rakenneosa poikkeaa tasaisesta muodosta ("geometrinen kylmäsilta"), tai siitä, että rakenneosassa on paikallisesti materiaaleja, joilla on suuri lämmönjohtavuus ("materiaalista johtuva kylmäsilta").

Kylmäsiltojen vaikutukset

Kylmäsiljan alueella paikallisesti kohonnut lämpöhäviö johtaa sisäpintojen lämpötilan laskuun. Rakennukseen alkaa muodostua hometta, kun pintalämpötila laskee niin kutsutun homesienelle otollisen lämpötilan Θ_s alapuolelle. Jos pintalämpötila laskee kastepistelämpötilan Θ_c alapuolelle, tiivistyy huoneilmassa oleva kosteus kylmille pinnoille kasteeksi. Jos kylmäsiljan alueelle on muodostunut hometta, voi huoneeseen vapautuvista homesieni-itiöistä aiheutua asukkaille huomattavia terveydellisiä haittoja. Homesieni-itiöillä on allergisoiva vaikutus. Ne voivat siksi aiheuttaa ihmisissä voimakkaita allergisia reaktioita, kuten astmaa. Pitkäaikainen huoneistossa oleskeleminen ja päivittäinen altistuminen saattaa johtaa allergiaoireiden kroonistumiseen.

Kylmäsiltojen vaikutukset ovat tiivistettyinä seuraavat:

- ▶ Homesienten muodostumisen vaara
- ▶ Terveystaittojen (allergiat yms.) vaara
- ▶ Kosteuden muodostumisen vaara
- ▶ Kohonnut lämmitysenergian häviö



Kuva 1: Lämpöjakauma parvekelitoksen kohdalla tummalla merkitystä kylmästä parvekkeesta vaalealla merkittyyn lämpimään sisäpintaan. Vasemmalla: Yhtenäinen teräsbetoninen välipohja ilman termistä eristystä. Oikealla: Terminen eristys Schöck Isokorb® -eriste-elementtiä käyttäen

Tunnusarvot

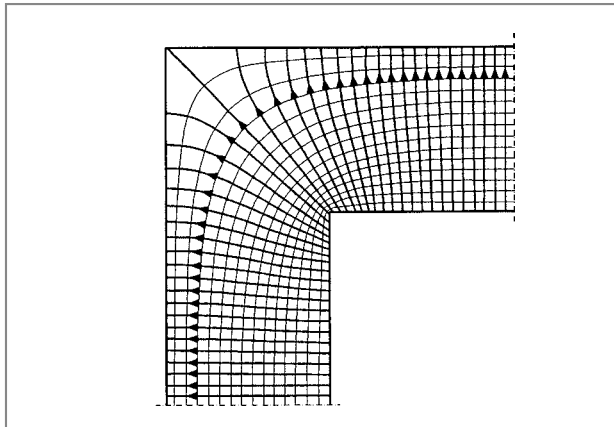
Kylmäsiltojen lämpötekniset tunnusarvot

Kylmäsiltojen lämpötekniisiä vaikutuksia kuvataan seuraavilla tunnusarvoilla:

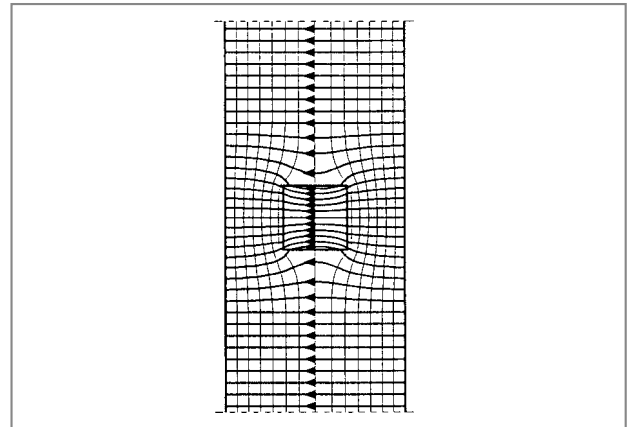
Lämpötekkinen vaikutus	Tunnusarvot	
	Kvalitatiivinen esitys	Kvantitatiivinen yksilotteinen lukema
Homesienen muodostuminen Kosteuden muodostuminen	Isotermit ja lämpötila-asteitus	Pienin mahdollinen pintalämpötila θ_{\min} Lämpötilakerroin f_{Rsi}
Lämpöhäviö	Lämpövirran kulkuviivat	ψ -arvo χ -arvo

Näiden tunnuslukujen laskennallinen määrittäminen on mahdollista vain kulloinkin kyseessä olevan kylmäsiltojen lämpötekniisen FE-laskennan avulla. Tätä tarkoitusta varten mallinnetaan tietokoneella konstruktion geometrinen rakenne lämpösillan alueella ottaen huomioon käytettyjen materiaalien lämmönjohtavuus. Laskennassa ja mallinnuksessa käytettävät reunaehdot on määritetty standardissa SFS EN 10211.

FE-laskennan avulla voidaan kvantitatiivisten tunnusarvojen selvityksen lisäksi luoda myös esitykset rakenteen sisäisestä lämpötilajakaumasta ("isoterminen esitys") sekä lämpövirran kulusta. Lämpövirran kulun esitys osoittaa, miten lämpö häviää rakenteessa ja mahdollistaa näin kylmäsiltojen lämpötekniisten heikkouksien tunnistamisen. Isotermit ovat saman lämpötilan omaavia viivoja tai pintoja, ja ne osoittavat lämpötilajakauman lasketun rakenneosan sisällä. Isotermit esitetään usein käyttämällä 1°C:n lämpötilaväliä. Lämpövirran kulkuviivat ja isotermit sijaitsevat aina kohtisuoraan toisiinsa nähden (katso alla olevat kuvat).



Kuva 2: Esimerkki puhtaasti geometrisesta kylmäsilta. Isotermien ja lämpövirran kulkuviivojen esitys (nuolet)



Kuva 3: Esimerkki materiaalista johtuvasta kylmäsilta. Isotermien ja lämpövirran kulkuviivojen esitys (nuolet)

Lisäkonduktanssit ψ ja χ

Viivamainen lisäkonduktanssi ψ ("psi-psi-arvo") kuvaa lämpöhäviöitä koko viivamaisen kylmäsiltojen läpi. Pistemäinen lisäkonduktanssi χ ("chi-ksi-arvo") kuvaa vastaavasti lämpöhäviöitä koko pistemäisen kylmäsiltojen läpi.

Lisäksi tehdään ero ulkomitan ja sisämitan mukaisten ψ -arvojen välillä sen mukaan, käytetäänkö ψ -arvon laskennassa ulko- vai sisämitan mukaisia pintoja. Lämpöeristystodistuksen luonnissa on käytettävä energiansäästö määräyksen mukaan ulkomitan mukaisia ψ -arvoja. Ellei toisin ilmoiteta, kaikki tässä asiakirjassa ilmoitetut arvot ovat ulkomitan mukaisia ψ -arvoja.

Tunnusarvot

Ekvivalentti lämmönjohtavuus λ_{eq}

Ekvivalentti lämmönjohtavuus λ_{eq} on Schöck Isokorb®-liitososan kaikkien komponenttien kokonaislämmönjohtavuus ja ilmaisee liitoksen lämmöneristysvaikutuksen. Mitä pienempi λ_{eq} , sitä parempi parvekeliitoksen lämmöneristys. λ_{eq} -arvot määritetään yksityiskohtaisilla lämpösitalaskelmilla ja koska kaikkien Schöck Isokorb®-liitososien geometria ja varustus on yksilöllinen, myös λ_{eq} -arvot ovat erilaiset.

Kantavien lämmöneristysosien vertailuun käytetään λ_{eq} -arvon sijaan ekvivalenttia lämmönvastusta R_{eq} , joka huomioi ekvivalentin lämmönjohtavuuden λ_{eq} lisäksi myös elementin eristysmateriaalipaksuuden. Mitä suurempi R_{eq} , sitä parempi lämmöneristysvaikutus. R_{eq} saadaan ekvivalentin lämmönjohtavuuden λ_{eq} ja eristysmateriaalipaksuuden perusteella seuraavasti:

$$R_{eq} = \frac{d}{\lambda_{eq}}$$

Yksittäisen eriste-elementin lämmönjohtavuus λ_{eq} ja rakennekohtainen lisäkonduktanssi Ψ

Kun lisäkonduktanssi Ψ kuvaa lämpöhäviötä koko liitosrakenteen alueella, vastaava lämmönjohtavuus λ_{eq} on ainoastaan Schöck Isokorb® eriste-elementin lämpöeristyksen mitta ja siten rakenteesta riippumaton tuotetunnusarvo. Tämän vuoksi tässä asiakirjassa on ilmoitettu kaikille Isokorb®-malleille asianmukaiset λ_{eq} -arvot. Seuraavassa esilaskettujen yksinkertaisten seinärakenteiden (kerrosrakenne) lisäkonduktanssien Ψ lisäksi arvoa λ_{eq} voidaan käyttää myös yksityiskohtaisissa kylmäsitelaskelmissa, jotka poikkeavat tavallisesta kerrosrakenteesta (esim. ovi tai Schöck Isokorb® eriste-elementin ylä- tai alapuolella oleva kaihdinkotelo), FEM-ohjelmassa Schöck Isokorb® eriste-elementin materiaalin tunnusarvona.

Kylmäsillat

Eristämättömät ulokeosat

Kun käytetään eristämättömiä ulokeosia, kuten teräsbetonisia parvekkeita tai teräskannattimia, geometrisen kylmäsillan (ulokeen jäähdytysripavaikutus) ja materiaalista johtuvan kylmäsillan (lämpöeristeen lävistys teräsbetonilla tai teräksellä) yhteisvaikutus saa aikaan voimakkaan lämpöhäviön. Tämän vuoksi ulokkeet ovat rakennuksen vaipan kriittisimpiä kylmäsiltoja. Eristämättömät ulokeosat aiheuttavat huomattavan lämpöhäviön ja pintalämpötilan laskun. Tämä johtaa merkittävästi kohonneisiin lämmityskustannuksiin ja huomattavaan homesienien muodostumisen vaaraan ulokeen liitoskohdassa.

Tehokasta lämpöeristystä Schöck Isokorb® eriste-elementeillä

Schöck Isokorb® eriste-elementti muodostaa lämpöteknisesti ja staattisesti optimoidun rakenteensa (minimoitu raudoituksen poikkileikkaus, optimoitu kantavuus ja erityisen hyvien lämpöeristävien materiaalien käyttö) ansiosta erittäin tehokkaan eristeen ulokeosien alueella.

Schöck Isokorb® teräsbetoniparvekkeille

Schöck Isokorb® erottaa parvekeliitoksen kohdalla muuten yhtenäisen teräsbetonilaatan. Hyvin lämpöä johtava betoni ja erittäin hyvin lämpöä johtava betoniteräs korvataan puristusalueella Neopor®-solumuovista valmistetulla eristeellä ja jaloteräksellä, joka johtaa betoniteräkseen verrattuna erittäin huonosti lämpöä, sekä optimoiduilla, erittäin lujasta kuitubetonista valmistetuilla HTE-moduuleilla. Tämän ansiosta käytettäessä esimerkiksi Schöck Isokorb® KXT50 lämmönjohtavuus laskee n. 94 %:lla verrattuna täysbetoniseen teräsbetonilaataan.

Passiivitalo

Passiivitaloa koskevat vaatimukset

Passivhaus Institut -tutkimuslaitoksen esittämät lämpöeristystä koskevat vaatimukset asettavat erittäin korkeat rakennuksen vai-
pan lämpöeristysstandardit. Varmasti merkittävin näistä vaatimuksista on, että lämmitystarve ei saa ylittää 15 kWh/m².
Siksi on kohdistettava erityishuomio energiaa säästäviin rakenneratkaisuihin. Energiansäästö ja lämpöhävikin aleneminen saa-
daan suunnittelemalla kompakti rakennus, jonka vaippa on pieni. Lisäksi on myös tarkasti huomioitava ikkunoiden kautta ja ra-
kennuksen sisältä saatava energiahyöty. Kesällä on erityisesti huomioitava varjostamismahdollisuus. Tehokkaan lämpöeristyksen
ja ilmatiiviyden vuoksi huolellinen yksityiskohtien suunnittelu on tärkeää.

Komponenttien hyväksynät

Hyvän lämpöeristyksen saavuttamiseksi on huomioitava myös kylmäsilat. Tavoitteena on jo suunnitteluvaiheessa kiinnittää eri-
tyishuomio tähän ongelmaan. Siten voidaan tietoisesti välttää kokonaan kylmäsiltojen muodostuminen tai vähentää niiden muo-
dostumista niin paljon kuin mahdollista.

Siksi rakentamisessa käytettävien komponenttien lämpöteknisten ominaisuuksien tulee olla erityisen hyvät. Tästä syystä Passiv-
haus Institut -tutkimuslaitos sertifioi energiaominaisuuksiltaan laadukkaita tuotteita energiansäästökomponenteiksi tai sertifioi-
duiksi passiivitalokomponenteiksi. Näiden komponenttien hyväksyntätodistuksista voi suoraan nähdä tuotteen olennaiset tun-
nusarvot. Hyväksynnän kautta on samalla myös saatu mahdollisuus vertailla passiivitaloon sopivia tuotteita keskenään.

Jotta rakenneosia luokiteltaisiin energiaa säästäväksi, sen maksimi kylmäsilan aiheuttama lämpöhävikki saa olla
 $\Delta U_{WB} = 0,025 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Passiivitalokomponentiksi hyväksyntää varten arvon tulee kuitenkin olla pienempi, nimittäin $\Delta U_{WB} = 0,01 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

	Hyväksynnän saaneet passiivitalokomponentit	Energiansäästökomponentit
Lämmönläpäisykerrointa ΔU_{WB} koskevat vaatimukset	$\leq 0,01 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\leq 0,025 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Vaatimukset

Lämpöhävikki rakennuksen vaipan kautta

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

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

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
- ▶ $Q_{\text{kylmäsiltilat}}$: rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöt, kWh

Lämpöhävikki kylmäsiltojen kautta

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

Kylmäsiltojen osuus johtumislämpöhäviössä lasketaan kaavalla

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

jossa

- ▶ l_k : rakennusosien välisten liitosten aiheuttaman viivamaisen kylmäsiltilan pituus, m
- ▶ ψ_k : viivamaisen kylmäsiltilan lisäkonduktanssi, W/(mK)
- ▶ χ_j : pistemäisen kylmäsiltilan lisäkonduktanssi, W/K

Nykyisissä rakentamismääräyksissä ei oteta huomioon yksittäisiä kylmäsiltoja, joten kaavan viimeistä termiä ei tarvitse Suomessa toistaiseksi ottaa huomioon. Viivamaisista kylmäsiltiloista 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.

Liitos	Lisäkonduktanssi ψ_k , W/(mK)
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