

Energiatehokkuus

Rakennusosien lämmönläpäisykertoimen laskenta



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

2024

Esipuhe

Tässä julkaisussa esitetään rakennusosien lämmönläpäisykertoimen laskenta, joka noudattaa pääosin RIL-ohjetta 225-2023 ja SFSSFS-EN ISO 10456:2007+AC:2009, SFS-EN ISO 6946:2017 sekä SFS-EN ISO 3370:2017, SFS-EN ISO 10456:2007+AC:2009, SFS-EN ISO 6946:2017 ja SFS-EN ISO 13370:2017 standardeihin. Tämä julkaisu on tiivistetty esitys käytännön laskijoille. Julkaisun sovellusesimerkit, suositukset ja lisätiedot eivät ole rakentamismääräyskokoelman määräysten tai ohjeiden tasoisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista.

Tätä julkaisua täydentää erillinen julkaisu, jossa esitetään muutamia laskentaesimerkkejä.

Aikaisempaan C4-ohjeeseen verrattuna tässä ei esitetä ovien ja ikkunoiden lämmönläpäisykertoimien laskentaa. Tässä julkaisussa ei myöskään käsitellä sisäisen luonnollisen konvektion laskentaa.

Julkaisun on laatinut ympäristöministeriön toimeksiannosta TkL Mika Vuolle EQUA Simulation Finland Oy:stä. Julkaisun laadinnassa on ollut myös mukana DI Marko Saikkonen D.O.F Tech Oy:stä.

Helsingissä 19. elokuuta 2024

Jyrki Kauppinen
Rakennusneuvos

Sisällys

Esipuhe	2
Sisällys	3
1 Yleistä	4
1.1 Soveltamisala	5
1.2 Määritelmiä.....	5
2 Lämmönläpäisykertoimen määrittäminen.....	8
2.1 Yleistä.....	8
2.2 Lämmönläpäisykertoimen laskenta	9
2.3 Korjatun lämmönläpäisykertoimen laskenta	13
2.3.1 Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustermi	14
2.3.2 Ilmarakojen korjaustermi	15
2.3.3 Käännettyjen kattorakenteiden korjaustermi	16
2.3.4 Viivamaisten säännöllisten kylmäsiltojen korjaustermi	17
3 Rakennusaineiden lämmönjohtavuudet	18
3.1 Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ja sen valintamahdollisuudet	18
4 Pintavastukset ja ilmakerrosten lämmönvastukset	20
4.1 Pintavastus.....	20
4.2 Ilmakerroksen lämmönvastus.....	20
4.2.1 Tuulettumaton ilmakerros.....	20
4.2.2 Tuulettuva ilmakerros	21
5 Maanvastaiset ja ryömintätilaiset rakenteet ja niiden lämmönläpäisykertoimien laskenta	23
5.1 Yleistä.....	23
5.2 Maanvastaiset rakenteet	23
5.3 Ryömintätilaiset rakenteet	23
Liite 1. SFS-EN-standardit	24
Liite 2. Rakennusaineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja	25

Muutokset;

Päivämäärä	Sivu	Muutos
26.2.2025	Sivu 22	Tarkennus siihen, että taulukon 4 arvot koskevat vain rakennetta, jossa eristys on vaakatasossa ja vesikate on kalteva.
11.03.2025	Sivu 23	Tarkennus siihen, milloin ryömintätilaisen alapohjan U-arvon laskennassa voi käyttää 0.9 kerrointa huomioimaan maan lämmönvastusta.

1 Yleistä

1.1 Soveltamisala

Tämä julkaisu käsittelee rakennuksen ulkoilmaan ja maahan rajoittuvia sekä rakennuksen eri tilojen välisiä rakennusosia ja rakenteita, näiden lämmönläpäisykertoimen määrittämistä. Julkaisussa ei käsitellä ovia ja ikkunoita. Tässä käsitellään hyvän rakennustavan mukaisia käytännön rakenteita, joissa esiintyvien vähäisten epäideaalisuuksien vaikutus otetaan tarvittaessa huomioon lämmönläpäisykertoimen laskennassa.

Julkaisussa esitetyt asiat vastaavat voimassa olevissa SFS-EN-standardeissa esitettyä lämmönläpäisykertoimen laskentatapaa. Maanvastaisten ja ryömintätilaisten rakenteiden osalta on mahdollista käyttää myös muissa ohjeissa esitettyä yksinkertaistettua laskentamenetelmää. Yksityiskohtaisemat ja erikoistapauksia käsittelevät ohjeet esitetään SFS-EN-standardeissa.

Tässä esitetään yksi hyväksyttävä tapa todeta energiatehokkuusasetuksen lämmönläpäisykertoimelle asetettujen vaatimusten täyttyminen.

Tässä julkaisussa ei käsitellä lämmöneristyksen kautta ohjattavan ilmavirtauksen, rakennusosien läpi puolelta toiselle vuotavan ilman eivätkä rakennukseen kohdistuvan auringon säteilyn tai muiden ajan funktiona vaihtelevien rakenteisiin kohdistuvien lämpökuormien vaikutusten laskentaa.

1.2 Määritelmiä

Ilmansulku on rakennusosassa oleva ainekerros, joka estää haitallisen ilmavirtauksen rakennusosan läpi puolelta toiselle. Ilmansulkuna toimii usein rakennusosaan jotain muuta pääasiallista tarkoitusta varten tehty ainekerros;

Ilmoitettu lämmönjohtavuus λ_D (W/(m K)) on arvo, joka on voimassa olevan SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaisesti määritetty ja joka perustuu yleensä 10°C keskilämpötilassa suoritettuihin lämmönjohtavuuden mittauksiin sekä mittaustulosten tilastolliseen käsittelyyn. Ilmoitettua lämmönjohtavuutta käytetään lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon lähtötietona;

Keskimääräinen lämmönjohtavuus λ_{mean} (W/(m K)) ilmoittaa aineen lämmönjohtavuuden yksittäisten mittaustulosten λ_{10} , aritmeettisen keskiarvon, kun mittaukset on suoritettu 10°C keskilämpötilassa ja aineen kosteuspitoisuus on vastannut 23°C lämpötilassa 50 % (± 10 %) suhteellista kosteutta;

Korjattu lämmönläpäisykerroin U_c (W/(m² K)) on rakenneosan lopullinen U -arvo, jota käytetään lämpöhäviöiden laskennassa. Korjatussa lämmönläpäisykertoimessa on tarvittaessa otettu huomioon lämmönläpäisykertoimen korjaustermi;

Kylmäsilta on rakennusosassa toistuva, viereisiin aineisiin verrattuna hyvin lämpöä johtavasta aineesta tehty rakenneosa, jonka kohdalla lämpötilaeron vaikutuksesta rakennusosan pintojen läpi kulkevan lämpövirran tiheys on jatkuvuustilassa viereiseen alueeseen verrattuna suurempi;

Lattiarakenne on alapohjan osa, joka ei sisällä maanvastaisessa alapohjassa lämmöneristeen alla olevia maakerroksia ja joka ryömintätilaisessa alapohjassa sisältää ryömintätilan yläpuolella olevat rakennekerrokset;

Lämmöneriste on rakennusaine, jota käytetään pääasiallisesti tai muun käyttötarkoituksen ohella olennaisesti lämmöneristämiseen;

Lämmöneristys on yhdestä tai useammasta lämmöneristekerroksesta rakennusosaan tehty eristekokonaisuus;

Lämmönjohtavuus λ (W/(m K)) on lämpövirran tiheys jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruinen;

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_U (W/(m K)) on arvo, joka on SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan määritetty lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, SFS-EN-standardissa esitetty taulukoitu lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, tässä julkaisussa annettu lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo tai muulla tavalla määritetty, rakennusosalle soveltuva lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo (esimerkiksi tyyppihyväksytty arvo), jota käytetään rakenteiden lämpötekniissä laskelmissa. λ_U -arvo vastaa aikaisemmin käytössä ollutta λ_d -arvoa.

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_U korvaa aikaisemmin käytössä olleen kansallisen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon λ_n (normaalinen lämmönjohtavuus).

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_U sisältää aineen lämmönjohtavuuden mittaustulosten hajonnan sekä lämpötilan, kosteuspitoisuuden ja ikääntymisen vaikutukset lämmönjohtavuuteen SFS-EN ISO 10456:2007+AC:2009 mukaisesti. Nämä tekijät ovat sisältyneet myös aikaisempaan normaalin lämmönjohtavuuden arvoon, tosin eri tavoin määritettynä.

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_U ei sisällä lämmöneristeessä olevista ilmaraoista ja epäideaalisesta asennuksesta eikä lämmöneristeen suuresta ilmanläpäisevyydestä aiheutuvaa lämmön siirtymisen lisäystä ainekerroksessa. Aikaisempi normaalin lämmönjohtavuuden arvo on sisältänyt myös näiden tekijöiden vaikutuksen. Näiden tekijöiden vaikutukset on tarkistettava ja otettava tarvittaessa huomioon lämmöneristettä valittaessa ja rakennusosan korjattua lämmönläpäisykerrointa U_c määritettäessä luvun 2.3 mukaisesti;

Lämmönläpäisykerroin U (W/(m² K)) on lämpövirran tiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen;

Lämmönläpäisykertoimen korjaustermi ΔU (W/(m² K)) on lämmönläpäisykertoimeen tarvittaessa lisättävä termi, joka sisältää lämmöneristeen ilmarakojen korjaustekijän, mekaanisten kiinnikkeiden ja muiden säännöllisten pistemäisten/viivamaisten kylmäsiltojen korjaustekijät sekä käännettyjen kattojen korjaustekijän;

Lämmönvastus R ($\text{m}^2 \text{ K/W}$) on termisessä jatkuvuustilassa olevan tasapaksun ainekerroksen tai kerroksellisen rakenteen lämmönvastus, joka ilmoittaa rakenteen eri puolilla olevien isotermisten pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen;

Pistemäinen kylmäsilta on rakenteessa paikallinen eikä sillä ole rakenteen pinnan suunnassa jatkuvaa samanlaisena pysyvää poikkileikkausta;

Pistemäinen lisäkonduktanssi X , (W/K) on pistemäisen kylmäsilan (esimerkiksi teräside) aiheuttama lisäys jatkuvuustilassa rakennusosan läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen;

Sisä- ja ulkopuolen pintavastus R_{si} ja R_{se} , ($\text{m}^2 \text{ K/W}$) on rakennusosan pinnan ja sisä- tai ulkopuolisen ympäristön välisen rajakerroksen lämmönvastus;

Tuulensuoja on rakennusosassa oleva ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuoliseen rakenteen osaan ja takaisin;

Viivamainen kylmäsilta on kylmäsilta, jonka poikkileikkaus on rakenteen pinnan suuntaan jatkuvana samanlainen;

Viivamainen lisäkonduktanssi Ψ , (W/m K) on viivamaisen kylmäsilan (esimerkiksi teräsranka) aiheuttama lisäys jatkuvuustilassa rakennusosan tai sen reuna-alueen läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen.

2 Lämmönläpäisykertoimen määrittäminen

2.1 Yleistä

Julkaisussa esitetään menetelmä rakennusosien ja rakenteiden korjatun lämmönläpäisykertoimen U_c laskemiseksi. Muutakin menetelmää voidaan käyttää, jos julkaisussa esitettyä tapaa ei voida soveltaa tai korvaava laskentamenettely on vähintään yhtä tarkka kuin tässä esitetty. Myös kokeellista tulosta voidaan käyttää, jos laskennallinen määrittäminen on kohtuuttoman vaikeaa tai laskennassa tarvittava lähtötieto määritetään kokeellisesti.

Lämmönläpäisykertoimen yksittäinen mittaustulos pätee vain tutkitulle koerakenteelle mittaustuloksissa. Jos lämmönläpäisykertoimen laskenta on kohtuuttoman hankalaa, voidaan koetuloksen perusteella kuitenkin arvioida rakenneratkaisulle käytännön suunnitteluun soveltuva lämmönläpäisykertoimen arvo. Tällöin on pyrittävä ottamaan huomioon mittausten epätarkkuus, rakenteen ja siinä käytettävien aineiden ominaisuuksien vaihtelu käytännössä, rakennesuunnitelmien mukainen materiaalien käyttölämpötilaolosuhteiden ja -kosteuspitoisuuden vaikutus sekä rakennusaineiden mahdollinen lämmönjohtavuuden palautumaton muuttuminen käyttöiän aikana.

Korjattu lämmönläpäisykerroin U_c on rakennusosan lopullinen lämmönläpäisykerroin, jota käytetään rakennuksen määräystenmukaisuutta osoittaessa sekä rakennuksen energiankulutuslaskelmissa.

Osoittaessa lämpöhäviöiden määräystenmukaisuutta tasauslaskelmissa ja energiankulutustarkasteluissa U -arvolla tarkoitetaan korjattua lämmönläpäisykerrointa. Tässä julkaisussa eri rakennusosien korjatun lämmönläpäisykertoimen merkinnässä käytetään U -kirjainta, jolla on eri alaindeksejä.

Rakennuksen vaippaan eri syistä tehtäviä yksittäisiä kylmäsiltoja ei tarvitse ottaa huomioon rakennusosan lämmönläpäisykerrointa laskettaessa. Yksittäisen kylmäsiltojen voi muodostaa esimerkiksi suuri läpivienti, hormi, parvekkeen kannatus, alapohjan läpäisevä pilari, rakenteeseen sijoitettu talotekniikan komponentti tai muu erikseen suunniteltu ja toteutettu yksittäinen ratkaisu.

2.2 Lämmönläpäisykerroimen laskenta

Rakennusosan lämmönläpäisykerrointa (U) laskettaessa ainekerrosten lämmönjohtavuutena (λ) käytetään lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja (λ_U).

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (U) on rakennusosan kokonaislämmönvastuksen (R_T) käänteisluku

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

jossa

U rakennusosan lämmönläpäisykerroin $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

R_T rakennusosan kokonaislämmönvastus $\text{m}^2 \text{ K}/\text{W}$

Rakennusosan kokonaislämmönvastus (R_T) sisältää rakennusosan lämmönvastuksen ja rakennusosan molempien puolien pintavastukset. Hyvin tuulettun ilmaraon ja sen ulkopuolisten rakennusosien lämmönvastuksia ei oteta huomioon U -arvon laskennassa muuten kuin ilmaraon sisäpuolisen pintavastuksen osalta.

Lämpö voi johtua rakennusosan sisällä usean ainekerroksen läpi. Ainekerrokset voivat poiketa toisistaan sekä paksuudeltaan että lämmönjohtavuudeltaan. Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus (R) lasketaan ainekerroksen paksuutta (d) ja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa (λ_U) käyttäen kaavasta (2).

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

jossa

R ainekerroksen lämmönvastus $\text{m}^2 \text{ K}/\text{W}$

d ainekerroksen paksuus m

λ_U ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo $\text{W}/(\text{m K})$

Mikäli ainekerroksen paksuus (d) vaihtelee lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorassa tasossa, voidaan ainekerroksen paksuutena käyttää ainekerroksen paksuuden keskimääräistä arvoa edellyttäen, ettei ainekerroksen vähimmäispaksuus alita ainekerroksen keskimääräistä paksuutta enempää kuin 20 %.

Rakennusosan lämmönjohtavuudeltaan erilaiset ainekerrokset voivat olla lämpövirran suuntaan nähden peräkkäin tai rinnan. Lämpövirran suuntaan nähden peräkkäisistä ainekerroksista (Kuva 1) muodostuvan rakennusosan kokonaislämmönvastus (R_T) lasketaan kaavalla (3).

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

jossa

R_T	rakennusosan kokonaislämmönvastus	$\text{m}^2 \text{ K/W}$
R_{si}	sisäpuolen pintavastus	$\text{m}^2 \text{ K/W}$
$R_1, R_2, \dots, R_n$	rakennusosan ainekerrosten 1, 2, ..., n lämmönvastukset	$\text{m}^2 \text{ K/W}$
R_{se}	ulkopuolen pintavastus	$\text{m}^2 \text{ K/W}$

Kunkin yksittäisten peräkkäisen ainekerroksen lämmönvastus ($R_1, R_2, \dots, R_n$) lasketaan ainekerroksen paksuutta ja lämmönjohtavuutta käyttäen kaavasta (2) ja sijoitetaan kaavaan (3).

Jos rakennusosassa on lämpövirran suuntaan nähden lämmönjohtavuudeltaan erilaisia rinnakkaisia ainekerroksia, rakennusosan kokonaislämmönvastukselle lasketaan ylälikiarvo (R'_T) ja alaliikiarvo (R''_T). Rakennusosan kokonaislämmönvastus (R_T) on näiden arvojen keskiarvo kaava (4).

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (4)$$

jossa

R'_T	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo	$\text{m}^2 \text{ K/W}$
R''_T	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo	$\text{m}^2 \text{ K/W}$

Jos epätasa-aineiselle rakennusosalle määritettyjen lämmönvastusten ylä- ja alaliikiarvon suhde on suurempi kuin 1,5 tai rakennusosassa on metallirakenteiden muodostamia säännöllisiä viivamaisia kylmäsiltoja, rakennusosan lämmönläpäisykerrointa (U) ei voida määrittää lämmönvastusten ylä- ja alaliikiarvojen avulla. Tässä tapauksessa säännöllisten viivamaisten kylmäsiltojen vaikutus voidaan ottaa huomioon luvun 2.3 mukaisesti lisäämällä ilman kylmäsiltoja laskettuun rakennusosan lämmönläpäisykerroimen arvoon viivamaisten kylmäsiltojen aiheuttama lisäys (ΔU_Ψ). Säännöllisten viivamaisten kylmäsiltojen vaikutus rakennusosan lämmönläpäisykerroimeen voidaan vaihtoehtoisesti määrittää myös tarkemmalla laskentamenetelmällä tai kokeellisesti.

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvoa (R'_T) laskettaessa rakennusosa jaetaan lämpövirran suuntaisiin, koko rakennusosan läpi ulottuviin itsenäisiin lohkoihin, jotka muodostuvat lämpövirran suuntaan nähden peräkkäin olevista lämmönjohtavuudeltaan erilaisista ainekerroksista (Kuva 3).

Lämmönjohtavuudeltaan erilaiset rinnakkaiset ainekerrokset sijoitetaan näin toisistaan riippumattomiin lohkoihin. Jokaisen näin muodostetun lohkon kokonaislämmönvastus lasketaan erikseen kaavaa (3) käyttäen pintavastukset mukaan lukien.

Lopuksi lohkojen kokonaislämmönvastukset sijoitetaan kaavaan (5) rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvon (R'_T) laskemiseksi.

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}} \quad (5)$$

jossa

R'_T	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo	$\text{m}^2 \text{ K/W}$
$f_a, f_b, \dots, f_n$	lohkojen $a, b, \dots, n$ osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta	–
$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tn}$	lohkojen $a, b, \dots, n$ kokonaislämmönvastukset	$\text{m}^2 \text{ K/W}$

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikarvoa (R''_j) laskettaessa rakennusosa jaetaan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuoriin, koko rakenneosan läpi ulottuviin kerroksiin siten, että jokainen kerros on lämmönjohtavuudeltaan yhtenäinen lämpövirran suunnassa (Kuva 4). Seuraavaksi kunkin kerroksen lämmönjohtavuudeltaan erilaisten rinnakkaisten lohkojen lämmönvastukset yhdistetään kerros kerrallaan käyttäen kaavaa (6).

$$\frac{1}{R''_j} = \frac{f_a}{R_{ja}} + \frac{f_b}{R_{jb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{jn}} \quad (6)$$

jossa

R''_j	rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen $a, b, \dots, n$ yhteenlaskettu lämmönvastus	$\text{m}^2 \text{ K/W}$
$f_a, f_b \dots f_n$	yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen $a, b, \dots, n$ osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta	–
$R_{ja}, R_{jb}, \dots, R_{jn}$	rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen $a, b, \dots, n$ lämmönvastukset	$\text{m}^2 \text{ K/W}$

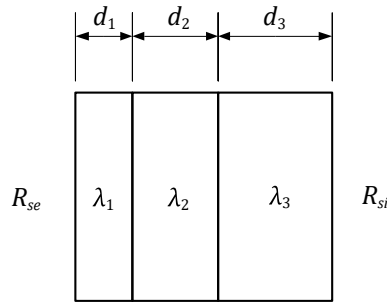
Kaavaa (6) käytettäessä kerroksessa j olevien lämmönjohtavuudeltaan erilaisten rinnakkaisten lohkojen lämmönvastukset lasketaan kaavaa (2) käyttäen. Paksuutena (d) kaavassa (2) käytetään jokaiselle yhdistettävälle lohkolle tarkasteltavan kerroksen paksuutta. Kerroksen paksuus on se matka, jonka yhdistettävät lämmönjohtavuudeltaan erilaiset lohkot kulkevat rinnan. Tämä paksuus ei välttämättä ole yhtä suuri kuin ainekerroksen kokonaispaksuus, jos yhdistettävät lohkot eivät kulje koko paksuudeltaan rinnan. Osuudet $f_a, f_b \dots f_n$ ovat yhtä suuret kaavoissa (5) ja (6).

Lämmönjohtavuudeltaan erilaisten rinnakkaisten lohkojen lämmönvastuksen yhdistämisen jälkeen rakenneosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo (R_T'') lasketaan kaavalla (7).

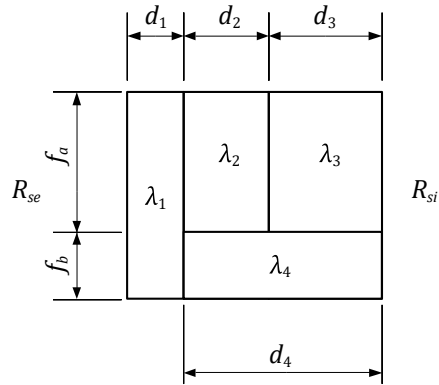
$$R_T'' = R_{si} + (R_1'' + R_2'' + \dots + R_j'') + (R_1 + R_2 + \dots + R_k) + R_{se} \quad (7)$$

jossa

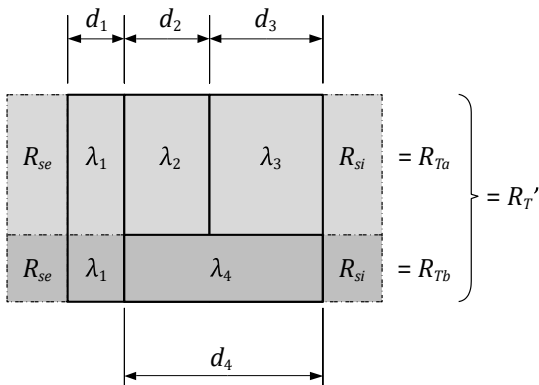
R_T''	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo	$\text{m}^2 \text{ K/W}$
R_{si}	sisäpuolen pintavastus	$\text{m}^2 \text{ K/W}$
R_{se}	ulkopuolen pintavastus	$\text{m}^2 \text{ K/W}$
$R_1'', R_2'', \dots, R_j''$	rakennusosan kerroksissa $a, b, \dots, j$ olevien rinnakkaisten lohkojen yhdistetyt lämmönvastukset (esimerkiksi lämmönvastukset R_1'' ja R_2'' kuvassa 4)	$\text{m}^2 \text{ K/W}$
$R_1, R_2, \dots, R_k$	rakennusosan tasa-aineisista ja tasapaksuisista ainekerroksista muodostuvien kerrosten 1, 2, ..., k lämmönvastukset (esimerkiksi lämmönvastus R_1 kuvassa 4)	$\text{m}^2 \text{ K/W}$



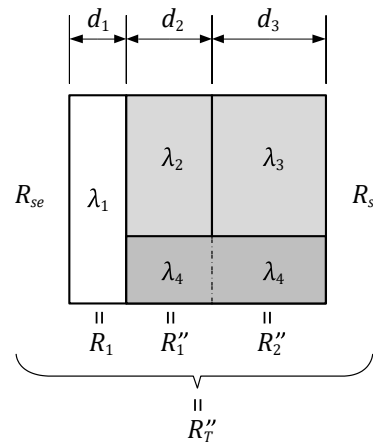
Kuva 1. Esimerkki lämpövirran suuntaan nähden peräkkäisistä ainekerroksista muodostuvasta rakenneosasta.



Kuva 2. Esimerkki lämpövirran suuntaan nähden rinnakkaisia ainekerroksia (kerrokset 2, 3 ja 4) sisältävästä rakenneosasta.



Kuva 3. Esimerkki kuvan 2 rakenneosan lämmönvastuksen ylälikiarvoa (R_T') laskettaessa käytettävistä lohkoista.



Kuva 4. Esimerkki kuvan 2 rakenneosan lämmönvastuksen alalikiarvoa (R_T'') laskettaessa käytettävistä kerroksista.

2.3 Korjatun lämmönläpäisykertoimen laskenta

Rakennusosan korjattu lämmönläpäisykerroin (U_c) saadaan lisäämällä luvussa 2.2 laskettuun lämmönläpäisykertoimen arvoon (U) lämmönläpäisykertoimen korjaustermi (ΔU) kaavalla (8).

$$U_c = U + \Delta U \quad (8)$$

jossa

U_c	rakennusosan korjattu lämmönläpäisykerroin	W/(m ² K)
U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin	W/(m ² K)
ΔU	lämmönläpäisykertoimen korjaustermi	W/(m ² K)

Lämmönläpäisykertoimen korjaustermi (ΔU) lasketaan kaavalla (9).

$$\Delta U = \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r + \Delta U_\psi \quad (9)$$

jossa

ΔU	lämmönläpäisykertoimen korjaustermi	W/(m ² K)
ΔU_f	mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä, kaava (10) tai kaava (11)	W/(m ² K)
ΔU_g	ilmaraoista aiheutuva korjaustekijä, kaava (14)	W/(m ² K)
ΔU_r	käännytyistä katoista aiheutuva korjaustekijä, kaava (15)	W/(m ² K)
ΔU_ψ	viivamaisista kylmäsiltoista (esimerkiksi teräsranka) aiheutuva korjaustekijä, kaava (16)	W/(m ² K)

Mikäli rakenteen U -arvo lasketaan 2D/3D-menetelmällä ja laskentamallissa ei huomioida esim. piste-mäisiä kylmäsiltoja tai ilmarakoja, tulee U -arvon vastaava korjaustermi huomioida tämän kohdan mukaisesti.

Viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssit tulee laskea erikseen muulla menetelmällä.

Rakennusvaipan lämpöhäviötä laskettaessa otetaan rakennusosien lämmönläpäisykertoimien lisäksi huomioon myös rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen vaikutus julkaisun ”Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta” mukaisesti.

2.3.1 Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustermi

Eristeen osittain tai kokonaan läpäisevien mekaanisten kiinnikkeiden ja muiden säännöllisten pistemäisten kylmäsiltojen korjaustekijä (ΔU_f) voidaan laskea likimääräisesti kaavalla (10).

$$\Delta U_f = \frac{\alpha \lambda_f A_f n_f}{d_1} \left(\frac{R_1}{R_{tot}} \right)^2 \quad (10)$$

jossa

ΔU_f	mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä	W/(m ² K)
α	kerroin, kaava (12)	-
λ_f	kiinnikkeen lämmönjohtavuus	W/(m K)
A_f	yhden kiinnikkeen poikkipinta-ala	m ²
n_f	kiinnikkeiden lukumäärä neliometriä kohden	1/m ²
d_1	kiinnikkeen pituus, joka on eristekerroksessa	m
R_1	sen lämmöneristekerroksen lämmönvastus ilman kylmäsiltojen vaikutusta, jonka kiinnike läpäisee, kaava (13)	m ² K/W
R_{tot}	tarkasteltavan rakennusosan kokonaislämmönvastus ilman korjaustekijöiden ja kylmäsiltojen vaikutusta, luvun 2.2 mukaisesti laskettuna	m ² K/W

Mekaanisten kiinnikkeiden ja muiden pistemäisten säännöllisten kylmäsiltojen aiheuttamaa korjausta ei tarvitse tehdä, jos kiinnikkeet lävistävät tyhjän välitilan tai jos kiinnikkeen lämmönjohtavuus (λ_f) on pienempi kuin 1 W/(m K). Kaavaa (10) ei voida käyttää, jos kiinnike yhdistää kahta metallilevyä. Tällaisen tapauksen laskemiseksi on esitetty tarkempia ohjeita SFS-EN-standardeissa.

Mekaanisten kiinnikkeiden ja muiden pistemäisten säännöllisten kylmäsiltojen aiheuttama lämmönläpäisykertoimen lisäys (ΔU_f) voidaan laskea tarkemmin kaavalla (11).

$$\Delta U_f = \sum X_j \frac{n_j}{A} \quad (11)$$

jossa

ΔU_f	mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä	W/(m ² K)
X_j	rakennusosassa olevien keskenään samanlaisten pistemäisten kylmäsiltojen aiheuttama pistemäinen lisäkonduktanssi	W/K
n_j	samanlaisten pistemäisten kylmäsiltojen lukumäärä rakennusosassa	-
A	rakennusosan pinta-ala	m ²

Kaavassa (10) käytetty kerroin α lasketaan kaavalla (12).

$$\alpha = 0,8 \frac{d_1}{d_0} \quad (12)$$

jossa

d_0	sen lämmöneristekerroksen kokonaispaksuus, johon kiinnike on asennettu	m
d_1	kiinnikkeen pituus, joka on eristekerroksessa	m

Jos kiinnike läpäisee vinossa tai kohtisuorassa eristekerroksen kokonaan, kertoimen α arvo on 0,8.

Kaavassa (10) käytetty lämmönvastus R_{f0} lasketaan kaavalla (13).

$$R_1 = \frac{d_{1,f}}{\lambda_i} \quad (13)$$

jossa

$d_{1,f}$	pituus, jonka kiinnikkeen huomattavasti ympäröivää lämmöneristettä paremmin lämpöä johtava osa kulkee tarkasteltavan lämmöneristekerroksen sisällä kohtisuoraan eristeen paksuuden suuntaisesti (lämpövirran suuntainen pituus)	m
λ_i	sen lämmöneristekerroksen lämmönjohtavuus, jonka läpi kiinnike kulkee	W/(m K)

2.3.2 Ilmarakojen korjaustermi

Lämmöneristyksessä mahdollisesti olevien ilmarakojen lisäys lämmönläpäisykertoimeen lasketaan kaavalla (14), kuitenkin niin että korjaustermi suuruus on enintään 10 prosenttia rakenteen korjaamattomasta lämmönläpäisykertoimesta.

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_1}{R_{tot}} \right)^2 \quad (14)$$

jossa

ΔU_g	ilmaraoista aiheutuva korjaustekijä	W/(m ² K)
$\Delta U''$	ilmaraoista aiheutuva korjauskerroin	W/(m ² K)
R_1	ilmarakoja sisältävän lämmöneristekerroksen lämmönvastus ilman kylmäsiltojen vaikutusta, kaava (2)	m ² K/W
R_{tot}	tarkasteltavan rakenneosan kokonaislämmönvastus ilman korjaustekijöiden ja kylmäsiltojen vaikutusta, kaava (3)	m ² K/W

Ilmaraoista aiheutuva korjauskerroin ($\Delta U''$) voidaan valita taulukosta 1, ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä.

Taulukko 1. Ilmaraoista aiheutuva korjauskerroin $\Delta U''$.

Taso	Ilmaraon kuvaus	$\Delta U''$ W/(m ² K)
0	Lämmöneristeessä ei ole ilmarakoja tai lämmöneristeessä on vain vähäisiä ilmarakoja, joilla ei ole merkittävää vaikutusta lämmönläpäisykertoimeen.	0,00
1	Lämmöneristeessä on eristeen läpäiseviä ilmarakoja, jotka eivät kuitenkaan aiheuta ilman kiertokulkua lämmöneristeen lämpimän ja kylmän puolen välillä.	0,01
2	Lämmöneristeessä on eristeen läpäiseviä ilmarakoja, jotka aiheuttavat ilman kiertokulkua lämmöneristeen lämpimän ja kylmän puolen välillä.	0,04

Seinä- tai kattorakenne, jossa on yhtenäinen eristekerros runkorakenteen sisä- tai ulkopuolella ja jonka lämmönvastus on vähintään 8 % rakenteen kokonaislämmönvastuksesta, on korjaustason 0 mukainen.

2.3.3 Käännettyjen kattorakenteiden korjaustermi

Käännetty kattorakenne toteutetaan siten, että lämmöneriste on kokonaisuudessaan vedeneristeen yläpuolella. Käännettyjen kattojen rakenteissa tulee käyttää tarkoitukseen soveltuvaa lämmöneristettä. Käännettyjen kattojen korjaustekijällä (ΔU_r) otetaan huomioon ylimääräinen lämpöhäviö, joka aiheutuu käännettyissä katoissa sadeveden kulkeutumisesta lämmöneristeen liitosten kautta veden- eristyksen ja lämmöneristeen väliin. Käännettyjen kattojen korjaustekijä lasketaan kaavalla (15).

$$\Delta U_r = p f x \left(\frac{R_1}{R_{tot}} \right)^2 \quad (15)$$

jossa

ΔU_r	käännettyjen kattojen korjaustekijä	W/(m ² K)
p	lämmityskauden keskimääräinen sateen intensiteetti, jona voidaan käyttää yleensä arvoa 0,5 mm/vrk	mm/vrk
f	vedeneristyksen ja lämmöneristeen väliin kulkeutuneen sadeveden osuus keskimääräisestä sateen intensiteetistä (p)	-
x	kerroin, jolla kuvataan sadeveden kulkeutumisesta vedeneristyksen ja lämmöneristeen väliin aiheutuvaa kasvanutta lämpöhäviötä	W vrk/(m ² K mm)
R_1	vedeneristyksen yläpuolella olevan lämmöneristekerroksen lämmönvastus ilman kylmäsiltojen vaikutusta, kaava (2)	m ² K/W
R_{tot}	rakenteen kokonaislämmönvastus, ilman korjaustekijöiden ja kylmäsiltojen vaikutusta, kaava (3)	m ² K/W

Suurin lämmönläpäisykertoimen lisäys on rakenteella, jossa vedeneristeen yläpuolella on yksi pusku- saumoin toteutettu lämmöneristekerros, jonka yläpinta on avoin, esimerkiksi sorapinnoitus. Tällaisella toteutustavalla tehdyille rakenteille voidaan käyttää kertoimien ($f x$) tulolle arvoa 0,04 W vrk/(m² K mm). Pienempiä kertoimien ($f x$) tuloja voidaan käyttää, jos lämmöneristyskerros on toteutettu useammasta eristekerroksesta, saumat on pontattu ja yläpinta on suljettu, esimerkiksi betoni tai asfalttipinta. Tällöin kertoimien ($f x$) tulo on tyypillisesti 0,005–0,02 W vrk/(m² K mm).

Tarkempia ohjeita kaavan (15) kertoimien määrittämiseksi on annettu käännettyjen kattojen eurooppalaisissa teknisissä hyväksynnöissä ja laskentaoppaissa. Tarvittaessa kertoimien (f_x) tulo voidaan määrittää myös kokeellisesti.

2.3.4 Viivamaisten säännöllisten kylmäsiltojen korjaustermi

Viivamaisten säännöllisten kylmäsiltojen (esimerkiksi teräsranka) aiheuttama lämmönläpäisykertoimen lisäys (ΔU_ψ) lasketaan kaavalla (16).

$$\Delta U_\psi = \sum \psi_k \frac{l_k}{A} \quad (16)$$

jossa

ΔU_ψ	viivamaisten säännöllisten kylmäsiltojen aiheuttama lämmönläpäisykertoimen lisäys	W/(m ² K)
ψ_k	rakennusosassa olevien keskenään samanlaisten viivamaisten kylmäsiltojen k viivamainen lisäkonduktanssi	W/(m K)
l_k	samanlaisten viivamaisten kylmäsiltojen yhteispituus rakennusosassa	m
A	rakennusosan pinta-ala	m ²

Viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssien arvoja voidaan laskea 2D/3D-menetelmällä tai testaamalla.

Viivamaiset lisäkonduktanssit on voitu ottaa huomioon jo valmistajan määrittämässä rakenteen lämmönläpäisykertoimen arvossa, jolloin niiden vaikutusta ei tarvitse laskea tai testata erikseen.

3 Rakennusaineiden lämmönjohtavuudet

3.1 Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ja sen valintamahdollisuudet

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvona (λ_U) voidaan käyttää SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan määritettyä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa, SFS-EN-standardissa esitettyä taulukoitua lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa, liitteen 2 taulukossa 5 annettua lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa tai muulla tavalla määritettyä, rakennusosalle soveltuva lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa kuten esimerkiksi tyyppihyväksyttyä arvoa. Ensisijaisesti käytetään SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan määritettyä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa, tämän jälkeen taulukoitua λ_U -arvoa ja viimeisenä muulla menetelmällä määritettyä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa. Jos samalle aineelle on annettu useita λ_U -arvoja, valitaan lämmönjohtavuudeksi parhaiten tarkasteltavaan kohteeseen soveltuva arvo.

Olemassa olevien rakenteiden lämpöteknisissä tarkasteluissa käytetään ensisijaisesti niitä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja, joita on käytetty rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaista osoittaessa. Jos jonkin aineen lämmönjohtavuutena on käytetty jotakin muuta arvoa kuin lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa (λ_U) kuten esimerkiksi normaalista lämmönjohtavuutta, käytetään tällaisten rakenteiden lämpöteknisissä tarkasteluissa ensisijaisesti liitteen 2 taulukossa 5 annettuja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja. Mikäli rakennusaineelle ei löydy sopivaa λ_U -arvoa liitteen 2 taulukossa 5, voidaan lämmönjohtavuuden suunnitteluarvona käyttää muilla menetelmillä määritettyä lämmönjohtavuuden arvoa kuten esimerkiksi normaalista lämmönjohtavuutta.

Liitteen 2 taulukossa 5 annetut rakennusaineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot (λ_U) pätevät Suomessa tavanomaisissa käyttöolosuhteissa, jotka vastaavat keskimäärin ilman lämpötilaa 10°C ja 50 % (± 10 %) suhteellista kosteutta. Myös taulukossa annetut aineiden tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin arvot vastaavat edellä mainittuja käyttöolosuhteita. Taulukon arvoja voidaan käyttää ulkoilmaa vasten olevien rakennusosien korjatun lämmönläpäisykertoimen (U_c) arvojen määrittämiseen. Taulukoissa esitettyjen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvojen käyttö edellyttää, että aine vastaa taulukoissa esitettyjä ominaisuuksia ja että ainetta käytetään lämpötekniseltä kannalta tarkoituksenmukaisesti hyvää rakentamistapaa noudattaen. Jos aineelle on annettu useita lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja eri tiheyksissä, väliarvot voidaan interpoloida aineen todellisen tiheyden perusteella.

Jos lämmöneristeiden keskimääräiset käyttöolosuhteet poikkeavat edellä mainituista lämpötila- ja kosteusolosuhteista siten, että lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo kasvaa, lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoihin tulee tehdä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden muutoksia vastaavat korjaukset SFS- EN -standardien mukaisesti. Tämä koskee erityisesti tilanteita, joissa rakenteet ovat alttiina sa-
teelle tai ne sijaitsevat maanpinnan alapuolella tai maata vasten tai ovat kokonaan tai osittain veden
alla. Vastaavat korjaukset on tehtävä myös olemassa olevien rakenteiden rakennusaineille, kun niille
tehdään lämpötekniisiä tarkasteluja.

Käännettyissä katoissa kosteuden vaikutus otetaan huomioon erillisellä korjaustekijällä luvun 2.3 mu-
kaisesti.

Lämmöneristeen ikääntymisestä aiheutuva palautumaton lämmönjohtavuuden muutos on otettava
huomioon lämmönjohtavuuden suunnitteluarvossa SFS-EN -standardien mukaisesti, ellei sitä ole
otettu huomioon jo ilmoitetun lämmönjohtavuuden (λ_D) arvossa. Tämä koskee myös olemassa ole-
vien rakenteiden rakennusaineita, kun niille tehdään lämpötekniisiä tarkasteluja. Ikääntymisen vaiku-
tus on otettu huomioon liitteen 2 taulukon 5 lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoissa.

Uusissa rakennusaineissa ikääntymisen vaikutus on yleensä otettu huomioon jo ilmoitetun lämmön-
johtavuuden arvossa.

Aineen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoon (λ_U) ei sisälly ainekerroksen läpi menevien tai siihen
rajoittuvien muiden rakenneosien ja aineiden, kuten tukirakenteiden, sauma-aineiden, siteiden ja
kiinnikkeiden kautta tapahtuva lämmönsiirtyminen. Kylmäsiltojen vaikutus otetaan huomioon raken-
nusosan korjattua lämmönläpäisykerrointa (U_c) määritettäessä luvun 2.3 mukaisesti.

Aineen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoon (λ_U) ei sisälly lämmöneristyskerroksen ilmarakojen,
epäideaalisen asennuksen ja ilmaa läpäisevässä lämmöneristeessä tapahtuvien ilmavirtausten vaiku-
tusta. Näiden tekijöiden vaikutukset on tarkistettava ja otettava tarvittaessa huomioon lämmöneris-
tettä valittaessa ja rakennusosan korjattua lämmönläpäisykerrointa (U_c) määritettäessä luvun 2.3
mukaisesti.

Aineen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoon (λ_U) ei sisälly ainekerroksen paksuuden muutoksen
kuten painuman tai ulkoisen kuormituksen aiheuttamaa vaikutusta, vaan se on otettava tarvittaessa
erikseen huomioon lämmönläpäisykertoimen laskennassa.

4 Pintavastukset ja ilmakerrosten lämmönvastukset

4.1 Pintavastus

Sisä- ja ulkoilmaan rajoittuvien rakennusosien pintavastuksina (R_{si} ja R_{se}) käytetään taulukossa 2 esitettyjä arvoja.

Taulukko 2. Rakenneosan sisä- ja ulkopuolen pintavastukset (R_{si} ja R_{se}).

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

Pintavastusten arvot muille lämpövirran suunnille saadaan taulukon 2 arvoista lineaarisesti interpoloimalla. Jos pintavastus halutaan määrittää lämpövirran suunnasta riippumattomana tai lämpövirran suunta vaihtelee rakenteessa, on laskennassa suositeltavaa käyttää vaakasuoran lämpövirran mukaisia pintavastuksen arvoja.

4.2 Ilmakerroksen lämmönvastus

4.2.1 Tuulettumaton ilmakerros

Tuulettumaton ilmakerros on rakennusosassa oleva suljettu ilmapäli, johon ei johda ilmavirtausaukkoa sisä- tai ulkoilmasta.

Ilmakerros, jonka ulkopuolisessa rakenteen osassa ei ole lämmöneristystä ja johon johtaa ulkopuolelta pieniä aukkoja, voidaan lämmönvastukseltaan ottaa huomioon kuten tuulettumaton ilmakerros. Tällöin aukot eivät saa sijaita niin, että ne sallivat tuuletusvirtauksen ilmakerroksen kautta sen reunalta toiselle. Lisäksi edellytetään, ettei ilmakerrokseen johtavien aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala (A_v) ylitä seuraavia raja-arvoja

- 500 mm² pystysuorassa rakenteessa olevan pystysuoran ilmakerroksen pituusyksikköä (m) kohti
- 500 mm² vaakasuoran ilmakerroksen pinta-alayksikköä (m²) kohti.

Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastuksena (R_{gu}) voidaan käyttää taulukossa 3 esitetyjä arvoja.

Taulukko 3. Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastuksia (R_{gu}).

Rajoittavien pintojen yhdistetty emissiviteetti, –	Ilmaraon paksuus (d_g), mm	Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus (R_{gu}), m ² K/W		
		Lämpövirran suunta		
		Ylöspäin	Vaakasuoraan	Alaspäin
yleinen tapaus ei heijastavia pintoja $\varepsilon > 0,8$	5	0,11	0,11	0,11
	10	0,15	0,15	0,15
	15	0,16	0,17	0,17
	20	0,16	0,18	0,18
	50	0,16	0,18	0,21
	100	0,16	0,18	0,22
	300	0,16	0,18	0,23
toinen pinta heijastava $\varepsilon < 0,2$	5	0,17	0,17	0,17
	10	0,29	0,29	0,29
	15	0,34	0,38	0,38
	20	0,34	0,44	0,44
	50	0,34	0,44	0,67
	100	0,34	0,44	0,75
	300	0,34	0,44	0,83

Lämmönvastukset muille ilmaraon paksuuksille saadaan taulukon 4 arvoista lineaarisesti interpoloimalla.

Taulukon 3 arvot ovat voimassa yleisessä tapauksessa, kun lämpötilaero ilmaraon pintojen välillä ei ylitä 5°C:ta. Muussa tapauksessa ilmaraon lämmönvastus määritetään SFS-EN-standardissa esitetyllä menetelmällä.

Yleisen tapauksen ($\varepsilon > 0,8$) lisäksi taulukossa 3 on esitetty arvot tapauksessa, jossa toinen pinta on heijastava ja pysyy jatkuvasti puhtaana sekä pinnan emissiviteetti on pienempi kuin 0,2. Jos pintojen emissiviteetit tiedetään, voidaan ilmaraon lämmönvastus määrittää tarkemmin SFS-EN-standardissa esitetyllä menetelmällä.

4.2.2 Tuulettuva ilmakerros

Tuulettuva ilmakerros on rakennusosassa oleva ilmapäli, jonka kautta kulkee tuulettava ilmapvirtaus rakennusosan reunalta toiselle. Tuulettuva ilmakerros on joko lievästi tuulettuva tai hyvin tuulettuva ilmapäliin johtavien aukkojen suuruuden mukaan.

Ilmakerros on lievästi tuulettuva, kun ilmakerrokseen johtavien aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala (A_v) on seuraavissa rajoissa:

- enemmän kuin 500 mm², mutta enintään 1500 mm² pystysuorassa rakenteessa olevan pystysuoran ilmakerroksen pituusyksikköä (m) kohti
- enemmän kuin 500 mm², mutta enintään 1500 mm² vaakasuoran ilmakerroksen pinta-ala-yksikköä (m²) kohti.

Lievästi tuulettuvan ilmakerroksen lämmönvastus (R_{gs}) lasketaan kaavalla (17).

$$R_{gs} = \left(\frac{1500 - A_v}{1000} \right) R_{gu} + \left(\frac{A_v - 500}{1000} \right) R_{si} \quad (17)$$

jossa

R_{gs}	lievästi tuulettuvan ilmakerroksen lämmönvastus	
A_v	ilmakerrokseen johtavien aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala	mm ²
R_{gu}	tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus, taulukko 4	m ² K/W
R_{si}	hyvin tuulettuvan ilmakerroksen lämmönvastus, taulukko 3	m ² K/W

Ilmakerros on hyvin tuulettuva, kun siihen johtavien aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala (A_v) on

- suurempi kuin 1500 mm² pystysuorassa rakenteessa olevan pystysuoran ilmakerroksen pinta-ala yksikköä (m) kohti tai
- suurempi kuin 1500 mm² vaakasuoran ilmakerroksen pinta-ala-yksikköä (m²) kohti.

Jos rakennusosassa on hyvin tuulettuva ilmakerros, ilmakerroksen ja sen ulkopuolella olevien ainekerroksien lämmönvastuksia ei oteta huomioon U -arvoa laskettaessa. Tällöin ulkopinnan pintavastuksena voidaan käyttää sisäpinnan pintavastusta (R_{si}) vastaavaa arvoa taulukon 2 mukaisesti.

Koneellisesti tuulettuvan ilmakerroksen lämmönvastusta ei oteta huomioon laskelmissa, ellei ilmakerroksen ja sen ulkopuolella olevien ainekerroksien vaikutusta rakenteeseen ole erikseen selvitetty.

Tuulettumisen vaikutus rakenteen kokonaislämmönvastukseen voidaan määrittää vaihtoehtoisesti erillisen tutkimuksen perusteella.

Kattorakenteessa, jossa lämmöneristetyin vaakasuoran yläpohjan ja kallistetun vesikaton väliin jää ilmatila, voidaan ilmatila katsoa termisesti homogeeniseksi kerrokseksi, jonka lämmönvastus on taulukon 4 mukainen.

Taulukko 4. Katon ilmatilan lämmönvastus (R_u).

Katon rakennetyyppi	Lämmönvastus (R_u) m ² K/W
Kate ilman aluskatetta	0,06
Tiilikatto, peltikatto tai muu vastaava vesikate aluskatteella tai sitä vastaavalla ainekerroksella	0,2
Kuten edellinen kohta, mutta matalaemissiviteettipinta (esimerkiksi alumiinipinnoite) aluskatteen alapinnassa	0,3
Yhtenäinen kermikate alusrakenteineen tai vastaava raoton vesikate	0,3

Arvot taulukossa 4 sisältävät tuulettuvan ilmatilan ja vesikaton sen yläpuolella. Arvoihin ei kuitenkaan sisälly vesikaton ulkopuolen pintavastus (R_{se}).

Taulukossa 4 esitetyt arvoja ei voi käyttää koneellisesti tuulettuvissa katon ilmatilojen laskennassa vaan taulukossa 2 esitetyt arvoja.

Tuulettuvien ilmatilojen kosteusteknisen toiminnan parantamiseksi vesikatteen alapuolelle voidaan laittaa erillinen lämmöneriste tai lämpöä eristävä aluskate. Tämän lämmöneristeen lämmönvastusta ei kuitenkaan oteta huomioon yläpohjan kokonaislämmönvastusta laskettaessa.

5 Maanvastaiset ja ryömintätilaiset rakenteet ja niiden lämmönläpäisykertoimien laskenta

5.1 Yleistä

Maanvastaisten ja ryömintätilaisten rakenteiden lämmönläpäisykertoimet lasketaan tässä luvussa esitetyllä yksinkertaisella laskentamenetelmällä, jossa ei oteta yksityiskohtaisesti huomioon perusmuurin, maan ja ryömintätilan vaikutus alapohjan kautta tapahtuvaan lämmönsiirtymiseen.

SFS-EN-standardeissa esitetty yksityiskohtaisemmat laskentamenetelmät maanvastaisten ja ryömintätilaisten rakenteiden lämmönläpäisykertoimet laskentaan.

5.2 Maanvastaiset rakenteet

Maanvastaisen alapohjan tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan laskea yksinkertaistusti kertomalla luvun 2 mukaan laskettu pelkän lattia- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin kertoimella 0,9. Tämä ottaa huomioon maan lämmönvastuksen. Yksinkertaistettu menetelmä ei ota huomioon rakennuksen geometrian vaikutusta.

5.3 Ryömintätilaiset rakenteet

Ryömintätilaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin voidaan laskea kertomalla luvun 2 mukaan laskettu pelkän lattiarakenteen lämmönläpäisykerroin kertoimella 0,9 mikäli tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta. Tämä ottaa huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeamman lämpötilan ja ryömintätilan alapuolisen maan lämmönvastuksen. Mikäli tuuletusaukkojen määrä on yli 8 promillea, huomioidaan U-arvossa vain lattiarakenteen rakennekerrokset ilman alapuolisen maan lämmönvastusta.

Liite 1. SFS-EN-standardreja

SFS-EN 673	Glass in building. Determination of thermal transmittance (U -value). Calculation method.
SFS-EN 1745	Masonry and masonry products. Methods for determining design thermal values.
SFS-EN ISO 6946	Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method.
SFS-EN ISO 10077-1	Thermal performance of windows doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 1: General.
SFS-EN ISO 10077-2	Thermal performance of windows doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 2: Numerical method for frames.
SFS-EN ISO 10211	Thermal bridges in building construction. Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations.
SFS-EN ISO 10456	Building material and products. Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values.
SFS-EN ISO 13370	Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods.
SFS-EN 13947	Thermal performance of curtain walling. Calculation of thermal transmittance.
SFS-EN ISO 14683	Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
SFS-EN ISO 23993	Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. Determination of design thermal conductivity.

Liite 2. Rakennusaineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja

Taulukko 5. Rakennusaineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja (λ_U) sekä tiheyksiä (ρ) ja ominaislämpökapasiteetteja vakiopaineessa (c_p). Taulukossa esitetty rakennusaineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot pätevät Suomessa tavanomaisissa käyttöolosuhteissa, jotka vastaavat keskimäärin ilman lämpötilaa 10°C ja 50 % (± 10 %) suhteellista kosteutta.

Aine, tarvike	Tiheys (ρ), kg/m ³	Ominaislämpökapasiteetti (c_p), J/(kg K)	Lämmönjohtavuuden suunnitte- luarvo (λ_U), W/(m K)
LÄMMÖNERISTEET JA TÄYTEAINEET			
mineraalivilla, levy ja matto	10–200	1030	0,050
solumuovilevy, paisutettua polystyreeniä	10–50	1450	0,050
tavallinen eriste	10–20	1450	0,080
solumuovipuru, polystyreeniä			
solumuovilevy, suulakepuristusmenetelmällä val- mistettua polystyreeniä			
ponneaineena CFC 12 ⁽¹⁾	20–65	1450	0,035
muu ponneaine	20–65	1450	0,040
solumuovilevy, polyuretaania (PUR tai PIR)			
ponneaineena CFC 11 ⁽¹⁾	28–55	1400	0,030 ⁽²⁾
	28–55	1400	0,024 ⁽³⁾
ponneaineena pentaani	28–55	1400	0,033 ⁽²⁾
	28–55	1400	0,030 ⁽³⁾
ruiskutettavat tai valettavat polyuretaanieristeet			
umpisoluinen eriste	28–55	1400	0,033
avosoluinen eriste	28–55	1400	0,045
solulasilevy	100–150	1000	0,065 ⁽⁴⁾
puukuitueriste, levy	30–50	1600	0,050
pellava, levy ja matto	30–50	1600	0,050
lastuvillalevy	250–450	1470	0,080
korkkilevy	150	1500	0,045
paisutettu	200	1500	0,050
	400	1500	0,065
koneellisesti puhallettavat kuitueristeet			
yläpohjassa ⁽⁵⁾			
mineraalivilla	15–60	1030	0,050
puukuitueriste	20–70	1600	0,050
seinässä			
puukuitueriste ⁽⁶⁾	35–70	1600	0,050
kutterinlastu			
löysänä	80	1600	0,140
sullottuna	120	1600	0,080
sahanpuru			
löysänä	120	1600	0,120
sullottuna	200	1600	0,080
sekoite kutterinlastun kanssa, 1:1	140	1600	0,070

1) CFC-tuotteiden valmistus on kielletty, mutta näitä tuotteita on olemassa olevissa rakenteissa.

2) Tehdasvalmisteiset levyt ilman diffuusiotiivistä pintaa tai lämmöneriste on paisutettu eristetilassa ja täyttää sen kokonaan.

3) Tehdasvalmisteiset levyt, joissa on vähintään 50 µm paksut yhtenäiset metallipinnat tai lämmöneriste on paisutettu vähintään 50 µm paksujen yhtenäisten metallikerrosten väliin ja on molemmiin puoliin kauttaaltaan näihin kiinni liimautunut.

4) Lämmöneristelevyt on saumattu esimerkiksi bitumilla.

5) Uusissa rakennuksissa puhallettavaan eristyspaksuuteen sisältyy valmistajan ilmoittama painumavara.

6) Lämmöneriste on märkäpuhallettu.

Aine, tarvike	Tiheys (ρ), kg/m ³	Ominaislämpökapasiteetti (c_p), J/(kg K)	Lämmönjohtavuuden suunnittelu- arvo (λ_U), W/(m K)
kalsiumsilikaattilevy	150	1000	0,050
	300	1000	0,070
	600	1000	0,10
	1000	1000	0,16
kevytbetonimurske	400	1000	0,15
kevytsora	200–400	1000	0,10
koksikuona	700	1000	0,25
masuunikuona, rakeistettu	150	900	0,10 ⁽⁷⁾
	250	900	0,12 ⁽⁷⁾
KIVIMATERIAALIT			
asfaltti	2100	1000	0,70
betoni	2000	1000	1,35
	2200	1000	1,65
	2400	1000	2,0
1 % terästä	2300	1000	2,3
2 % terästä	2400	1000	2,5
betonireikäkivet muurattuina ⁽⁸⁾	1400	1000	0,55
betonitäyskivet muurattuina	2000	1000	1,2
karkaistu kevytbetoni elementteinä	400	1000	0,10
	450	1000	0,12
	500	1000	0,135
	600	1000	0,175
harkkoina ohut- ja liimasaumoin	400	1000	0,12
	450	1000	0,13
	500	1000	0,145
	600	1000	0,185
kevytsorabetoni paikalleen valettuna tai elementteinä	650	1000	0,20
	800	1000	0,24
	1000	1000	0,35
	1200	1000	0,45
	1400	1000	0,55
	1600	1000	0,70
valetut kevytsorabetonieristeet ylä- ja alapohjassa	400	1000	0,11
	500	1000	0,13
	600	1000	0,17
kevytsorabetoniharkot muurattuina			
rakosaumat	650	1000	0,20
10 mm täydet saumat	650	1000	0,24
kalkkiahkatiilet muurattuina	1900	1000	0,95

7) Käytettäessä täyteainetta yläpohjan lämmöneristeenä ilman yläpuolista tiivistävää kerrosta on annettuun λ_U -arvoon lisättävä 0,02 W/(m K).

8) Reikäkiven tiheytenä käytetään bruttotiheyttä eli massa jaettuna tilavuudella ottamatta huomioon reikävähennystä.

Taulukko 5 jatkuu seuraavalle sivulle →

Aine, tarvike	Tiheys (ρ), kg/m ³	Ominaislämpökapasiteetti (c_p), J/(kg K)	Lämmönjohtavuuden suunnittelu- arvo (λ_U), W/(m K)
poltetut tiilet muurattuina reikätiilet ⁸⁾	1300	1000	0,50
	1500	1000	0,60
	1300	1000	0,60
	1500	1000	0,65
	1700	1000	0,70
rappauslaastit			
kalkkilaasti	1700	1000	0,90
kalkkisementtilaasti	1800	1000	1,0
sementtilaasti	2000	1000	1,2
RAKENNUSLEVYT			
kipsilevy	700	1000	0,21
	900	1000	0,25
kuitusementtilevy	1100	900	0,25
	1500	900	0,30
sementtilastulevy	1200	1500	0,23
	300	1700	0,10
lastulevy	600	1700	0,14
	900	1700	0,18
OSB-lastulevy	650	1700	0,13
	250	1700	0,070
puukuitulevy (myös MDF-levy)	400	1700	0,10
	600	1700	0,14
	800	1700	0,18
vaneri	300	1600	0,090
	500	1600	0,13
	700	1600	0,17
	1000	1600	0,24

8) Reikäkiven tiheytenä käytetään bruttotiheyttä eli massa jaettuna tilavuudella ottamatta huomioon reikävähennystä.

Taulukko 5 jatkuu seuraavalle sivulle →

Aine, tarvike	Tiheys (ρ), kg/m ³	Ominaislämpökapasiteetti (c_p), J/(kg K)	Lämmönjohtavuuden suunnittelu- arvo (λ_U), W/(m K)
MUITA RAKENNUSAINEITA			
bitumi	1050	1000	0,17
bitumikermi	1100	1000	0,23
huopa	120	1300	0,050
kipsi	600	1000	0,18
	900	1000	0,30
	1200	1000	0,43
	1500	1000	0,56
kumi			
butyyli	1200	1400	0,24
EPDM-kumi	1150	1000	0,25
luonnonkumi	910	1100	0,13
neopreeni	1240	2140	0,23
polyisobutyleeni	930	1100	0,20
polysulfidi	1700	1000	0,40
solukumi	270	1400	0,10
vaahtokumi	60–80	1500	0,060
lasi	2500	750	1,0
linoleum	1200	1400	0,17
muovi			
akryyli	1050	1500	0,20
polyamidi (nylon)	1150	1600	0,25
polyasettaatti	1410	1400	0,30
polyeteeni LD	920	2200	0,33
polyeteeni HD	980	1800	0,50
polykarbonaatti	1200	1200	0,20
polypropeeni	910	1800	0,22
polyvinyylikloridi (PVC), jäykkä	1390	900	0,17
PVC, joustava, 40 % pehmennin	1200	1000	0,14
solumuovi	270	1400	0,10
puu	450	1600	0,12
	500	1600	0,13
	700	1600	0,18
tekstiilimatto	200	1300	0,060
TIIIVISTYSAINEET			
polyteenivaahdo	70	2300	0,050
polyuretaanivaahdo	70	1500	0,050
silikoni	1200	1000	0,35
silikonivaahdo	750	1000	0,12

Taulukko 5 jatkuu seuraavalle sivulle →

Aine, tarvike	Tiheys (ρ), kg/m ³	Ominaislämpökapasiteetti (c_p), J/(kg K)	Lämmönjohtavuuden suunnittelu- arvo (λ_U), W/(m K)
METALLIT			
alumiini	2800	880	160
kupari	8900	380	380
lyijy	11300	130	35
messinki	8400	380	120
pronssi	8700	380	65
rauta	7500	450	50
teräs	7800	450	50
ruostumaton teräs	7900	460–500	30–17
sinkki	7200	380	110
LUONNONKIVET			
gneissi	2400–2700	1000	3,5
graniitti	2500–2700	1000	2,8
hiekkakivi	2600	1000	2,3
kalkkikivi			
pehmeä	1800	1000	1,1
kova	2200	1000	1,7
liuskekivi	2000–2800	1000	2,2
marmori	2800	1000	3,5
vuolukivi	3000	1000	6,4
MAALAJIT			
savi tai siltti	1200–1800	1670–2500	1,5
hiekkä, sora tai moreeni	1700–2200	910–1180	2,0
KAASUT			
ilma ⁹⁾	1,23	1008	0,025
hiilidioksidi	1,95	820	0,014
argon	1,70	519	0,017
krypton	3,56	245	0,0090
ksenon	5,68	160	0,0054
VESI			
jää			
–10°C	920	2000	2,3
0°C	900	2000	2,2
lumi			
pehmeä	200	2000	0,12
osittain tiivistynyt	300	2000	0,23
tiivis	500	2000	0,60
vesi			
10°C	1000	4190	0,60
80°C	970	4190	0,67

9) Ilmanlämmönjohtavuusarvoa ei tule käyttää tuulettuvien/tuulettumattomien ilmarakojen yhteydessä vaan ne tulee huomioida Luvun 4.2 mukaisesti.